

FELIPE NOGUEIRA BELLO SIMAS

PEDOGÊNESE E GEOAMBIENTES NA SERRA VERDE, PARTE DA  
MANTIQUEIRA MINEIRA: ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS,  
MINERALÓGICOS E MICROMORFOLÓGICOS

Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Solos e  
Nutrição de Plantas, para obtenção do  
título de “*Magister Scientiae*”.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2002

FELIPE NOGUEIRA BELLO SIMAS

PEDOGÊNESE E GEOAMBIENTES NA SERRA VERDE, PARTE DA  
MANTIQUEIRA MINEIRA: ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS,  
MINERALÓGICOS E MICROMORFOLÓGICOS

Tese apresentada à Universidade Federal  
de Viçosa, como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em Solos e  
Nutrição de Plantas, para obtenção do  
título de "*Magister Scientiae*".

APROVADA: 28 de fevereiro de 2002



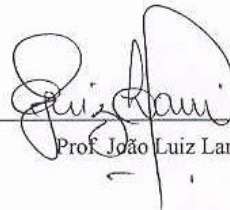
Prof. Liovando M. da Costa  
(Conselheiro)



Prof. Elpidio Inácio Fernandes Filho  
(Conselheiro)



Dr. Vinicius de Melo Benites



Prof. João Luiz Lani



Prof. Carlos Ernesto G.R. Schaefer  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por toda a criação e a possibilidade de estarmos aqui, estudando, aprendendo e ensinando.

Aos meus pais, por terem sempre me apoiado, se esforçando ao máximo para propiciar sempre o melhor para minha formação como pessoa e como profissional. Dedico a eles o cumprimento de mais esta etapa.

À minha esposa Ana Carolina, por todo o amor e compreensão nos momentos difíceis.

Ao Pedro e a Tatiana pela irmandade e força em todos os momentos. A todos os irmãos de fé que acreditam em um novo tempo.

Ao Carlos Ernesto, por ter acreditado no meu trabalho, orientando, desde a graduação, os meus passos no estudo dos solos e da natureza. Valeu mestre!

A todos os professores e colegas do Departamento de Solos da UFV, pela amizade, ensinamentos e apoio ao longo deste anos de convívio. Especialmente a Elpídio, Liovando, Meubles, Filipe, Vinicius, Pedro, Adriana, Eliane, Júnia, Jorge Orlando e Zélia pela participação direta e essencial para a realização deste trabalho.

Ao Carlos Simas, Lú e família, pela oportunidade de conhecer e estar, desde cedo, na Serra Verde. Sem vocês tudo seria diferente.

Ao Tião, Dirce, Zé Inacio, Virke, Rubens, André e todos os outros personagens da Serra Verde, pelo amor à natureza e a esse lugar tão especial.

Ao povo da floresta pela batalha do amor e expansão da luz. Havemos de vencer!

## ÍNDICE

	Página
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	xii
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
GEOAMBIENTES DA SERRA VERDE, MANTIQUEIRA MINEIRA : IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO.....	
1. INTRODUÇÃO .....	4
2. ÁREA DE ESTUDO E MÉTODOS .....	7
2.1 A Serra Verde: aspectos fisiográficos .....	7
2.2 Histórico de ocupação da área .....	10
2.3 Unidades geoambientais .....	11
2.4 Análises físicas e químicas .....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
3.1 Descrição geral da paisagem .....	14
3.2 Unidades geoambientais .....	14
3.2.1 Turfeiras de altitude.....	15
3.2.2 Topos aplainados e cristas com candeia.....	17
3.2.3 Complexo rupestre de altitude.....	21
3.2.4 Vales com araucárias.....	25
3.2.5 Escarpas .....	27
3.2.6 Encostas e grotas florestadas.....	29
3.2.7 Patamares estruturais com floresta.....	30
3.2.8 Pastagens.....	31
3.2.9 Áreas em regeneração.....	32
4. CONCLUSÕES .....	33
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

## CAPÍTULO 2

### TOPOSEQUÊNCIA DE SOLOS SOB DIFERENTES TIPOLOGIAS DE MATA ATLÂNTICA NA SERRA VERDE, MANTIQUEIRA MINEIRA: ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, MINERALÓGICOS E MICROMORFOLÓGICOS

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	38
2.1 Coleta e preparo das amostras .....	38
2.2 Análises físicas químicas e mineralógicas.....	39
2.3 Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas.....	39
2.4 Extração sequencial de alumínio.....	40
2.5 Micromorfologia.....	40
2.5 Estimativa do estoque de carbono.....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
3.1 Caracterização e classificação dos solos .....	44
3.2 Atributos Mineralógicos.....	50
3.3 Fracionamento de substâncias húmicas.....	55
3.4 Formas de alumínio.....	58
3.5 Aspectos micromorfológicos.....	61
3.5.1 Cambissolo Húmico.....	61
3.5.2 Latossolo Vermelho-Amarelo .....	61
3.5.3 Espodossolo Ferrocárbico.....	62
3.6 Estoque de carbono.....	67
4. CONCLUSÕES .....	69
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
APÊNDICE .....	77

## RESUMO

SIMAS, Felipe Nogueira Bello, M.S. Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2002. **Pedogênese e geoambientes na Serra Verde, parte da Mantiqueira mineira: atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos.** Orientador: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Conselheiros: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Liovando Marciano da Costa.

A região Sul mineira guarda, em serras elevadas de difícil acesso, remanescentes relativamente conservados de Mata Atlântica associados à inúmeras nascentes e cursos d'água. Passados mais de quinze anos desde a criação da APA Mantiqueira ainda não existe uma gestão ambiental efetiva na região, que vem sofrendo crescente pressão antrópica. Estudos ambientais multidisciplinares são necessários para subsidiar o planejamento e tomadas de decisão. Este trabalho teve como objetivo geral estratificar em Unidades Geoambientais o meio físico de parte da Mantiqueira mineira, conhecido por Serra Verde, no entorno da Mitra do Bispo, município de Bocaina de Minas, e estudar os atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos dos principais solos da região. O mapeamento geoambiental foi realizado através da interpretação de ortofotos da CEMIG em escala 1:10 000, carta do IBGE (1:50 000) e checagem de campo, com digitalização por meio dos programas ArcInfo/ArcView. Para o estudo pedológico, foram abertos quatro perfis de solo compondo uma toposequência típica das áreas granítico/gnáissicas dos altos da Mantiqueira. A análise do meio físico permitiu a distinção e mapeamento, em escala 1:17.000, de 9 Unidades Geoambientais, com

base principalmente nos aspectos fito-geomorfológicos. Destacam-se as unidades Topos aplainados e cristas com candeia, Complexo rupestre de altitude, Encostas e grotas florestadas, Turfeiras de altitude, Vales com araucárias, e Patamares com floresta primária. Os solos são predominantemente gibbsíticos, distróficos e com elevada saturação por alumínio. O elevado acúmulo de matéria orgânica, textura arenosa e alta umidade favorecem a ocorrência de podzolização, com identificação de um Espodossolo. Atuam processos intensos de hidrólise e dissolução de minerais, com presença de formas poliméricas de Al adsorvidas e ligadas à matéria orgânica nos solos de menor maturidade pedogenética. A presença de gibbsita é atribuída à condições pretéritas de formação de profundo saprolito, favorecida pela intensa rede de falhas e fraturas, típicas desta zona da Mantiqueira. Com base nos cálculos de estoque de carbono, conclui-se que os solos da Mantiqueira representam importante compartimento de carbono seqüestrado protegido, com valores superiores a 700 t ha<sup>-1</sup>.

## ABSTRACT

SIMAS, Felipe Nogueira Bello, M.S. Universidade Federal de Viçosa, February, 2002. **Pedogenesis and geo-environments in Serra Verde, part of the Mantiqueira Highlands: physical, chemical, mineralogical and micromorphological attributes.** Adviser: Carlos Ernesto G. R. Schaefer. Committee Members: Elpídio Inácio Fernandes Filho e Liovando Marciano da Costa.

In the southern part of the Minas Gerais state, Brazil, relatively well preserved areas of Atlantic Forest occur in isolated mountain ranges, associated to numerous watercourses. Despite the establishment, in 1985, of the Mantiqueira Environmental Protection Area (MEPA), no effective action has been taken in order to develop proper management planning for this region, which is subjected to increasing population pressure. Multidisciplinary studies are needed in order to support the environmental management. The objective of this work was the identification, characterisation and mapping of the Geoenvironmental units of part of the MEPA, locally known as Serra Verde, and to study the most important soils which occur in these areas, with reference to their physical, chemical, mineralogical and micromorphological attributes. The geoenvironmental map work was produced after analysis of 1:10 000 aerial photographs, 1:50 000 IBGE maps and extensive field work, using ArcInfo/ArcView software for the digitalization of the final map. Four soil profiles were studied, forming a typical topo-sequence on granitic/gnaissic terrains of the Mantiqueira Highlands. The environmental analysis permitted the separation of nine Geo-Environmental Units, mapped at 1:17 000 scale. All soils are gibbsitic, dystroc, with high aluminium saturation. The high organic carbon content and coarse texture favour the occurrence of podzolization, with the

identification of a Spodosol. Intense hydrolysis and mineral dissolution occur in the studied pedo-environments, with the presence of adsorbed Al polymers and organic matter bound Al forms. The presence of gibbsite is attributed to past conditions of deep weathering and saprolite formation. The estimated carbon budgets indicate the important role of the Mantiqueira soils as a protected carbon pool, with values higher than 700 t/ha.

## INTRODUÇÃO GERAL

Com menos de dois anos transcorridos desde o início do terceiro milênio, a necessidade de confrontar os crescentes problemas globais exige da cultura atual uma mudança de paradigma em relação ao modo de enxergar o homem e a natureza, da qual este depende e faz parte. A partir da Conferência de Cimeira do Rio (ECO-92), os líderes mundiais admitiram a necessidade de ajustes substanciais nas modernas tendências de uso da terra. Embora o ímpeto político tenha sido motivado primariamente por questões ambientais urbano-industriais, e não especificamente agrícolas, estas últimas envolvem questões igualmente perturbadoras, que exigem o enfrentamento de novos problemas, a proposição de novos métodos e o desenvolvimento de novas interfaces em nossas agendas de pesquisa e desenvolvimento.

As duas forças motrizes em termos de problemas globais atuais são a “Agricultura Sustentável” e “Mudanças Climáticas Globais”. Ambas têm recebido apoio internacional crescente em pesquisa e apoio político, sem precedentes na história recente da sociedade. Parece evidente ao cientista de solo que a base fundamental que permeia ambos os problemas é o solo, e qualquer esforço coordenado de pesquisa deve passar por um “viés” pedológico. Tendências recentes mostram uma ênfase deslocada deste princípio, em parte pelo pouco engajamento dos cientistas ou programas de pesquisa com enfoque ambiental, menos reducionista, e em parte pela priorização de pesquisas mais aplicadas pelas agências de fomento.

No Brasil, devido às atividades antrópicas de apropriação e uso da terra desde os tempos pós coloniais, a Mata Atlântica encontra-se reduzida a menos de 8% da cobertura original, e apesar do avançado estágio de degradação ainda contém parte significativa da diversidade biológica do nosso país em seus remanescentes. Nestes, a alta incidência de espécies ameaçadas ou endêmicas faz deste bioma uma grande prioridade para a conservação da biodiversidade do planeta.

Em 1985, com o objetivo de proteger e preservar uma das principais cadeias montanhosas do país, a Serra da Mantiqueira, onde encontram-se importantes remanescentes de Mata Atlântica, com ênfase para as matas de Araucária, continuidade do espigão central, a vida selvagem e elementos da cultura tradicional característicos da cultura local, decretou-se a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Mantiqueira (Decreto n.º 91.304). No entanto, passados mais de 15 anos, ainda não foram realizados estudos essenciais básicos para subsidiar o planejamento da gestão ambiental na região.

O capítulo 13 da Agenda 21 (AGENDA 21, 1997) – “Gestão dos Ecossistemas Frágeis: desenvolvimento sustentável das montanhas”, estipula as seguintes atividades relacionadas ao gerenciamento desses ecossistemas:

*“13.6. Os Governos, no nível apropriado, com o apoio das organizações internacionais e regionais, devem:*

- a) Fortalecer as instituições existentes ou criar outras novas nos planos local, regional e nacional, com o objetivo de gerar uma base multidisciplinar de conhecimentos ecológicos sobre as terras e águas dos ecossistemas de montanha;*
- b) Promover políticas nacionais que ofereçam incentivos às populações locais para o uso e transferência de tecnologia inócuas para o meio ambiente, bem como práticas de cultivo e conservação;*
- c) Ampliar a base de conhecimentos e a compreensão criando mecanismos de cooperação e intercâmbio de informações entre instituições nacionais e regionais voltadas para os ecossistemas frágeis;*
- d) Estimular políticas que ofereçam incentivos aos agricultores e às populações locais para que apliquem medidas de conservação e recuperação;*
- e) Diversificar as atividades econômicas da região, entre outros fatores, priorizando projetos de ecoturismo, em harmonia com o gerenciamento integrado das áreas montanhosas;*

- f) *Integrar todas as atividades relacionadas a florestas, pastagens, flora e fauna silvestres de forma a manter ecossistemas de montanha específicos;*
- g) *Estabelecer reservas naturais apropriadas em locais e regiões ricos em espécies representativas”.*

Neste sentido, o entendimento dos aspectos geomorfológicos, pedológicos e vegetacionais, é fundamental para a compreensão do funcionamento dos ecossistemas. O acervo de conhecimentos sobre determinado ambiente passa a constituir um referencial para o estabelecimento de parâmetros de qualidade ambiental.

O presente trabalho teve como objetivo geral estratificar o meio físico da Serra Verde, um dos pontos mais elevados da APA Mantiqueira Mineira, em Unidades Geoambientais (Capítulo 1) e, mais especificamente, caracterizar a gênese de alguns solos desenvolvidos em ambientes montanos, elucidando alguns mecanismos físico-químicos e biológicos envolvidos (Capítulo 2). As informações geradas poderão contribuir para o aprofundamento do conhecimento, fomentar novas pesquisas e subsidiar a elaboração do plano de gestão para a região, tão importante e ameaçada.

## **CAPÍTULO 1**

### **GEOAMBIENTES DA SERRA VERDE, MANTIQUEIRA MINEIRA: IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO**

#### **1. INTRODUÇÃO**

As florestas tropicais vêm desaparecendo rapidamente devido à pressão crescente por áreas agrícolas e produtos florestais. Cada vez mais, são reduzidas a fragmentos isolados separados por estradas, cultivos, centros urbanos, etc, afetando a biodiversidade e a qualidade ambiental. A maior parte desses fragmentos encontra-se em áreas montanhosas onde o difícil acesso retarda até hoje a ação devastadora.

Os ambientes de montanha caracterizam-se por uma grande diversidade de habitats, difícil acesso e fragilidade ambiental, sendo frequentemente consideradas áreas de grande valor ecológico. Nas montanhas tropicais as zonas de vegetação variam de floresta submontana a floresta montana, floresta subtropical, campos de altitude a afloramentos rochosos. Cada uma dessas zonas possui peculiaridades ecológicas que regulam o funcionamento do ecossistema, os processos evolutivos e a sobrevivência de espécies (DENNISTON, 1995).

SACHS (2000) chamou de ecodesenvolvimento a elaboração de estratégias que garantam a proteção de áreas ecologicamente valiosas, em face às pressões resultantes das necessidades e atividades dos povos que habitam essas áreas e o seu entorno. Para tanto, é essencial entender a ecologia da paisagem, onde deve ser levada em conta, além da dimensão ecológica e seus mecanismos de retroalimentação, a paisagem humana, através do grau de antropização e aspectos sócio-econômicos. Desta forma, são agregadas dentro deste conceito diversas

ciências ligadas ao meio ambiente dentro um novo paradigma, mais holístico e abrangente (SCHAEFER et al., 2000).

Alguns princípios que regem a ecologia da paisagem são destacados, com base na revisão crítica de SCHAEFER et al. (2000): (i) a auto-organização dos sistemas naturais; (ii) a existência da “ordem” através da flutuação; (onde entendem-se que sistemas naturais sob estresse são regra e não exceção); (iii) o entendimento de que a “ordem” ou organização imposta pela ação biológica na superfície terrestre é o único fenômeno que contraria a “entropia ou tendência à desordem”, sendo dependente da energia solar (exógena, de curto prazo) para que ocorra a ação organizadora, e de forças endógenas (tectônicas, de longo prazo).

A estratificação ambiental (ou geoambiental) atende aos princípios da ecologia da paisagem na medida em que os ambientes identificados não representam condições ideais de equilíbrio, mas tendências dinâmicas ao clímax pedobioclimático, com mecanismos permanentes e cíclicos de adaptação e retroalimentação, que levam ao aparente “equilíbrio” atual. O tipo de ocupação e uso de diferentes ambientes pelo homem estão intimamente ligados às características do meio físico, sendo essencial para o planejamento eficiente da gestão ambiental o conhecimento das peculiaridades de cada situação.

