

MARIÂNGELA VIDAL

**REVEGETAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CAULIM
NA ZONA DA MATA, EM MINAS GERAIS:
UM ESTUDO DE CASO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

MARIÂNGELA VIDAL

**REVEGETAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CAULIM
NA ZONA DA MATA, EM MINAS GERAIS:
UM ESTUDO DE CASO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 18 de junho de 2001.

Prof. João Luiz Lani
(Conselheiro)

Prof. Wantuelfer Gonçalves
(Conselheiro)

Prof. Rasmô Garcia

Prof. Sebastião Venâncio Martins

Prof. Laércio Couto
(Orientador)

Dedico esta obra a todos aqueles que lutam para preservar a vida no Planeta, e também aos que sem cultura e conhecimento a destroem.

Aos meus pais, Luzia e José.

Aos meus filhos, Arthur e Erik Filipe.

Ao Lucas, Vitória, Mariana e Paula, meus sobrinhos.

À Joana D'Arc Sabione Valadares, minha amiga.

AGRADECIMENTO

A Deus, que esteve comigo durante toda a minha caminhada, principalmente nos momentos mais difíceis de minha vida.

Aos meus pais, Luzia e José, pelo amor, pela paciência e pela dedicação.

Aos meus filhos, pelo amor, pela compreensão e pelo apoio de sempre.

Aos meus irmãos, pela nossa boa convivência e amizade.

Ao professor Laércio Couto, por ter acreditado no meu trabalho, pela oportunidade de aprendizado, pelas experiências e lições de vida transmitidas, pela consideração, pela compreensão e pelo apoio durante este período de convivência.

Em especial, ao professor João Luiz Lani, que com seu bom humor e alegria sempre esteve comigo e me orientou nas análises físicas, químicas e mineralógicas dos solos pertinentes a realização deste trabalho.

Aos professores Rasmão Garcia, Wantuelfer Gonçalves, Elias Silva e Sebastião Venâncio Martins, pela oportunidade de convivência, pela amizade, pelo estímulo e pelas críticas e sugestões.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Técnico - CNPq, pela concessão da bolsa de Mestrado durante um ano e meio de realização deste curso.

À EMCL-Empresa de Mineração Caolinita Ltda., principalmente ao diretor Dr. Roberto Marrazzo da Costa e ao seu irmão Ricardo Marrazzo da Costa, pelo apoio financeiro e pelo fornecimento de dados e de pessoal, imprescindíveis para a realização

deste projeto. Em especial ao Dadá e Bené, responsáveis pelo sucesso dos trabalhos de campo.

Ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realizar este trabalho de tese, bem como a todos os professores, que demonstraram amizade e apoio sempre que solicitados; em especial ao professores e aos alunos de pós-graduação Marina e Angelo, do Laboratório de Aerofotogrametria, pela orientação nos trabalhos com as fotos aéreas.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial a Ritinha, Rita, Chiquinho, José Mauro, Graça, Imaculada, Jamile e Paulo, pela simpatia e pelo cordial convívio.

Aos funcionários do viveiro de mudas do Instituto Estadual de Florestas e da UFV, principalmente ao professor José Mauro Gomes, pela liberação das mudas das espécies utilizadas no experimento.

Ao Centro Mineiro para Conservação da Natureza – CMCN e à Sociedade de Investigações Florestais - SIF, que acreditaram no meu trabalho, bem como a seus funcionários, professor José Clévio, Dora, Adão, Ednilton, Kely, Nilson, Juliana, Kátia e Leonardo, pela amizade e pelo bom convívio neste período.

Ao Núcleo de Estudos e Planejamento do Uso da Terra – NEPUT e aos professores Sérvulo Batista de Rezende e Mauro Rezende, pela orientação e obtenção das aerofotos.

Ao professor James Jakson Griffith, por ter acompanhado o professor Terrence J. Toy (University of Denver, Denver, Colorado-USA) durante a visita à nossa área experimental.

Ao Wayne A. Geyer (*Forest Scientist and Consultante Forestry Division – Kansas State University*), professor visitante, pelas valiosas e criteriosas sugestões quando de sua visita à nossa área experimental.

Aos professores e colegas do Departamento de Solos, com quem pude contar para utilização dos laboratórios de análises dos solo e da vegetação. Também ao Paulo César Teixeira, João Herbert e Clístenes, pela amizade e pelo apoio de sempre.

Ao Departamento de Microbiologia, principalmente à professora Maria Catarina Megume Kassuya, pela amizade, bem como aos alunos de pós-

graduação, que muito me auxiliaram tecnicamente na avaliação da atividade microbiológica dos solos.

Aos amigos Marcelo e Francis, pela amizade e pelo apoio nos trabalhos de campo, bem como pela obtenção de fotos terrestres.

Em especial aos amigos Zilda, Urbano, Elizabete e Deoclides, pela amizade e pelo apoio nos trabalhos acadêmicos e de tese, neste período de Mestrado.

Aos amigos Omar Daniel, Leo, Betinha, Ana Cláudia, Graziela e Florian, pela boa amizade, pela bela convivência e pelo apoio durante este curso.

Enfim, a todos aqueles que estiveram comigo durante esta caminhada, contribuindo, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARIÂNGELA VIDAL, filha de José Vidal e de Luzia Zambaldi Vidal, nasceu em 3 de junho de 1956, em Cerqueira César, Estado de São Paulo. Realizou o curso básico na sua cidade natal e o colegial em São Bernardo do Campo, São Paulo.

Em 1979, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, graduando-se em meados de 1985.

De 1985 a 1998, participou de atividades agropecuárias e de projetos de extensão rural em cooperativa (COOPERBOM, Bom Despacho-MG); ministrou aulas de diversas disciplinas agrícolas na Escola Agrícola de Cerqueira César-SP; e desenvolveu projetos de extensão rural na CATI/Prefeituras – Iaras e Águas de Santa Bárbara, ambas no Estado de São Paulo.

Em 1994, realizou o Curso *Latu Senso* em “Proteção de Plantas” do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Em outubro de 1998, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado, com concentração em Recuperação de Área Degradada e Sistemas Agroflorestais, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, defendendo tese em junho de 2001.

Durante o período de julho a dezembro de 2000, por intermédio do Projeto PNUD/IBAMA, no Estado do Amazonas, participou de atividades de vistorias a Planos de Manejo Sustentável de Floresta Nativa, Reflorestamentos e Desmatamentos.

Desde o período de Mestrado, pertence ao quadro de consultor do CMCN (Centro Mineiro para Conservação da Natureza) e da SIF (Sociedade de Investigações Florestais), do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, exercendo atividades paisagísticas e de proteção ambiental, participando de projetos e ministrando cursos nesta área.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	11
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Mineração de caulim.....	17
2.1.1. Extração e beneficiamento	18
2.1.2. O processo de degradação	19
2.1.3. Conseqüências para o ambiente	20
2.2. Sistemas Agroflorestais (SAFs).....	20
2.3. Revegetação de áreas mineradas	21
2.3.1. Preparo do solo para plantio	22
2.3.2. Plantio	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1. Caracterização da área de estudo.....	24
3.1.1. Empresa de Mineração Caolinita Ltda. (EMCL).....	24
3.1.2. Área do Quebra-Côco	25
3.1.2.1. Levantamentos básicos.....	26
3.1.2.2. Mapeamento da área	27
3.2. Implantação do Sistema Agroflorestal (SAF)	29
3.2.1. Manutenção.....	33
3.3. Avaliação do sistema	34
3.3.1. Cobertura vegetal.....	34
3.3.1.1. Espécies arbóreas	34
3.3.1.2. Análise foliar.....	34
3.3.2. Análise dos solos e dos resíduos industriais	35

	Página
3.3.3. Análise da água e dos resíduos industriais.....	37
3.3.4. Avaliação econômica.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1. Cobertura vegetal.....	39
4.2. Avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas e arbustivas	42
4.3. Análises dos solos e dos resíduos industriais	44
4.3.1. Características físicas	44
4.3.2. Características químicas	49
4.3.3. Características mineralógicas	55
4.3.4. Matéria orgânica e atividade biológica	58
4.4. Elementos químicos na vegetação.....	60
4.5. Química da água	71
4.6. Análise química do resíduo industrial.....	72
4.7. Avaliação econômica do projeto	74
5. CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

RESUMO

VIDAL, Mariângela, M.S., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2001.
Revegetação de área degradada pela mineração de caulim na Zona da Mata, em Minas Gerais: um estudo de caso. Orientador: Laércio Couto. Conselheiros: João Luiz Lani e Wantuelfer Gonçalves.

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio da Empresa de Mineração Caolinita Ltda. e da Sociedade de Investigações Florestais/Universidade Federal de Viçosa, com o objetivo de recompor a paisagem degradada pela mineração de caulim na Mina do Quebra-Côco, município de Ubá, Zona da Mata de Minas Gerais, tendo os resultados sido coletados em março de 2000. O trabalho consistiu da utilização de técnicas de Sistema Agroflorestal, recomendando a consorciação de vegetação herbácea, arbustiva e arbórea, para a recomposição da paisagem degradada. Para implantação do projeto, avaliou-se a área nos seguintes aspectos: condições topográficas e climáticas, vegetação de entorno, solos e suscetibilidade à erosão. Após estes estudos, foram feitas a definição dos tratamentos e a escolha da vegetação mais adequada à situação local. As espécies utilizadas foram: *Piptadenia gonoacantha*, *Mabea fistulifera*, *Mimosa flocculosa*, *Acacia mangium*, *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus grandis*, *Saccharum officinarum*, *Brachiaria decumbens* e *Mucuna* sp. Foram observadas a mitigação dos impactos visuais pela cobertura vegetal da área. O eucalipto, o jacaré e a acácia

apresentaram bom desenvolvimento, devendo-se ressaltar que a bracatinga foi a única espécie que, em um ano, completou seu ciclo reprodutivo. Observaram-se, também, maior estabilidade do relevo, aumento da fertilidade do solo, início da formação superficial da camada orgânica no horizonte A e da atividade biológica dos solos e presença de insetos, fungos e outros animais, num local outrora considerado inóspito.

ABSTRACT

VIDAL, Mariângela, M.S., Federal University of Viçosa, June 2001. **Revegetation of an area spoiled by kaolin mining in the Zona da Mata, of the State of Minas Gerais: a case study.** Major Adviser: Laércio Couto. Committee Members: João Luiz Lani and Wantuelfer Gonçalves.

This work was developed with the support of the Empresa de Mineração Caolinita Ltda. and the Sociedade de Investigações Florestais/Universidade Federal de Viçosa, and its objective was to reclaim the landscape spoiled by kaolin mining in the Quebra-Côco Mine, in the municipality of Ubá, Forest Zone of the Minas Gerais State, Brasil. The results were collected in March 2000. The work was carried out by means of Agroforestry System techniques, which recommends the use of a mixture of herbaceous, bushy and arboreous vegetation for the reclamation of the spoiled landscape. For the establishment of the project, the following aspects were evaluated: topographic and climatic conditions, neighbouring vegetation, soils and erosion risks. After these studies the determination of treatments and vegetation choices was made. The species used were as follows: *Piptadenia gonoacantha*, *Mabea fistulifera*, *Mimosa flocculosa*, *Acacia mangium*, *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus grandis*, *Saccharum officinarum*, *Brachiaria decumbens* and *Mucuna* sp. The visual impacts amended by means of the vegetation cover of the area were observed. *Eucalyptus grandis*,

Piptadenia gonoacantha and *Acacia mangium* presented a good growth and *Mimosa flocculosa* was the only one that completed its reproductive cycle in one year. A greater stability of relief, an increase of soil fertility and the start of the surface formation of the organic layer in the A horizon, besides biologic activity in the soils and the presence of insects, fungi and other animals were observed in an area considered inhospitable.

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente tem sofrido progressivas agressões, em consequência da ação antrópica. Tal fato torna-se evidente nas minerações, que, embora de grande importância socioeconômica, interferem de forma acentuada nos recursos naturais.

A partir de 1986, pelas exigências legais e também pela pressão ecológica por parte da população, tornou-se imprescindível a elaboração de um Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD). Desta forma, a obtenção de Licença Operacional (LO) para implantação de atividades impactantes só pode ser adquirida com a elaboração do EIA/RIMA (Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de Impacto Ambiental), devendo-se ressaltar que este documento deve conter um PRAD, a ser implantado simultaneamente ao desenvolvimento das atividades impactantes.

Embora a “modernização” no Brasil tenha acontecido de forma surpreendentemente rápida pela importação de bens tecnológicos, ela não foi acompanhada da construção de uma consciência em torno do desenvolvimento auto-sustentável. Por outro lado, a degradação também está nos ambientes intensamente urbanizados, nos quais se insere a maior parte da população brasileira.

Os fatores que mais favorecem a formação de áreas degradadas são uso incorreto do solo pela agricultura, técnicas de irrigação inadequadas, salinização, pressão antrópica em áreas de risco e extração de recursos edáficos. Neste contexto

incluem-se as atividades mineradoras, em especial a mineração de caulim, que é o foco deste trabalho.

Até o presente momento, não se tem conhecimento de trabalhos que visem a mitigação dos impactos ambientais, principalmente no que se refere à recuperação de suas áreas degradadas pela extração de caulim.

Como objetivos específicos pretendeu-se: *i)* estudar o desenvolvimento das espécies plantadas, em relação ao recobrimento vegetal, ao desenvolvimento e ao teor de alguns elementos químicos no solo; *ii)* analisar os aspectos físicos, químicos e mineralógicos e a atividade biológica dos solos das áreas revegetadas, em relação às não-revegetadas; *iii)* analisar as características químicas e físicas dos resíduos industriais e da água próxima à área, em relação aos teores de metais pesados; e *iv)* avaliar os custos de elaboração, implantação e manutenção do projeto.

O estudo foi conduzido, considerando as seguintes hipóteses: *i)* o SAF apresenta grandes variações em termos de cobertura vegetal da área; *ii)* a germinação de sementes de gramíneas e de leguminosas, bem como o desenvolvimento das mudas de espécies arbóreas e arbustivas plantadas, pode ser comprometida pelo desequilíbrio nutricional e pela instabilidade da mistura de materiais (resíduos mais solos) que ora chamamos solos; *iii)* existe contaminação de metais pesados nos solos, no lençol freático e na vegetação ali estabelecida; e *iv)* o sistema utilizado proporciona maior viabilidade econômica na sua implantação e nos ganhos ambientais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Mineração de caulim

A atividade de mineração de caulim inicia-se com a pesquisa para caracterização do corpo e da qualidade do minério, e se estende até o beneficiamento e transporte dos resíduos.

Os trabalhos de lavra do caulim podem ser manuais, semimecanizados ou mecanizados, podendo ser a céu aberto, subterrâneos ou mistos. Em todas as fases desta atividade, são encontrados impactos negativos aos meios físico, biótico e antrópico (WILLIAMS et al., 1997).

Os impactos ambientais causados dependem de fatores como tipo de minério, técnicas de extração e beneficiamento, os quais requerem diferentes medidas para recuperação ambiental (LOPES, 1998). Embora exista uma preocupação por parte das empresas e dos órgãos ambientais, a indústria do caulim ainda causa transtornos. Como exemplo pode ser citada a produção excessiva de particulados em pó, gerados durante o transporte de matéria bruta do minério e dos resíduos sólidos, que com a ação dos ventos espalham-se pelas áreas urbanas, poluindo o ar e comprometendo o aspecto visual do local onde a empresa atua. Segundo ENVIRONMENT... (1992), as empresas localizadas em centros urbanos são as mais prejudiciais quanto a esses impactos.

2.1.1. Extração e beneficiamento

A retirada da cobertura vegetal e o revolvimento do solo e do subsolo, necessários à atividade de mineração, causam distúrbios às camadas superficiais. Na mineração, o horizonte A onde está a cobertura vegetal, que é a camada mais rica em matéria orgânica, é considerado como material estéril. Este material é depositado em bacias, que ficam expostas ao intemperismo.

A partir de 1,0% de ferro encontrado no caulim bruto, o material é considerado impuro. Neste caso, utiliza-se o hidrossulfito de zinco ou zinco metálico para a redução do ferro trivalente (Fe^{3+}) a bivalente (Fe^{2+}), tornando-o solúvel (AMPIAM, 1979). Este processo, chamado de branqueamento, tem como resultado o resíduo verde (RV), que é rico em zinco. Este resíduo normalmente retorna ao local de exploração, é depositado em cavas e, conseqüentemente, dará origem aos solos futuros.

Entre as maiores modificações que ocorrem nesses depósitos de resíduos, destacam-se as topográficas, as químicas e a circulação da água no solo (SCHROEDER, 1995).

Em razão da estrutura desses resíduos e de seus baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes, com exceção do ferro e zinco, que atingem níveis tóxicos, os solos resultantes deste processo possuem limitações ao estabelecimento e ao desenvolvimento espontâneo da cobertura vegetal e da recolonização da micro e da mesofauna do solo.

Do ponto de vista químico, o beneficiamento do caulim pode causar sérios impactos ambientais. Dentre as substâncias poluidoras que podem estar contidas nos efluentes dessas indústrias, destacam-se o alumínio, ferro, zinco e, possivelmente, cádmio. Estes efluentes podem, ainda, conter elevadas concentrações de ácido sulfúrico, razão pela qual algumas indústrias instalam filtros de cal na saída da descarga desses efluentes (SILVA, 1997). Tal tratamento, além de elevar o pH do meio, visando precipitar os metais, também minimiza os problemas decorrentes da natureza de adaptação do ecossistema, pois a maioria dos organismos está adaptada a valores de pH próximos da neutralidade (SPERLING von, 1996).

2.1.2. O processo de degradação

Na tentativa de restabelecer suas inter-relações com o meio ambiente, promovendo ambientes favoráveis à sua subsistência, o homem vem desenvolvendo novas tecnologias de manejo, fertilização, introdução de novas espécies e exploração de minérios. Tal procedimento proporciona o aumento da produtividade, assim como acelera o processo de degradação, que, ao longo do tempo, tem aumentado gradativamente, resultando em mudanças desfavoráveis à própria biota (SILVA, 1998).

Fica caracterizada a degradação de uma área quando esta sofre a retirada ou destruição da vegetação e da fauna: quando a camada fértil do solo é removida ou enterrada; quando a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico sofrem alterações; e quando no ambiente ocorre a perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas e, conseqüentemente, observa-se a inviabilidade do desenvolvimento socioeconômico (ÂNGELO, 1999).

Solos degradados caracterizam-se por apresentar, em comparação com as condições naturais, baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes, principalmente carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, baixa capacidade de infiltração de água e alta compactação, que resultam em baixa atividade biológica da meso e da microfauna, o que os tornam impróprios ao bom desenvolvimento da cobertura vegetal (RUIVO, 1998).

As características químicas do solo, quando negativamente afetadas, são mais facilmente corrigidas do que as propriedades físicas e biológicas. Tratando-se dos Latossolos, que são altamente intemperizados, nota-se que estes têm pouco a perder em termos de nutrientes. A diferença entre solos considerados alterados e não-alterados torna-se mais perceptível quando se trata de suas propriedades físicas, como a porosidade, a densidade do solo e a estabilidade de agregados (RUIVO, 1998).

A magnitude da degradação ambiental exige a busca de alternativas para a reabilitação do ambiente, que incluam medidas que promovam desde a despoluição e a descontaminação ambiental, até a recomposição da natureza em seus elementos fundamentais.

Portanto, o que se propõe são medidas que visem, a curto prazo, mitigar os impactos negativos causados, que certamente são elementos-chave na questão de

desenvolvimento sustentável, sendo este o objeto de preocupação e de ações efetivas em todas as fases de desenvolvimento da atividade mineradora (ÂNGELO, 1999).

As áreas degradadas são geradas continuamente, e por várias razões. A consciência ambiental pressiona sua recuperação, a iniciar por casos em que elas são economicamente improdutivas, ou consideradas de preservação permanente, ou como áreas de mineração a céu aberto (CARPANEZZI, 1990).

2.1.3. Conseqüências para o ambiente

A retirada da vegetação e das camadas dos solos e dos subsolos, mostrando uma paisagem totalmente degradada, causa um impacto negativo na paisagem.

Particularmente na mineração do caulim, existem ainda outros agravantes, pois durante o processamento do caulim ocorre a produção de resíduos líquidos, que são jogados nos rios, e de sólidos, que geralmente são enterrados. Estes resíduos podem conter, além de outros contaminantes, altas concentrações de metais, como ferro, alumínio, zinco e cádmio. Quando estes elementos se encontram em níveis acima do permitido pela legislação, seus reflexos freqüentemente extrapolam os limites das áreas de trabalho, atingindo também outros locais, a flora, a fauna, o sistema hídrico e o sistema morfofisiológico do solo (AUMOND e BALISTIERI, 1997).