As unidades geoambientais são definidas neste estudo como áreas que apresentam características homogêneas em relação a determinados fatores ambientais, de uso ou interesse (DIAS, 2000). Representam uma importante ferramenta para o planejamento, visto que compreendem de maneira integrada os fatores essenciais que interagem na paisagem: geotectônicos, geomorfológicos, pedológicos e bióticos, assim como o aspecto antrópico de apropriação e uso da paisagem.

A Serra da Mantiqueira guarda, em áreas de difícil acesso, importantes remanescentes de Mata Atlântica com alto grau de conservação. Localizada entre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, esta região sofre crescente pressão antrópica, com grande impacto sobre os ecossistemas naturais. A alta

riqueza de espécies de fauna e flora, com grande incidência de espécies ameaçadas e endêmicas, conferem extrema importância à região em relação à conservação da biodiversidade e estudos científicos, sendo considerada com prioridade especial (BIODIVERSITAS, 1999).

O objetivo deste capítulo foi mapear e caracterizar as unidades geoambientais que compõem a paisagem da porção mais elevada da Serra Verde, parte da APA Mantiqueira, onde estão localizadas as nascentes do Córrego da Mitra e dos Nogueiras, visando contribuir para a ampliação de conhecimentos sobre ecossistemas de montanha e gerar subsídios para o planejamento ambiental da região.

## 2. ÁREA DE ESTUDO E MÉTODOS

### 2.1 A Serra Verde: aspectos fisiográficos

A Serra Verde está localizada na região limítrofe entre os municípios de Bocaina de Minas, Alagoa e Aiuruoca, MG, dentro da APA Mantiqueira (Figura 1). Devido à grande dificuldade de acesso, ainda existem fragmentos de ecossistemas naturais em elevado estado de conservação e com alto grau de conectividade, em cotas acima de 1500 m de altitude, culminando no pontão rochoso denominado Mitra do Bispo, com 2149 m. É uma das áreas mais altas da Mantiqueira mineira, onde ocorrem inúmeras nascentes que alimentam os Rios Grande e Aiuruoca.

A proximidade do Maciço do Itatiaia e da Serra do Papagaio faz da Serra Verde uma área altamente estratégica para a gestão ambiental desta região da Mantiqueira (Figura 2). Constitui uma importante zona tampão do Parque Nacional do Itatiaia e do Parque Estadual da Serra do Papagaio, formando expressiva área contínua coberta por Floresta Ombrófila Montana e Alto-montana, Floresta Mista (com araucárias) e Complexos Rupestres de Altitude.

Predomina o clima Cwb de Köppen, subtropical de altitude com duas estações definidas, sendo comum o registro de temperaturas abaixo de zero no inverno e a ocorrência freqüente de geadas (RADAMBRASIL, 1983). A elevada precipitação anual, devido às chuvas orográficas, é outra característica marcante nesses altos de serra (> 2000 mm). A própria origem do nome Mantiqueira está relacionada à forma indígena primitiva “Amantiquira” ou “pouso de chuvas”, em função da abundância de chuvas (DERBY citado por LAMEGO, 1938).

A Serra Verde, assim como todo o conjunto que forma a Mitra do Bispo, é constituída por rochas cristalinas dobradas e falhadas da faixa móvel Atlântica (ALMEIDA, 1967). A geomorfogênese desta região está relacionada com a reativação de falhas originadas durante o ciclo orogenético Brasileiro no pré-Cambriano superior, pela colisão entre as placas tectônicas Africana e do São

Francisco. Atribui-se essa reativação tectônica à separação pós-Cretácea entre a América do Sul e a África, iniciada durante o Juro-Cretáceo, com registro de movimentos neo-tectônicos regionais durante o Cenozóico, responsáveis pela elaboração do relevo atual (SCHAEFER, 1996). Próximo à Serra Verde, o maciço vulcânico do Itatiaia (Cretáceo-Terciário), na divisa dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, constitui relevo proeminente diretamente relacionado à reativação tectônica do Cenozóico.

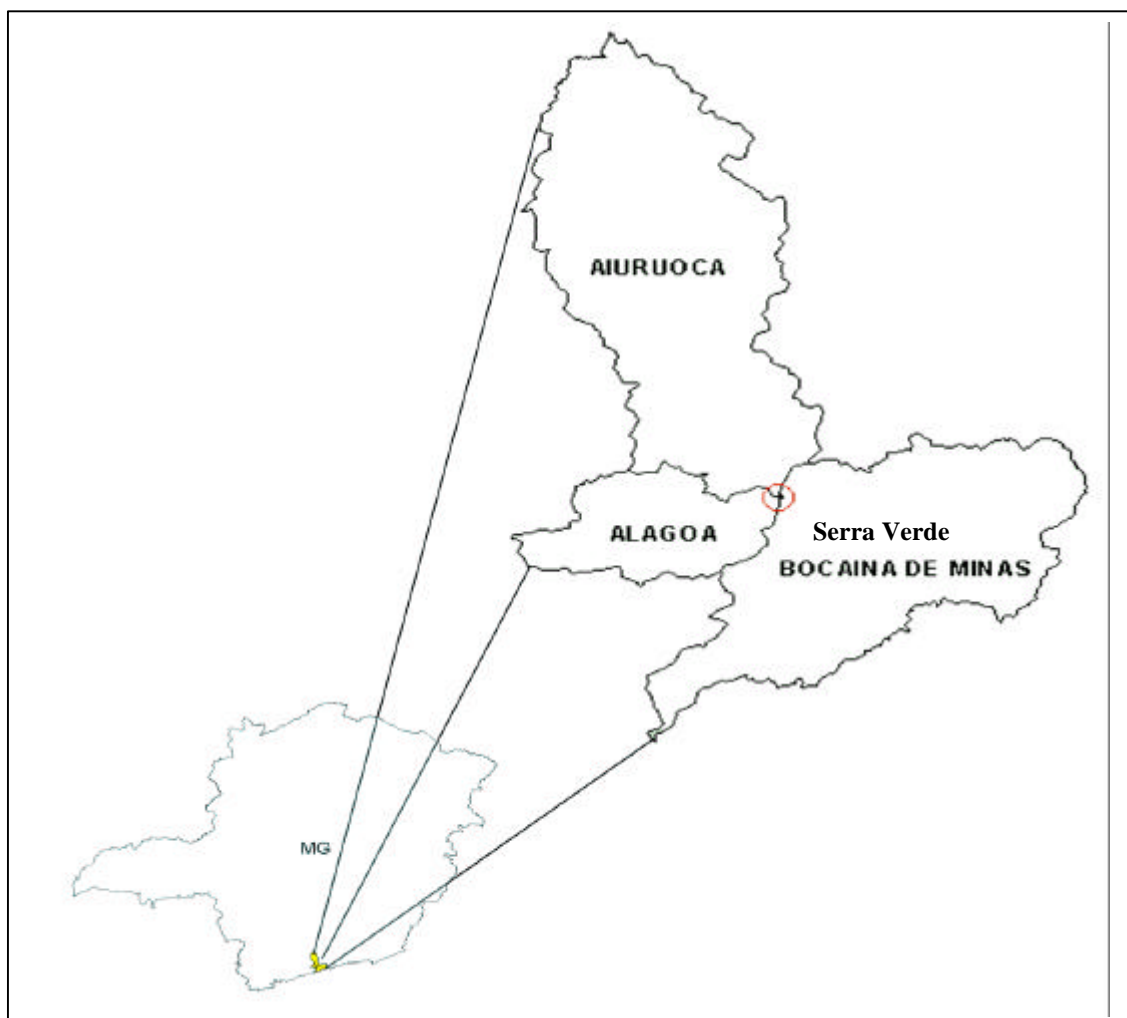


Figura 1 – Localização da área estudada

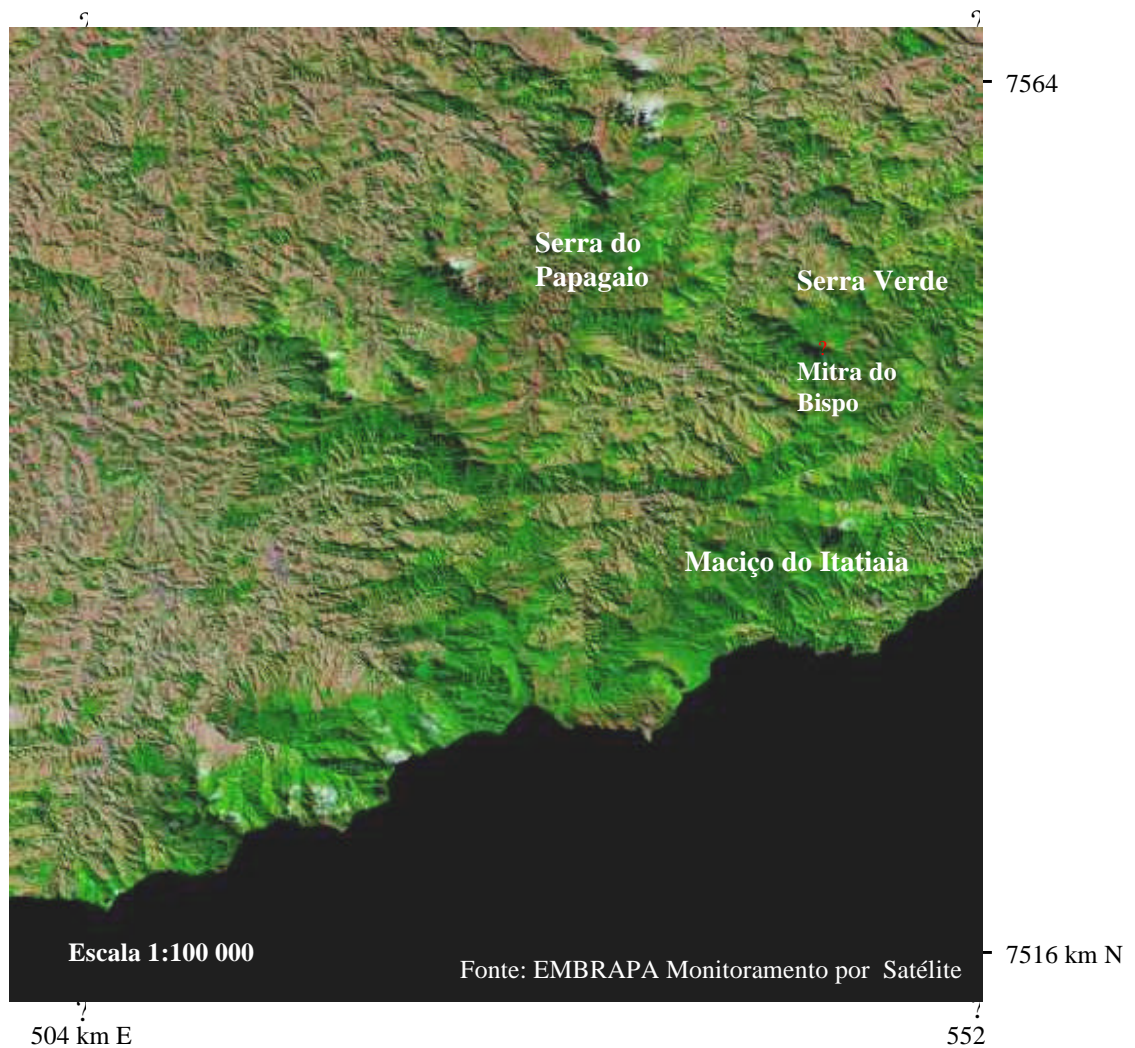


Figura 2 – A Serra Verde, o Maciço do Itatiaia e a Serra do Papagaio formando expressiva área florestada contínua.

Um dos aspectos mais marcantes na Serra Verde é a presença conspícua de Araucária (*A. angustifolia*) e espécies associadas (*Podocarpus lambertii*), constituindo possivelmente um dos principais refúgios destas gimnospermas em Minas Gerais. No entanto, desde a chegada dos primeiros colonos à região, a araucária tem sido uma das espécies mais atingidas pela ação antrópica. Segundo relatos dos habitantes mais antigos, bosques outrora fechados e com indivíduos

centenários foram rapidamente postos ao chão. Mesmo assim, ainda é possível se ter idéia da extensão pretérita desta formação vegetal (Figura 3).

Os poucos estudos sobre o meio físico na região indicam a ocorrência de jazidas de grafite (LAMEGO, 1938; RADAMBRASIL, 1983). É possível observar, ao longo da estrada que liga Bocaina de Minas a Alagoa, circundando a Mitra do Bispo, o afloramento de materiais grafitosos.

### **2.1.1 Histórico de ocupação da área**

Historicamente, as áreas montanhosas sempre exerceram fascínio sobre os indivíduos, com forte influência sobre o desenvolvimento humano. LAMEGO (1938) descreve de forma bastante rica “a função antropogeográfica do Maciço do Itatiaia e entorno”, destacando o papel da Serra da Mantiqueira na separação de dois padrões de agregação humana. Devido à inexistência de caminhos naturais, e à imponência das serras e escarpas, a porção mineira da Mantiqueira exhibe diversos contrastes em relação às porções paulista e fluminense.

A primeira apresenta as povoações mais antigas, onde se deu o início da exploração aurífera: “(...) *vão descendo pelas encostas mineiras, enfeitadas de araucárias, povoações velhíssimas, que são hoje Pinheirinho, S. José do Itamonte, Pouso Alto, Baependi, Ayuruóca, Bocaina, Alagoa, Conceição do Rio Verde*” (LAMEGO, 1938). VIANNA, citado por LAMEGO (1938), revela o sentimento da época entre os grande sertanistas “*Essa transmigração torrencial para os climas alpestres de Minas tem, na realidade, um traço épico, que nos entusiasma e arrebatam*.”. Nesta região, o rápido esgotamento das jazidas de ouro levou à intensa lavra de rios, córregos e ribeirões, até as cabeceiras.

Com a escassez do ouro e a abertura do caminho das minas para o Rio de Janeiro, decresceu o movimento na região, sendo o cultivo da terra a única saída para a sobrevivência das populações. Surgem então, devido à baixa capacidade produtiva dos solos e à reduzida densidade demográfica, grandes latifúndios pastoris.

Já as porções paulista e mineira, devido à maior facilidade de acesso, experimentaram o desenvolvimento de grandes centros urbanos. Assim, ao longo dos anos, ocorreu forte imigração de habitantes do interior buscando maiores oportunidades nas cidades mais desenvolvidas.

A ocupação da Serra Verde seguiu, portanto, o padrão descrito para a região mineira da Mantiqueira. Durante os anos 70, a presença de áreas significativas de floresta, com espécies de grande valor, mais especialmente as canelas (*Nectandra sp.*) e araucárias (*A. angustifolia*), atraiu para a Serra pelo menos três madeireiras. Apesar do pequeno porte e caráter essencialmente familiar desses empreendimentos, extensas áreas foram desmatadas.

Com o aumento da fiscalização e estabelecimento de leis proibindo o desmatamento inicia-se, na década de 80, uma nova fase de ocupação. Aos poucos, chegam à região habitantes de grandes centros em busca de um reencontro com a natureza, implicando em mudança no perfil dos moradores e proprietários de terra na região.

Assim, ao longo das duas últimas décadas, a maior parte das terras que compõem o entorno da Mitra do Bispo passou a ser propriedade de imigrantes de áreas urbanas. Cresce também a atividade turística, muitas vezes predatória ou impactante, e a especulação imobiliária. A criação da Reserva Particular do Patrimônio Natural da Mitra do Bispo, no ano de 2000, marca o início das ações por parte de alguns moradores da Serra no sentido de garantir a proteção a longo prazo.

## **2.2 Unidades geoambientais**

Para a estratificação do meio físico em unidades geoambientais foram avaliados principalmente os aspectos fito-pedo-geomorfológicos, assim como o grau de antropização e o uso da terra (adaptado de TRICART e KIEWIETDEJONGE, 1992 e SCHAEFER, 1997). Foram agrupadas sob uma mesma denominação áreas com características similares em relação aos atributos avaliados, sendo identificadas e descritas as características ecogeográficas observadas e os problemas geoambientais

associados. Para isto, foram utilizadas ortofotocartas da CEMIG, em escala 1:10.000, carta do IBGE em escala 1:50.000 e trabalhos de campo. Para digitalização do mapa utilizou-se os programas ArcInfo e ArcView. As diferentes tipologias vegetais foram identificadas no campo, utilizando-se a classificação fitogeográfica proposta por VELOSO (1991). No caso dos refúgios ecológicos de altitude, optou-se pelo termo “complexo rupestre de altitude” (BENITES, 2002). Os solos foram classificados segundo os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999)

### **2.3 Análises físicas e químicas**

Foram coletadas e analisadas amostras de quatro perfis de solo assim como amostras de serapilheira. As amostras de solo foram submetidas às seguintes análises físicas e químicas:

- Análise textural, pH em água e em KCl ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ), nitrogênio pelo método de Kjeldahl, acidez potencial, Ca, Mg e Al extraídos com solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$  enquanto K, Na, P, Fe, Mn, Zn e Cu foram extraídos com solução Melich-1 (EMBRAPA, 1997). As amostras de serapilheira foram submetidas a digestão nitro-perclórica de acordo com MALAVOLTA (1989).
- Carbono orgânico total - método de YEOMANS e BREMNER (1988), utilizando o Ferroin como indicador.