Os estudos efetuados em alguns rios próximos a empresas de beneficiamento de caulim e as análises de pontos localizados na descarga de efluentes da indústria e a jusante desta têm mostrado que, normalmente, estes se encontram bastante contaminados quanto aos elementos alumínio, ferro e zinco. A contaminação estende-se às amostras de água, material particulado, sedimento fluvial e vegetação ribeirinha (PEREIRA, 2000).

2.2. Sistemas Agroflorestais (SAFs)

Os SAFs são definidos como sistemas viáveis de uso da terra, segundo o princípio de rendimento sustentável, e permitem aumentar a produtividade total, combinando cultivos agrícolas, arbóreos e plantas forrageiras e, ou, animais, simultânea ou seqüencialmente, onde a aplicação de práticas de manejo deve ser compatível com os

padrões culturais da população local (BENE et al., 1977). É, também, uma consorciação de práticas que variam entre regiões, onde são observadas as características socioeconômicas, culturais, geográficas e ecológicas locais (NAIR, 1979).

Conforme BROOKS et al. (1991), as plantas lenhosas perenes em SAFs bem planejados podem servir como quebra-ventos e favorecer a estabilização do solo em topografia íngreme, auxiliando também no controle das condições de umidade do solo e no melhor manejo de bacias hidrográficas.

A integração de árvores e outros cultivos agrícolas pode resultar numa utilização mais eficiente de água, nutrientes e radiação solar, do que a normalmente encontrada em monocultivos florestais ou agrícolas (BENE et al., 1977).

Os SAFs conduzidos sob o ponto de vista agroecológico transcendem qualquer modelo pronto e evidenciam a sustentabilidade, por partir de conceitos básicos fundamentais, aproveitando-se dos conhecimentos e modelos adaptados para o potencial natural do local trabalhado (GÖTSCH, 1995).

Os agroecologistas reconhecem que a consorciação num sistema agrosilvicultural e outros métodos tradicionais de agricultura imitam os processos ecológicos naturais, e que a sustentabilidade de muitas práticas locais deriva dos modelos ecológicos que elas seguem. Ao planejar sistemas agrícolas que imitam a natureza, torna-se possível otimizar o uso da luz solar, dos nutrientes do solo e da chuva. Nas áreas tropicais e subtropicais, os SAFs podem ser uma opção bastante interessante para a recuperação de áreas degradadas, uma vez que permitem a utilização diversificada da vegetação e apresentam elementos que propiciam a conservação dos recursos naturais (REIYNTYES et al., 1994).

2.3. Revegetação de áreas mineradas

A revegetação de áreas mineradas depende do preparo do solo; das obras de engenharia para o arranjo de conformação dos aspectos de relevo final, como cortes, aterros, curvas de nível e confecção de taludes; e do plantio e da manutenção da cobertura vegetal, até que estas se apresentem potencialmente capazes de evoluir naturalmente, sem a necessidade de interferência humana.

2.3.1. Preparo do solo para plantio

RUIVO (1998) apontou os elementos carbono, fósforo e nitrogênio como os principais fatores determinantes do desenvolvimento vegetal. Estes constituintes têm como principal fonte a vegetação, o que demonstra a importância da ciclagem destes elementos na relação solo-planta-atividade biológica.

Segundo LI e DANIELS (1998), a correção da acidez e fertilidade dos solos é muito importante por ocasião do seu preparo, pois os fatores limitantes na recuperação de solos degradados são o baixo teor de nitrogênio, que influencia o crescimento vegetal e o estabelecimento da cobertura vegetal; e o fósforo, que é essencial para o estabelecimento e o crescimento radicular da vegetação. A descompactação do solo também é outra prática importante, pois auxilia na absorção de nutrientes, facilita a penetração de água, favorece a fixação e o crescimento radicular e, conseqüentemente, viabiliza a atividade biológica dos solos.

A aplicação de uma camada de aproximadamente 10 cm de matéria orgânica é necessária, pois melhora as características físicas, químicas e biológicas dos solos degradados. Se por ocasião da lavra do minério a camada orgânica for armazenada, esta deverá ser utilizada. Este material e o resíduo da própria mineração podem ser acrescidos de fertilizantes químicos e orgânicos, ou então de solo ou serapilheira de outras áreas. Este substrato poderá ser distribuído uniformemente por toda a área, ou em covas, ou ainda pode-se recomendar a utilização de ambos. A área tratada deve ser isolada, evitando-se a presença de todos os fatores de erosão, como o escoamento de águas, a presença de animais e o trânsito de pessoas e máquinas (RODRIGUES et al., 2001).

2.3.2. Plantio

O plantio da vegetação pode ser por sementes ou mudas, o que dependerá da natureza da área, do tamanho e da capacidade de germinação das sementes, bem como das características da propagação das espécies.

No plantio de árvores recomenda-se a utilização de mudas devidamente aclimatadas ao local, que podem ser plantadas em covas ou em sulcos, corretamente adubados e preparados em nível, de acordo com o terreno. O espaçamento deverá ser de acordo com a declividade do terreno, o tipo de solo e as condições particulares das

espécies utilizadas e do local a ser trabalhado, podendo variar de 2 x 2 m até 6 x 6 m (BARTH, 1989).

Segundo REINERT (1998), na implantação de um SAF com o objetivo de recuperação de área degradada, recomenda-se o plantio diversificado de espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas, sendo as gramíneas e as leguminosas as mais recomendadas.

Segundo BARTH (1989), após a instalação do projeto deve-se observar periodicamente a necessidade de replantio, ou de desbaste, para o aumento da diversidade de espécies; e do controle de formigas, pragas, doenças e ervas daninhas. O acompanhamento constante da área é importante, pois permite um melhor planejamento e controle de seu desenvolvimento. Quando necessário, deve-se repetir as semeaduras de gramíneas e leguminosas. No período das secas, é fundamental a utilização de técnicas de prevenção e controle de incêndios. Nas épocas de chuvas, deve-se monitorar constantemente a erosão. Para maior eficiência do sistema, o solo deve ser periodicamente analisado, pois, além de permitir o acompanhamento da evolução da área, também permite detectar e corrigir possíveis problemas de fertilidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

3.1.1. Empresa de Mineração Caolinita Ltda. (EMCL)

A EMCL, em seus Decretos-Lavras, correspondentes aos complexos “Quebra-Côco”, “Sacramento”, “Córrego do Meio” e Pinheiros”, localizados nos municípios mineiros de Ubá, Tocantins, Divinésia e Ubari, respectivamente, atua no mercado de caulim desde 1957, gerando empregos, pesquisas e arrecadação de impostos para estes municípios. Considerada uma das maiores produtoras de caulim do Estado de Minas Gerais, é uma das importantes empresas do Brasil, avançada em controle de qualidade, com 100% de capital nacional, pertencente a empresários brasileiros que atuam principalmente nos setores de pesquisa, lavra e beneficiamento do caulim. Apresenta capacidade para produção anual de 48 mil toneladas e reservas estimadas em 8 milhões de toneladas.

É uma das empresas co-participantes da Sociedade de Investigações Florestais (SIF) e participa nos projetos ambientais dos municípios onde atua, motivo pelo qual o Centro Mineiro para Conservação da Natureza concedeu-lhe o “Selo de Consciência Ecológica”.

3.1.2. Área do Quebra-Côco

A área de estudo está situada entre as coordenadas UTM 709000 e 708500 E e 7661500 e 7660550 N, na fazenda “Quebra-Côco”, de propriedade da Empresa de Mineração Caolinita Ltda., no município de Ubá, Zona da Mata de Minas Gerais (Figura 1).

Nesse local, a retirada do caulim vem sendo realizada há 43 anos (Figura 2a), período em que a área recebeu também o depósito do material estéril e dos resíduos industriais, denominados resíduo quartzoso e resíduo verde (barro verde) (Figura 2b), sendo estes os componentes que formam os solos a serem recuperados.

Observando a Figura 3, na superfície do solo evidencia-se o depósito de resíduos da mineração e o horizonte C exposto.

O projeto para recuperação da Mina do Quebra-Côco foi implantado em março de 1999. Para tal, foram considerados o histórico do uso e manejo da área, a localização, as condições edafoclimáticas e a fisiografia do local.

A vegetação original da região caracteriza-se quase que em sua totalidade pela presença de Floresta Estacional Semidecidual. No entorno da cava da mina, encontra-se a presença de um fragmento de mata secundária, que, num processo de sucessão secundária, servirá como fonte de propágulos para a colonização da área.

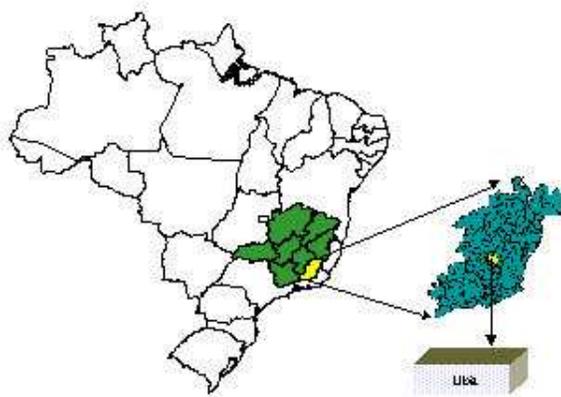
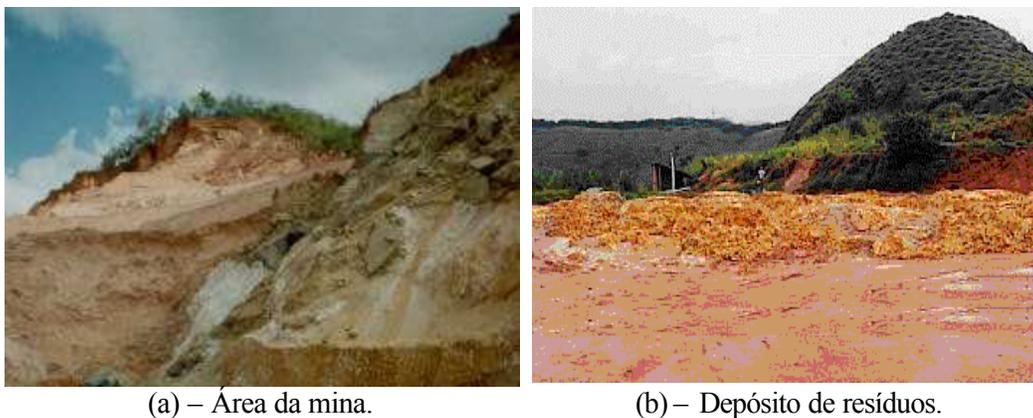


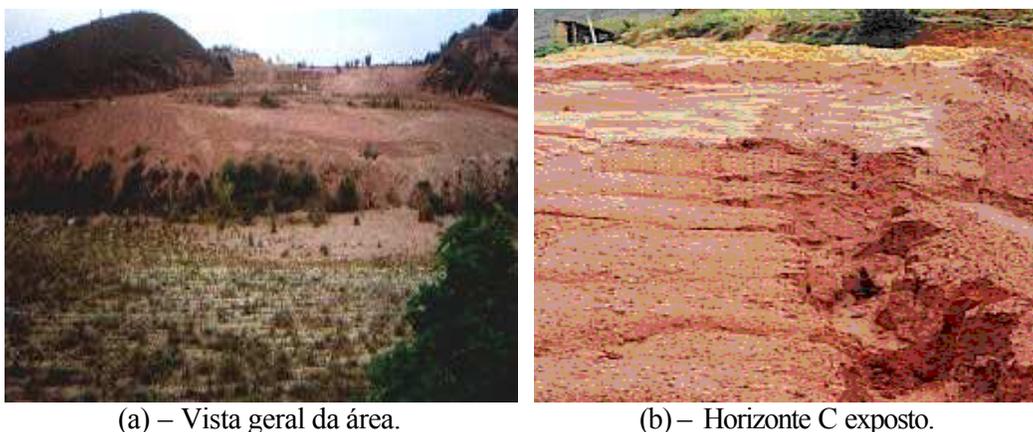
Figura 1 – Mapa do Brasil, com detalhe do Estado de Minas Gerais, Zona da Mata e município de Ubá.



(a) – Área da mina.

(b) – Depósito de resíduos.

Figura 2 – Vista dos impactos causados pela mineração e pelo depósito de resíduos industriais. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.



(a) – Vista geral da área.

(b) – Horizonte C exposto.

Figura 3 – Aspecto geral dos solos da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

3.1.2.1. Levantamentos básicos

Inicialmente, foram obtidos o material cartográfico da área e a digitalização do mapa planialtimétrico, na escala 1:50.000, com curvas de nível de espaçamento vertical de 20 m.

Com a utilização do programa de computador IDRISI, foram gerados os mapas planialtimétricos (Figura 4), o modelo digital de elevação (Figura 5) e o mapa de uso do solo (Figura 6), que foram utilizados como base para os estudos. Estes mapas, juntamente com a sobreposição de fotos tiradas por um sobrevôo, permitiram simular a visão tridimensional de altitude e das formas de relevo.



Figura 4 – Mapa detalhando os quadrantes de coordenadas geográficas e altimetria da área da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

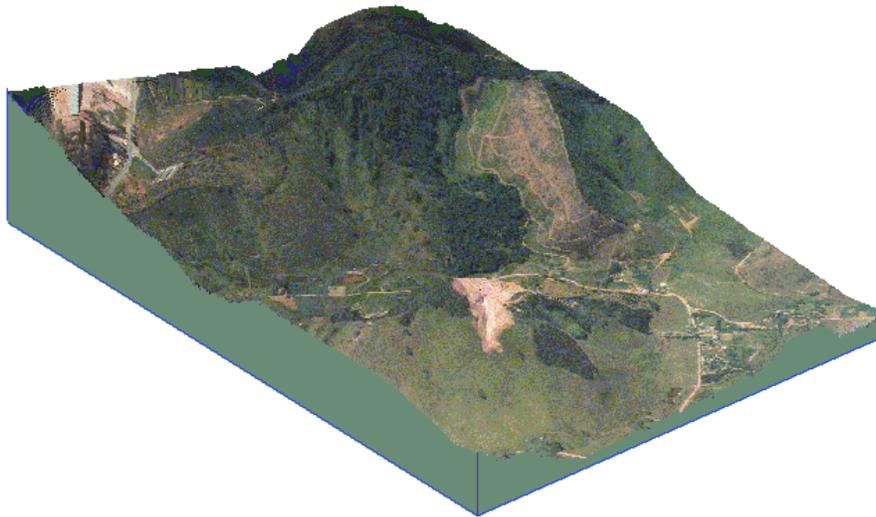


Figura 5 – Modelo digital de elevação da Mina do Quebra-Côco e de seu entorno, município de Ubá-MG.

3.1.2.2. Mapeamento da área

No levantamento planialtimétrico, utilizou-se o equipamento “Estação Total”, que forneceu os dados já computadorizados no programa Auto Cad 14, permitindo maior precisão, melhor apresentação visual e eficiência dos resultados na elaboração do projeto. De acordo com as características de relevo, tipo e coloração do solo, decidiu-se pela subdivisão da área (Figura 7 e Quadro 1).

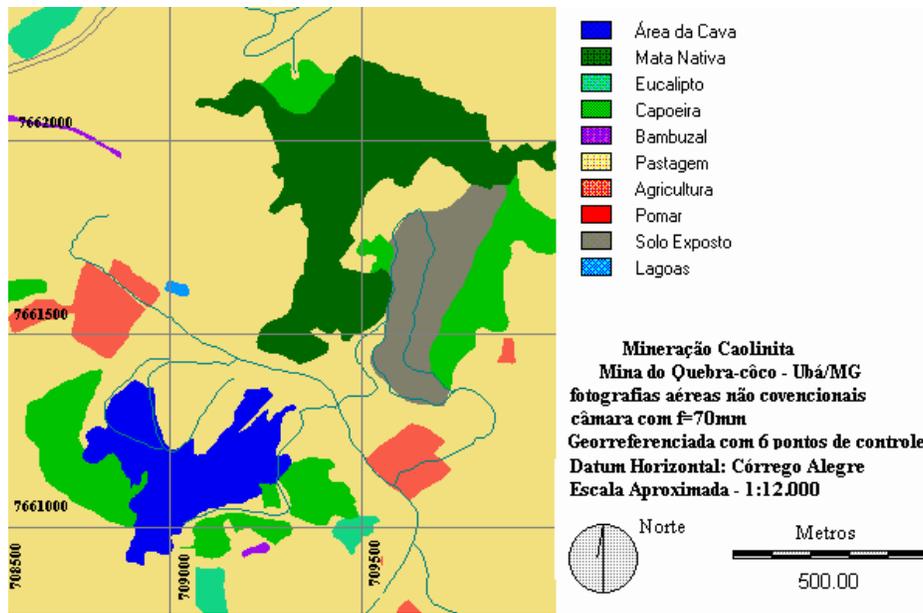


Figura 6 – Mapa das categorias de uso do solo da área da Mina do Quebra-Côco e de seu entorno, ano de 1999, município de Ubá-MG.

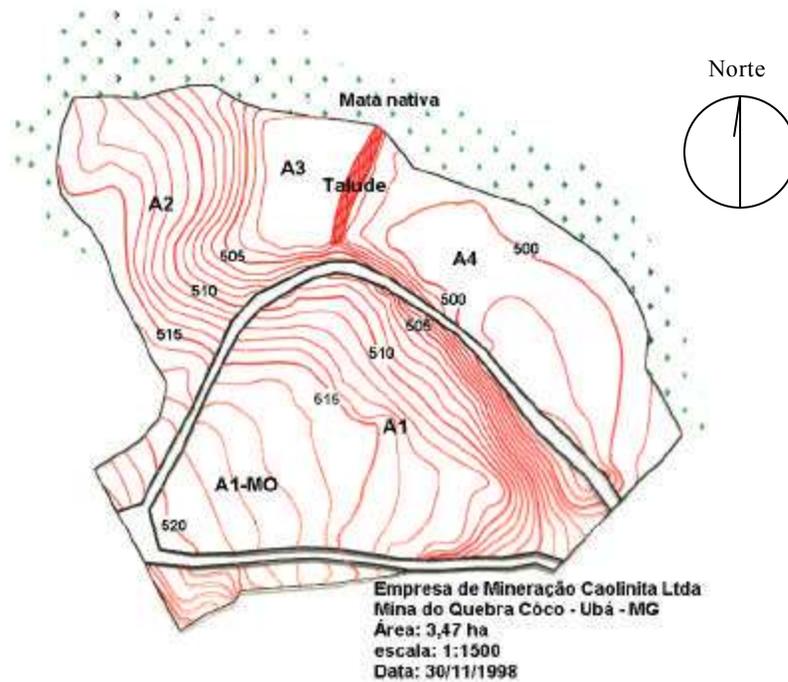


Figura 7 – Mapa planialtimétrico, detalhando as curvas de nível, o talude e a subdivisão da área trabalhada. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

Quadro 1 – Características das subáreas da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG

Subáreas	Características
A1	Durante muitos anos esta área tem sido o local de depósitos de resíduos industriais, ora de quartzo, ora de areia grossa ou de resíduo verde. Portanto, possui bastante heterogeneidade, tanto nos aspectos de sua composição física e química, quanto nos aspectos de relevo.
A1-MO	Trata-se do mesmo local anterior, porém devido à sua localização, mais próxima aos depósitos de água e esterco, recebeu um tratamento diferenciado sob estes aspectos, o que a tornou mais rica em matéria orgânica.
A2	É uma área de antigo depósito de estéril, horizonte C exposto, bastante suscetível à erosão. O relevo é bastante inclinado e o solo é pobre e friável. Observam-se a presença de sulcos resultantes da erosão, causados pelos impactos das enxurradas. Nos períodos chuvosos está sempre perdendo sedimentos e, conseqüentemente, empobrecendo-se cada vez mais.
Talude	Na parte mais baixa do terreno construiu-se um talude, entre as subáreas A3 (anterior) e A4 (posterior), de forma a reter o escoamento das enxurradas provenientes principalmente de A1 e A2.
A3	Esta área está situada na parte mais baixa do terreno, anterior ao talude. Possui o relevo plano e está constantemente recebendo os sedimentos, principalmente de A2. Devido à retenção da umidade, formou-se ali uma pequena bacia, onde o ambiente é hidromórfico.
A4	Situa-se ao fundo do talvegue. O relevo é plano, o ambiente é bastante drenado e os solos bastante pedregosos, devido a depósito de estéril de quartzo. Foi um lugar bastante trabalhado com máquinas pesadas, apresentando-se com aspecto mais árido e compactado.