Os teores de Ca, Mg, Al, Mn, Zn, Cu e Fe nos extratos foram determinados por espectrometria de absorção atômica. Os teores de K e Na foram determinados por fotometria de chama e os de P por fotolorimetria pelo método do ácido ascórbico (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981).

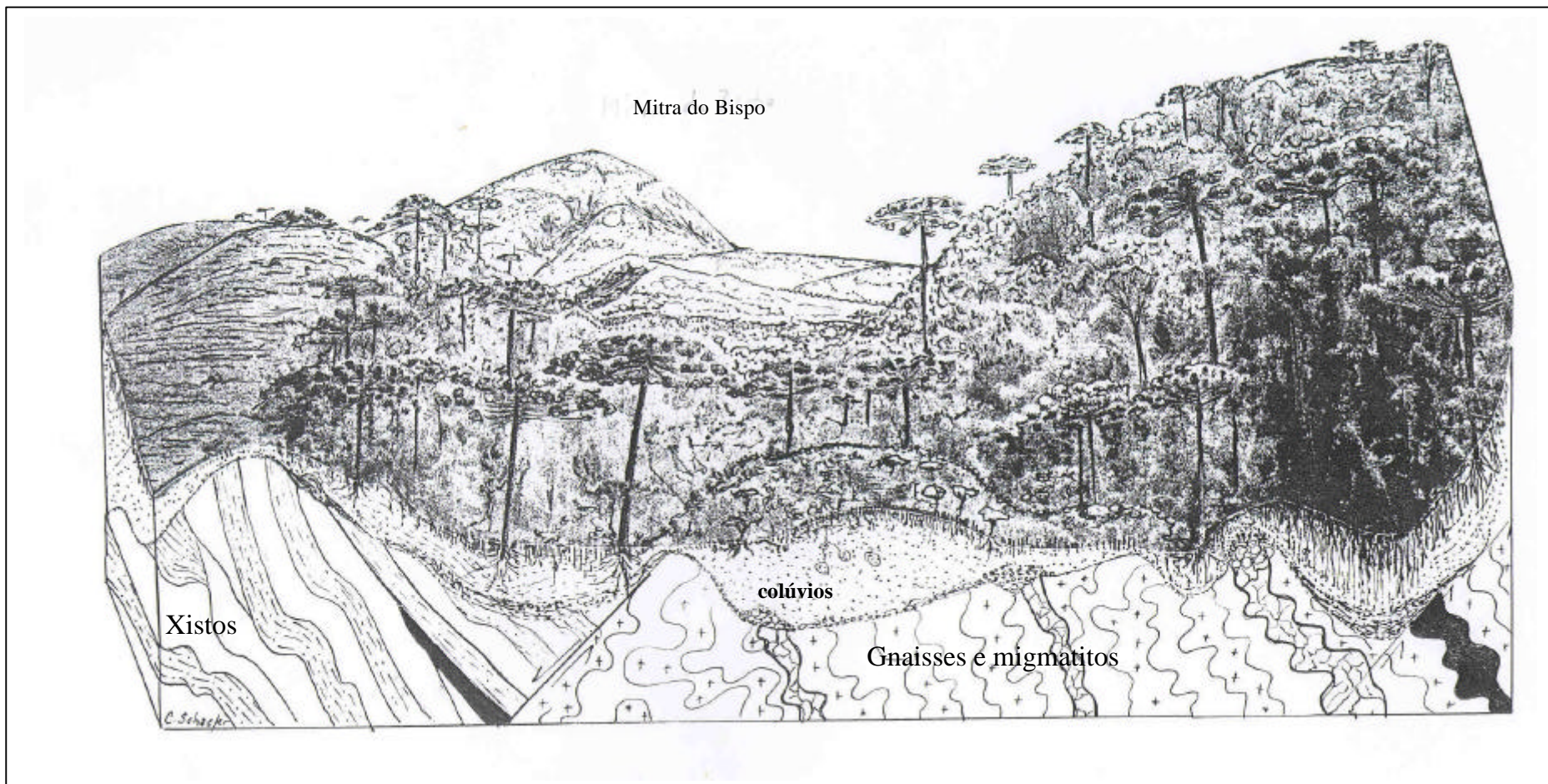


Figura 3 – Vista da face sudeste da Mitra do Bispo, ilustrando vales colmatados suspensos com Araucária, controlados por falhas e contatos geológicos (xistos grafitosos e gnaisses), com presença de horizontes enterrados e linhas de pedra originados por movimentos de massa. As área mais côncavas, ravinadas e protegidas estão associadas a araucária. À esquerda, pastagem degradada com sinais de erosão laminar decorrente de superpastejo.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 Descrição geral da paisagem**

A área estudada constitui um imponente bloco soerguido, composto por um sistema de cristas paralelas separadas por vales estruturais com drenagem encaixada, formando inúmeras microbacias. O controle estrutural, a grosso modo no sentido N/S e NE/SE, é claramente observado na paisagem atual, no paralelismo das cristas e escarpas e no alinhamento de drenagens, em larga escala (Figura 4).

Nos pontos culminantes ocorrem afloramentos rochosos com predomínio de vegetação rupícola. Seguem-se então cristas com solos rasos (associando Neossolos e Cambissolos) e encostas com predomínio de arbustos e árvores de pequeno porte. No terço inferior das encostas, há transição para ambientes mais “conservadores” onde são formadas pequenas rampas coluviais, com solos mais profundos e com maior teor de matéria orgânica.

#### **3.2 Unidades geoambientais**

Foram identificados 9 geoambientes na região estudada (mapa em anexo). A área não mostra variações litológicas pronunciadas pelo grau de metamorfismo elevado. Assim, o aspecto litológico do meio físico somente não constitui um critério adequado para a distinção dos geoambientes. Sobressai, contudo, o forte controle estrutural sobre as formas de relevo e distribuição dos geoambientes. Por sua vez, as características pedo-geomorfológicas e de cobertura vegetal representam os principais diferenciadores de geoambientes na Serra Verde. Nas áreas separadas como pastagem, o uso da terra foi considerado como fator principal para a distinção deste geoambiente devido às profundas alterações causadas na paisagem natural. A Mitra do Bispo foi destacada no mapa por ser ponto de referência, contudo não

constitui um geoambiente distinto, e sim parte do complexo rupestre de altitude. As características ecogeográficas de cada unidade, assim como os problemas ambientais associados, estão resumidas no Quadro 1.

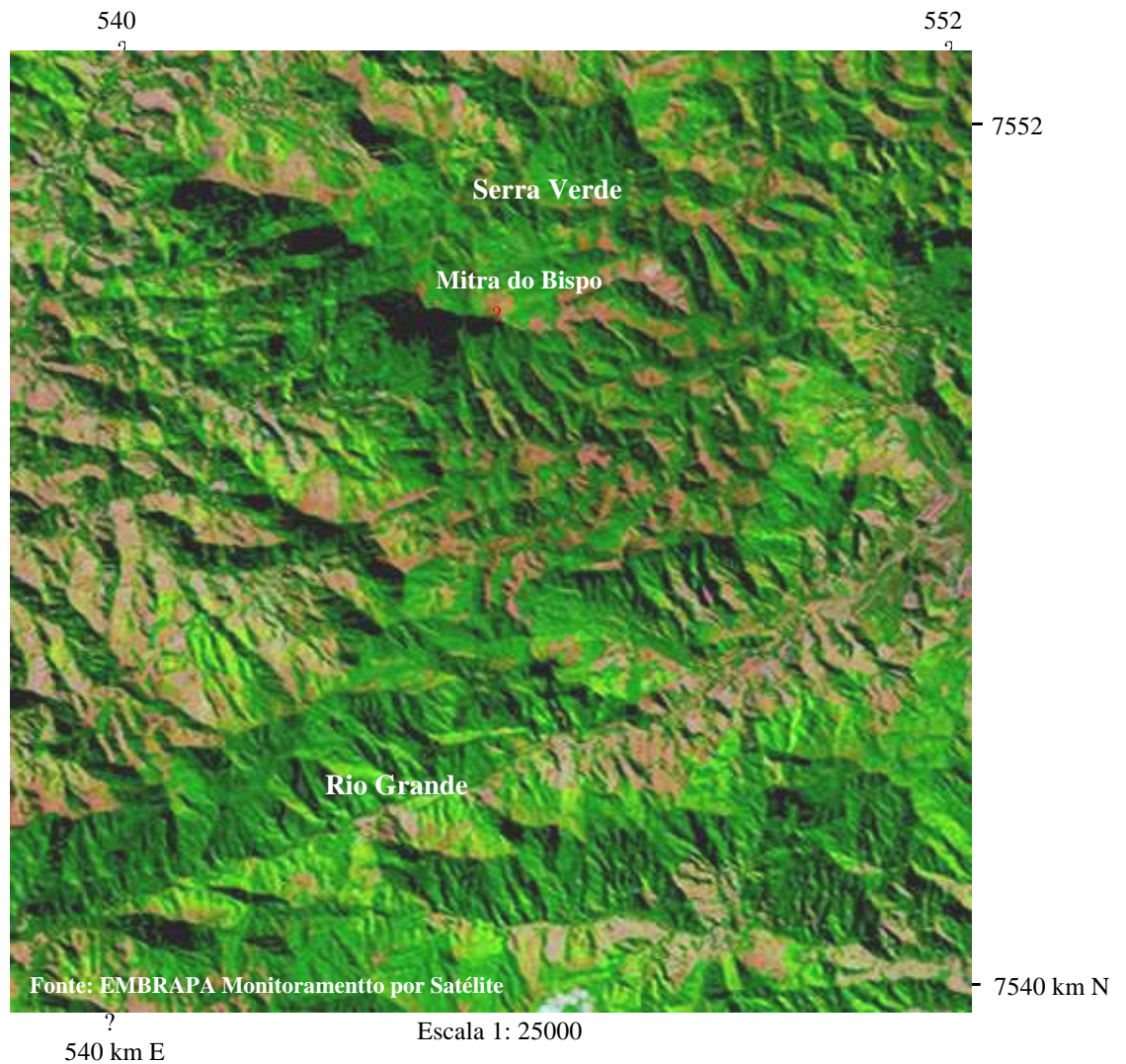


Figura 4 – Alinhamento de cristas e drenagens evidenciando forte controle estrutural.

### 3.2.1 Turfeiras de altitude

São áreas rebaixadas ou abaciadas localizadas em fundos de vale, em cotas que variam de 1700 a 2000m, que experimentam hidromorfismo durante grande parte do ano. Constituem zonas de recepção de materiais sedimentares das encostas vizinhas,

ocupadas por Floresta Ombrófila Densa Montana e Alto-montana (Floresta Perenifólia). O ambiente conservador, estruturalmente controlado, sob condições de alta precipitação, favorece o predomínio de condições anaeróbias por período prolongado, reduzindo a decomposição dos resíduos orgânicos.

Portanto, o acúmulo de material orgânico é pronunciado, com formação de Organossolos (turfeiras) e Gleissolos (Figura 5). Nestes ambientes observa-se vegetação higrófila com ocorrência de ciperáceas e eriocauláceas adaptadas às condições de encharcamento sazonais.

São áreas de notável importância, pois ocorrem intimamente associadas às nascentes em áreas de altitude, como no caso dos Córregos da Mitra e dos Nogueiras (Mapa em anexo). Além de armazenar água da chuva, concentram a água de inúmeras nascentes, funcionando como verdadeiras “caixas d’água” ou “minas” ao longo do ano. Durante o período seco observa-se a liberação gradual da água retida durante as chuvas, tamponando o sistema.

VELOSO (1991) utiliza o termo refúgio ecológico para toda e qualquer vegetação florísticamente diferente do contexto da flora regional dominante, constituindo vegetação relíquia que persiste em condições especiais. Na Serra Verde inserem-se neste conceito as áreas de turfa, as mata de candeia e os complexos rupestres de altitudes.

Na área mapeada neste estudo, observa-se a ocorrência de três Turfeiras, representando apenas 0,3% da área (5,1 ha), no entanto, são comuns em todo o entorno. Outros autores citam a ocorrência deste geoambiente em diferentes áreas montanhosas, comumente associado a complexos rupestres de altitude (RIZZINI, 1979; FERRI, 1980; BENITES, 2002).



Figura 5 – Corte de estrada na borda de uma turfeira evidenciando expressivo acúmulo de material orgânico e completa desferrificação da porção mineral subjacente, devido à prolongada condição de hidromorfismo verificada neste

### **3.2.2 Topos aplainados com candeia**

São áreas mais ou menos aplainadas, preservadas ao longo das vertentes, formando cristas estruturais alinhadas com predomínio de candeia (*Vallinosmopsis eritropappa*), representando 8,0% (125,2 ha) da área mapeada. BENITES (2002), estudando campos de altitude brasileiros, considerou as matas de candeia como parte do estrato arbustivo arbóreo do complexo rupestre de altitude. Devido às características bastantes peculiares, principalmente em relação à vegetação, que

distinguem este ambiente dos demais no contexto da Serra Verde (Figura 6), optou-se neste estudo pela sua separação.

Observa-se abundância de líquens e bromélias recobrando a superfície do solo, com pteridófitas compondo denso estrato sub-arbustivo. Devido à ocorrência freqüente de neblina, as áreas elevadas das serras são popularmente conhecidas por “matas-nebulares” (VELOSO, 1991), apresentando alta incidência de líquens e epífitas em função da alta umidade relativa do ar ( FERRI, 1980).

Nesta unidade, ocorrem Neossolos Litólicos associados a Cambissolos Distróficos caracterizando ambientes ácidos, oligotróficos e com baixa capacidade de armazenamento de água. Assim, a vegetação apresenta adaptações xeromórficas, como troncos retorcidos, casca rugosa, galhos finos, folhas pequenas e coriáceas. A presença de Latossolos em áreas mais preservadas sugere a existência de uma superfície contínua, latossolizada em condição climática pretérita diferente da atual, possivelmente mais quente, seca e com menor presença de matéria orgânica.

Os resultados das análises químicas evidenciam a pobreza nutricional deste geoambiente, que apresenta os menores teores de nutrientes na serapilheira entre os ambientes analisados (Quadros 2 e 3). Os altos valores de C/N indicam o caráter recalcitrante do material vegetal produzido neste ambiente, com expressivo acúmulo em superfície. DIAS (2000) destaca a importância dos líquens fixadores de nitrogênio do gênero *Usnea sp.*, comuns também nos candeiais da Serra Verde, no aporte deste nutriente em matas de candeia sobre quartzito.

Observa-se o controle edáfico sobre a vegetação, com aumento do porte dos indivíduos e diversificação de espécies relacionado a solos mais profundos e maiores acúmulo de matéria orgânica, permitindo maior tempo de permanência de água no sistema. Ocorrem transições com as formações montana e alto-montana da Floresta Ombrófila Densa (ambos classificados como Floresta Perenifólia).

Quadro 1 – Características ecogeográficas dos geoambientes estudados e problemas ambientais associados.

Unidades geoambientais	Área (ha)	Formas (modelados)	Pedoambiente	Vegetação	Indicação de uso	Riscos ambientais
Encostas e Grotas Florestadas	624,7	Dissecação - ravinado	Cambissolos Húmicos e Hísticos, Organossolos.	Floresta Ombrófila Densa Montana e Alto-Montana	Pesquisas científicas; bancos de semente; contemplação; ecoturismo	Incêndios nos campos adjacentes, reduzindo as áreas de floresta.
Turfeiras de altitude	5,1	Acúmulo -Plano/abaciado	Hidromorfismo sazonal Organossolos, Gleissolos	Estrato graminóide	Preservação permanente; pesquisa; ecoturismo	Alteração na qualidade e quantidade dos recursos hídricos
Topos aplainados e cristas com candeia	125,2	Aplainado/ondulado; partes expostas dissecadas	Neossolos, Cambissolos, Latossolo Vermelho-Amarelo	Mata de Candeia ( <i>Vallinosmopsis eritropappa</i> );	Ecoturismo; monitoramento ambiental; pesquisas científicas; preservação	Fácil combustão; Utilização como mourões e na extração de óleos essenciais.
Complexo rupestre de altitude	365,6	Suave a forte ondulado; escarpado; Patamares estruturais de acúmulo.	Neossolos, Cambissolos Húmicos, Espodossolos. Morfogênese > pedogênese	Estratos graminóide e sub-arbustivo/arbóreo	Ecoturismo; monitoramento ambiental, pesquisa	Ambiente reliquiar, altamente sensível a impactos; extinção de espécies endêmicas e ameaçadas; morfogênese acentuada
Escarpas	74,4	Dissecação, montanhoso/escarpado	Neossolos Litólicos e Húmicos. Morfogênese >> pedogênese	Arbustiva na porção superior; Bromélias na porção mais exposta e Floresta montana nas “franjas”.	Contemplação; monitoramento ambiental; preservação	Possibilidade de acidentes; áreas sujeitas a movimentos de massa
Vales com araucárias	60,2	Acúmulo Plano; suave ondulado	Cambissolos Húmicos e Hísticos. Pedogênese > morfogênese	Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana	Recuperação dos fragmentos; ecoturismo	Efeito de borda, semelhante ao observado nas encostas e grotas florestadas
Patamares com floresta primária	43,9	Plano/suave ondulado	Cambissolos Hísticos e Organossolos	Floresta Ombrófila Densa Montana	Pesquisa; Ecoturismo	Idem ao anterior
Áreas em regeneração	168,2	Plano; Suave a forte ondulado	Cambissolos Distróficos (candeia) Cambissolos Húmicos (floresta montana)	Mais comuns: Pteridófitas, Melastomáceas, Leguminosas	Culturas subtropicais, apicultura com espécies nativas, SAFs.	Intervenções antrópicas e pastejo, retardando a regeneração
Pastagens	99,3	Ondulado	Neossolos Litólicos Cambissolos Distróficos	Estrato graminóide	Regeneração; plantio de candeia	Incêndios antrópicos, ameaçando áreas adjacentes.