3.2. Implantação do Sistema Agroflorestal (SAF)

Após a redefinição das subáreas a serem recuperadas, foram definidas as espécies utilizadas e a forma de plantio, de acordo com o mapa da Figura 8. Nas linhas-mestras das curvas de nível realizou-se o plantio de *Saccharum officinarum*, cujas mudas foram obtidas na própria fazenda. Entre estas linhas realizou-se o plantio das espécies arbóreas *Piptadenia gonoacantha*, *Mimosa flocculosa*, *Mabea fistulifera*, *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa*, em covas devidamente adubadas e espaçadas de 2 x 2 m. Entre as fileiras arbóreas, semeou-se a *Brachiaria decumbens* (160 kg, pureza=48,00, germinação=81,00, valor cultural = 40,3) e *Mucuna* sp. (120 kg, pureza=99,00, germinação= 95,00, valor cultural=95,9). As mudas das espécies arbóreas, produzidas em tubetes, foram fornecidas pelos viveiros do Instituto Estadual de Florestas (IEF) do município de Ubá-MG e da Universidade Federal de Viçosa.

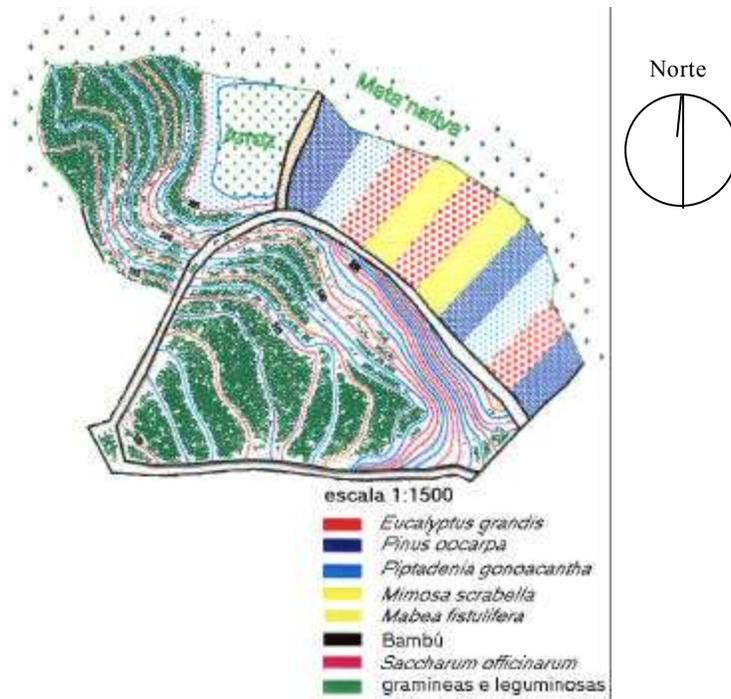


Figura 8 – Distribuição da vegetação na área da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

Os mapas resultantes deste trabalho permitiram o planejamento dos tratamentos de arranjo do relevo. Visando a obtenção de maior estabilidade, foram feitos cortes e aterros, talude, curvas de nível e nivelamento do terreno (Figura 9).



Figura 9 – Trabalhos de arranjo do relevo da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

O preparo dos solos consistiu em fazer a marcação das curvas de nível, a calagem (3 toneladas por hectare), a adubação geral da área (500 kg de superfosfato simples por hectare), a abertura de sulcos, o coveamento e o semeio ou plantio (Figura 10). O esterco bovino foi colocado em covas, na quantidade de 10 litros.



(a) - Marcação das curvas de nível.



(b) - Adubação a lanço.



(c) - Coveamento em nível.



(d) - Plantio da cana-de-açúcar.



(e) - Vista após o plantio.

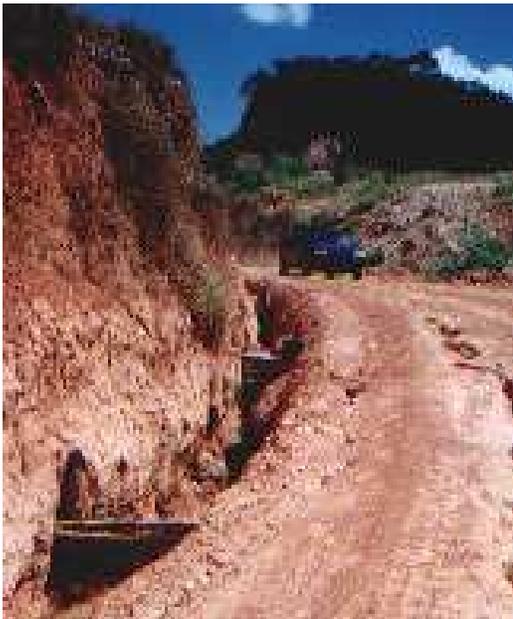


(f) - Vista do plantio e da irrigação.

Figura 10 – Trabalhos referentes à adubação orgânica e química, ao sulcamento em nível e ao plantio. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

Alguns fatores de degradação, como a entrada de animais e a água de escoamento superficial, foram isolados da área. Para tal, foi feita uma contenção no entorno do local e construídos dissipadores de energia da água (Figura 11).

O esquema da Figura 12 representa o perfil do final da área após os trabalhos de arranjo do relevo, preparo dos solos e plantio.



(a) - Contenção com bambu seco na beirada da estrada.



(b) - Contenção com material vivo.



(c) – Cerca de bambu feita no entorno da área.

Figura 11 – Trabalhos para retirada dos fatores de degradação da área da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

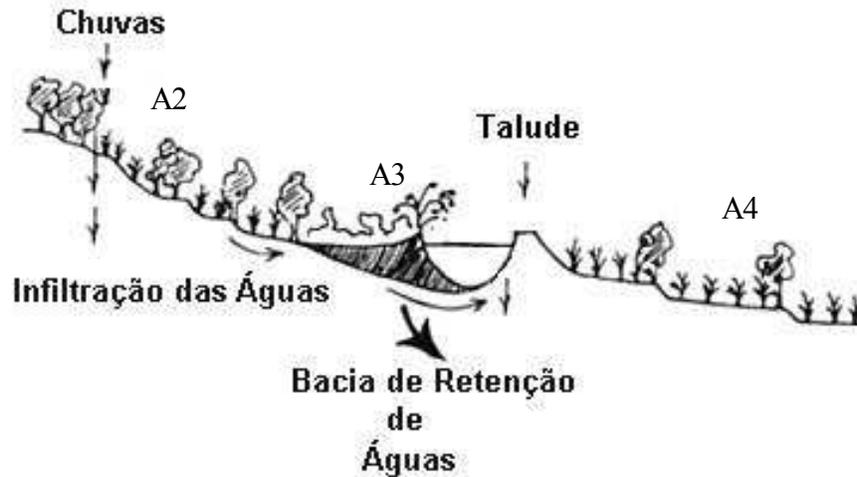
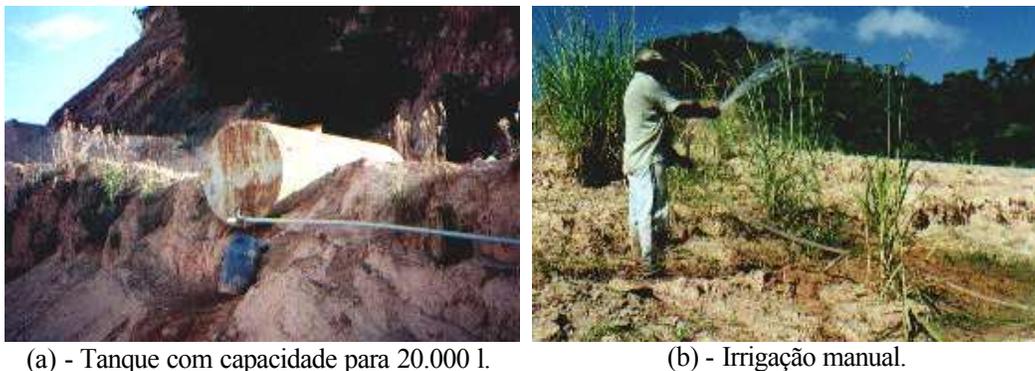


Figura 12 – Esquema do plantio em faixas e taludes para retenção da umidade. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

3.2.1. Manutenção

Foram realizadas análises químicas, para o monitoramento da fertilidade dos solos de acordo com EMBRAPA (1999).

Como o plantio foi realizado ao final do período chuvoso, prevendo-se o possível déficit de água no início das secas, instalou-se um reservatório com capacidade para 20.000 litros, sendo este suficiente para garantir a sobrevivência e o desenvolvimento das mudas. Assim, as mudas de espécies arbóreas foram constantemente irrigadas (Figura 13).



(a) - Tanque com capacidade para 20.000 l.

(b) - Irrigação manual.

Figura 13 – Equipamentos utilizados para o fornecimento de água para o plantio na área da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

Durante o período de um ano, foram necessários o monitoramento e a manutenção da área, principalmente dos divisores e dissipadores de energia da água, assim como das curvas de nível, dos terraços e do talude.

Este sistema permitiu que a vegetação utilizada promovesse a cobertura do solo, criando ambiente propício à germinação de sementes advindas de outras áreas, de modo que futuramente esta se integre à paisagem local.

3.3. Avaliação do sistema

3.3.1. Cobertura vegetal

A avaliação da cobertura vegetal foi feita por comparações entre as fotografias aéreas obtidas antes e após a aplicação dos tratamentos, isto é, em março de 1999 e em março de 2001.

Avaliou-se a cobertura vegetal da área por meio da digitalização das imagens obtidas, utilizando o Programa Quantiporo, desenvolvido pelo Departamento de Solos da UFV (FERNANDES FILHO, 2001).

3.3.1.1. Espécies arbóreas

De forma aleatória, foram lançados 20 transectos de 20 m de comprimento nas linhas de plantio das espécies arbóreas. Estes transectos receberam marcações a cada 2 m, coincidentes com os locais onde as mudas foram plantadas. Em cada marcação dos transectos, quando não havia indivíduo vivo, computava-o como não-sobrevivente. Caso contrário, este era computado como sobrevivente e efetuavam-se as devidas medições: circunferência do tronco à altura da base da inserção da copa (CABC) e altura total dos indivíduos.

3.3.1.2. Análise foliar

Buscando uma relação entre os macro e os microelementos do solo e das plantas, segundo as recomendações da EMBRAPA (1999) e de RIBEIRO et al. (1999), foram realizadas as amostragens das massas foliares das espécies presentes. As amostras

foram secas em estufa de circulação forçada, a 70 °C, por 72 horas, e trituradas em moinho tipo Wiley. As análises foram feitas segundo EMBRAPA (1999).

3.3.2. Análise dos solos e dos resíduos industriais

Os trabalhos pertinentes a estas análises encontram-se na Figura 14. Os resíduos do beneficiamento do caulim, depositados nessa área, têm contribuído para a formação desses solos. Portanto, procederam-se às suas análises. As amostras dos resíduos foram coletadas logo após o beneficiamento, dentro da empresa. Para cada subárea, foram retiradas duas amostras, uma de 0-2 cm e a outra de 2-15 cm de profundidade.

Campo	- Reconhecimento geral da área; seleção dos locais representativos para amostragem de solos; identificação das diferentes subáreas do local; coleta de amostras de solos.	
	- Montagem do experimento para avaliação das atividades biológicas.	
Laboratório	Análise Física	Granulometria; Equivalente de umidade; Argila dispersa em água e Cor (Munsell).
	Análise Química	pH (H ₂ O); Acidez potencial (H + Al); Fósforo disponível, Fósforo remanescente; Carbono orgânico; Bases trocáveis (Ca ⁺² , Mg ⁺² , K ⁺) e Microelementos (Zn, Mn, Cu, Fe, B, Cd).
	Mineralogia	- Difração de raios X da fração argila.
	Atividade Biológica	- Evolução de CO ₂ à superfície dos solos.

Figura 14 – Esquema das principais atividades e análises realizadas na Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

As análises laboratoriais foram feitas em terra fina seca ao ar (TFSA), no Laboratório do Departamento de Solos da UFV. A metodologia utilizada seguiu o Manual de Métodos de Análise de Solos (EMBRAPA, 1999).

Para os solos, por ocasião da coleta dos resultados, procedeu-se também à análise da atividade biológica¹.

A análise física dos solos e dos resíduos industriais constou da identificação das cores e da classificação textural. Incluiu-se nestas análises a porcentagem de argila dispersa em água, ou seja, o equivalente de umidade.

Após a secagem, utilizando as comparações com a carta de Münsell, foram identificadas as cores das amostras dos solos.

A composição granulométrica foi determinada por dispersão da TFSA com NaOH 0,1 N, sob agitação em alta rotação. A areia grossa e a fina foram separadas em peneiras de malha 0,2 e 0,05 mm, respectivamente. A argila foi determinada gravimetricamente em alíquota coletada com pipeta, após a sedimentação do silte, que foi obtido por diferença.

A mineralogia foi obtida por difratometria de raios X. De acordo com a necessidade, cada amostra recebeu um tratamento individualizado, para identificação dos minerais. Neste processo utilizou-se um difratômetro Rigaku, radiação Cu K α de $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$, com filtro de cobre, segundo MOORE e REYNOLDS JÚNIOR (1989) e WHITTIG e ALLARDICE (1994).

A atividade biológica nos solos foi determinada em campo, utilizando campânulas plásticas na cor azul-clara, de forma a refletir melhor a radiação de calor. A medida da base das campânulas foi de 20 x 20 cm de largura e a altura, de 40 cm (ANDERSON, 1982).

Em cada parcela foram montadas quatro campânulas, nas seguintes situações: testemunha (T) e subáreas A₁, A1-MO, A₂, A₃ e A₄.

As áreas de montagem das campânulas, bem como todo o material necessário, foram preparadas com um dia de antecedência à determinação da atividade biológica. Para a amostragem, retirou-se a camada de resíduos onde foram instaladas as campânulas e utilizou-se um gabarito quadrado de madeira de 0,20 x 0,20 m de lado, lançado ao acaso dentro das parcelas.

Para a captura do CO₂ proveniente da atividade biológica dos solos, foram utilizados 50 ml de NaOH 1,0 molL⁻¹, acondicionados em frascos de 100 ml. Os frascos foram dispostos sobre os solos com o gargalo a 8,0 cm da superfície. À medida que os

¹ KASUYA, M.C. – Comunicação pessoal (2001). Professor do Dep. de Microbiologia da Universidade Federal de Viçosa, 36570-000 Viçosa-MG.

frascos eram colocados, retiravam-se as suas tampas, e estes eram imediatamente cobertos com a campânula, sendo esta introduzida no solo até uma profundidade de 2,0 cm.

Depois de montadas, as campânulas foram cobertas com pranchas de papelão, o que impedia a incidência direta dos raios solares, e deixadas no campo por aproximadamente 24 horas. Anotou-se o horário de instalação e de desmontagem das campânulas, de modo a conhecer o tempo de exposição do álcali ao CO₂.

Após esse período, as campânulas foram retiradas e os vidros imediatamente vedados com filme plástico, antes da colocação das tampas plásticas, até serem analisadas no laboratório de microbiologia do Bioagro, da UFV.

Aliquotas de 10 ml de álcali foram retiradas dos frascos de captura e dos frascos-controle. Acrescentaram-se a elas 10 ml de BaCl₂ 1,5 mol L⁻¹ e 5 gotas de solução de fenolftaleína a 1%. Procedeu-se, então, à titulação, sob agitação contínua em agitador magnético, com HCL 1,0 mol L⁻¹ padronizado, utilizando uma microbureta eletrônica Brinkmann com precisão de 0,01 ml.

A taxa respiratória, expressa em mg CO₂ m⁻², foi obtida pela seguinte expressão:

$$\text{Taxa respiratória} = (V_B - V_A) \times C \times f \times 22 \times 15 \times 0,04^{-1}, \text{ em que}$$

V_B = volume de HCL 0,05 mol L⁻¹, padronizado, gasto na titulação do controle;

V_A = volume de HCL 0,05 mol L⁻¹, padronizado, gasto na titulação da amostra de álcali dos frascos de captura do gás carbônico;

C = concentração do HCL utilizado na titulação;

f = fator de correção da concentração do ácido utilizado na titulação;

22 = equivalente-grama do CO₂;

15 = fator de correção que relaciona o volume total de álcali utilizado na captura de CO₂ (50 ml) e o volume de álcali utilizado na titulação; e

0,04 = área da campânula utilizada nas determinações da taxa respiratória.

3.3.3. Análise da água e dos resíduos industriais

As análises dos aspectos físicos e químicos mais detalhados dos teores de metais pesados encontrados na água e nos resíduos industriais foram feitas pelo laboratório do SANEAR - Engenharia Sanitária, em Belo Horizonte-MG.

A preparação da amostra para ensaio de lixiviação dos resíduos constou de: pH inicial = 6,58; pH final = 4,92; tempo de lixiviação (horas) = 24 horas; resíduo utilizado (gramas) = 100,00; e Volume de ácido utilizado (ml) = 96,00.

3.3.4. Avaliação econômica

A composição dos custos foi feita a partir dos componentes necessários para elaboração, implantação, condução e manutenção dos trabalhos referentes ao projeto, durante o período de um ano. Os valores utilizados baseiam-se nos valores pagos pela empresa, para os seguintes trabalhos: fotos aéreas e terrestres; mão-de-obra técnica e braçal; levantamento planialtimétrico; análises física e química dos solos, da vegetação e da água; material de escritório; equipamentos para o preparo do solo, transporte e alimentação de pessoal; e viagens eventuais aos órgãos ambientais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cobertura vegetal

A área delimitada com a linha de cor amarela (Figura 15) refere-se à área que recebeu os tratamentos propostos. Observou-se que a metodologia utilizada promoveu ganhos significativos na cobertura vegetal. Entretanto, nota-se que no restante da área onde não houve a aplicação dos tratamentos a paisagem permaneceu isenta de vegetação. Pôde-se observar, por meio de fotografia aérea (Figura 15a e 15b), que algumas áreas não-tratadas obtiveram aumento da erosão, neste período. Este fato demonstra a importância da interferência antrópica, no sentido de auxiliar a natureza a obter um resultado positivo na recuperação dessas áreas.

A avaliação da cobertura vegetal, com o uso do Programa Quantiporo, encontra-se na Figura 16, a partir da qual foi gerado o Quadro 2.

Atualmente, a área tratada possui apenas 17,3% de área de solo exposto, o que implica que em dois anos houve um ganho de 74,5% de cobertura vegetal.

As subáreas A2 e A1 (a subárea A1-MO está inclusa em A1) (Figura 17), em ordem decrescente, foram as que apresentaram os melhores resultados (Quadro 2). Nestas áreas a vegetação é constituída de indivíduos arbóreos, arbustivos e herbáceos (gramíneas e leguminosas), que se apresentam mais desenvolvidas e densas. Em A1 e A1-MO observa-se o vigor das gramíneas sob as árvores, como também a presença de cogumelos entre elas. Tal fato pode ser

explicado pela proximidade ao depósito de adubo químico, esterco e água, o que facilitou os tratamentos culturais, como adubação de cobertura e irrigação, pois os trabalhos foram basicamente manuais.

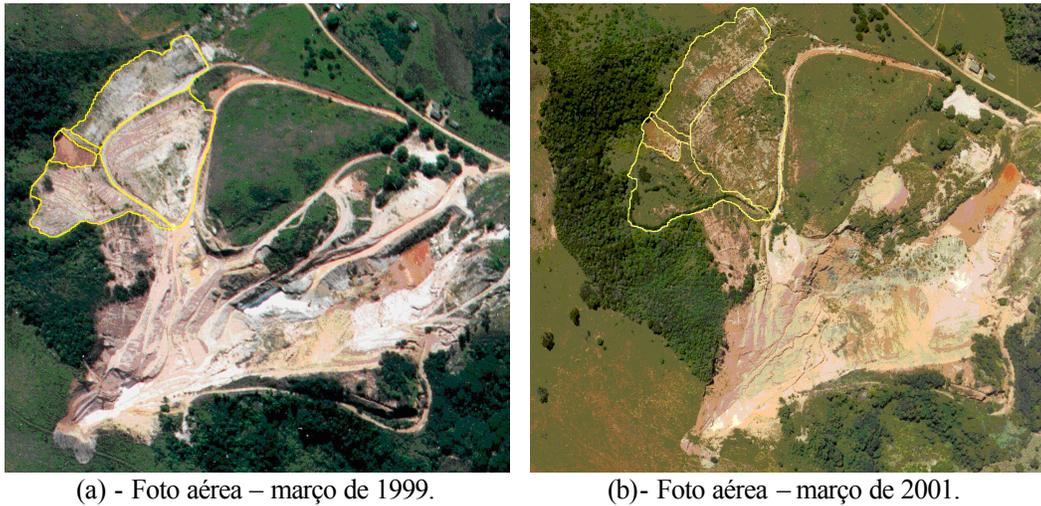


Figura 15 - Fotos aéreas da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG, antes (a) e depois (b) da aplicação do tratamento.