Quadro 2 – Características físicas e químicas dos solos estudados

Hor	Prof. cm	pH		P	SB	t	T	m	COT	C/N	Ag	Af	S	Arg
		H <sub>2</sub> O	KCl	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	dg kg <sup>-1</sup>	%	%	%	%	%	%	%
<b>Perfil 1 – Organossolo Mésico Sápico típico – Encostas e grotas florestadas</b>														
O <sub>1</sub>	0-4	5,2	4,1	8,9	5,9	6,8	24,5	13,0	15,8	13	-	-	-	-
O <sub>2</sub>	4-9	3,8	3,8	9,6	2,9	5,1	23,9	43,0	13,6	15	-	-	-	-
O <sub>3</sub>	9-44	4,7	4,0	5,2	0,8	3,3	27,2	75,0	10,1	12	50	25	12	13
2A <sub>1</sub>	44-84	5,1	4,3	1,25	0,3	1,0	17,3	70,0	6,7	33	56	21	9	14
2Bi	84-120 <sup>+</sup>	5,3	4,5	3,1	0,2	0,5	10,9	60,0	3,5	35	45	16	18	21
<b>Perfil 2 – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico- Topos aplainados e cristas com candeia</b>														
O	0-3	4,4	3,1	0,45	1,5	4,9	22,5	69,6	21,4	43	-	-	-	-
A1	3-10	4,8	3,6	3,45	1,6	3,7	17,6	56,8	15,7	26	32	22	14	32
AB	10-20	4,5	4,0	1,6	0,5	1,3	11,1	60,0	5,6	11	35	17	12	36
Bw <sub>1</sub>	20-60	5,3	4,8	0,35	0,7	0,9	5,8	22,2	1,5	15	32	15	15	38
Bw <sub>2</sub>	60-100 <sup>+</sup>	5,4	4,8	0,5	0,3	0,4	4,4	25,0	1,5	15	28	17	16	39
<b>Perfil 3 – Espodosolo Ferrocárbico Órtico típico – Complexo rupestre de altitude</b>														
O	0-2	4,4	3,1	3,5	3,9	5,3	32,6	47,2	33,3	15	-	-	-	-
A1	2-10	4,7	3,6	2,2	1,2	2,6	14,6	73,1	2,1	7	58	20	11	11
Bh	10-40	4,9	3,8	1,4	0,6	2	13	80,0	3,2	32	53	26	10	11
Bhs	40-90	5,1	4,1	0,3	0,3	1,9	13,7	84,2	2,6	26	51	22	11	16
2BC <sub>1</sub>	90-110	5,2	4,2	2,1	0,3	1,3	11,5	84,6	1,4	14	56	27	10	7
2BC <sub>2</sub>	110-130	5,2	4,3	1,25	0,2	0,8	5,7	75,0	0,5	-	54	22	10	14
2C	130-	5,3	4,4	1,35	0,2	0,6	4,7	66,6	0,7	-	52	23	11	14
<b>Perfil 4- Cambissolo Húmico Distrófico típico- Complexo rupestre de altitude</b>														
O	0-2	4,9	3,6	3,7	2,64	5	24,54	50,6	36,9	95	-	-	-	-
A1	2-60	5,0	4,0	1,05	0,3	2	16,8	87,5	6,4	46	49	31	10	10
A2	60-80	5,1	4,11	1,35	0,2	1	13,2	86,6	3,4	23	46	22	13	19
Bi	80-100	5,1	4,2	5,75	0,49	1	7,9	67,1	1,5	75	53	24	11	12
C	100+	5,0	4,2	9,6	0,41	1	5,5	70,9	0,8	40	52	23	09	16

SB = Soma de bases trocáveis; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; m = índice de saturação de alumínio; COT = carbono orgânico total; C/N = relação entre carbono e nitrogênio; Ag = areia grossa; Af = areia fina; Arg = argila

Quadro 3 – Teores totais de macro nutrientes na serapilheira dos solos estudados.

Perfil	Espessura cm	P	K	mg dm <sup>-3</sup>			Mg	Al
				Na	Ca			
1	10	996	2.270	2.487	11.810	2.180	2.556	
2	6	368	1.178	1.363	6.780	1000	4.808	
3	4	877	2.529	2.684	10.840	2.220	10.478	
4	3	417	1.379	1.615	8.390	1.090	2.388	

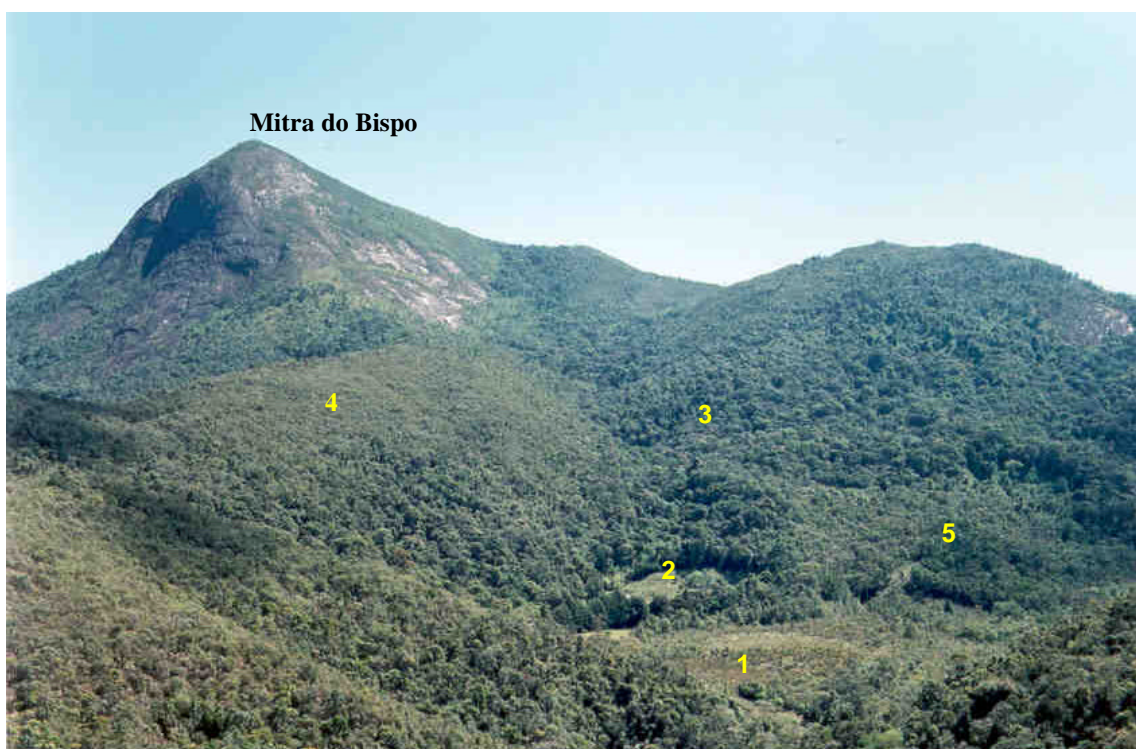


Figura 6 – Microbacia de cabeceira do córrego da Mitra do Bispo com (1) área de turfeira, (2) área de uso antrópico, (3) grotas e encostas florestadas, (4) área aplainada com padrão típico de mata de candeia e (5) área em regeneração.

A maior ameaça sobre este geoambiente está relacionada à utilização tradicional da candeia como mourão de cerca, devido à extrema resistência à decomposição. Atualmente, existe grande interesse por parte de indústrias de cosméticos na extração de óleo essencial desta planta. No caso de incêndios, são áreas que devem receber atenção especial pois a candeia é de fácil combustão, podendo agravar severamente a situação. A abundância de materiais parcialmente carbonizados, verificada tanto a nível macroscópico, no perfil do solo, como na análise micromorfológica (Capítulo 2) indica ocorrência pretérita de incêndios.

### 3.2.3 Complexo rupestre de altitude

Esta unidade representa 23,4% (365,6 ha) da área estudada, sendo o segundo geoambiente mais extenso. Ocorre sempre na porção mais elevada da paisagem

(Figura 7), englobando estratos de vegetação herbácea e subarbustiva-arbórea, assim como afloramentos de rocha e “ilhas” de Floresta Alto-montana. São áreas de refúgio ecológico onde condições ambientais específicas resultam no desenvolvimento de um ecossistema completamente distinto daqueles no seu entorno (VELOSO, 1991).

Estão presentes no topo das principais cadeias montanhosas brasileiras, sobre diferentes litologias, sendo notáveis pela biodiversidade e elevado grau de endemismo. Apesar da elevada precipitação, observa-se adaptações xeromorfas da vegetação. O pouco tempo de permanência de água nestes sistemas deve-se ao relevo acidentado e aos solos rasos e arenosos. Os ventos incessantes, elevada insolação e grande amplitude térmica diária também demandam mecanismos adaptativos (RIZZINI, 1979). São áreas de extrema importância para a manutenção da biodiversidade e estudos científicos (BIODIVERSITAS, 1999).

As características pedo-climáticas condicionam intensa morfogênese, com predomínio de Neossolos Litólicos e afloramentos rochosos, como a Mitra do Bispo. Ocorre a presença de estrato herbáceo graminóide com gramíneas, ciperáceas e eriocauláceas, com arbustos esparsos e árvores isoladas. Em áreas sobre granito, como a Serra Verde, são comuns as famílias Melastomataceae, Orquidaceae, Iridaceae, Erioucaulaceae, Droseraceae e Asteraceae (FERNANDES e BEZERRA, 1990).

Nas posições mais conservadoras, ocorre o espessamento do solum com formação de horizontes húmicos profundos (>80 cm), sendo observada a presença de estrato sub-arbustivo. Assim como em outras formações rupestres sobre granitóides, a maior parte da vegetação apresenta-se revestida por líquens arbustivos e possui folhas pequenas, coriáceas, sempre verdes e, por vezes, esbranquiçadas. (FERRI, 1980; RIZZINI, 1979).



Figura 7 – Complexo rupestre de altitude. Predomínio de estrato graminóide, com arbustos esparsos e afloramentos de rocha. Ao fundo, destaca-se a Mitra do Bispo.

Nos afloramentos ocorrem em abundância líquens e briófitas, pioneiros do intemperismo das rochas. Em situações favoráveis ao acúmulo observa-se a formação de horizontes húmicos e hísticos sobre a rocha, permitindo o desenvolvimento de vegetais superiores. A Mitra do Bispo apresenta forma arredondada, do tipo pão-de-açúcar, relacionada à natureza homogênea dos granitóides.

Apesar de guardarem diferenças florísticas, os complexos rupestres sobre granito em muito se assemelham aqueles sobre quartzito, mais profundamente estudados (RIZZINI, 1979). O elevado índice de endemismo revela longos períodos de isolamento, onde a especiação se deu de forma extremamente localizada (JOLY,

1970). Atualmente tem-se áreas similares, disjuntas em serras isoladas, onde ocorrem condições geoambientais específicas. A alteração dessas condições tende a desencadear um processo de redução e extinção das espécies endêmicas.

Além do xeromorfismo, a vegetação apresenta características adaptadas à presença do fogo, como córtex espesso nos arbustos e semi-arbustos, sistemas subterrâneos desenvolvidos, desaparecimento das partes aéreas, brotamento no início das chuvas, bainhas persistentes protegendo os caules e espécies anuais (GIULIETTI et al., 1987). Seria necessária a presença freqüente de fogo por longo período para o desenvolvimento de tais adaptações, indicando a ocorrência de incêndios relacionada à gênese deste ambiente.

A análise micromorfológica dos horizontes superficiais destes solos (ver Capítulo 2) evidencia abundante presença de carvão nos solos das áreas de refúgio (P1, P3, P4) com indícios de horizonte A enterrado por mais de 80 cm de material pedogenizado, corroborando a idéia do parágrafo anterior.

O termo *Black Carbon* (carbono pirogênico) tem sido utilizado para denominar a matéria orgânica no solo produzida via queima, altamente aromática e estável, diferente dos compostos produzidos somente pela decomposição microbiana (GLASER et al., 2000). São considerados parte significativa da fração inerte ou passiva de C nos modelos de ciclagem, constituindo indicadores da ocorrência pretérita de fogo, tanto em escala recente como geológica (SEILER e CRUTZEN, 1980).

As análises químicas dos solos que ocorrem neste ambiente (P3 e P4, associados respectivamente a “ilhas” de floresta e estrato sub-arbustivo), revelam maiores valores de saturação por alumínio em relação aos solos sob floresta e candeia (Quadro 2). Isto se deve à lixiviação mais intensa, com maior participação de formas poliméricas de alumínio controlando a atividade de  $Al^{3+}$  no meio (vide Capítulo 2). Assim, mesmo com a fração argila predominantemente gibbsítica, ocorre atividade suficiente deste metal para saturar mais de 70% do complexo de troca (Quadro 2). A menor produção de fitomassa pela vegetação campestre, a ocorrência mais freqüente

de incêndios, a textura mais arenosa dos solos e relevo mais acidentado, sob alta precipitação anual, contribuem para o menor teor de carbono nos horizontes superficiais em relação aos ambientes florestais. Porém, devido à textura arenosa, observa-se grande migração do carbono ao longo do perfil.

Devido à grande exposição e predomínio de vegetação herbácea, são áreas extremamente susceptíveis ao fogo, devendo ser incluídas em planos de prevenção e monitoramento, especialmente pelo fato de serem tradicionalmente utilizadas como pastagem, com queima anual. A notável beleza cênica e importância ecológica apontam o elevado potencial turístico e científico destas áreas.

### **3.2.4 Vales com araucárias**

Segundo relatos de moradores antigos, os vales e terços inferiores das encostas eram densamente povoados com *Araucária angustifolia* e espécies associadas (*Podocarpus lamberti*, *Drymis brasiliensis*). Denominada Floresta Ombrófila Mista Alto-montana ou Floresta de Araucária, representa o resultado da mistura entre as floras amazônica e a temperada australásica (VELOSO, 1991).

A atividade madeireira provocou intensa alteração nestes geoambientes na Serra Verde. Na área estudada, representam apenas 3,8% (60,2 ha) do total. Mesmo assim, é notável a presença de bosques em regeneração e pequenos povoamentos pouco explorados, constituindo possivelmente um dos mais importantes e antigos refúgios destas gimnospermas em Minas Gerais (Figura 8).

Ocorrem ao longo dos principais cursos d'água em extensos vales suspensos, pouco afetados pelas movimentações tectônicas, e no terço inferior das encostas onde ocorre espessamento do solum e aumento do teor de matéria orgânica, formando horizontes húmicos ou hísticos. Observa-se grande conectividade entre os fragmentos e a formação de áreas de tensão ecológica ou ecótonos com a Floresta Ombrófila Densa Montana e o complexo rupestre de altitude. É bastante evidente o controle edáfico com Neossolos Litólicos nas áreas de campo e solos mais profundos e com maior teor de matéria orgânica das áreas com Araucárias.



Figura 8 – Remanescente de Araucária na porção inferior da encosta e ao longo dos cursos d'água. Observa-se ao fundo a presença de mata de candeia degradada, evidenciando ocorrência recente de incêndio.

Esses refúgios isolados da antiga “floresta de coniferales”, que dominou áreas das plataformas mesozóicas do hemisfério sul (África-Austrália-América do Sul), ocorrem em áreas elevadas das serras do Mar e da Mantiqueira, sendo considerados centros de dispersão desta vegetação. Assim, através do sistema hidrográfico do rio Paraná, se expandiu para o “planalto das araucárias” ou Planalto Meridional, onde domina atualmente (VELOSO, 1991).

São desejáveis maiores estudos sobre a dinâmica e características ambientais associadas a esta gimnosperma a fim de subsidiar futuros reflorestamentos econômicos na região.