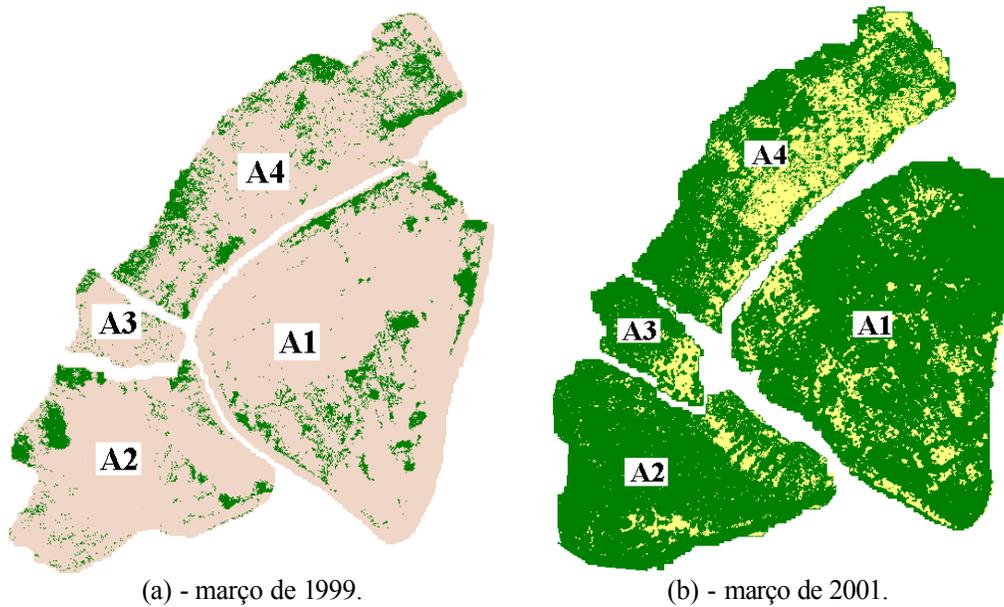


Figura 16 – Comparação da cobertura vegetal antes (a) e depois (b) dos tratamentos. As cores escuras representam a vegetação e as claras as áreas não-vegetadas. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

Quadro 2 – Cobertura vegetal no período de março de 1999 a março de 2001, na Mina do Quebra Côco, em Ubá-MG.

Subáreas	Cobertura Vegetal		Ganho
	Março/1999	Março/2001	1999-2001
A1 e A1-MO (Depósito de resíduos verde)	10,5	88,0	77,5
A2 (Horizonte C)	9,8	92,0	82,2
A3 (Área inundada, recebe sedimentos)	6,2	82,0	75,8
A4 (Compactada, resíduo quartzoso)	19,2	68,0	48,8
Área Total	8,2	82,7	74,5



(a) - Aspecto da subárea A2.



(b) - Aspecto da subárea A1 e A1-MO.

Figura 17 – Vista geral das subáreas A2 (a) e A1 e A1-MO (b), em março de 2001. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

A subárea A3 (Figura 18a), anterior ao talude, é plana e situa-se na parte mais baixa, imediatamente anterior ao açude. É um ambiente hidromórfico e está constantemente sendo assoreada, em virtude dos sedimentos provenientes de montante. Desta forma, apresenta limitações quanto ao seu uso. Conforme foi observado, houve acréscimo na cobertura vegetal, embora esta se apresente bastante rala, constituindo-se basicamente de braquiária do brejo (*Brachiaria arrecta*).



(a) - Vista da subárea A3.



(b) - Vista da subárea A4.

Figura 18 – Vista geral da cobertura vegetal das subárea A3 (a) e A4 (b), em março de 2001, na Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

A subárea A4 (Figura 18b) também é plana (fundo do talvegue) e situa-se imediatamente após o talude, na parte mais distante dos depósitos de insumos. O material do solo é composto de resíduo de quartzo de granulometria maior na camada superficial e, por causa da presença intensiva de máquinas, a camada subsuperficial é compactada. Estes fatores limitaram o desenvolvimento do vegetais, a nível de aproximadamente 50% de cobertura. A vegetação apresenta-se rala e é basicamente constituída de gramíneas, sendo o resultado menos satisfatório em relação ao das outras subáreas.

4.2. Avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas e arbustivas

Os resultados relativos à sobrevivência e ao desenvolvimento das espécies arbustivas e arbóreas podem ser observados no Quadro 3.

O *Eucalyptus grandis* foi a espécie que apresentou maior índice de sobrevivência, conseguindo resistir às condições adversas de todas as subáreas. O melhor desenvolvimento foi observado na subárea A1, onde foi constatado, também, um maior teor de matéria orgânica. Na subárea A4, os indivíduos apresentaram apenas sobrevivência, mas não se desenvolveram, o que ocorreu em

Quadro 3 – Circunferência à altura da base da copa (CABC), alturas e índice de sobrevivência das plantas arbustivo-arbóreas amostradas em março de 2000, na Mina do Quebra-Côco, município de Ubá-MG

Nome científico	Nome Comum	CABC				Altura				Sobrevivência
		Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão	Média	Máximo	Mínimo	Desvio-Padrão	
		----- cm -----				----- m -----				---%---
A1 e A1-MO (antigo depósito de resíduos)										
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	6,2	16,0	2,0	3,7	2,0	4,7	0,9	1,1	75,0
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga	12,7	24,0	4,0	6,2	2,0	3,0	1,2	0,5	78,6
A2 (Horizonte C bastante friável e suscetível à erosão)										
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	11,5	23,0	6,0	4,1	3,1	5,4	1,8	1,1	100,0
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga	21,1	32,0	7,0	8,7	3,0	4,0	2,5	0,5	86,6
<i>Acacia mangium</i>	Acácia	7,7	26,0	4,0	4,4	2,0	3,5	1,2	0,7	97,7
<i>Mabea fistulifera</i>	Canudo-de-pito	6,0	15,0	2,0	3,1	1,3	1,8	0,6	0,4	63,0
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Jacaré	16,2	38,0	2,0	10,2	2,7	4,3	1,2	0,9	93,5
A3 e A4										
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	Devido às condições limitantes de A3 (subárea anterior ao talude, condições de inundação constante) e A4 (subárea situada após o fundo do talvegue, sendo esta depósito de quartzo pedregoso e bastante compactada), as espécies arbóreas e arbustivas não sobreviveram.								
<i>Mabea fistulifera</i>	Canudo-de-pito									
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga									
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Jacaré									
<i>Pinus oocarpa</i>	Pinus									

função das características limitantes do local (material pouco intemperizado, solos compactados e deficiência de nutrientes).

A *Acacia mangium* foi plantada apenas na subárea A2, ficando em segundo lugar quanto à sobrevivência, porém seu desenvolvimento foi muito bom.

A *Piptadenia gonoacantha* e a *Mimosa flocculosa* apresentaram excelentes resultados, tanto em sobrevivência como em desenvolvimento. A *Mimosa flocculosa* foi a única a completar seu ciclo de vida em menos de um ano.

Os índices de sobrevivência e desenvolvimento da *Mabea fistulifera* foram menores que os das outras espécies.

Os indivíduos de *Pinus oocarpa* não sobreviveram a essas condições.

A subárea A2 proporcionou melhor desenvolvimento da vegetação para um maior número de espécies plantadas. Nesta área, a bracatinga (*Mimosa flocculosa*) apresentou melhores resultados, seguida de jacaré, eucalipto, acácia e, por último, canudo-de-pito (*Mabea fistulifera*).

A subárea A1 e a A1-MO apresentaram bons resultados, tendo sido os melhores para a bracatinga e o eucalipto.

A subárea A3, em virtude de suas condições hidromórficas, e a subárea A4, devido à pedregosidade do material de quartzo à superfície e da compactação da camada imediatamente inferior, não proporcionaram condições favoráveis ao desenvolvimento de espécies de sistema radiculares mais profundos do que as gramíneas. Portanto, não apresentaram dados referentes a espécies arbóreas e arbustivas.

4.3. Análises dos solos e dos resíduos industriais

4.3.1. Características físicas

A Figura 19 mostra os aspectos dos resíduos industriais quartzoso (RA) e verde (RV), provenientes do beneficiamento do caulim. Nas análises físicas (Quadro 4), observou-se a constituição quartzosa do RA em relação ao RV. Foram observadas, também, a coloração acinzentada do RA e as duas colorações características do RV (verde quando úmido e amarelo quando seco), devido ao processo de oxidorredução.



a) Resíduo quartzoso.

b) Resíduo argiloso, aparência externa amarela e interna esverdeada.

Figura 19 – Resíduos industriais provenientes do beneficiamento do caulim, da EMCL, município de Ubá-MG.

A cor dos sedimentos (Quadro 4) varia de 10R a 5YR, o que indica que as cores predominantes são o vermelho (hematita) e o amarelo (goethita), com um fundo esbranquiçado da caulinita e do quartzo.

De modo geral, todos os materiais apresentaram-se com a textura variando de franca a franco-arenosa. Na fração areia, observou-se o predomínio da areia grossa, o que poderia permitir uma maior drenagem ao solo. No entanto, os elevados teores de silte impediram tal fato, conferindo aos solos maior friabilidade, o que induziu à alta erodibilidade, principalmente nas partes inferiores do solo.

Os teores de silte foram muito elevados nas camadas mais profundas, principalmente para o resíduo verde, pois este apresenta altos valores de equivalente de umidade. Tal fato evidencia a possibilidade de utilizar este material na retenção de umidade no solo, além, como será discutido, de seus aspectos químicos, de seus altos teores de cálcio e do elevado pH.

Os teores de argila encontrados em todos os materiais analisados são baixos, sendo estes levemente maiores nas camadas de 2-15 cm, com exceção de A1 e A1-MO.

Apesar do elevado teor de silte, estes não apresentam minerais primários e são constituídos de pseudomorfos de caulinita, que possivelmente são provenientes do intemperismo do feldspato (PINTO, 1971). A difração de raios X (Figura 33 – página 44) confirma esta afirmação.

Quadro 4 – Análise física dos solos em diferentes profundidades e dos resíduos industriais da Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG

Amostragem	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Dispersa	Eq.Umidade	Classe Textural	Cor Münsell
	----- dag kg ⁻¹ -----							----- seca -----
0-15 cm de profundidade								
Testemunha (horizonte C)	30	22	43	5	2	29	Franco-arenosa	2,5 YR 4/6
Resíduo verde (RV)	22	9	62	7	6	52	Franco-siltosa	Amarelo/verde
Resíduo quartzoso (RA)	69	3	25	3	1	12	Franco-arenosa	10R 6/1
0-2 cm de profundidade								
A ₁ -MO	36	27	31	6	5	24	Franco-arenosa	2,5YR 3/4
A ₁	48	23	25	6	1	19	Franco-arenosa	2,5YR 4/4
A ₂	35	12	48	5	1	26	Franco-arenosa	10R 3/4
A ₃	21	21	52	6	1	33	Franco-siltosa	2,5YR 4/6
A ₄	34	20	41	5	5	24	Franco-arenosa	5YR 3/4
2-15 cm de profundidade								
A ₁ -MO	31	26	39	4	1	24	Franco-arenosa	2,5YR 3/6
A ₁	46	13	36	5	5	28	Franco-arenosa	5YR 5/6
A ₂	39	6	48	7	1	29	Franco-arenosa	2,5YR 4/6
A ₃	21	21	52	6	1	33	Franco-siltosa	2,5YR 4/6
A ₄	44	04	44	8	1	24	Franco	10R 5/6

A₁-MO – inserida na subárea A₁, rica em matéria orgânica; A₁ - subárea A₁, com menor teor de matéria orgânica em relação à A₁-MO; A₂ – subárea A₂; A₃ – subárea A₃; A₄ – subárea A₄.

As análises demonstram que existe pouca argila dispersa. Nota-se, porém, que este índice torna-se bastante elevado quando comparado com os teores de argila total encontrados nas amostras.

O equivalente umidade parece estar relacionado aos altos teores de silte, principalmente para o resíduo verde, pois este apresenta altos valores de equivalente umidade. Tal fato evidencia a possibilidade de utilizar este material na retenção de umidade no solo, além, como será discutido, de seus altos teores de cálcio e elevado pH.

As características descritas indicam que ainda não houve tempo para melhor desenvolvimento de estrutura, conforme se observa no horizonte B destes Latossolos. A drenagem é maior à superfície, permitindo elevada percolação da água e dos elementos químicos. Esses solos possuem alto potencial de erodibilidade e baixa agregação, podendo-se afirmar que são de baixa fertilidade, apresentam riscos de contaminação do lençol freático e ainda podem ser considerados degradados.

Observou-se que a coloração de A1, A2 e A3 (2 – 15 cm de profundidade) é semelhante à da testemunha (Figura 20). Este fato demonstra que A2 recebeu material do horizonte C (testemunha) e que, por causa de sua composição, alta friabilidade e relevo ondulado, a erosão é intensa. Esta erosão é responsável pelo assoreamento em A3, pois esta situa-se imediatamente abaixo de A2. Tal fato pode explicar, também, a igualdade dos aspectos físicos, químicos e mineralógicos entre as amostras desses sedimentos (solos), especialmente à superfície (Quadro 4).

A subárea A1-MO está inserida na subárea A1, porém recebeu uma quantidade maior de adubo orgânico. Notou-se a formação de estrutura em blocos, tendendo a granular, devido ao poder agregante das raízes no solo. A coloração é mais escura, principalmente na camada orgânica em início de formação na superfície. Diferenciou-se bastante das demais áreas. No emaranhado de gramínea (*Brachiaria decumbens*) junto ao solo, observou-se a presença de fungos (Figuras 20b e 21).

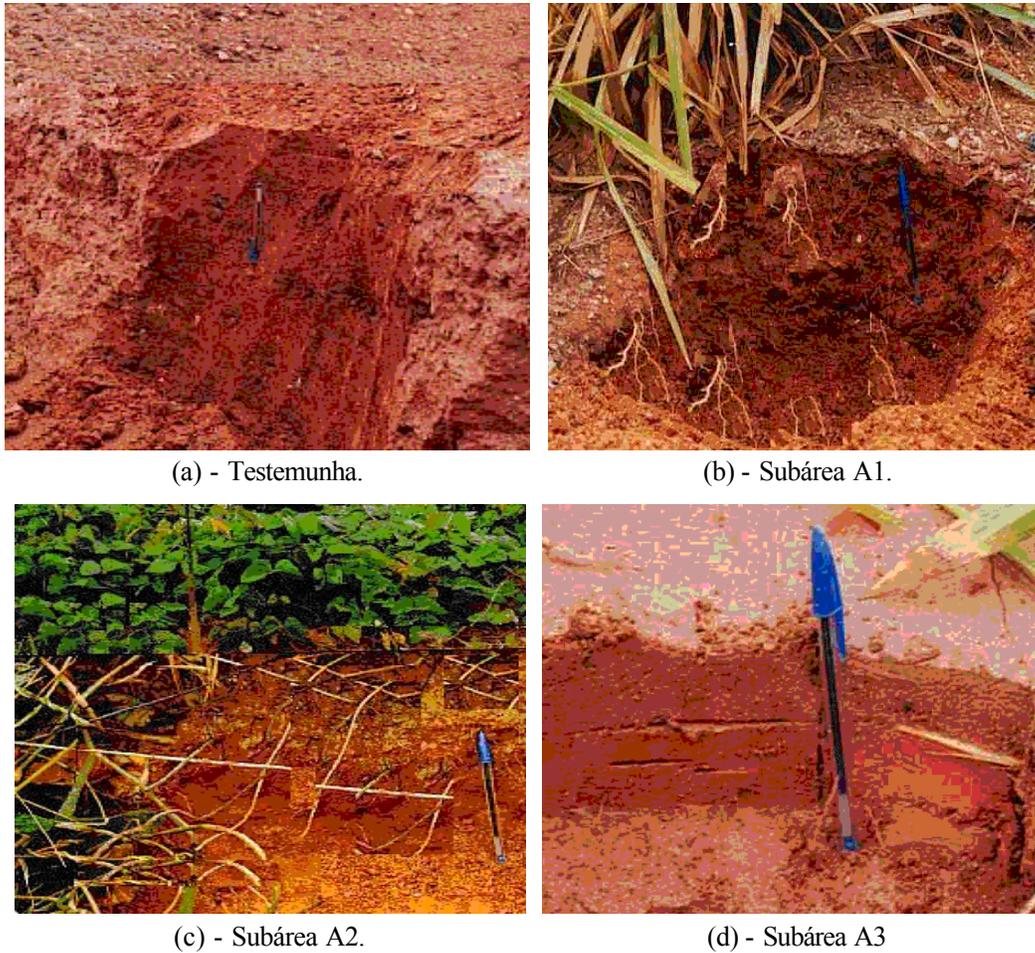


Figura 20 – Aspectos gerais das amostras A1, A2 e A3 em relação à testemunha. Percebem-se os maiores teores de matéria orgânica e a presença de raízes na subárea A1. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.



Figura 21 – Aspecto do local de amostragem da subárea A1-MO, Ubá-MG. Percebe-se a presença de braquiária e de fungos.

A subárea A4 recebeu maior quantidade de resíduo quartzoso (RA). Este material praticamente inerte, associado a uma maior compactação com máquinas, dificultou o estabelecimento da vegetação (Figura 22).



Figura 22 – Aspecto do local de amostragem de solos na subárea A4, Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG. Observa-se o predomínio do material quartzoso.

4.3.2. Características químicas

No Quadro 5 e nas Figuras de 23 a 30 encontram-se os resultados das análises químicas dos resíduos.

Os resíduos arenoso e verde possuem baixos teores de matéria orgânica e valores nulos de alumínio trocável. O pH do resíduo quartzoso é 5,0, e os seus teores de cálcio, magnésio e potássio são baixos. O seu efeito no solo é mais físico do que químico, embora de todas as amostras ela tenha sido a que apresentou os maiores teores de fósforo remanescente, isto é, a sua retenção de fósforo é pequena. Este fato é importante, pois os solos tropicais apresentam alta retenção (fixação) de fósforo. Outro ponto importante é que pode ser um material utilizado tanto na construção civil (areia grossa) quanto no revestimento direto de estradas argilosas. Há expectativa de utilizá-lo na construção de estradas, junto com um cimento hidráulico (RBI-81) produzido pela *Road Building International*, empresa da África do Sul, associada da SIF.

Quadro 5 – Análise química dos resíduos industriais e dos solos amostrados em diferentes profundidades. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG

Amostragem	pH H ₂ O	C	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K	Al ⁺³	H+Al	SB	CTC		V	m	P	P-rem.	Zn	Fe	Mn	Cu	B
									Efetiva	Total									
		dag kg ⁻¹	-----cmol _c dm ⁻³ -----								----	-----mg dm ⁻³ -----							
0-15 cm de profundidade																			
T (horizonte C)	5,0	0,1	0,3	0,1	0,03	1,2	2,1	1,6	2,8	3,8	44	42	4,8	32,1	20,1	96,0	8,2	0,5	0,1
RV	6,3	0,1	16,1	0,6	0,09	0,0	0,8	16,8	16,8	17,6	95	0	23,9	30,0	27,1	270,0	79,1	5,3	0,4
RA	5,0	0,1	1,5	0,1	0,12	0,0	1,0	0,5	1,12	1,5	34	54	1,4	53,6	8,3	64,9	29,7	0,8	0,3
0-2 cm de profundidade																			
A ₁ -MO	7,0	3,6	3,7	1,1	0,47	0,0	0,8	5,3	5,3	6,1	87	0	111,4	52,9	26,2	158,3	93,2	3,8	0,3
A ₁	7,5	0,3	4,6	0,2	0,11	0,0	0,2	4,9	4,9	5,1	96	0	12,0	42,0	26,6	248,9	64,0	1,3	0,2
A ₂	5,0	0,1	0,3	0,1	0,10	0,9	2,0	0,5	1,4	2,5	19	66	6,3	39,4	6,8	69,1	21,9	0,5	0,4
A ₃	4,9	0,1	0,4	0,3	0,04	1,0	2,0	0,7	1,7	2,8	27	57	3,7	36,7	6,3	96,7	18,0	0,8	0,1
A ₄	5,5	1,3	1,5	0,8	0,30	0,1	2,1	2,6	2,7	4,7	55	4	13,4	50,2	14,1	217,8	95,0	1,8	0,3
2-15 cm de profundidade																			
A ₁ -MO	7,2	0,4	1,7	0,5	0,30	0,0	0,7	2,5	2,5	3,2	78	0	16,5	51,2	25,7	124,4	51,2	1,3	0,2
A ₁	7,3	0,3	16,4	0,1	0,03	0,0	0,2	16,5	16,5	16,7	99	0	5,5	41,7	26,9	257,2	74,5	2,8	0,2
A ₂	4,9	0,1	0,1	0,0	0,02	1,1	2,1	0,1	1,2	2,2	5	90	3,8	40,1	0,4	71,1	7,1	0,5	0,4
A ₃	4,9	0,1	0,4	0,3	0,04	1,0	2,0	0,7	1,7	2,7	27	57	3,7	36,7	6,3	96,7	18,0	0,8	0,1
A ₄	5,0	0,1	0,3	0,3	0,10	1,1	1,8	0,7	1,8	2,5	28	61	2,6	47,4	0,9	60,1	25,2	0,8	0,2

A₁-MO – subárea 1, rica em matéria orgânica; A₁ - subárea 1, com menor teor de matéria orgânica; A₂ – subárea 2; A₃ – subárea 3; A₄ – subárea 4; T – testemunha; RV – resíduo verde; RA – resíduo quartzoso; e C – carbono orgânico.

O resíduo verde, apesar de ser originado do horizonte C ou CR do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico ou álico, material altamente intemperizado, apresenta algumas características químicas peculiares oriundas do processo industrial. Tal fato o torna um material potencial para ser utilizado como um corretivo do pH do solo e fonte de cálcio e magnésio. Conforme pode-se observar no Quadro 5, este material apresenta-se com pH igual a 6,3 e com teores de cálcio bastante elevados ($16,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), o que corresponde a 4% de CaCO_3 . Logo, este material pode ser um enriquecedor de cálcio e magnésio, além do ferro, manganês e cobre. Outro ponto positivo são os seus altos teores de retenção de umidade (equivalente umidade).

Os resultados das análises de pH e dos outros elementos (Quadro 5) confirmam, mais uma vez, a semelhança entre A2 e A3 com relação à teste munha.

As subáreas A1 e A1-MO possuem pH 7,0 e 7,5, o que se deve à influência da calagem e das adubações químicas e orgânicas.

A subárea A1-MO está inserida na subárea A1, porém, devido ao maior teor de matéria orgânica em A1-MO, esta se apresentou bastante diferenciada da outra. Tais diferenças evidenciam-se nas camadas orgânicas à superfície dos solos (Figuras 22b e 23). Na amostra de 0-2 cm de profundidade em A1-MO, encontram-se os maiores teores de cálcio, magnésio (Figura 24) e potássio (Figura 25), assim como matéria orgânica e fósforo (Figura 26). Na camada de 2-15 cm, neste mesmo local, o alumínio trocável continuou inalterado, porém os teores dos outros elementos foram inferiores.

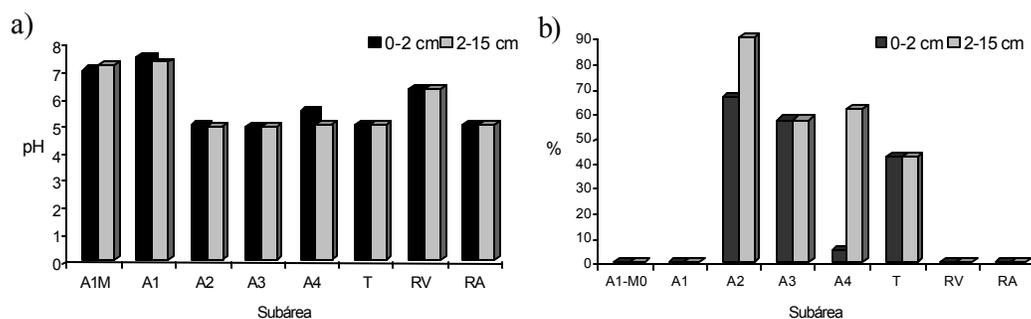


Figura 23 – Valor do pH (a) e teores de alumínio trocáveis (b) dos resíduos industriais e dos solos. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

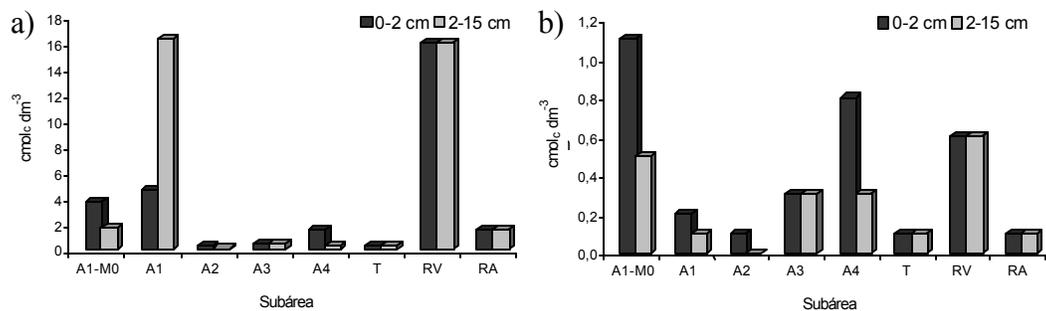


Figura 24 – Teor de cálcio (a) e magnésio (b) dos resíduos industriais e nos solos. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

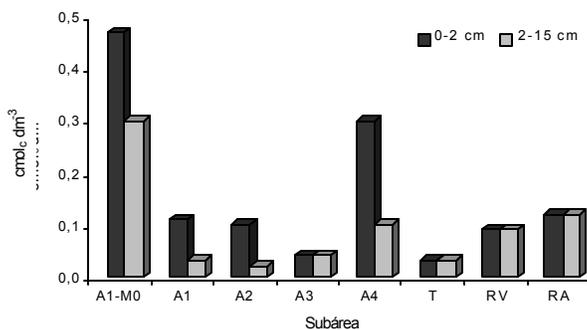


Figura 25 – Teor de potássio encontrado nos resíduos industriais e nos solos. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

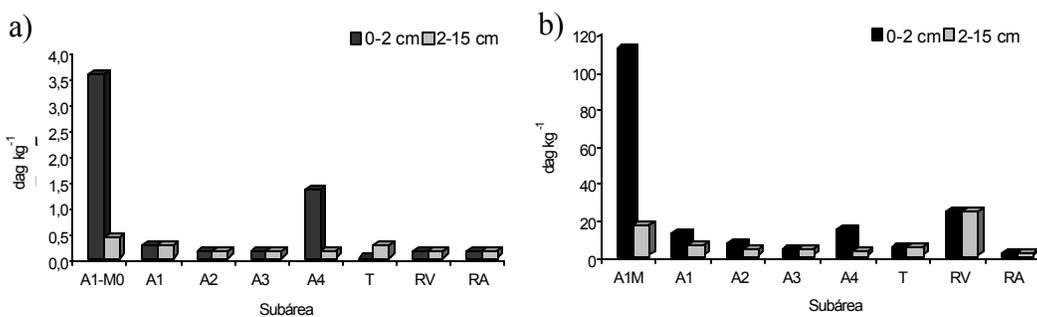


Figura 26 – Teor de carbono orgânico (a) e de fósforo (b) encontrados nos solos e nos resíduos industriais. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

As análises indicaram que o fósforo remanescente foi baixo para todas as amostras, o que demonstra o potencial positivo destes materiais para respostas às adubações com este elemento (Figura 27) (RIBEIRO et al., 1999).

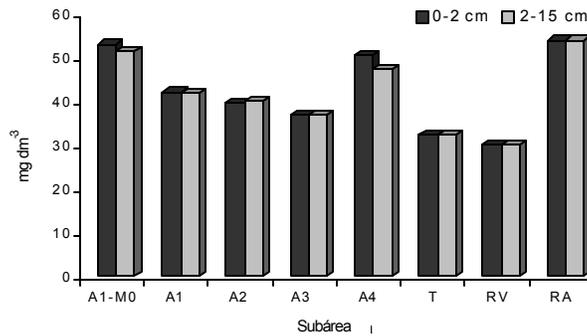


Figura 27 – Fósforo remanescente encontrado nos solos e nos resíduos industriais. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

Quanto aos elementos químicos zinco, ferro e manganês (Figura 28 e 29), a maioria das amostras apresentou-se com teores bastante elevados. Entretanto, as subáreas A2 e A4, nas camadas de 2-15 cm, apresentaram teores bastante reduzidos (EMBRAPA, 1999).

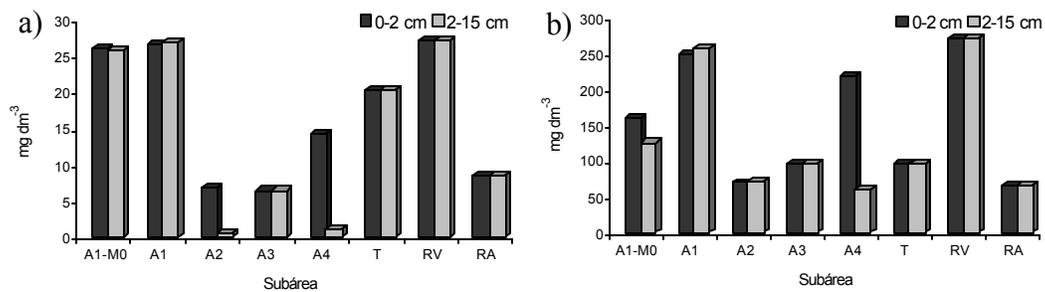


Figura 28 – Teores de zinco (a) e ferro (b) encontrados nos solos e nos resíduos industriais. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

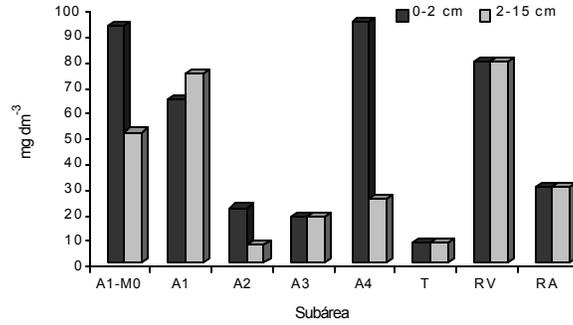


Figura 29 – Teores de manganês encontrados nos solos e nos resíduos industriais. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

De acordo com EMBRAPA (1999), os teores de cobre e boro foram relativamente baixos para todas as amostras analisadas (Figura 30).

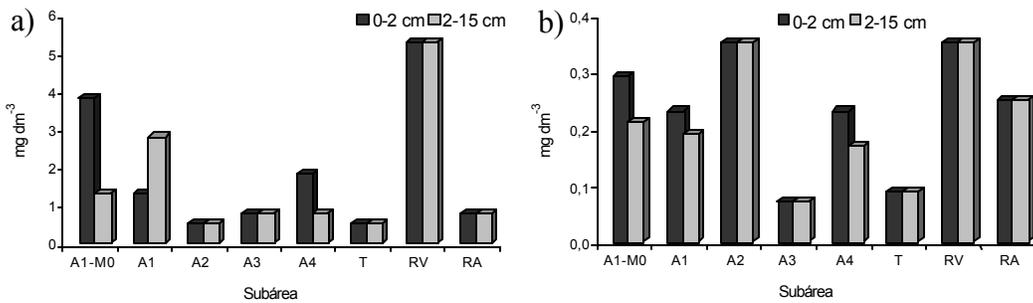


Figura 30 – Teores de cobre (a) e boro (b) encontrados nos solos e nos resíduos industriais. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

Na subárea A4, observou-se a presença de grande quantidade de materiais de quartzo (Figura 22). O teor de matéria orgânica na camada de 2-15 cm igualou-se ao de A2, A3 e ao da testemunha e apresentou os maiores teores de alumínio trocável. Segundo EMBRAPA (1999), os teores de alumínio, assim como o de ferro e manganês, foram considerados muito altos, devendo-se ressaltar que os valores encontrados à superfície dos solos são significativamente maiores que na profundidade de 2-15 cm. Tal fato demonstra que, por causa da compactação da camada de 2-15 cm, estes elementos não estão sendo lixiviados; outra hipótese é que a textura mais grosseira reteria menos ferro e manganês.

Assim, pode-se inferir que tais condições foram responsáveis pelo não-desenvolvimento das espécies arbóreas presentes naquela área.

4.3.3. Características mineralógicas

Os difratogramas de raios X (Figura 31) demonstram uma mineralogia uniforme e de solos altamente intemperizados, o que era de se esperar, pois predominam na parte superior desta região os Latossolos e, em menor área, os Cambissolos Latossólicos. A testemunha, material do horizonte C, róseo (2,5 YR 4/6), apresenta o predomínio de caulinita, de tamanho grande, pigmentado por goethita e hematita, embora esta não tenha sido identificada pelos raios X. Esta cor é uma mistura de goethita + hematita em um fundo esbranquiçado (caulinita), que também indica pequenas quantidades de ferro, o que demonstra que este solo é proveniente de gnaíse leucocrático.

O intenso intemperismo a que foram submetidos esses solos é comprovado também pela presença da gibbsita, que foi identificada em todas as amostras. Embora haja a presença de mica (argila 2:1), esta foi a muscovita, altamente resistente ao intemperismo.

A mica foi identificada em todas as amostras, à exceção do resíduo verde. Este resíduo, material caulínico, é extraído diretamente dos bolsões de feldspato intemperizado, constituinte do gnaíse. A mica é proveniente das bandas escuras do gnaíse, material descartado como resíduo. Normalmente, nestas bandas há a formação mais intensa de argilas ferruginosas (hematita e goethita), que dificultam o processo de branqueamento da caulinita, isto é, elas a pigmentam.

Embora a gibbsita esteja presente e seja um agente agregante do solo, o que proporcionaria uma estrutura granular, esta não ocorreu no horizonte C. Este se apresentou friável, com estrutura não evidente e com alta erodibilidade. Isto é perceptível quando o solo está exposto pela presença de erosão em sulcos e solapamento dos barrancos e em processo evolutivo, até voçorocas.

Esse material carregado pela água (erosão) pode assorear as várzeas, as nascentes e os leitos de rios a juzante.

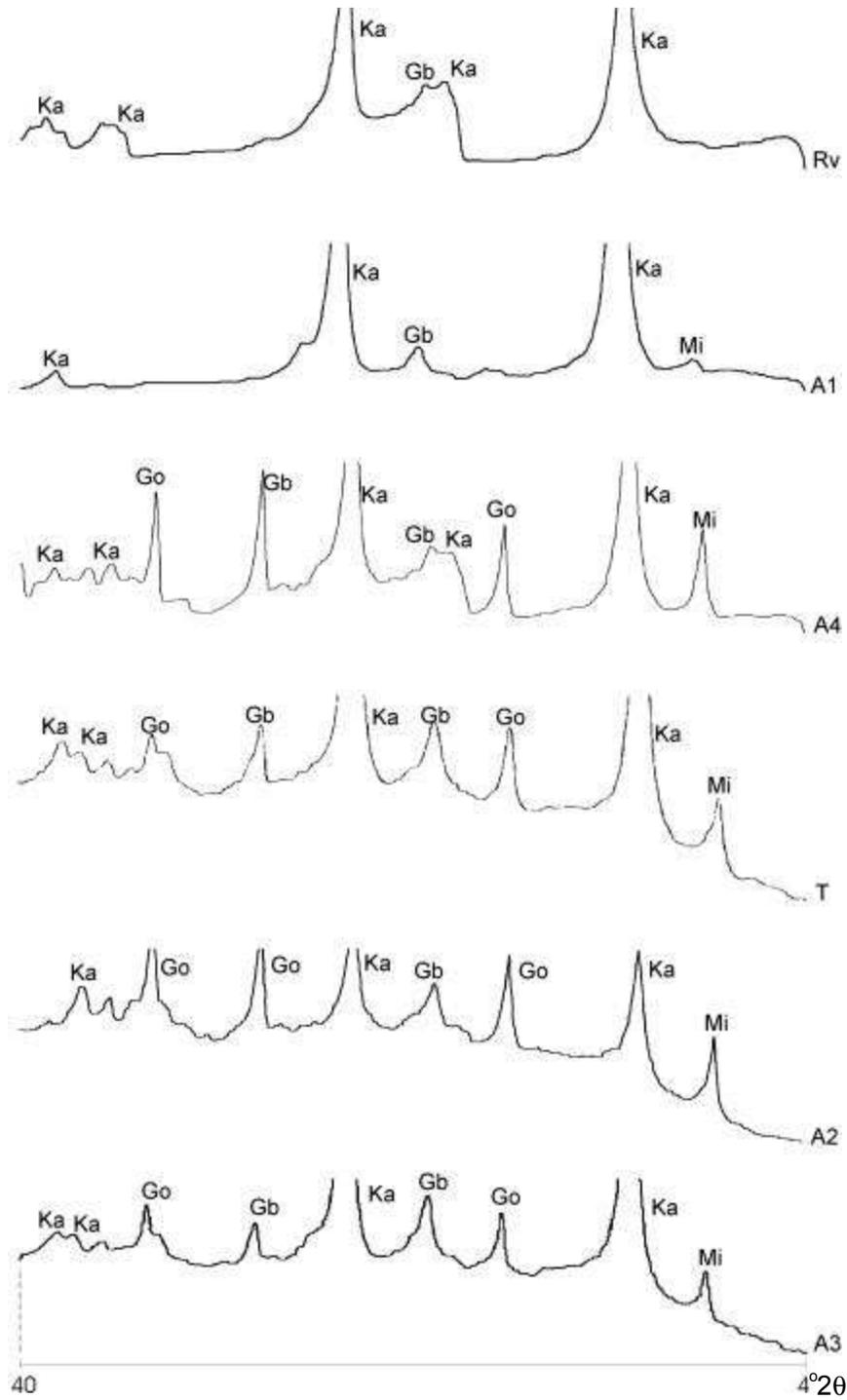


Figura 31 – Difratoograma de raios X (lâminas orientadas) da fração argila das amostras. RV (resíduo verde), T (testemunha) e subáreas: A1, A2, A3 e A4. Ka-caulinita, Go-goethita, Gb-gibsite e Mi-muscovita. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

A caulinita, um silicato de alumínio ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$), ao se intemperizar libera o alumínio, daí verifica-se que as subáreas A2, A3 e A4 apresentaram solos álicos (saturação de alumínio superior a 50%) (EMBRAPA, 1999). As demais amostras apresentaram baixos teores (zero). Qual seria a causa? Como a mineralogia predominante é a caulinitica, somente uma interferência externa, via incorporação de CaCO_3 , utilizada no processo industrial ou pela calagem ou adubação adotada como prática agrícola, poderia causar este efeito.

Tal questionamento abre espaço para pesquisas mais aprofundadas a respeito, por exemplo, do resíduo verde. Neste, percebem-se altos teores de cálcio, pH elevado e, também, elevados teores de P (Quadro 3), se comparados com os demais. Logo, se não houver problemas com metais pesados e dependendo da dinâmica dos mesmos, este resíduo poderia ser incorporado ao solo para atuar como um “melhorador de solos”, aumentando os teores de cálcio e fósforo e, também, resultando em menor retenção de fósforo (Figura 27).

Observou-se grande similaridade entre as amostras dos solos e as do resíduo verde, sendo a composição mineralógica da subárea A1 a que mais se assemelhou a ele.

As composições mineralógicas de A2, A3, A4 e T (testemunha) foram bastante semelhantes entre si. Embora os resultados das análises do teor de potássio nos solos tenham sido considerados muito baixos, observou-se que na composição mineralógica estes materiais possuíam micas (muscovita), que em sua constituição química $[(\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2)]$ possui potássio. Este fato se deve à resistência ao intemperismo deste material².

Observou-se que a mineralogia da subárea A1 e a do RV (resíduo verde) foram bastante semelhantes, pois durante muitos anos esta subárea foi depósito de resíduo verde, o que justifica tal fato. Nestas amostras praticamente não existem os minerais do tipo 2:1, apenas reflexos muito discretos encontrados na amostra A1.

² LANI, J.L. – Comunicação pessoal (2001). Professor do Dep. de Solos da Universidade Federal de Viçosa, 36570-000 Viçosa-MG, <lani@solos.ufv.br>.