### **3.2.5 Escarpas**

Marcam os limites do bloco que forma a Mitra do Bispo e os vales mais elevados da Serra Verde. Constituem verdadeiras paredes ou precipícios de pedra, com ocorrência de vegetação arbustiva na porção superior, menos íngreme, e predomínio de bromélias na porção mais exposta.

São áreas de beleza indescritível, de onde é possível avistar a Pedra Selada, em Visconde de Mauá, as Agulhas Negras, no Parque Nacional de Itatiaia, e o Pico do Papagaio, no Parque Estadual da Serra do Papagaio. Portanto, são estratégicas para o monitoramento ambiental da região, com ênfase para os planos de prevenção contra incêndios florestais e observação da avifauna.

As florestas de escarpa constituem “franjas” florestadas que ocorrem na porção inferior das escarpas, onde há desenvolvimento de solum (Figura 9). Assemelham-se à vegetação das encostas, porém são formadas por indivíduos de menor porte.



Figura 9 – Escarpas de falha, delimitando o compartimento planáltico da Mitra do Bispo.

### 3.2.6 Encostas e grotas florestadas

Ocupam 39,8 % (624,7 ha) da área estudada, constituindo o geoambiente de maior extensão, ocupado por exuberante Floresta Ombrófila Densa Montana e Alto-montana. A maior parte sofreu intensa retirada de madeira, mas ainda podem ser encontradas áreas primárias, como na RPPN da Mitra do Bispo, nas porções mais elevadas, de difícil acesso, e nas grotas. Na Serra Verde, observa-se a presença deste geoambiente em cotas que chegam a mais de 1800m de altitude. Correspondem às áreas mais dissecadas que formam as encostas íngremes dos vales da Serra Verde.

Associadas às encostas, as grotas são ambientes fortemente condicionados à estrutura geotectônica das rochas cristalinas que formam o bloco da Mitra do Bispo. Originam-se a partir da percolação de água ao longo de planos de falha ou fraturas das rochas que formaram, em longo tempo, profundas incisões em áreas fortemente dissecadas (Figura 10).

A elevada produção de fitomassa e baixa decomposição, condicionam o desenvolvimento de solos com expressivo acúmulo de material orgânico, bem como horizontes enterrados. Devido à íntima associação com as encostas, tanto do ponto de vista edáfico como florístico, optou-se pela não separação destes geoambientes.

Seguindo o controle estrutural, observa-se ao longo das encostas a transição de solos mais rasos nos topos, sob forte morfogênese, para solos mais profundos em ambientes mais favoráveis à pedogênese. Assim, a partir da meia-encosta observa-se o aumento do porte dos indivíduos e presença de sub-bosque menos denso. Nas áreas coluvionares mais aplainadas formadas ao pé da encosta os indivíduos chegam a mais de 25 m de altura.

São comuns as famílias Lauraceae, com ocorrência de diferentes tipos de canela (*Nectandra sp.*, *Ocotea sp.*) e também Meliaceae como a canjerana (*Cabralea canjerana*). O sub-bosque é composto por diversas espécies de Rubiaceae, Myrtaceae e Melastomataceae, sendo comum a presença de fetos arborescentes (samambaia-açu e xaxim) e espécies de Bromeliaceae e Orquidaceae.

O Organossolo, representativo das áreas coluvionares de pés de encostas, evidencia o pronunciado acúmulo de material orgânico que ocorre nesta situação. Observa-se maior riqueza em nutrientes tanto no solo quanto na serapilheira destes ambientes em relação aos demais (Quadros 2 e 3). O ambiente de recepção, com maior tempo de permanência de água favorece a absorção de nutrientes, especialmente por fluxo de massa.



Figura 10 – Encosta florestada com grota associadas, vista de afloramento rochoso do complexo rupestre de altitude.

### **3.2.7 Patamares estruturais com floresta**

Constituem área aplainadas, estruturalmente controladas, embutidas na face sul da Mitra do Bispo. Nestes ambientes estão localizadas as áreas mais significativas de Floresta Ombrófila Densa Montana primária da Serra Verde, representando 2,8 % (43,9 ha) da área estudada. Observa-se maior porte da vegetação em relação aos

outros geoambientes sob floresta. As condições ambientais favoráveis ao acúmulo e elevada produção de biomassa pela vegetação florestal, similares aquelas observadas nas áreas mais aplainadas ao pé das encostas, favorecem o desenvolvimento de horizontes hísticos profundos, sendo provável a ocorrência de Organossolos.

Segundo relato de antigos madeireiros, não houve retirada nessas áreas. Assim, representam o ecossistema muito próximo do estado de equilíbrio, sendo extremamente adequadas para realização de pesquisas científicas.

### **3.2.8 Pastagens**

Devido ao difícil acesso e extrema pobreza dos solos da região, a atividade pecuária sempre se deu de forma extensiva. Tradicionalmente, as áreas de complexo rupestre de altitude com estrato herbáceo nativo eram manejadas com fogo anual, constituindo a principal pastagem na Serra Verde. Assim, não se observa a ocorrência de capim gordura (*Melinis minutiflora*), comum nas pastagens encontradas na região do entorno, mais rebaixadas.

A maior parte destas áreas foi incluída como complexo rupestre de altitude, devido à pouca expressão da atividade pecuária atualmente. As áreas identificadas como pastagem no mapa de geoambientes representam 5,5% (99,3 ha) da área estudada, constituindo porções intensamente antropizadas dos geoambientes adjacentes. No entanto, optou-se pela separação das pastagens como geoambiente por apresentarem características ambientais e problemas ecogeográficos próprios, diferentes daqueles observados nas demais unidades geoambientais estudadas.

A utilização dos campos nativos para essa atividade causa grande impacto devido à prática da queima e à própria presença dos animais. Com a redução desta atividade, são menos frequentes os incêndios, o que permite a regeneração dos geoambientes associados. Lentamente observa-se o restabelecimento de arbustos nas áreas de campo e a expansão das áreas de candeia e floresta.

### **3.2.9 Áreas em regeneração**

Representam 8,7% (168,2 ha) da área estudada, englobando diferentes estágios de sucessão. Ocorrem principalmente associadas às áreas de Floresta Montana e Altomontana onde houve maior ação antrópica e degradação. Entendendo a importância de conhecer a extensão e localização destas áreas e pela ocorrência de características ambientais próprias, optou-se pela separação deste geoambiente.

Nas áreas de candeia, a sucessão é iniciada pela ocupação por samambaias e, em seguida, pela formação de capoeiras dominadas por melastomáceas, sucedidas pela própria candeia. Nas áreas associadas à floresta montana tem-se a formação de agrupamentos homogêneos de leguminosas arbóreas, precedidos por estrato dominado por melastomáceas. Nas áreas de Floresta, observa-se a proliferação de um tipo de taquara (conhecida localmente como cricúma), extremamente agressiva nos locais onde houve retirada da vegetação primária, chegando a suprimir as espécies florestais.

As áreas de uso antrópico representam apenas 1% da área estudada, onde estão incluídas áreas residenciais, construções rurais, cultivos, etc. As características do solo, climáticas e de relevo, somada ao perfil cultural dos atuais proprietários (quase todos imigrantes urbanos) resultam em quase nenhum cultivo anual. Predominam plantios perenes com espécies subtropicais (maçã, pêssigo, morango, amora, etc.), utilizadas na fabricação de geléias, e a apicultura.

#### 4. CONCLUSÕES

- Foram identificados e mapeados 9 geoambientes no entorno da Mitra do Bispo. Destacam-se as áreas de Floresta Ombrófila Densa Mista, Montana, Altomotana e Complexo Rupestre de Altitude. A grande conectividade e o elevado grau de conservação destes geoambientes é de grande importância para a preservação do Bioma Mata Atlântica. É, portanto, uma área estratégica para o desenvolvimento de estudos sobre os fragmentos de ecossistemas nativos nos altos da Mantiqueira e preservação de remanescentes de Araucárias em Minas Gerais. A proximidade dos Parques do Itatiaia e da Serra do Papagaio caracteriza a Serra Verde como zona tampão destas áreas. Do ponto de vista do uso da terra, a região apresenta potencial ecoturístico e científico, sendo grande parte considerada por lei como áreas de preservação permanente.
- A profundidade e tipo de solo são determinados pela evolução geomorfológica, exercendo controle sobre os tipos de vegetação. Desta forma, observa-se o aumento do porte e diversidade de indivíduos, associado ao aumento da retenção de água no solo, solum mais espesso e pedofoma menos expositoras. Os maiores teores de nutrientes nos horizontes superficiais e a pobreza química do manto pré-intemperizado revelam a extrema importância dos mecanismos de ciclagem nestes ambientes, onde a matéria orgânica (colóides orgânico da fração humificada) constitui elemento essencial de resiliência.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21. Capítulo 13: Gerenciamento de ecossistemas frágeis: desenvolvimento sustentável das montanhas. **www.agenda 21.org.br**.

BENITES, V.M, SCHAEFER, C.E.R.G., MENDONÇA, E.S.. e MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 25:661-674, 2001

BENITES, V.M. **Caracterização dos solos e das substâncias húmicas em Complexos Rupestres de Altitude**. Tese de Doutorado. Viçosa:UFV, 2002

BIODIVERSITAS. **Atlas das prioridades para conservação da biodiversidade do Estado de Minas Gerais**. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, 1999. 45 p.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A. **Análise Química do Solo**. 2<sup>a</sup> ed. Viçosa, MG. UFV, 1997.26p. (Boletim de extensão).

DENNISTON, D. Sustaining Mountain Peoples and Environments. **State of the World**, 1995. p.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análises de solo**. 2<sup>a</sup> edição. Rio de Janeiro, 1997.

EMBRAPA, CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FERNANDES, A. e BEZERRA, P. **Estudo fitogeográfico do Brasil**. Fortaleza: Stylus Comunicações, 1990. 205p.

FERRI, M. G. Vegetação Brasileira. Ed. Univ. de São Paulo, São Paulo. 157p. 1980.

GIULIETTI, A. M.; MENEZES, N. L.; PIRANI, J. R. e WANDERLEY, M. G. L. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: caracterização e lista das espécies. *Bol. Bot. Univ. S. Paulo* 9: 1-157. 1987.

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER E ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**. 31 (7-8):669-678. 2000.

JOLY, A.B. **Conheça a vegetação brasileira**. EDUSP, São Paulo, 1970. 181 p.

- LAMEGO, **O massiço do itatiaya e regiões circundantes**. Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, bol.88, 1938. 94 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das pantas**. Piracicaba: Associação Bras. Para Pesquisa da potassa e do Fosfato 1989, 201 p
- MUNSËLL. **Soil Color Charts**. Maryland, 1994.
- RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: Folhas SF23/24. Rio de Janeiro/Vitória; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1983. 780 p.
- RIZZINI, C. T. (1979). **Tratado de fitogeografia do Brasil**. 2o vol. Ed. HUCITEC e Ed. Univ. de São Paulo, São Paulo. 374p.
- SACHS, I, (2000). **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. CDS-UNB. Ed. Garamond, Brasil.
- SCHAEFER, 1996. **Relatório de excursão de pedologia ao Itatiaia e ao estado do Rio de Janeiro**. 32 p.
- SCHAEFER, C.E.R.,; *Ecogeography and Human Scenario*. **Ciência e Cultura**, v. 49, n.4, p.241-252. 1997.
- SCHAEFER, C.E.R.; ALBUQUERQUE, M.A.; CHARMELO, L.L.; CAMPOS, J.C.F.; SIMAS, F.N.B. **Elementos da Paisagem e a Gestão da Qualidade Ambiental**. Informe Agropecuário, v.21, jan./fev. 2000.
- SEILER, W.A.; CRUTZEN, P.J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. **Climatic Change**, **2 (3):207-247. 1980**.
- TRICART, J.; KIEWITDEJONGE, C. **Ecogeography and rural mangement**. Longman Scintific, Harlow, 1992.
- VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R. e LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro. 1991.123p.
- YEOMANS, J.C. e BREMNER, J.M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19(13): 1467-1476. 1988.

**CAPÍTULO 2**

**TOPOSEQUÊNCIA DE SOLOS SOB DIFERENTES TIPOLOGIAS DE  
MATA ATLÂNTICA NA SERRA VERDE, MANTIQUEIRA MINEIRA:  
ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS, MINERALÓGICOS E  
MICROMORFOLÓGICOS**

**1. INTRODUÇÃO**

O estudo de ambientes naturais pouco antropizados é de grande utilidade para subsidiar parâmetros de gestão ambiental. As informações sobre as características ambientais destas áreas passam a constituir um referencial de qualidade ambiental, a ser levado em conta na utilização e monitoramento dos recursos naturais.

O estudo da gênese dos solos em um dado ambiente é uma das melhores formas de ordenar a imensa variabilidade de solos e paisagens, estabelecendo suas ligações com diversas outras disciplinas científicas (VAN BREEMEN e BUURMAN, 1998).

Neste sentido, os estudos pedológicos envolvendo atributos químicos, físicos e mineralógicos, fornecem importantes informações a nível local, permitindo evidenciar fenômenos geoambientais na paisagem. Assim, através dos estudos de solo são identificadas condições ambientais locais específicas, de importância para o conhecimento dos solos, em nível mais amplo (SCHAEFER et al., 2000). A partir dessas informações básicas, pode-se extrapolar determinadas características, em nível regional, conferindo maior segurança às tomadas de decisão.

No Capítulo 1 deste trabalho, destacou-se a importância da região da Serra Verde, no entorno da Mitra do Bispo, em relação à gestão dos altos da Mantiqueira. O relativo estado de conservação e a grande conectividade dos diferentes geoambientes caracterizam uma área de referência no tocante à qualidade ambiental na Mantiqueira.

Do ponto de vista pedológico, as regiões serranas da Mantiqueira destacam-se pelo elevado acúmulo de matéria orgânica no solo, que desempenha processos

importantes no equilíbrio dos geoambientes, constituindo um importante indicador de qualidade ambiental, devido à forte influência sobre as propriedades do solo e à elevada sensibilidade a impactos ambientais (DORAN, 1997).

Entre os ambientes terrestres, o solo constitui o principal reservatório de carbono orgânico. Embora extremamente inferior às quantidades encontradas nos oceanos, o carbono no solo e nas plantas apresenta em geral ciclagem muito mais rápida, no curto prazo (BATJES, 1996). As atividades antrópicas de alteração da cobertura vegetal e das formas de uso da terra influenciam a dinâmica de C, acelerando sua liberação e afetando o balanço global.

Os cálculos globais de estoque de carbono no solo possuem limitações principalmente devido à falta de dados completos comparáveis e de confiança, e informações sobre a extensão das classes de solo. A grande variação espacial, principalmente em termos de profundidade e densidade de solos sob uma mesma classificação e efeitos relacionados ao clima, relevo, material de origem, vegetação e uso da terra tornam complexa a análise ambiental (BATJES et al., 1996). Muitas vezes, faz-se necessário arbitrar determinadas características ou parâmetros.

O objetivo deste capítulo é caracterizar física, química, mineralógica e micromorfológicamente os solos de alguns geoambientes naturais, pouco antropizados, comuns nos altos da Serra da Mantiqueira, visando conhecer em maior detalhe os principais fatores e processos pedológicos e geomorfológicos atuantes em típico ambiente tropical montano. Desta forma, espera-se contribuir na ampliação da base de conhecimentos a respeito da evolução da paisagem em áreas montanhosas tropicais/subtropicais, a fim de subsidiar futuras ações de gestão ambiental.

Como hipótese de trabalho, o estudo de seqüências de solos, representando diferentes ambientes de destaque na Serra Verde, com base em atributos físicos, químicos e mineralógicos, permite a ampla e efetiva compreensão dos ambientes montanos da Mantiqueira Mineira, bem como a avaliação dos estoques de carbono no ambiente como um todo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta e preparo das amostras

Com base nas características gerais da paisagem da Serra Verde, amostraram-se quatro perfis de solo nos principais geoambientes, de forma a se entender melhor os processos e fatores predominantes em cada situação (Quadro 1). A Figura 1 ilustra a localização de cada perfil na paisagem, formando uma toposequência típica das áreas elevadas da Mantiqueira, sobre rocha granítico-gnáissicas.

As amostras foram secas ao ar, passadas em peneira de 2 mm e acondicionadas para análise. Também foram coletadas amostras compostas da serapilheira presente sobre cada solo. Estas foram secas, moídas e guardadas para análise. Os solos foram classificados até o quarto nível categórico conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS), e os horizontes foram identificados segundo os critérios para definição de horizontes diagnósticos (EMBRAPA, 1999).

Quadro 1 – Situação na paisagem dos perfis de solo descritos e amostrados

Perfil	Geoambiente	Altitude m	Profundidade do solum (cm)	Posição na paisagem
1	Encostas e grotas florestadas	1740	> 120	Terraço coluvionar, relevo suave-ondulado/plano
2	Topos com candeia	1820	Até 130	Alto de crista
3	Complexo rupestre de altitude	1900	Até 120	Patamar estrutural (relevo suave ondulado) ao pé da Mitra do Bispo
4	Complexo rupestre de altitude	1950	Até 100	Próximo ao topo da Mitra do Bispo, na beira da escarpa.

## **2.2 Análises físicas, químicas e mineralógicas**

As análises químicas e físicas de rotina foram realizadas conforme metodologia descrita no capítulo anterior (ver seção de Métodos).

A cor dos solos foi determinada em terra fina seca e úmida, utilizando-se a caderneta de Münsell (MÜNSELL, 1994). A composição química da fração argila foi estimada após digestão sulfúrica (EMBRAPA, 1997), sendo os teores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  determinados por espectrometria de emissão de plasma, e os teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{TiO}_2$  por fotolorimetria. Amostras de argila natural e silte dos horizontes minerais foram submetidas a difratometria de raios-X.

O Fe, Si e Al em minerais amorfos foi extraído por oxalato e o Fe em minerais cristalinos foi extraído pelo método do Ditionito-Citrato-Bicarbonato (McKEAGUE e DAY, 1966), utilizando-se 0,5 g de terra fina. A determinação nos extratos foi feita por espectrometria de emissão de plasma.

## **2.3 Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas**

O teor de cada fração húmica foi determinado em triplicatas, em todas as amostras, segundo a técnica de fracionamento quantitativo de substâncias húmicas adaptado por BENITES et al. (2001). Na extração dos ácidos húmicos e fúlvicos foi empregada solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> na relação solo:extrator de 1:10 p/v, e um tempo de contato de 24 h. A separação entre o extrato alcalino e o resíduo foi feita por centrifugação a 3.000 g ( $\text{FCR}_{\text{média}}$ ) por 20 min. Seguiram-se duas lavagens do resíduo com a mesma solução, adicionando-se os extratos aos anteriormente reservados. O resíduo foi recolhido e reservado para determinação de carbono na forma de humina (H). O extrato alcalino (EA) teve o pH ajustado para  $2,0 \pm 0,1$  com solução aquosa de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  20% e decantou por 18 h. O precipitado, fração ácidos húmicos (FAH), foi separado da fração solúvel por centrifugação a 3.000 g ( $\text{FCR}_{\text{média}}$ ) por 5 min, rediluído em solução NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e seu volume aferido para 50 mL. A porção solúvel no extrato acidificado, fração ácidos fúlvicos (FAF),

teve o volume aferido para 50 mL. A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina foi feita segundo método de YOEMANS e BREMNER (1988). Foram calculadas as relações entre as frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos (FAH:FAF) e a relação entre as frações solúveis no extrato alcalino (FAF + FAH) e o resíduo (humina), obtendo-se o índice (EA:H).

#### **2.4 Extração seqüencial de alumínio**

Utilizou-se a metodologia proposta por SOON (1993), identificando as seguintes frações de Al nas amostras de solo: (a) trocável, quantificado por extração com KCl 1mol L<sup>-1</sup>; (b) ligados à matéria orgânica, quantificado por extração com CuCl<sub>2</sub> 0.1 mol L<sup>-1</sup> + KCl 0.5 mol L<sup>-1</sup>; (c) polímeros de Al adsorvido, extraível com NH<sub>4</sub>OAc a pH 4.0, constituindo reserva não-trocável; (d) óxidos e hidróxidos de Al e aluminossilicatos amorfos (se presentes) extraíveis com oxalato de amônio a pH 3.0; e (e) Al intercadas extraível com citrato de sódio 0.33M a pH 7.3. As formas (a), (b) e (c) são extraídas seqüencialmente. Óxidos e hidróxidos de Al amorfos (d) são calculados pela diferença entre o Al extraído por oxalato de amônio e (a+b+c). O Al intercadas é calculado pela diferença entre o Al extraído por citrato de sódio e o extraído por oxalato de amônia. As últimas duas extrações foram realizadas em sub-amostras separadas de solo. O teor de Al<sup>3+</sup> nos extratos foi determinado por espectrofotometria de emissão de plasma.

#### **2.5 Micromorfologia**

As amostras indeformadas foram impregnadas com resina de poliéster e confeccionadas seções finas. Estas foram estudadas em microscópio petrográfico com luz plana e polarizada. Na descrição micromorfológica utilizou-se o princípio básico dos três níveis (BULLOCK et al., 1985), na seguinte seqüência: (i) descrição e identificação visual do componente, (ii) comparação visual do componente com padrões de referência e (iii) medições diretas do componente: tamanho, abundância,

área proporcional, cor, forma, textura da superfície, limites, variabilidade, orientação e padrões de distribuição. Utilizou-se a terminologia descrita em FITZPATRICK (1993).

## 2.6 Estimativa do estoque de carbono

Os valores de carbono total nos solos e geoambientes da Serra Verde foi estimado adaptando-se a metodologia utilizada por BATJES (1996) para o cálculo do carbono total dos solos do mundo. Segundo este autor, o cálculo do estoque de carbono no solo passa primeiramente pela determinação dos teores no perfil, segundo a fórmula abaixo:

$$Cd = \left( \sum_i \rho_i P_i D_i \right) * 100$$

Onde:

$Cd$  = carbono orgânico total (em ton ha<sup>-1</sup>), à  $d$  cm de profundidade;

$\rho_i$  = densidade do solo na camada  $i$  (g cm<sup>-3</sup>);

$P_i$  = teor de C (g C g<sup>-1</sup>) na camada  $i$ ;

$D_i$  = espessura da camada  $i$ ;

No presente estudo, considerou-se uma densidade média igual a 1 para todas as camadas. Foram calculados os teores de carbono considerando três profundidades, 0-30, 0-50 e 100 cm para cada perfil.

Para cálculo do estoque de C em cada geoambiente arbitrou-se, com base no estudo da toposequência P1-P4 e nas características pedo-geomorfológicas dos diferentes geoambientes, a área ocupada pelas classes de solo e a profundidade dos solos (Quadro 2; ex. Encostas e Grotas- 40 % da área ocupada por Organossolo com 100cm de profundidade e 60% ocupada por Cambissolo Húmico, com 50 cm de profundidade). No caso das áreas de turfeira estimou-se a profundidade média de um

metro e meio com teor de carbono igual ao encontrado no horizonte O<sub>1</sub> do Organossolo. Nas áreas de pastagem, optou-se por utilizar o teor de carbono do horizonte superficial do Espodossolo por ser o menor de todos, à profundidade média de 30 cm.

Quadro 2 – Estimativa da área ocupada pela classe de solo (%) e profundidade (cm) dos solos estudados, para cada geoambiente.

Geoambientes	Área (ha)	O	LV	ES	CH
Encostas e grotas	624,7	40% - 100cm			60% - 50 cm
Topos aplainados e cristas com candeia	125,2		20% - 100cm 40% - 50 cm 20% - 30 cm		
Complexo rupestre	344,6			20% - 100cm	40% - 100 cm
Vales com araucárias	60,2	30% - 100 cm			70% - 100cm
Pastagens	99,3			100% - 30 cm	
Áreas em regeneração	168,2		30% - 50 cm		30% - 100 cm
Escarpas	74,4				60 % - 50 cm
Turfeiras	5,1	100% - 150cm			
Patamares estruturais	43,9	100% - 100cm			
Mitra do Bispo*	21,9	50% - 30 cm			30% - 30 cm

O = Organossolo; LV = Latossolo Vermelho-Amarelo; ES = Espodossolo Ferrocárbico; CH Cambissolo Húmico; \*Apenas para fins de cálculo, a Mitra do Bispo foi considerada separadamente, no entanto, o estoque de carbono foi somado aquele obtido para o complexo rupestre de altitude.

Multipliou-se o teor de carbono no perfil, em determinada profundidade, pela área ocupada pela classe de solo, obtida através do mapeamento, chegando-se à uma estimativa do estoque de carbono absoluto e relativo por geoambiente, e na área como um todo. Calculou-se o teor médio de humina em cada profundidade, a partir dos dados do fracionamento quantitativo das substâncias húmicas (Quadro 6) e assim obteve-se uma aproximação da quantidade de carbono de ciclagem lenta. No entanto, vale ressaltar que parte deste carbono é na verdade matéria orgânica leve (MOL), de rápida ciclagem, que durante o fracionamento soma-se à fração humina. Portanto, recomenda-se a separação da MOL antes do fracionamento.

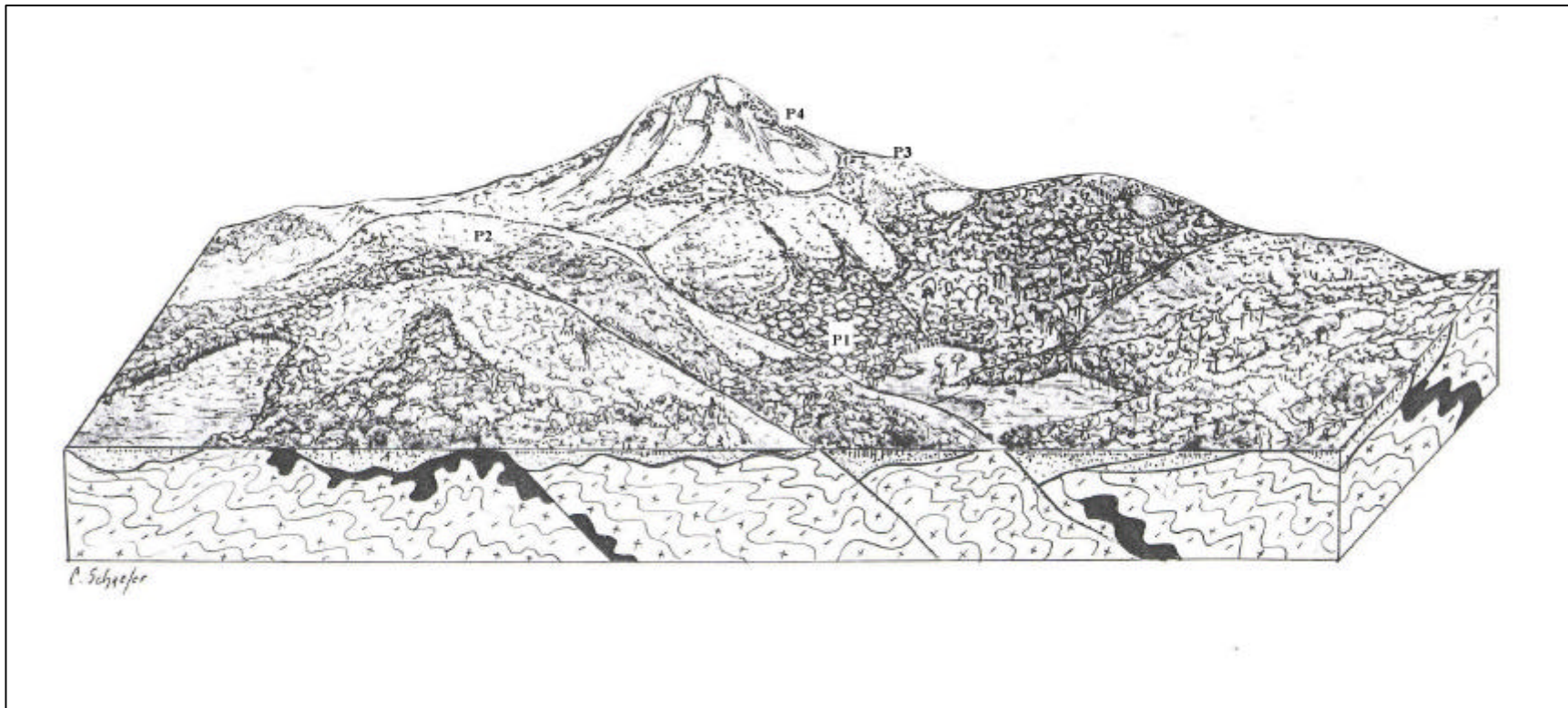


Figura 1 – Bloco-diagrama da toposequência de solos (P1-P4) estudada, ilustrando a paisagem da cabeceira do Córrego da Mitra do Bispo, em cotas variando de 1700 a 2149m no topo da Mitra. As cristas alinhadas, vales estruturais e drenagem, controlados por falhas reativadas, explicam a ocorrência de mantos latossólicos em cotas diferentes, sem aparente concordância altimétrica. Áreas mais expostas apresentam vegetação de menor porte (candeial) ou complexo rupestre de altitude, enquanto partes mais côncavas ou latossólicas, apresentam vegetação florestal de maior porte.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização e classificação dos solos

Com base na descrição e análise dos perfis os solos foram classificados como: Organossolo Mésico Sáprico típico (perfil 1); Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico (perfil 2); Espodossolo Ferrocárbico Órtico típico (perfil 3) e Cambissolo Húmico Distrófico típico (perfil 4), segundo os critérios adotados pela SBCS. Todos os solos apresentaram horizontes superficiais bastante escuros (valor e croma baixos) indicando condições ambientais favoráveis ao acúmulo de matéria orgânica no solo.

O Organossolo, o Espodossolo e o Cambissolo apresentaram cores escuras até os horizontes mais profundos indicando alta mobilidade de compostos orgânicos ao longo do perfil. No caso do Latossolo (Perfil 2), observa-se mudança abrupta para cores mais brunadas, a partir de 20 cm, com variações de croma e valor em profundidade, sugerindo menor mobilidade dos compostos orgânicos (Quadro 3).

A textura mais argilosa do Latossolo em relação aos outros solos sugere a ação da argila na redução da mobilidade dos compostos orgânicos devido à maior interação entre a matriz argilosa e os compostos orgânicos, conforme observado por outros autores (OADES, 1988; MARTIN et al., 1982). Este solo (perfil 2) apresentou a menor relação silte/argila, corroborando o caráter latossólico, preservado em condições topográficas específicas. A elevada precipitação anual e o relevo movimentado favorecem a hidrólise das argilas, com intensa retirada de material nas áreas mais elevadas formando solos mais arenosos (perfis 3 e 4), à semelhança do que ocorre na Serra do Brigadeiro (BENITES, 1997). No caso da Serra Verde, o aspecto leucocrático do material de origem também contribui para a gênese de solos mais arenosos.

Do ponto de vista químico, os solos estudados caracterizam-se pela baixa CTC efetiva, acentuado distrofismo, elevados teores de  $Al^{+3}$  no complexo de troca e altos teores de carbono orgânico total (Quadro 4). Os baixos valores de pH em água

evidenciam a natureza ácida destes materiais, resultante da intensa remoção de bases pelo intemperismo e em parte pela acidez proveniente de materiais orgânicos. Todos os solos são eletronegativos, apesar da mineralogia predominantemente gibbsítica (Quadro 5), em função da geração de cargas negativas por colóides orgânicos.

Quadro 2. Características físicas dos perfis estudados na Serra Verde, município de Bocaina de Minas, MG.

Hor	Prof.	Cor		Ag	Af	S	Arg	S/Arg
	cm	Seco	Úmido	%				
<b>Perfil 1 – Organossolo Méstico Sáprico típico – Encostas e gotas florestadas</b>								
O <sub>1</sub>	0-4	10YR3/2	10YR3/1	-	-	-	-	-
O <sub>2</sub>	4-9	10YR2/2	10YR2/1	-	-	-	-	-
O <sub>3</sub>	9-44	10YR2/1	10YR2/1	50	25	12	13	0,92
2A <sub>1</sub>	44-84	10YR3/1	10YR2/1	56	21	9	14	0,64
2B <sub>i</sub>	84-120 <sup>+</sup>	10YR4/1	10YR2/1	45	16	18	21	0,86
<b>Perfil 2- Latossolo Vermelho –Amarelo Distrófico húmico – Topos e cristas com candeia</b>								
O	0-3	7,5YR3/2	7,5YR3/1	-	-	-	-	-
A <sub>1</sub>	3-10	7,5YR3/3	7,5YR2,5/1	32	33	14	32	0,43
AB	10-20	7,5YR4/4	7,5YR2,5/3	35	17	12	36	0,33
Bw <sub>1</sub>	20-60	7,5YR5/4	7,5YR3/3	32	15	15	38	0,39
Bw <sub>2</sub> /C	60-100 <sup>+</sup>	7,5YR4/4	7,5YR3/3	28	17	16	39	0,41
<b>Perfil 3 – Espodossolo Ferrocárbico Órtico típico – Complexo rupestre de altitude</b>								
O	0-2	10YR3/3	10YR3/1	-	-	-	-	-
A <sub>1</sub>	2-10	10YR4/1	10YR2,5/1	58	20	11	11	1,0
Bh	10-40	10YR4/1	10YR2,5/1	53	26	10	11	0,90
Bhs	40-90	10YR3/1	10YR2,5/1	51	22	11	16	0,68
Bi	90-110	10YR5/2	10YR3/1	56	27	10	7	1,40
BC	110-130	10YR6/4	10YR4/3	54	22	10	14	0,71
C	130-140 <sup>+</sup>	10YR6/6	10YR4/6	52	23	11	14	0,78
<b>Perfil 4- Cambissolo Húmico Distrófico típico – Complexo rupestre de altitude</b>								
O	0-2	10YR2/2	10YR2/1	-	-	-	-	-
A <sub>1</sub>	2-60	10YR2/1	10YR2/1	49	31	10	10	1,0
A <sub>2</sub>	60-80	10 YR3/1	10YR2/1	46	22	13	19	0,68
Bi	80-100	7,5YR6/2	7,5YR3/1	53	24	11	12	0,91
C	100 <sup>+</sup>	7,5YR7/1	7,5YR4/2	52	23	09	16	0,56

Ag = areia grossa; Af = areia fina; S = silte; Arg = argila

Pode ser observada uma acentuada redução na disponibilidade de todos os macro e micro nutrientes em profundidade, acompanhando a queda dos valores de carbono (COT), o que evidencia o importante papel da matéria orgânica e dos mecanismos de ciclagem na sustentabilidade do ecossistema. Nos horizontes minerais, a SB aproxima-se de zero em função da extrema pobreza do material de origem. Os maiores valores de Na<sup>+</sup> em relação a K<sup>+</sup>, em todos os solos, sugerem efeito de aporte

de origem marinha deste elemento por chuvas orográficas, à semelhança do observado nos solos do Caparaó (LANI et al., 2001).