A goethita (reflexão média 0,250 nm) parece ser a forma dominante de óxido de ferro e está em menores proporções nas subáreas A2, A3 A4, semelhantes a T (testemunha).

4.3.4. Matéria orgânica e atividade biológica

Os teores de matéria orgânica encontrados nas amostras foram todos considerados muito baixos, com exceção da subárea A1-MO (EMBRAPA, 1999), pois, por estar próxima ao depósito de esterco, a matéria orgânica encontrava-se mais evidente à superfície destes solos, contribuindo para a formação de uma camada orgânica maior que a das outras subáreas. Porém, todas as subáreas (A1-MO, A1, A2 A3 e A4) apresentaram maiores teores de matéria orgânica e atividade biológica, quando comparadas à testemunha (Figuras 32a,b).

A atividade biológica é um bom método indicativo de que a vida já está presente novamente na superfície daqueles solos e de que estes se encontram em processo de recuperação. Contudo, os resultados obtidos encontraram-se bem abaixo dos valores normais (COSTA, 1995). A umidade do solo, o enraizamento das plantas, a matéria orgânica e alguns nutrientes como o fósforo e o potássio são de fundamental importância para que haja o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, uma atividade biológica considerada adequada.

A subárea A2 (Figura 32a), onde houve domínio do capim-gordura (*Melinis minutiflora*), foi a que apresentou maior evolução de CO₂, embora os resultados das análises demonstrem que esta área era bastante pobre em matéria orgânica nas duas profundidades analisadas (Figura 34b). Nesta mesma área, verificou-se que nos locais onde havia mucuna-preta a atividade biológica foi bem menor que as com o capim-gordura. Tal fato demonstra que as características da vegetação influenciam a atividade biológica dos solos, principalmente as características de enraizamento (COLEMAN, 1989).

Na subárea A1, a amostragem foi realizada sob mucuna-preta (*Mucuna* sp.) e braquiária (*Brachiaria decumbens*). Em relação à subárea A2, notou-se que sob a mucuna-preta a atividade biológica foi quase 100% menor e que sob a braquiária, mesmo em presença de maior teor de matéria orgânica, não foi tão bem-sucedida quanto o capim-gordura.

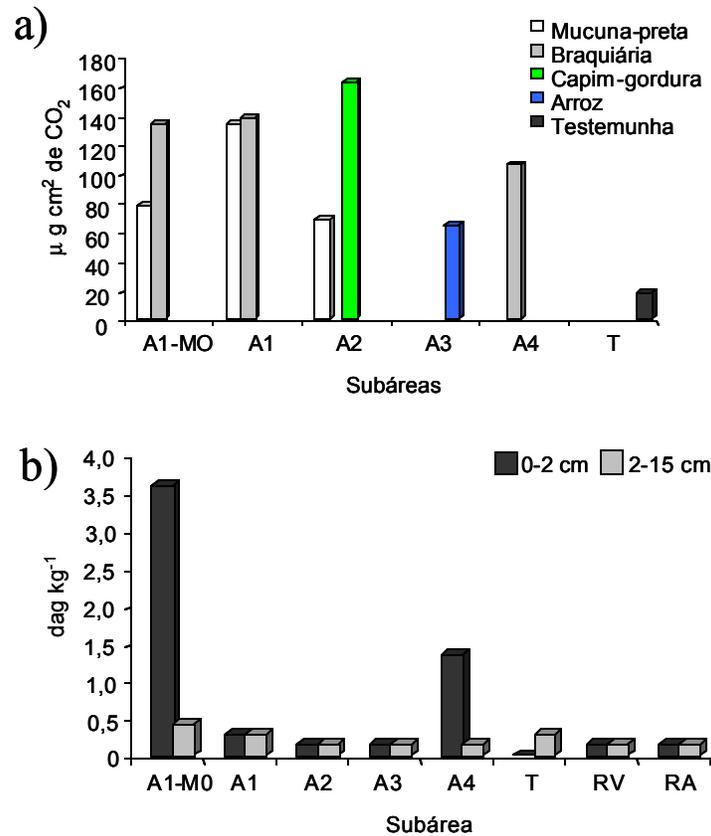


Figura 32 – Atividade biológica (a) em função das diferentes espécies e (b) teor de matéria orgânica encontrada nas subáreas. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

Na subárea A1-MO, foi observado o maior teor de matéria orgânica à superfície (Figura 32b). Comparando A1-MO com A1, em relação à atividade biológica, notou-se que sob as plantas de braquiária (*Brachiaria decumbens*) não houve diferença significativa e que sob a mucuna-preta o resultado foi 50% menor. Este fato, mais uma vez, demonstrou que o tipo de enraizamento influencia significativamente estes resultados.

A subárea A3 possui limitações devido a suas condições de encharcamento. No entanto, notou-se que a cultura de arroz (*Oriza sativa*) e a de braquiária-do-brejo (*Brachiaria arrecta*), mesmo em presença de um teor de matéria orgânica próximo de zero (Figura 32b), favoreceram a atividade biológica (Figura 32a).

Na subárea A4, observou-se o segundo maior teor de matéria orgânica na camada de 0 a 2 cm de profundidade. Apesar de as plantas terem se apresentado pouco desenvolvidas, houve boa atividade biológica e um nível intermediário entre a braquiária e a mucuna da subárea A1 -MO, sendo este maior que na subárea A3.

4.4. Elementos químicos na vegetação

Na análise foliar da vegetação (Quadro 6) avaliou-se o teor nutricional e a contaminação por metais pesados.

O manganês (Figura 33) foi bastante absorvido pelas plantas, tendo atingido níveis tóxicos para a maioria das espécies (EMBRAPA, 1999), o que pode ter influenciado a menor absorção de ferro, cálcio, magnésio e potássio. Mesmo nas subáreas mais ricas em cálcio e ferro (Figura 34), os resultados demonstraram que os níveis de absorção foliar desses elementos foram muito baixos. As altas concentrações de cálcio no solo podem também ter inibido a absorção do magnésio. Os níveis de absorção de toxidez de ferro variam de acordo com a sensibilidade da espécie analisada.

Os teores de zinco (Figura 35) encontrados na maioria das amostras foliares foram considerados tóxicos, sendo estes prejudiciais à maioria das plantas. Esperava-se que o pH próximo à neutralidade, encontrado nos solos, diminuísse a absorção deste elemento, mas isto não ocorreu devido à presença deste elemento em altas concentrações.

As análises químicas dos solos apresentaram baixos teores de fósforo e potássio, com exceção da subárea A1-MO (Quadro 5). A mineralogia destes solos também apresentou escassez de minerais capazes de fornecer estes elementos, o que se refletiu na análise química das folhas da maioria das espécies analisadas, portanto os baixos teores de potássio já eram esperados.

Os solos, que em sua maioria apresentou altos teores de areia, pouca argila, baixos teores de matéria orgânica e pH mais elevado, podem ter sido os responsáveis pelos baixos teores de cobre (Figura 36) e boro (Figura 37) encontrados nas folhas das espécies analisadas.

Quadro 6 – Teores de alguns elementos encontrados nas folhas das espécies vegetais, nas diferentes áreas da Minas do Quebra Côco, Ubá-MG

Nome científico	Nome vulgar	Macronutrientes						Micronutrientes						
		N	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K	P	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Pb	Cd
		-----dag kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----						
subárea A₁ e A₁-MO														
<i>Pennisetum purpureum</i>	Napier	1,07	0,43	0,15	2,01	0,11	0,06	144,5	81,9	270,1	11,2	6,5	0,00	0,18
<i>Panicum maximum</i>	Colonião	0,91	0,26	0,12	1,26	0,10	0,06	77,6	52,7	280,9	9,4	4,5	00,0	0,20
<i>Brachiaria decumbens</i>	Braquiária	0,75	0,32	0,20	1,55	0,13	0,08	335,0	155,1	252,7	4,9	4,6	0,00	0,15
<i>Saccharum officinarum</i>	Cana-de-açúcar	0,93	0,43	0,11	1,06	0,11	0,12	62,2	61,2	236,9	5,3	6,4	0,00	0,15
<i>Mucuna sp.</i>	Mucuna-preta	3,26	0,86	0,21	1,03	0,17	0,13	231,5	447,8	278,0	18,4	14,7	0,00	0,20
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	1,30	0,62	0,19	0,57	0,09	0,06	60,2	48,0	1182,0	7,9	9,5	0,00	0,15
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga	1,72	0,73	0,12	0,61	0,12	0,22	282,5	196,1	460,0	4,3	13,0	0,00	0,13
subárea A₂														
<i>Pennisetum purpureum</i>	Napier	2,28	0,45	0,21	2,23	0,21	0,09	192,5	82,2	354,1	21,3	8,0	0,00	0,05
<i>Melinis minutiflora</i>	Capim-gordura	1,09	0,22	0,23	1,20	0,15	0,06	65,7	168,3	333,2	9,8	6,9	0,00	0,00
<i>Brachiaria decumbens</i>	Braquiária	3,59	0,68	0,21	0,93	0,22	0,14	88,3	430,8	298,4	24,0	14,9	0,00	0,00
<i>Saccharum officinarum</i>	Cana-de-açúcar	1,14	0,33	0,11	1,06	0,13	0,07	26,8	72,4	192,0	9,1	6,9	0,00	0,00
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	2,14	1,45	0,22	0,51	0,12	0,09	27,8	60,5	1970,0	11,4	22,7	0,00	0,28
<i>Acacia mangium</i>	Acácia	2,80	0,45	0,17	0,99	0,16	0,30	63,0	99,3	323,2	22,0	14,2	0,00	0,15
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Jacaré	2,73	1,20	0,25	0,36	0,10	0,13	31,8	118,4	813,0	11,1	28,6	0,00	0,20
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga	1,79	1,13	0,18	0,45	0,16	0,36	36,4	314,5	693,5	11,4	18,5	0,00	0,20
<i>Mabea fistyfera</i>	Canudo-de-pito	1,87	0,33	0,14	0,49	0,12	0,09	23,8	70,5	301,8	14,1	10,3	0,00	0,08
subárea A₃														
<i>Pennisetum purpureum</i>	Napier	1,12	0,25	0,18	2,08	0,17	0,06	73,1	209,6	421,5	15,2	7,8	0,00	0,00
<i>Brachiaria arrecta</i>	Braquiária do brejo	1,23	0,17	0,16	2,31	0,19	0,11	92,8	2336,0	483,3	17,5	16,8	0,00	0,00
<i>Oriza sativa</i>	Arroz	1,10	0,24	0,11	0,87	0,19	0,15	149,5	78,5	1.168,5	15,2	7,1	0,00	0,00
subárea A₄														
<i>Pennisetum purpureum</i>	Napier	0,82	0,25	0,17	2,08	0,16	0,05	41,9	128,4	332,2	11,0	6,5	0,00	0,00
<i>Brachiaria decumbens</i>	Braquiária	0,81	0,47	0,22	1,47	0,16	0,07	37,5	239,4	367,3	8,7	7,5	0,00	0,00
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	0,63	0,83	0,30	0,79	0,22	0,08	79,7	423,3	1.699,5	27,3	26,9	0,00	0,00

A₁-MO – subárea 1, rica em matéria orgânica; A₁ - subárea A₁, com menor teor de matéria orgânica; A₂ – subárea A₂; A₃ – subárea A₃; A₄ – subárea A₄.

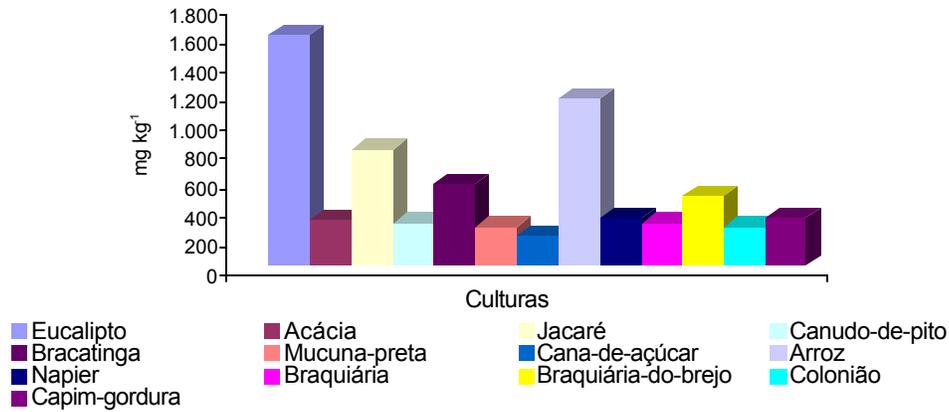


Figura 33 – Teor de manganês encontrado nas folhas das plantas analisadas. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

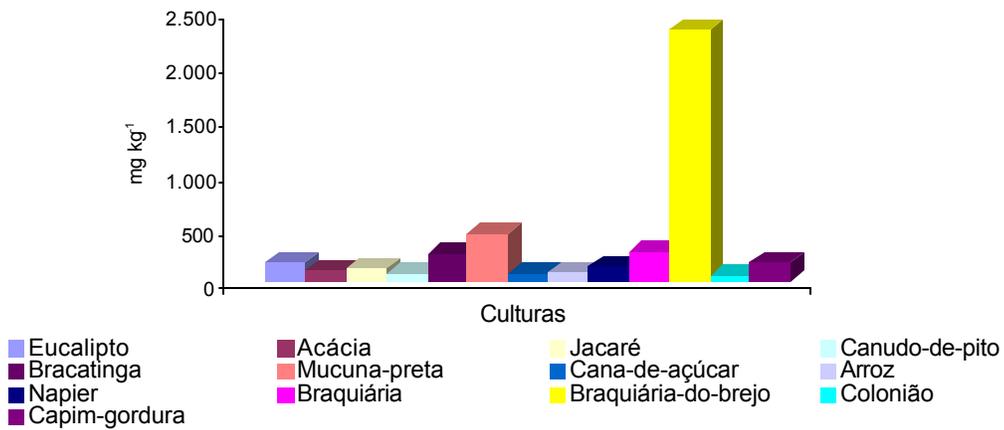


Figura 34 – Teor de ferro encontrado nas folhas das plantas analisadas. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

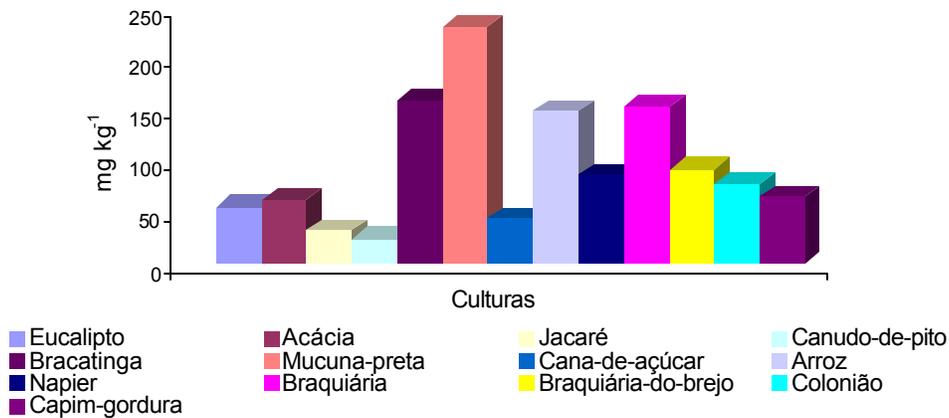


Figura 35 – Teor de zinco encontrado nas folhas das plantas analisadas. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

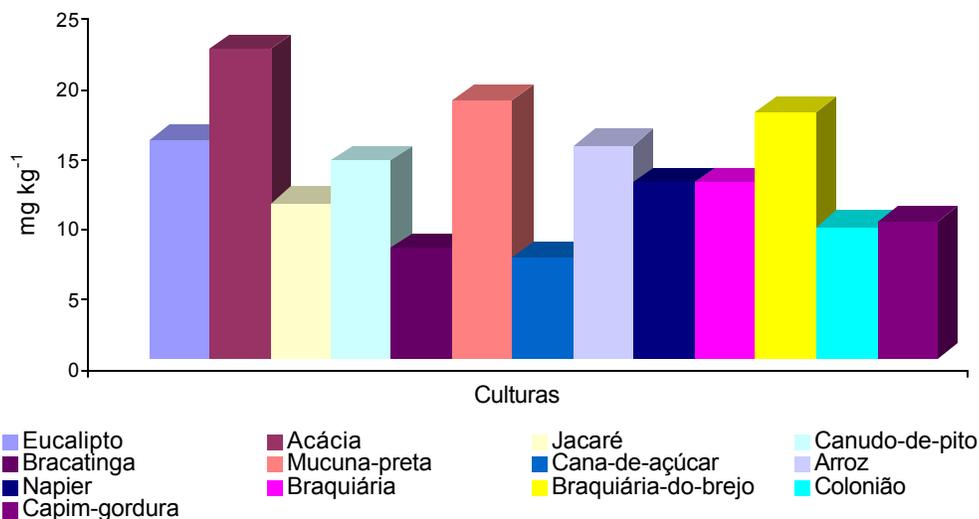


Figura 36– Teor de cobre encontrado nas folhas das plantas analisadas. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

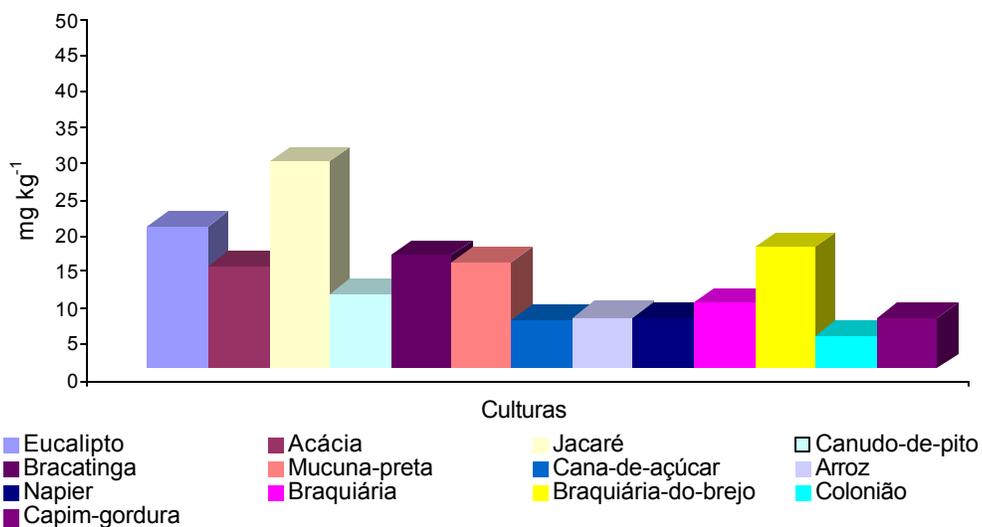


Figura 37– Teor de boro encontrado nas folhas das plantas analisadas. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

O chumbo não foi encontrado nas amostras.

Pelos resultados, observa-se que as leguminosas foram as que mais absorveram o elemento químico cádmio (Figura 38), porém os níveis encontrados não foram considerados tóxicos para as plantas.

A partir dos Quadros 6 e 7 foram feitos os gráficos de absorção foliar de macro e micronutrientes para cada espécie analisada (Figuras de 39 a 50).