Nos ambientes mais acumuladores, a maior retenção de umidade (sem impedimento à drenagem), favorecendo os mecanismos de transporte e absorção de nutrientes, e a maior profundidade do solo, colaboram com o desenvolvimento de florestas exuberantes com elevada produção de biomassa. Os maiores valores de N, P, K, Ca, Cu e Mg na serapilheira do Organossolo, sob floresta primária, em relação aos demais solos revela a maior riqueza química destas áreas (Quadro 4). O Espodossolo, associado à “ilhas” de Floresta Alto-Montana, no complexo rupestre de altitude, apresenta características semelhantes ao Organossolo em relação à ciclagem, exceto pelos teores de alumínio extremamente elevados, evidenciando elevada tolerância da vegetação aos efeitos fitotóxicos deste metal (Quadro 4).

Nas áreas de candeia e de complexo rupestre de altitude, a maior exposição e menor tempo de permanência da água, resultam em menor acúmulo de nutrientes na fitomassa (Quadro 4). A maior relação C:N da matéria orgânica dos perfis 2 e 4 indica maior recalcitrância em relação ao material orgânico dos solos sob floresta (perfis 1 e 3). Predomina vegetação xeromorfa, com organismos altamente adaptados às condições adversas alto-montanas, em ambientes submetidos à intensa lixiviação e morfogênese acentuada.

No Cambissolo Húmico, próximo ao topo da Mitra do Bispo (P4), ocorre o aumento dos teores de K, Na e P a partir do horizonte Bi, indicando um saprolito mais rico em feldspatos e minerais contendo P em relação aos outros perfis. Nestes, ocorre a redução gradual de Na e K até os horizontes mais profundos, e ligeiro aumento do P disponível.

À semelhança do que ocorre em outros solos de regiões elevadas, como nos Parques Estaduais da Serra do Brigadeiro e de Ibitipoca (BENITES, 1997; DIAS, 2000), observa-se um expressivo acúmulo de matéria orgânica nos solos da Serra Verde (Quadro 4). Tal fenômeno é atribuído à redução da atividade microbiana devido ao distrofismo do solo, aos altos teores de Al trocável e baixas temperaturas.

É freqüente a ocorrência de altos teores de Al associados a elevados teores de matéria orgânica no solo, permitindo a gênese de Cambissolos e Latossolos com horizonte A Húmico (VOLKOFF et al., 1984; YOUNG e STEPHEN, 1965). A associação com o Al confere à matéria orgânica, além de uma menor biodegradabilidade, uma maior resistência à oxidação química (MENDONÇA, 1995).

Outro fator importante para a manutenção da matéria orgânica em solos tropicais altamente intemperizados é o predomínio de minerais de argila do tipo 1:1 e oxihidróxidos. As cargas variáveis presentes na superfície destes minerais permitem a interação com os colóides orgânicos, de certa forma protegendo-os contra a degradação microbiana e da oxidação química (BAYER E MIELNICZUK, 1999). MARTIN et al. (1982), ao compararem a perda de carbono orgânico em solos com diferentes tipos de cargas, comprovam a menor perda em solos com predomínio de cargas variáveis.

O Organossolo, sob floresta primária, apresentou maior teor de carbono orgânico total (COT) em todos os horizontes em relação aos outros solos, com teores ainda bastante elevados até 120 cm de profundidade. Como indicado pela cor, observa-se a baixa mobilidade do carbono no Latossolo com redução acentuada dos teores de COT, a partir de 20 cm de profundidade (Quadro 4). No entanto, ocorre expressivo acúmulo de carbono nas camadas superficiais.

Os solos em áreas de complexo rupestre de altitude (perfis 3 e 4) apresentaram os menores valores de COT nos horizontes superficiais devido à baixa produção de biomassa, perdas por erosão/lixiviação e ocorrência freqüente de fogo nestes ambientes. Assim como no Organossolo, observa-se grande mobilidade das formas de carbono ao longo do perfil.

No perfil 3, há um ligeiro aumento no teor de carbono em profundidade (Quadro 4). As feições micromorfológicas (Figura 5) evidenciam o processo de podzolização, caracterizando o horizonte Bh, diagnóstico da classe Espodosolos. O aumento da relação  $Fe_{ox}/Fe_{DCB}$  e dos valores de  $Al_{ox}$  indica uma zona de acúmulo de espécies

minerais amorfas de Al e Fe, caracterizando o horizonte Bhs (Quadro 5). Ocorre neste solo um processo ainda inicial de podzolização, sem desenvolvimento de feições morfológicas claras para a classificação como Espodossolo, sendo necessárias análises químicas e micromorfológicas para identificação do processo e definição da classe de solo.

A CTC efetiva em todos os solos é muito baixa, diminuindo com a profundidade, acompanhando a redução do COT. A redução dos valores de H + Al em profundidade, também em função da redução do COT, reforça a imensa participação dos colóides orgânicos na geração de cargas pedoambientes estudados.

Os teores de  $Al^{+3}$  e Fe nos horizontes mais superficiais, além de relacionados a minerais amorfos, parecem ligados à ciclagem biogeoquímica. Os altos valores destes elementos encontrados em todas as amostras de serapilheira após digestão nitro-perclórica corroboram a afirmativa anterior (Quadro 4). Outros autores obtiveram resultados semelhantes, indicando a alta tolerância e capacidade da vegetação em acumular alumínio (VOLKOFF et al., 1984; DRISCOLL et al., 1985; BENITES, 1997). Em todas as amostras de serapilheira da Serra Verde, o alumínio apresentou a segunda maior concentração, sendo superado apenas pelo  $Ca^{+2}$ .

Quadro 4. Características químicas dos perfis estudados na Serra Verde, município de Bocaina de Minas, MG.

Hor	Prof. cm	PH		P mg/dm <sup>3</sup>	K	Na	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H+Al	SB	t	T	V	m	COT	N	C/N	Fe	Mn	Zn
		H <sub>2</sub> O	KCl																		
<b>Perfil 1 – Organossolo Mésico Sábico típico – Encostas e grotas florestadas</b>																					
Ser. <sup>1/</sup>	10-0			996	5,8	10,6	590,5	18,1	28								2,6		583,4	111,9	40,8
O <sub>1</sub>	0-4	5,2	4,1	8,9	0,5	0,8	3,3	1,3	0,9	18,6	5,9	6,8	24,5	24,1	13	15,8	1,2	13,2	49,8	64,4	5,0
O <sub>2</sub>	4-9	3,8	3,8	9,6	0,3	0,9	1,2	0,5	2,2	21	2,9	5,1	23,9	12,1	43	13,6	0,9	15,1	51,1	42,11	3,5
O <sub>3</sub>	9-44	4,7	4,0	5,2	0,1	0,3	0,3	0,1	2,5	26,4	0,8	3,3	27,2	2,9	75	10,1	0,8	12,6	42,7	8,8	1,0
2A <sub>1</sub>	44-84	5,1	4,3	1,25	0	0	0,3	0	0,7	17	0,3	1	17,3	1,7	70	6,7	0,2	33,5	7,5	4,6	0,4
2B <sub>i</sub>	84-120 <sup>+</sup>	5,3	4,5	3,1	0	0	0,2	0	0,3	10,7	0,2	0,5	10,9	1,8	60	3,5	0,1	35	1,9	0,1	0,3
<b>Perfil 2 – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico húmico – Topos e cristas com candeia</b>																					
Ser. <sup>1/</sup>	6-0			368	3,0	5,9	339	8,33	60								0,8		46777	66,0	50,5
O	0-3	4,4	3,1	0,45	0,1	0,4	0,8	0,2	3,4	20,95	1,5	4,9	22,5	6,7	69,6	21,4	0,5	42,8	86,0	4,8	2,5
A <sub>1</sub>	3-10	4,8	3,6	3,45	0,2	0,3	0,8	0,3	2,1	16,00	1,6	3,7	17,6	9,1	56,8	15,7	0,6	26,17	60,5	2,7	2,4
AB	10-20	4,5	4,0	1,6	0	0,1	0,3	0,1	0,75	10,56	0,5	1,25	11,1	4,5	60	5,6	0,5	11,2	71,2	7,5	0,7
Bw <sub>1</sub>	20-60	5,3	4,8	0,35	0	0	0,3	0,4	0,2	5,115	0,7	0,9	5,8	12,0	22,2	1,5	0,1	15	15,8	0	0,0
Bw <sub>2</sub>	60-100 <sup>+</sup>	5,4	4,8	0,5	0	0	0,3	0	0,1	4,125	0,3	0,4	4,4	6,8	25	1,5	0,1	15	9,9	0	0,0
<b>Perfil 3 – Espodosolo Ferrocárbico Órtico típico – Complexo rupestre de altitude</b>																					
Ser. <sup>1/</sup>	5-0			877	6,5	11,7	542	18,3	116,								0,9		23665	139,6	29,7
O	0-2	4,4	3,1	3,5	0,6	1,2	1,5	0,6	2,5	28,7	3,9	5,3	32,6	12,0	47,2	33,3	2,2	15,1	185,35	45,09	6,0
A <sub>1</sub>	2-10	4,7	3,6	2,2	0,1	0,6	0,4	0,1	1,9	13,4	1,2	2,6	14,6	8,2	73,1	2,1	0,3	7	101,75	2,2	1,6
B <sub>h</sub>	10-40	4,9	3,8	1,4	0	0,2	0,3	0,1	1,6	12,4	0,6	2	13	4,6	80	3,2	0,0	32	138,82	0	0,7
B <sub>hs</sub>	40-90	5,1	4,1	0,3	0	0	0,3	0	1,6	13,4	0,3	1,9	13,7	2,2	84,2	2,6	0,1	26	20,5	0	0,2
Bi <sub>1</sub>	90-110	5,2	4,2	2,1	0	0	0,3	0	1,1	11,2	0,3	1,3	11,5	2,6	84,6	1,4	0,1	14	10,6	0	0,1
BC	110-130	5,2	4,3	1,25	0	0	0,2	0	0,6	5,5	0,2	0,8	5,7	3,5	75	0,5	0,0	-	86,4	0	0,3
C	130-140 <sup>+</sup>	5,3	4,4	1,35	0	0	0,2	0	0,4	4,5	0,2	0,6	4,7	4,3	66,6	0,7	0,0	-	161,81	0	0,1
<b>Perfil 4- Cambissolo Húmico Distrófico típico – Complexo rupestre de altitude</b>																					
Ser. <sup>1/</sup>	3-0			417	3,59	7,05	419,5	9,1	39								0,82		18707	101,8	106,9
O	0-2	4,9	3,6	3,7	0,4	0,74	1,2	0,3	2,7	21,9	2,64	5,34	24,54	10,8	50,6	36,9	0,39	94,6	9,9	13,62	4,8
A <sub>1</sub>	2-60	5,0	4,0	1,05	0	0	0,3	0	2,1	16,5	0,3	2,4	16,8	1,8	87,5	6,4	0,14	45,7	56,3	0	0,3
A <sub>2</sub>	60-80	5,1	4,11	1,35	0	0	0,2	0	1,3	13	0,2	1,5	13,2	1,5	86,6	3,4	0,15	22,7	28,8	0	0,1
Bi	80-100	5,1	4,2	5,75	0,1	0,19	0,2	0	1	7,4	0,49	1,49	7,89	6,2	67,1	1,5	0,02	75	23,5	0	0,2
C	100 <sup>+</sup>	5,0	4,2	9,6	0,1	0,11	0,2	0	1	5,1	0,41	1,41	5,51	7,4	70,9	0,8	0,02	40	16,0	0	0,2

<sup>1/</sup> Serapilheira (ataque nitroperclórico); SB = Soma de bases trocáveis; t = CTC efetiva; T = CTC a pH 7,0; V = índice de saturação de bases; m = índice de saturação de alumínio; COT = carbono orgânico total; C/N = relação entre carbono e nitrogênio

Em todos os solos ocorre a redução da atividade de  $Al^{+3}$  em profundidade em função da menor participação dos compostos orgânicos e predomínio de formas mais cristalinas e de menor solubilidade. Mesmo assim, devido à drástica redução da SB e da CTC efetiva, este elemento passa a predominar nos sítios de troca nos solos de textura mais grosseira. Nos horizontes  $Bw_1$  e  $Bw_2$ , em função da menor mobilidade de compostos organo-metálicos, a gibbsita exerce o controle sobre a atividade de  $Al^{3+}$  sendo observados os menores valores de  $Al^{3+}$  entre todos os horizontes estudados, não chegando a ocupar 50% dos sítios de troca.

No que diz respeito ao ferro solúvel em Melich-1 observa-se uma redução em profundidade que, assim como para o alumínio, deve-se à presença de minerais de melhor cristalinidade, favorecida pela redução do teor de carbono. O horizonte C do Espodossolo apresenta aumento no teor de ferro trocável assim como nos valores da relação  $Fe_{ox}/Fe_{DCB}$  (Quadro 5), indicando uma zona de acúmulo de espécies mais amorfas de óxidos de ferro, possivelmente no contato C/R.

Nos horizontes superficiais e mais ricos em matéria orgânica, além da maior quantidade de cargas negativas, observa-se uma maior riqueza em nutrientes, evidenciando a importância da matéria orgânica do solo para a nutrição vegetal. Neste sentido, a ciclagem de nutrientes própria de cada tipo de vegetação representa um mecanismo fundamental para o equilíbrio e desenvolvimento do ecossistema.

### **3.2 Atributos Mineralógicos**

As análises mineralógicas dos horizontes diagnósticos indicaram para todos os perfis uma mineralogia predominantemente oxídica na fração argila, corroborando o extremo grau de intemperismo destes solos (Quadro 5). Os difratogramas de raios-X (em anexo) indicam o predomínio de gibbsita em todos os solos estudados, com reflexões em 4,85-4,90 Å (plano 002) e 4,35-4,39 Å (plano 110), sendo que no Cambissolo Húmico este mineral representa quase 100 % da fração argila, com presença subordinada de anatásio (reflexões em 2,47-2,42 Å e 2,34-2,35 Å) e traços de quartzo (3,35 Å).

Nos demais, verifica-se também a ocorrência em menor intensidade de goethita, com reflexões características dos planos 110 ( 4,18-4,20 Å), 130 (2,69-2,70 Å), 040 (2,49-2,52 Å) e 021 (2,45 Å), e caulinita, com reflexões em 7,2 a 7,4 Å (plano 001) e 3,5 a 3,62 Å (plano 002). A característica de assimetria e baixa intensidade dos picos de 1ª e 2ª ordem (001 e 002) de caulinita evidenciam fases minerais de baixa cristalinidade, especialmente no Espodossolo. A não-detecção de hematita na fração argila deve-se ao baixos teores de ferro e ao efeito da matéria orgânica, reduzindo a atividade de Fe em solução (RESENDE, 1976; SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989), favorecendo a gênese de goethita.

Em relação à fração silte observa-se a presença marcante de gibbsita, caulinita e traços de quartzo em todos os solos. Nos solos do complexo rupestre constatou-se a presença significativa de vermiculita com hidroxí entre camadas (VHE) e de illita indicada pelos picos na faixa de 14,4 Å e 10,12 Å (Quadro 5), especialmente no Cambissolo Húmico.

A localização do Cambissolo Húmico em relevo escarpado, com elevado índice pluviométrico durante todo o ano, e textura mais arenosa do solo favorecem a rápida drenagem e dessilificação acentuada, favorecendo a presença quase exclusiva de gibbsita na fração argila. A gênese de gibbsita é atribuída a mecanismos extremamente eficientes de retirada de silício do sistema e degradação de minerais 1:1 (KITTRICK, 1970). Em condições de rápida drenagem a gibbsita pode ser formada pela hidrólise direta de alumino-silicatos primários, como feldspatos e plagioclásios (PINTO, 1972; HSU, 1989; BENITES et al., 2001; SCHAEFER et al., 2002).