Quadro 7 – Resultados das análises foliares de alguns elementos encontrados nas folhas dos vegetais amostrados. Mina do Quebra Côco, Ubá-MG

Nome científico	Nome vulgar	Área	Macronutrientes						Micronutrientes						
			N	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K	P	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Pb	Cd
			dag kg ⁻¹						mg kg ⁻¹						
Espécies arbóreas/arbustivas															
<i>Eucalyptus grandis</i>	Eucalipto	A ₁	1,30	0,62	0,19	0,57	0,09	0,06	60,2	48,0	1182,0	7,9	9,5	0,00	0,15
		A ₂	2,14	1,45	0,22	0,51	0,12	0,09	27,8	60,5	1970,0	11,4	22,7	0,00	0,28
		A ₄	0,63	0,83	0,30	0,79	0,22	0,08	79,7	423,3	1699,5	27,3	26,9	0,00	0,00
<i>Acacia mangium</i>	Acácia	A ₂	2,80	0,45	0,17	0,99	0,16	0,30	63,0	99,3	323,2	22,0	14,2	0,00	0,15
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Jacaré	A ₂	2,73	1,20	0,25	0,36	0,10	0,13	31,8	118,4	813,0	11,1	28,6	0,00	0,20
<i>Mabea fistulifera</i>	Canudo-de-pito	A ₂	1,87	0,33	0,14	0,49	0,12	0,09	23,8	70,5	301,8	14,1	10,3	0,00	0,08
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga	A ₁	1,72	0,73	0,12	0,61	0,12	0,22	282,5	196,1	460,0	4,3	13,0	0,00	0,13
		A ₂	1,79	1,13	0,18	0,45	0,16	0,36	36,4	314,5	693,5	11,4	18,5	0,00	0,20
Leguminosa															
<i>Stizolobium aterrimum</i>	Mucuna preta	A ₁	3,26	0,86	0,21	1,03	0,17	0,13	231,5	447,8	278,0	18,4	14,7	0,00	0,20
Gramíneas comestíveis															
<i>Saccharum officinarum</i>	Cana-de-açúcar	A ₁	0,93	0,43	0,11	1,06	0,11	0,12	62,2	61,2	236,9	5,3	6,4	0,00	0,15
		A ₂	1,14	0,33	0,11	1,06	0,13	0,07	26,8	72,4	192,0	9,1	6,9	0,00	0,00
<i>Oriza sativa</i>	Arroz	A ₃	1,10	0,24	0,11	0,87	0,19	0,15	149,5	78,5	1168,5	15,2	7,1	0,00	0,00
Gramíneas para pastagens															
<i>Pennisetum purpureum</i>	Napier	A ₁	1,07	0,43	0,15	2,01	0,11	0,06	144,5	81,9	270,1	11,2	6,5	0,00	0,18
		A ₂	2,28	0,45	0,21	2,23	0,21	0,09	192,5	82,2	354,1	21,3	8,0	0,00	0,05
		A ₃	1,12	0,25	0,18	2,08	0,17	0,06	73,1	209,6	421,5	15,2	7,8	0,00	0,00
		A ₄	0,82	0,25	0,17	2,08	0,16	0,05	41,9	128,4	332,2	11,0	6,5	0,00	0,00
<i>Brachiaria decumbens</i>	Braquiária	A ₁	0,75	0,32	0,20	1,55	0,13	0,08	335,0	155,1	252,7	4,9	4,6	0,00	0,15
		A ₂	3,59	0,68	0,21	0,93	0,22	0,14	88,3	430,8	298,4	24,0	14,9	0,00	0,00
		A ₄	0,81	0,47	0,22	1,47	0,16	0,07	37,5	239,4	367,3	8,7	7,5	0,00	0,00
<i>Brachiaria arrecta</i>	Braquiária-do-brejo	A ₃	1,23	0,17	0,16	2,31	0,19	0,11	92,8	2336,0	483,3	17,5	16,8	0,00	0,00
<i>Panicum maximum</i>	Colonião	A ₁	0,91	0,26	0,12	1,26	0,10	0,06	77,6	52,7	280,9	9,4	4,5	0,00	0,20
<i>Melinis minutiflora</i>	Capim-gordura	A ₂	1,09	0,22	0,23	1,20	0,15	0,06	65,7	168,3	333,2	9,8	6,9	0,00	0,00

A₁-MO – subárea 1, rica em matéria orgânica; A₁ - subárea A₁, com menor teor de matéria orgânica; A₂ – subárea A₂; A₃ – subárea A₃; A₄ – subárea A₄.

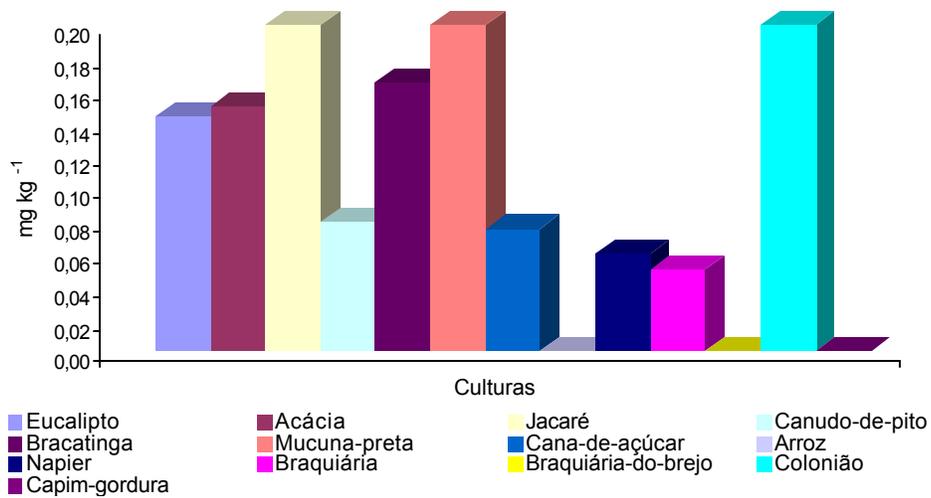


Figura 38 – Teor de cádmio encontrado nas folhas das plantas analisadas. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

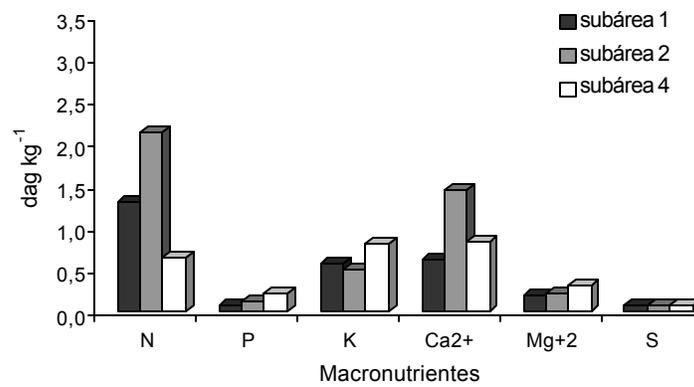


Figura 39 – Resultados das análises foliares dos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, encontrados nas folhas de *Eucalyptus grandis*. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

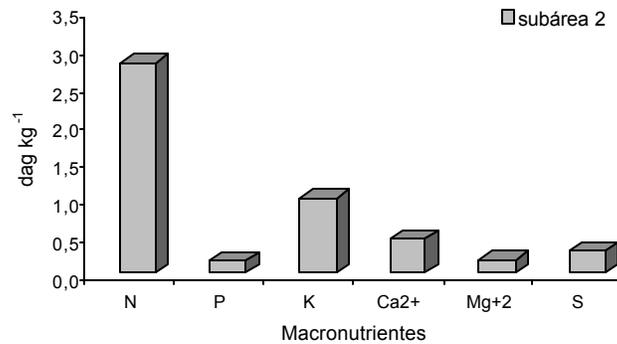


Figura 40 – Resultados das análises foliares dos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, encontrados nas folhas de *Acacia mangium*. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

kg

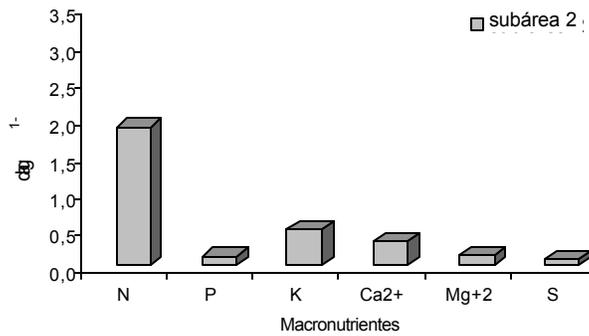


Figura 41 – Resultados das análises foliares dos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, encontrados nas folhas de *Mabea fistulifera*. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

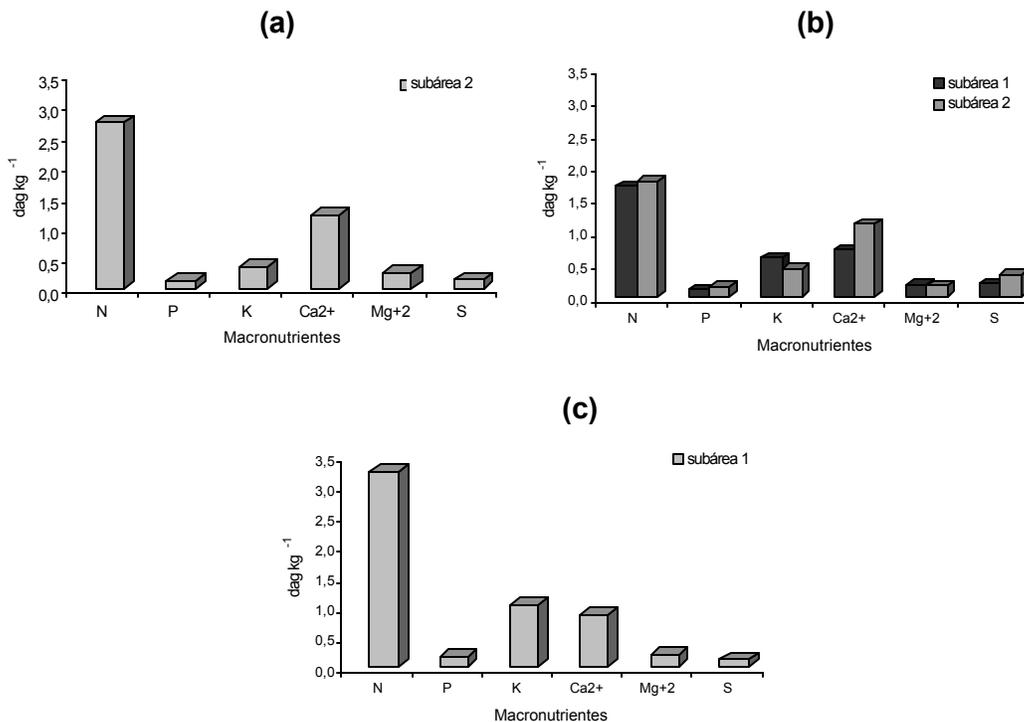


Figura 42 – Resultados das análises foliares dos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, encontrados nas folhas de *Piptadenia gonoacantha*, *Mimosa flocculosa* (b) e *Mucuna* sp. (c). Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

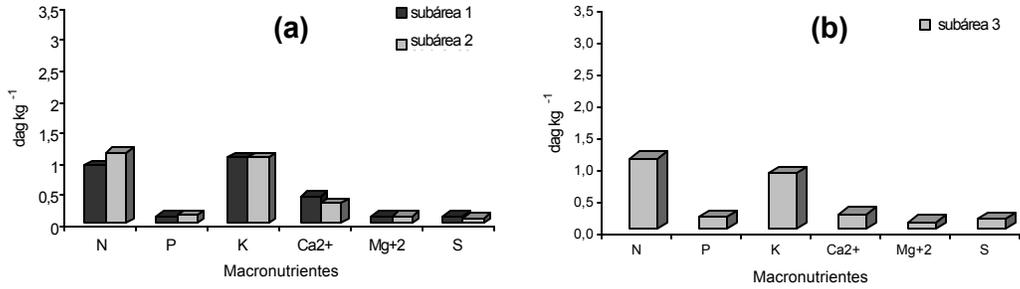


Figura 43 – Resultados das análises foliares dos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, encontrados nas folhas de *Saccharum officinarum* (a) e *Oriza sativa* (b). Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

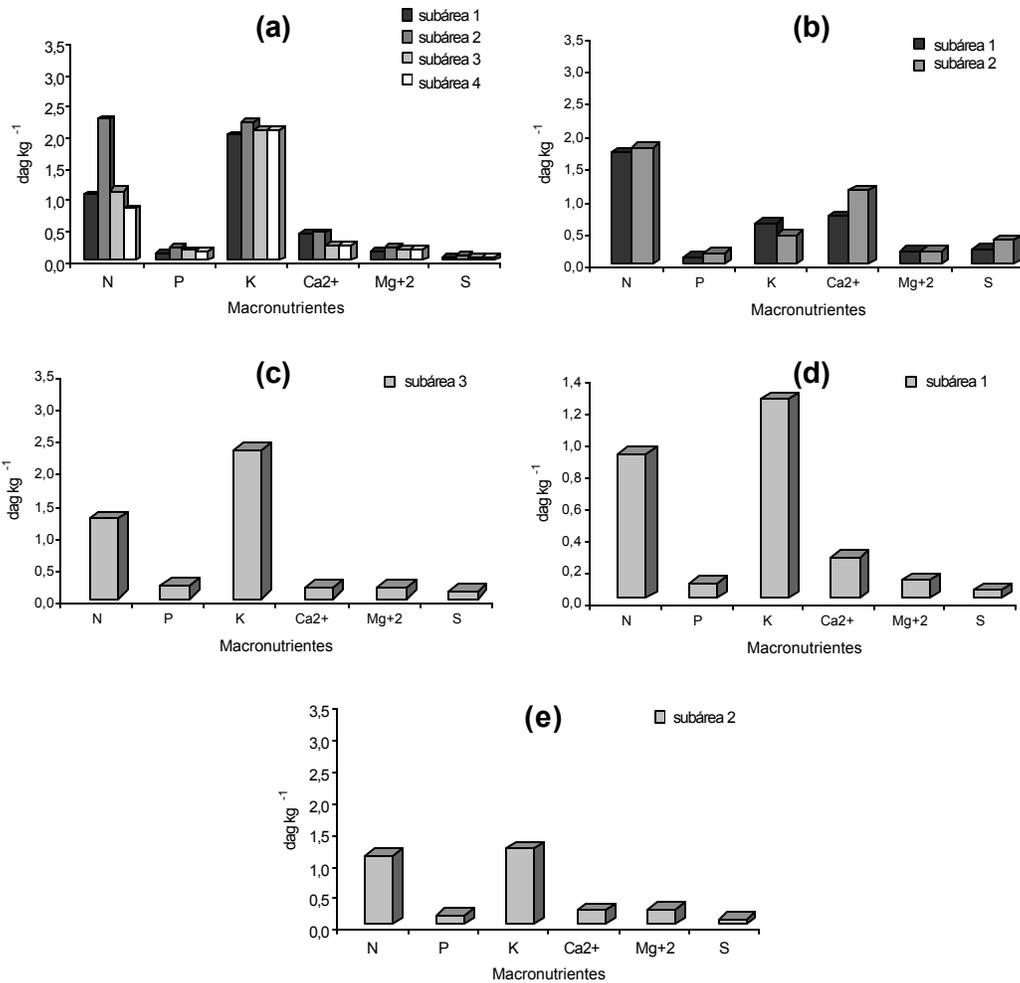


Figura 44 – Resultados das análises foliares dos elementos nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, encontrados nas folhas de *Pennisetum purpureum* (a), *Brachiaria decumbens* (b), *Brachiaria arrecta* (c), *Panicum maximum* (d) e *Melinis minutiflora* (e). Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

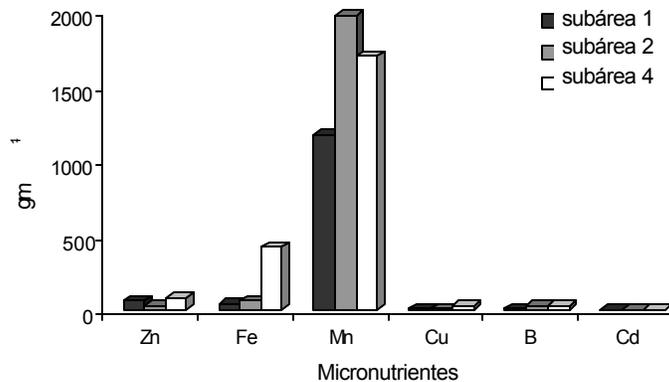


Figura 45 – Resultados das análises foliares dos elementos ferro manganês, cobre boro e cádmio, encontrados nas folhas de *Eucalyptus grandis*. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

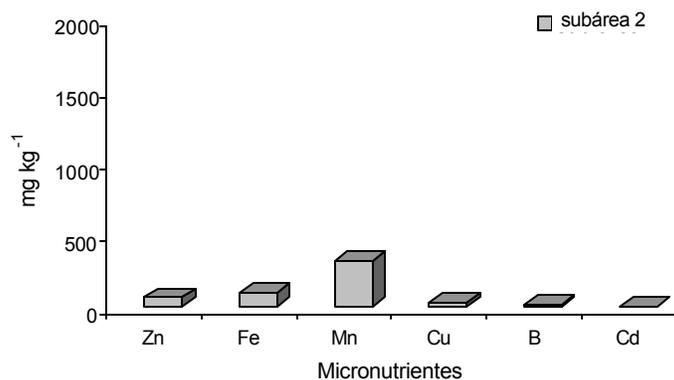


Figura 46 – Resultados das análises foliares dos elementos zinco, ferro manganês, cobre boro e cádmio, encontrados nas folhas de *Acacia mangium*. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

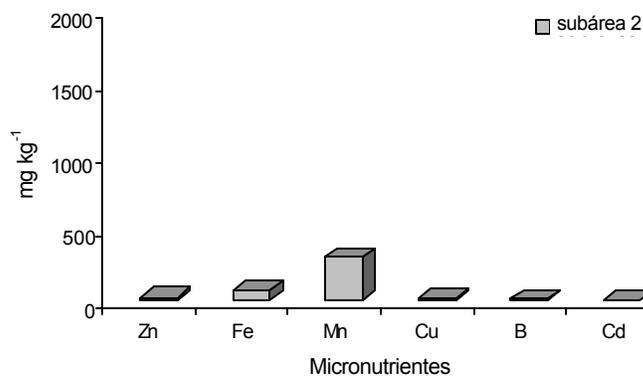


Figura 47 – Resultados das análises foliares dos elementos zinco, ferro manganês, cobre boro e cádmio, encontrados nas folhas de *Mabea fistulifera*. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

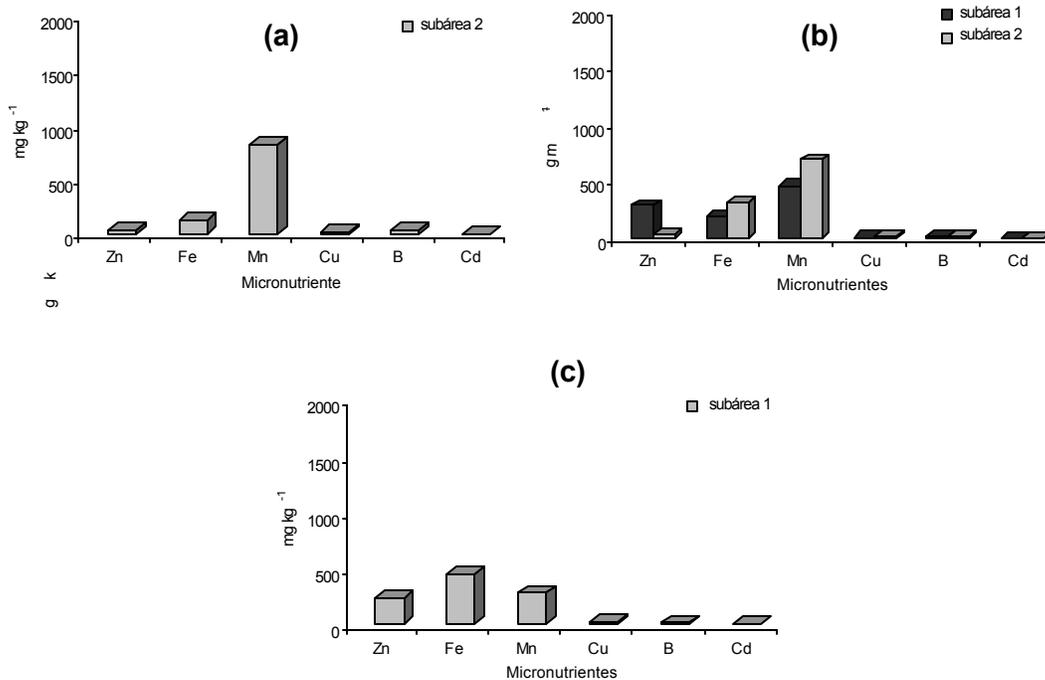


Figura 48 – Resultados das análises foliares dos elementos zinco, ferro manganês, cobre boro e cádmio, encontrados nas folhas de *Piptadenia gonoacantha*. (a), *Mimosa flocculosa*. (b) e *Mucuna* sp. (c). Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

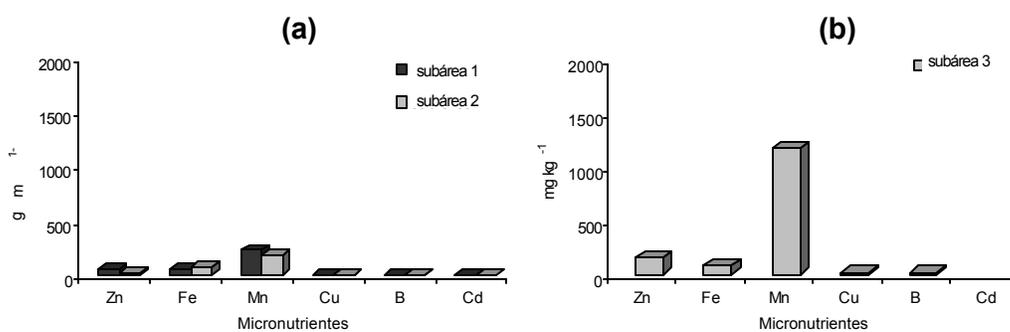


Figura 49 – Resultados das análises foliares dos elementos zinco, ferro manganês, cobre boro e cádmio enxofre, encontrados nas folhas de *Saccharum officinarum* (a) e *Oriza sativa* (b). Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

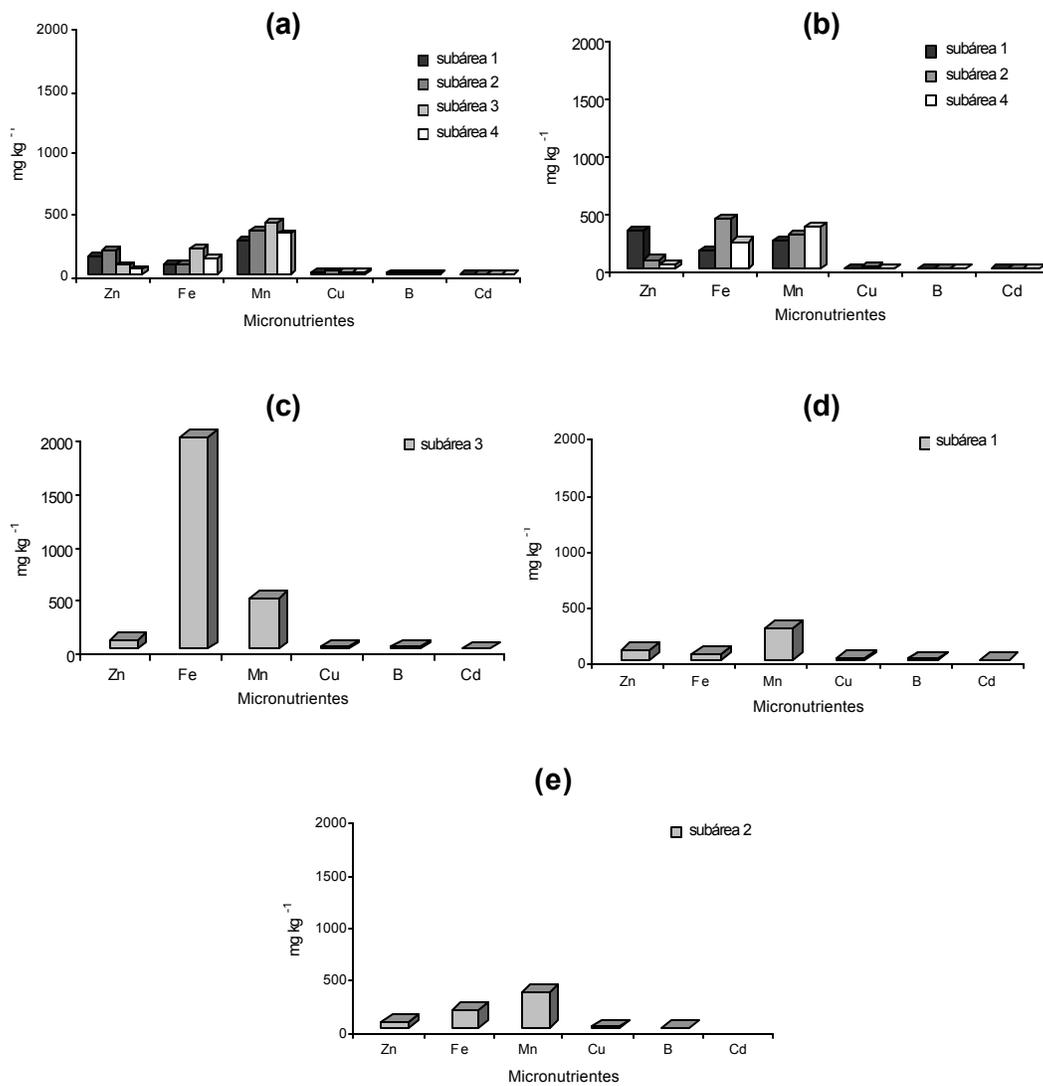


Figura 50 – Resultados das análises foliares dos elementos zinco, ferro, manganês, cobre, boro e cádmio, encontrados nas folhas de *Pennisetum purpureum* (a), *Brachiaria decumbens* (b), *Brachiaria arrecta* (c), *Panicum maximum* (d) e *Melinis minutiflora* (e). Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG.

4.5. Química da água

Observou-se no Quadro 8 que, as análises dos particulados sem digestão e com digestão (com HNO₃/HCl₄), o cádmio foi encontrado em níveis bastante elevados, cujos valores obtidos excederam 100 vezes o valor de referência (MARTIN E MAYBECH, 1979; CONAMA, 1992).

O pH foi 6,5 em todos os processos de análises, o que, de acordo com a legislação, está dentro dos limites, enquadrando-se na classe 2 do CONAMA (1992). Esta classe favorece a precipitação de metais, o que foi comprovado pelas altas concentrações encontradas no material particulado em suspensão, quando comparadas a valores médios mundiais de referência (MARTIN e MAYBECH, 1979).

As concentrações de ferro, zinco e cádmio nas amostras de água sem digestão foram mais próximas às permitidas pela legislação. Já as concentrações destes metais na água, após digestão, foram maiores que os valores de referência.

Quadro 8 – Análise da água da mina de extração de caulim. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG

Elemento	Unidade	Teor	Tolerância**
Particulados			
pH	---	6,5	6 – 9*
Fe	dag kg ⁻¹	7,1 ^{1/}	5,8
Zn	dag kg ⁻¹	1,8 ^{1/}	1,4
Cd	dag kg ⁻¹	4,7 ^{1/}	0,1
Particulados sem digestão			
pH	---	6,5	6 – 9*
Fe	µg L ⁻¹	0,4 ^{1/}	0,3
Zn	µg L ⁻¹	<0,03	0,18
Cd	µg L ⁻¹	<0,03	0,001
Particulados com digestão (HNO₃/HCl₄)			
pH	---	6,5	6 – 9*
Fe	µg L ⁻¹	0,7 ^{1/}	0,3
Zn	µg L ⁻¹	0,4 ^{1/}	0,18
Cd	µg L ⁻¹	0,12 ^{1/}	0,001

* Critérios para águas classe 2 do CONAMA (1992).

** Conforme MARTIN e MYBECK (1979).

^{1/} Níveis acima do limite máximo permitido.

Observou-se que o teor de ferro foi acima dos limites de tolerância em todas as análises e que o teor de zinco esteve abaixo do nível de tolerância nas análises dos particulados sem digestão. Desta forma, confirma-se que a atividade mineradora do caulim tende a contaminar e, conseqüentemente, provocar danos ao ambiente aquático (DE FILIPPO, 2000), e, pela propriedade de bioacumulação, a persistência destes metais garante seus efeitos a longo prazo, mesmo depois de interrompidas as emissões (TAVARES e CARVALHO,1992).

4.6. Análise química do resíduo industrial

Quanto às análises químicas do resíduo sólido do processo de beneficiamento do minério caulim em base seca (Quadro 9), observou-se que todos os elementos químicos contaminantes foram encontrados em limites muito abaixo do estipulado pelas Normas NBR 10004/87 (ABNT, 1987).

Em relação às análises químicas deste mesmo resíduo, em ensaio de solubilização (Quadro 10), os teores de arsênio, chumbo, cromo e selênio, tanto na amostra A quanto na B, encontraram-se no limite de referência. Quanto aos fenóis, fluoretos, ferro e manganês, bem como à dureza total em CaCO₃, os valores foram bastante elevados. Os outros elementos encontraram-se nos seus respectivos limites.

Quadro 9 – Análises químicas do resíduo sólido do processo de beneficiamento do minério caulim em base seca. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG

Elemento	Amostra	Limite*
	----- mg kg ⁻¹ -----	
Berílio	1,50	100,00
Cromo hexavalente	< 5,00	100,00
Mercúrio	< 10,00	100,00
Chumbo	172,57	1.000,00
Selênio	< 1,00	100,00
Arsênio	< 5,00	1.000,00
Vanádio	28,00	1.000,00
Cianetos	< 5,00	1.000,00
Fenóis	< 1,00	10,00

* Limite máximo permitido pela Norma NBR 10004/87 – Anexo I – Listagem nº 9.

Data da amostragem: 3.3.2000.

Quadro 10 – Análises químicas do resíduo sólido do processo de beneficiamento do minério caulim em ensaio de solubilização. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG

Elemento	Amostras		Limite*
	A	B	
	----- mgL ⁻¹ -----		
Arsênio	< 0,05	< 0,05	0,05
Bário	< 0,50	< 0,50	1,00
Cádmio	< 0,001	< 0,001	0,005
Chumbo	< 0,05	< 0,05	0,05
Cianetos	< 0,01	< 0,01	0,10
Cromo total	< 0,05	< 0,05	0,05
Fenóis	0,003**	0,003**	0,001
Fluoretos	2,86**	2,76**	1,50
Mercurio	< 0,001	< 0,001	0,001
Nitratos (em N)	0,44	0,40	10,00
Prata	< 0,01	< 0,01	0,05
Selênio	< 0,01	< 0,01	0,01
Alumínio	1,21	1,22	0,20
Cloretos	2,51	2,76	250,00
Cobre	< 0,05	< 0,05	1,00
Dureza total em CaCO ₃	1.830,80**	1.830,80**	500,00
Ferro	15,80**	15,50**	0,30
Manganês	13,50**	13,25**	0,10
Sódio	4,40	4,60	200,00
ABS	< 0,05	< 0,05	0,20
Sulfatos	1.755,16	1.794,97	400,00
Zinco	62,00	61,00	5,0

* Limite máximo permitido pela Norma NBR 10004/87 – Anexo H – Listagem nº 8.

** Níveis acima do limite máximo permitido.

Data da amostragem: 3.3.2000.

Os resultados das análises químicas desse resíduo, em ensaio de lixiviação (Quadro 11), demonstraram que todos os níveis de elementos tóxicos encontrados nas amostras estavam dentro do padrão preestabelecido por lei.

Quadro 11 – Análises químicas do resíduo sólido do processo de beneficiamento do minério caulim em ensaio de lixiviação. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG

Elementos	Amostra	Limite*
	----- mgL ⁻¹ -----	
Arsênio	< 0,05	5,00
Bário	< 0,50	100,00
Cádmio	0,002	0,50
Chumbo	0,44	5,00
Cromo total	< 0,05	5,00
Fluoretos	1,00	150,00
Mercurio	< 0,01	0,10
Prata	< 0,01	5,00
Selênio	< 0,01	1,00

* Limite máximo permitido pela Norma NBR 10004/87 – Anexo G – Listagem nº 7.

Data da amostragem: 3.3.2000.

4.7. Avaliação econômica do projeto

A composição dos custos foi feita a partir dos componentes necessários para elaboração, implantação, condução e manutenção dos trabalhos referentes ao projeto, durante o período de um ano. Os valores utilizados basearam-se nos valores pagos pela empresa, para os seguintes trabalhos: obtenção de fotos aéreas e terrestres; mão-de-obra técnica e braçal; levantamento planialtimétrico; análises física, química, mineralógica e biológica dos solos; análise química da vegetação, da água e dos resíduos industriais; material de escritório; equipamentos para o preparo do solo, transporte e alimentação de pessoal e eventuais viagens para tratar de assuntos relativos ao projeto junto aos órgãos ambientais.

Observou-se que se a empresa não investisse na recuperação da área (Quadro 12), seus gastos seriam maiores, o que não a isentaria da obrigatoriedade do investimento para a recuperação da área.

Quadro 12 – Avaliação econômica da elaboração, implantação e manutenção do projeto durante o período de um ano/ha. Mina do Quebra-Côco, Ubá-MG

Situação	Valor (R\$/ha)
Com Recuperação	
1- Gastos referentes a mão-de-obra, insumos, materiais de escritório, fotos e equipamentos	8.647,93
2- Ganhos com a recuperação (refere-se ao valor da terra)	2.000,00
Total (saldo negativo) (2-1)	-6.647,93
Sem Recuperação	
3- Multa (IBAMA)	7.000,00
4- Obrigatoriedade de recuperação	6.647,93
Subtotal (3+4)	13.647,93
5- Gastos advocatícios para defesa perante a justiça (15%)	2.047,08
Total	-15.694,27

SOUZA (1997) apresentou os custos médios de R\$ 40.486,11/ha para a revegetação de talude com geotêxtil em área minerada e manutenção desta durante seis meses. Portanto, os custos com a implantação do referido SAF é cerca de 61% menor, e considerando que o Quadro 12 inclui também os custos de elaboração do projeto e a manutenção durante um ano, este diferencial passa a ser maior ainda.

5. CONCLUSÕES

Os resultados, em relação à cobertura vegetal, à sobrevivência e ao desenvolvimento das plantas e à melhoria dos solos, apresentaram-se diferenciados para cada subárea, porém bastante positivos e superiores quando comparados à testemunha. Desta forma, demonstra-se que a utilização do SAF para recuperação de área degradada pela mineração de caulim, na Zona da Mata em Minas Gerais, é uma opção viável sob o ponto de vista ambiental, paisagístico e econômico. Percebeu-se, ainda, que sem a interferência antrópica este processo não ocorreria de forma tão eficiente e a curto prazo.

A área encontra-se num processo de evolução da paisagem, sendo que:

- A diversidade de espécies utilizadas foi bastante eficiente na promoção da cobertura vegetal.
- As plantas utilizadas apresentaram bons índices de sobrevivência.
- A incorporação de matéria orgânica foi de grande importância para a melhoria dos aspectos físicos e químicos dos solos.
- Quanto aos solos, os resultados obtidos diferem muito do esperado para um solo comum e proporcionaram uma idéia geral sobre o que ocorreu na área. Os baixos teores de argila das amostras, que foram quase que totalmente argila dispersa, demonstraram que não existe floculação entre as partículas e que este solo ainda está degradado.

- O resíduo verde possui pH elevado e apresenta altos teores de cálcio fósforo, zinco, ferro, manganês e mostra ser um melhorador de solo em potencial, a ser mais bem pesquisado.
- Os resultados dos teores de metais pesados encontrados nos resíduos, na água e nas folhas das plantas indicaram que devem ser realizados mais estudos antes de sua utilização por seres vivos, principalmente em relação ao cádmio, que, embora tenha sido encontrado em teores não-tóxicos para as plantas, tem o poder de bioacumulação.
- O microambiente formado pelo complexo solo-planta foi favorável à presença da fauna, ao desenvolvimento das plantas e à regeneração natural. Tal fato indicou o início da formação de uma flora diversificada, que é fonte de alimento a diversos agentes de dispersão de propágulos. Destarte, estes dados levam a concluir que a área está em processo inicial de recuperação e que os tratamentos aplicados tendem a acelerar o processo de sucessão ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma 02224**. Classificação de Resíduos. Brasília: ABNT, 1987. 63p.
- AMPIAM, S.G. **Clays Bureau of mines, mineral commodity profiles**. USA. July, 1979. 16p.
- ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; DEENEY, DR. (Eds.) **Methods of soil analysis – part 2** – chemical and microbiological properties. Madison: American Society of Agronomy, 1982. v.2. p.831-871.
- ÂNGELO, J.G.M. **Avaliação de parâmetros químicos, ciclagem e acúmulo de elementos minerais essenciais no solo e levantamentos fitossociológicos em áreas reabilitadas da S.A. Mineração da Trindade – Samitri-MG**. Ouro Preto: UFOP, 1999. 168p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, 1999.
- AUMOND, J.J.; BALISTIERI, P.R.M. **Custos da reabilitação ambiental na mineração de matérias-primas cerâmicas**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3, 1997, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: DPS/UFV, 1997. 36-41p.
- BARTH, R.C. **Avaliação da Recuperação de Áreas Mineradas no Brasil**. Viçosa: SIF/Instituto Brasileiro de Mineração. 1989. (Boletim Técnico, 1).
- BENE, J.G.; BEALL, H.W.; COTE, A. **Trees, food and people: Land management in the tropics**. International Development Research Center, Ottawa, Canada, 1977. (Report IDRC-084e)

- BROOKS, K.N.; FFOLLIOTT, P.F.; GREGERSEN, H.M.; THAMES, J.L. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa State University Press, 1991. 392p.
- CARPANEZZI, A.A. **Deposição de material orgânico e nutrientes em uma floresta natural e em uma plantação de eucaliptos no interior do estado de São Paulo**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1990. 170p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1990.
- COLEMAN, D.C. et al. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii, 1989. 249p.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução do Conama**,1984/91.
- COSTA, M.D. **Atividade biológica e liberação de nutrientes em resíduos da exploração de povoamentos de eucalipto**. Viçosa: UFV, 1995. 90p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- DE FILIPPO, R. Impactos ambientais sobre os ecossistemas aquáticos. **Informe Agropecuário**, v.21, n.202, p.45-53, 2000.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: 1999. 212p.
- ENVIRONMENT, LEVANTAMENTOS E PROJETOS. **Dossiê de Ambiência do Município de Ubá-MG**. Santa Maria -RS, 1992. 163p.
- FERNANDES FILHO, E.I. QUANTIPORO [Programa de Computador experimental]. DPS/UFV, Viçosa. 2001.
- GÖTSCH, E. **Break-through in agriculture**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1995. 22p.
- LI, R.S.; DANIELS, W.L. Nitrogen accumulation and form over time in young mine soils. **Journal Environmental Quality**, 1998. v.23, p.166-172.
- LOPES, R.H.Z. Ações do IBAMA na recuperação de áreas degradadas (247-251). In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Eds.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: 1998. 251p.
- MARTIN, J.M.; MAYBECH, M. Heavy metals in water. **Mar. Chem**, v.7, p.173-174, 1979.
- MOORE, D.M.; REYNALDS JUNIOR, R.C. **X-ray diffraction and identification and analysis of clay minerals**. New York: Oxford University Press, 1989. 332p.

- NAIR, P.K.R. **Intensive multiple cropping with coconuts in India**. Berlin: Verlag Paul Parey, 1979.
- PENEIREIRO, F.M. **Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão ecológica**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1999. 138p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1999.
- PEREIRA, M.G. **Contaminação ambiental pelas indústrias de beneficiamento de caulim e avaliação do emprego de vermicomposto no tratamento de efluentes contendo metais**. Viçosa: UFV, 1999. 147p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- PINTO, O.C.B. **Formation of kaolinite from a biotite-feldspars gneiss in four strongly weather red soil profiles from Minas Gerais, Brazil**. Indiana: West Lafayette, Purdue University: 1971.133p. Dissertation (M.S.). Purdue University, 1971.
- REINERT, D.J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L.E.; VARGAS, J.W.M. (Eds.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. 1998. p.163-176.
- REIYNTYES, C.; HAVERKORT, B.; WATERS-BAYER, A. **Agricultura para o futuro** – uma introdução à agricultura sustentável e de baixo uso de insumos externos. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1994. 324p.
- RIBEIRO, C.R.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSE-MG, 1999. 359p.
- RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A.G. **V Curso de recuperação de áreas degradadas**. Piracicaba-SP: ESALQ, 2001. 153p. (apostila).
- RUIVO, M.L.P. **Vegetação e características do solo como indicadores de reabilitação de áreas minerada na Amazônia Oriental**. Viçosa,: UFV, 1998. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- SCHROEDER, S.A. Topographic influences on soil water and spring wheat yields on reclaimed mineland. **Journal Environmental Quality**, v.24, p.467-471, 1995.
- SILVA, A.C. **Avaliação da contaminação, por cromo, de ecossistemas aquáticos situados próximos a curtumes em Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1997. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- SILVA, E. **Avaliação de impactos ambientais**. Viçosa: UFV, 1998. 55p. (apostila).

- SOUZA, M.G. **Revegetação de taludes com geotêxtil em área minerada**. Viçosa: UFV, 1997. 47p.
- SPERLING von, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. Belo Horizonte: SEGRAC, 1996. 243p.
- TAVARES, T.M.; CARVALHO, F.M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: Exemplos do recôncavo baiano. **Química Nova**, v.15, n.2, p.147-154, 1992.
- WHITTIG, L.D.; ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Society of America, 1994. Pt.1, p.331-359.
- WILLIAMS, D.D.; BUGIN, A.; REIS, J.L.B.C. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA. 1997. 96p.