Quadro 5. Composição química da fração argila, mineralogia da argila por DRX, Fe<sub>DCB</sub>, Fe<sub>ox</sub>, Si<sub>ox</sub>, Al<sub>ox</sub> e relações Fe<sub>DCB</sub>/Fe<sub>ox</sub>, e Si<sub>ox</sub>/Al<sub>ox</sub>.

Hor.	Prof.	SiO <sub>2</sub> <sup>/1</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>/1</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>/1</sup>	TiO <sub>2</sub> <sup>1</sup>	Ki	Argila	Silte	Si <sub>ox</sub>	Al <sub>ox</sub>	Si <sub>ox</sub> /Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	Fe <sub>DCB</sub>	Fe <sub>ox</sub> /Fe <sub>DCB</sub>
		%						%			%			
<b>Perfil 1 – Organossolo Méstico Sábico típico - Encostas e grotas florestadas</b>														
O <sub>3</sub>	4-9								0,04	1,31	0,03	0,58	3,24	0,18
O <sub>3</sub>	9-44	X	X	X	X				0,03	1,37	0,02	0,72	3,79	0,19
2A <sub>1</sub>	44-84								0,06	1,45	0,04	0,49	3,87	0,13
2B <sub>i</sub>	84-120 <sup>+</sup>	3,7	17,49	5,02	0,49	0,36	Gb>Ct>Qztraços	Gb>Q>Ct	0,10	1,0	0,10	0,10	3,07	0,03
<b>Perfil 2 – Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico húmico- Tonos e cristas com candeia</b>														
A1	3-10								0,16	0,61	0,03	0,35	4,42	0,07
AB	10-20	5,3	15,19	6,36	0,41	0,59			0,02	0,40	0,05	0,28	5,45	0,05
Bw1	20-60	6,02	18,38	7,75	0,45	0,56	Gb > Gt > Ct		0,01	0,24	0,04	0,14	6,12	0,02
Bw2	60-100 <sup>+</sup>	6,36	17,60	7,48	0,47	0,61	Gb > Gt > Ct	Gb>>Ct>Q	0,08	0,35	0,02	0,20	6,39	0,03
<b>Perfil 3 – Espodosolo Ferrocárbico Órtico típico – Complexo rupestre de altitude</b>														
A1	2-10	X	X	X	X				0,01	0,26	0,03	0,49	1,82	0,27
Bh	10-40								0,00	0,29	0,01	0,50	1,87	0,27
Bhs	40-90								0,00	0,63	0,01	0,54	1,49	0,36
Bi	90-110	3,97	8,89	1,18	0,44	0,76	Gb > Gt > Ct	Gb>Qz>Ill e Ct	0,00	0,27	0,02	0,21	1,16	0,18
BC	110-130	2,96	8,37	2,08	0,42	0,60	Gb > Gt > Ct		0,00	0,13	0,04	0,19	2,39	0,08
C	130-140 <sup>+</sup>	2,6	7,78	3,12	0,4	0,57			0,00	0,18	0,05	0,47	2,44	0,19
<b>Perfil 4- Cambissolo Húmico Distrófico típico- Complexo rupestre de altitude</b>														
A1	2-60	X	X	X	X				0,03	1,20	0,02	0,67	1,21	0,55
A2	60-80								0,06	0,85	0,07	0,46	1,14	0,40
Bi	80-100	4,58	7,38	2,2	0,23	1,06	Gb>>Ct>iill traços	III=VHE>Gb>Ct>Q	0,65	0,76	0,08	0,36	1,13	0,32
C	100 <sup>+</sup>	4,95	8,78	2,1	0,22	0,96	Gb		0,15	0,61	0,25	0,21	0,88	0,23

/1 = Ataque sulfúrico; Ki = relação molecular SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; ox – oxalato de amônio; DCB = Ditionito-Citrato-Bicarbonato; Gb = gibbsita; Ct = caulinita; Gt = goetita; Qz = quartzo; Ill = illita; VHE = vermiculita com hidróxi entre camadas

Como a cristalização de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ -gibbsita pode ser completamente inibida na presença de ânions orgânicos de elevado poder complexante e baixo pH do meio (HSU, 1989), torna-se muito difícil conciliar a nucleação e gênese de gibbsita nos horizontes B e C dos solos da Serra Verde com as condições atuais de pedogênese, onde prevalece formação de horizontes A húmicos e até hísticos, sobre saprolitos pré-intemperizados.

Assim, a gibbsita presente nos horizontes subsuperficiais dos solos é herdada de condições pedogenéticas pretéritas, mais quentes e com boa drenagem, sendo provavelmente policíclica. A formação de gibbsita pode ter sido favorecida pela intensa rede de falhas e fraturas, típicas desta zona da Mantiqueira, próxima à zona de cisalhamento do Paraíba do Sul e do Itatiaia. Estas falhas ou fraturas são canais preferenciais de escoamento de sílica mobilizada pelo intemperismo. Sua preservação, nas condições atuais, é possível pela lenta dissolução de gibbsita quando esta apresenta boa cristalinidade (HSU, 1989). Mesmo assim, os valores de  $\text{Al}_{\text{ox}}$  já evidenciam o processo de formação de géis de polímeros OH-Al positivamente carregados.

Os altos valores de  $\text{Si}_{\text{ox}}$  e  $\text{Al}_{\text{ox}}$  encontrados no P4 reforçam a observação anterior, corroborando a idéia de intensa mobilização destes elementos nas condições atuais, sobre saprolitos ricos em gibbsita formada a partir de géis de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ou da hidrólise de feldspatos. Este solo apresenta também as maiores relações  $\text{Fe}_{\text{ox}}/\text{Fe}_{\text{DCB}}$  (Quadro 5), caracterizando um ambiente de rejuvenescimento bastante acelerado em relação aos outros solos estudados, nas condições mesotérmicas (subtropicais) atuais.

Em todos os perfis estudados observa-se o aumento da cristalinidade das formas de ferro com a profundidade, indicado pela redução relativa da relação  $\text{Fe}_{\text{ox}}/\text{Fe}_{\text{DCB}}$ , acompanhando a redução dos teores de carbono no solo (Quadros 3 e 4). Segundo SCHWERTMANN (1966), a matéria orgânica inibe a cristalinidade dos óxidos de ferro devido à forte adsorção de íons orgânicos por óxidos de Fe amorfos, inibindo a cristalização. Por sua vez, espécies mais amorfas apresentam maior solubilidade que

formas de melhor cristalinidade, permitindo maior atividade de Fe e Al em solução (LINDSAY, 1979).

O Latossolo, apesar do teor de ferro bem superior aos demais solos, apresentou os menores valores de  $Fe_{ox}$  e relações  $Fe_{ox}/Fe_{DCB}$  mais estreitas evidenciando formas mais bem cristalizadas de óxidos de ferro. Tem-se portanto, uma cobertura reliquiar preservada pela posição topográfica, constituindo forte indicativo de condições pedogenéticas pretéritas, possivelmente em clima mais quente, com menor acúmulo de matéria orgânica e sob intensa atividade biológica. Os dados do ataque sulfúrico confirmam a mineralogia gibbsítica-oxídica dos solos estudados, conforme indicado pelas análises de raio-X, com valores de Ki abaixo de 0,75 (Quadro 5). No caso do Cambissolo Húmico, apesar de ser o mais gibbsítico, observou-se os maiores valores de Ki. Neste solo, os maiores valores de  $Si_{ox}$  em profundidade indicam a presença de alumino-silicatos amorfos que são atacadas na digestão sulfúrica, superestimando o valor de Ki.

Em síntese, as características mineralógicas evidenciam um estágio bastante avançado de intemperismo, sugerindo que, antes da reativação que alçou o relevo atual da Serra Verde, houve um período (ou períodos) suficientemente longo em que os fatores de formação favoreceram a gênese de gibbsita nos saprolitos e Latossolos em áreas mais aplainadas, com minerais de melhor cristalinidade. Assim, apesar do rejuvenescimento e morfogênese, acentuados atualmente, não se observa melhora no status nutricional dos solos como seria esperado sobre materiais de origem menos alterados e com maior reserva mineralógica.

A Figura 2 mostra de forma bastante didática algumas características do solo que refletem situações climática distintas, com saprolito avermelhado, relacionado a períodos quentes e secos, recoberto por material pedogenizado xantizado, em clima mais frio e úmido com altos teores de matéria orgânica.



Figura 2 – Saprolito avermelhado relacionado a condições climáticas mais secas e com menor teor de matéria orgânica, favoráveis à gênese de hematita. Atualmente, em condições frias e úmidas ocorre formação de solos brunados onde os elevados teores de matéria orgânica favorecem a formação de goethita. A linha de pedra caótica enterrada, com mistura de materiais diferentes, sem presença de seixos rolados, indica intensa movimentação de massa e pedoturbação na evolução da paisagem.

### 3.3 Fracionamento de substâncias húmicas

O fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos da Serra Verde revelou diferenças na distribuição das formas de carbono nos diferentes solos estudados. De maneira geral, a recuperação em relação ao COT foi baixa, especialmente nos horizontes mais argilosos, como no Latossolo (Quadro 6). Neste, a fração ácido húmico restringe-se quase totalmente ao horizonte  $A_1$ . Assim, tem-se a redução abrupta da relação AH/AF, chegando a zero a partir do horizonte AB. No caso dos AFs, normalmente mais solúveis, ocorre uma redução gradual dos valores absolutos até o horizonte  $Bw_2$  (Quadro 6). Entre os solos estudados, foi o que apresentou a maior participação da fração humina no carbono total.

A presença de humina em profundidade, com ligeiro acúmulo no  $Bw_2$ , está relacionada à extrema estabilidade desta fração. Sua incorporação em profundidade

é atribuída à pedoturbação promovida por organismos do solo que atuam como “engenheiros de ecossistemas” (JONES et al., 1994), incorporando a matéria orgânica em agregados mais estáveis, ao longo do tempo geológico ( MIKLÓS, 1992; SCHAEFER, 2001).

No Cambissolo Húmico (P4), de textura mais arenosa, verifica-se a redução gradual da relação AH/AF ao longo do perfil, devido à maior mobilidade da fração AF. Por outro lado, no Organossolo (P1) observa-se o aumento desta relação, sugerindo uma intensa saída da fração AF ou, possivelmente, a formação de ácidos húmicos pela polimerização de ácidos fúlvicos e metais. Tratando-se de um espesso manto coluvial, é possível que em maiores profundidades exista uma zona de acúmulo de AFs, devido ao aumento do teor de argila. As águas da região não apresentam escurecimento evidente como em áreas sobre quartzito, onde os teores de ácido fúlvico no solo são baixos (DIAS, 2000; BENITES, 2002)

No Espodossolo (P3), observa-se o acúmulo em profundidade do COT, com maior participação relativa da fração AH, associada ao aumento das espécies mais amorfas de ferro e alumínio, caracterizando a existência de um horizonte iluvial ou Bhs (Quadros 4, 5 e 6). A textura arenosa permite a movimentação de complexos organo-metálicos, favorecendo a gênese deste horizonte. A imobilização das formas orgânicas se dá através da formação de ligações multidentadas com metais, reduzindo a polaridade e a solubilidade dos compostos no Bhs (DE CONINCK, 1980).

O aumento da relação EA/H é um indicativo da ocorrência deste horizonte diagnóstico, conforme sugerido por BENITES et al. (2001). Entretanto, no Organossolo observa-se o aumento da relação EA/H, sem acúmulo de carbono ou minerais amorfos (Quadro 6).

No horizonte C do Espodossolo observou-se o aumento relativo da fração AF e das formas mais solúveis de ferro e alumínio. É provável que esteja ocorrendo impedimento à drenagem, no contato com a rocha ou porção menos permeável do saprolito, resultando no acúmulo de formas organo-minerais mais solúveis que percolam ao longo do perfil.

As análises micromorfológicas evidenciam a presença comum de partículas de carvão, especialmente nos solos de áreas reliquias como as matas de candeia e o complexo rupestre de altitude. Diversos trabalhos relacionam a presença de carvão (ou *Black Carbon*) com substâncias húmicas de alta aromaticidade e estabilidade no solo (SKJEMSTAD et al., 1996; GLASER et al., 1998; HAUMAIER e ZECH, 1995; SCHAEFER et al., 2002). Resultados obtidos por BENITES (2002) evidenciam a alta aromaticidade de ácidos húmicos extraídos de solos dos complexos rupestres da Serra Verde. Portanto, a ação do fogo ao longo do tempo constitui neste geoambiente uma importante via de proteção de carbono em compostos de ciclagem muito lenta.

Quadro 6 – Fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos estudados

Solo	AH	AF	H	Soma	AH/AF	EA/H	AH <sup>1</sup>	AF <sup>1</sup>	H <sup>1</sup>	Rec. <sup>2</sup>
	g kg <sup>-1</sup> solo						%			
<b>Perfil 1 – Organossolo Méstico Sáprico típico - Floresta Primária</b>										
O <sub>2</sub>	20,0	19,5	25,7	65,2	1,1	1,5	30,7	29,9	39,4	47,9
O <sub>3</sub>	20,4	22,2	18,1	60,8	0,9	2,3	33,6	36,5	29,8	60,2
2A <sub>1</sub>	19,6	7,7	10,8	38,2	2,5	2,5	51,3	20,2	28,3	57,0
2Bi	13,1	3,8	4,5	21,5	3,4	3,7	60,9	17,7	20,9	61,4
<b>Perfil 2 – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico húmico – Floresta de Candeia</b>										
A1	8,3	8,7	38,0	55,1	0,9	0,5	15,1	15,8	69,0	35,1
AB	0,3	3,4	11,0	14,7	0,0	0,3	2,0	23,1	74,8	26,3
Bw1	0,1	2,3	7,0	09,5	0,0	0,3	1,1	24,2	73,7	63,3
Bw2	0,3	1,7	13,2	15,4	0,0	0,2	1,9	11,0	85,7	102,7
<b>Perfil 3 - Espodosolo Ferrocárbico Órtico Típico – Complexo rupestre de altitude</b>										
A1	9,6	5,3	7,8	22,9	1,8	1,9	41,9	23,1	34,1	109,0
Bh	7,1	3,9	8,4	19,6	1,8	1,3	36,2	19,9	42,9	61,3
Bhs	12,6	5,0	8,5	26,2	2,5	2,1	48,1	19,1	32,4	100,8
Bi1	6,3	1,3	4,1	11,9	4,6	1,8	52,9	10,9	34,5	85,0
BC	0,9	0,9	4,0	5,9	1,0	0,5	15,3	15,3	67,8	118,0
C	0,0	1,5	0,5	2,1	0,0	2,7	0,0	71,4	23,8	30,0
<b>Perfil 4 - Cambissolo Húmico distrófico típico – Complexo rupestre de altitude</b>										
A1	10,6	9,2	10,7	30,6	1,1	1,9	34,6	30,1	35,0	47,8
A2	9,2	7,0	13,6	29,8	1,3	1,2	30,9	23,5	45,6	87,6
Bi	2,4	3,8	7,1	13,4	0,6	0,9	17,9	28,4	53,0	89,3
C	0,0	0,9	5,4	6,3	0	0,2	0,8	14,2	85,3	78,8

AH = ácidos húmicos; AF = ácidos fúlvicos; H = húmica; /1 porcentagem de cada fração em relação à soma ; /2 Recuperação do método em relação ao carbono orgânico total; Soma = AH + AF + H; EA/H = (AF + AH)/H

### 3.4 Formas de Alumínio

Os dados obtidos pela extração seqüencial de alumínio (Quadro 7) destacam o papel da matéria orgânica na complexação de alumínio, evidenciado pelos elevados valores de Al-CuCl<sub>2</sub> em relação ao Al-KCl, encontrados em todos os horizontes. Desta forma, a matéria orgânica estaria reduzindo a atividade do Al<sup>3+</sup> em solução, minimizando os efeitos fitotóxicos deste metal, notadamente no Organossolo e no Cambissolo Húmico. No horizonte 2Bi do Cambissolo Hístico e Bhs do Espodossolo, o aumento do Al-CuCl<sub>2</sub> é acompanhado por aumento relativo de fração AH, sugerindo formação de ácidos húmicos a partir de ácidos fúlvicos e alumínio.

Nos horizontes Bhs do Espodossolo observa-se aumento de todas as formas de alumínio extraídas, exceto do Al trocável, caracterizando uma zona de acúmulo de formas amorfas ou ligadas à matéria orgânica, constituindo fases distintas de polimerização ou complexação. O acúmulo de Al<sub>ox</sub> e Al-CuCl<sub>2</sub> neste horizonte, com aumento da fração ácido húmico e da relação EA/H, caracterizam a natureza iluvial deste horizonte, confirmada pelas nítidas feições espódicas reveladas pela análise micromorfológica (Quadro 7).

Nos demais perfis (P1, P2 e P4) ocorre redução em profundidade do Al<sup>3+</sup> fitotóxico, extraível com KCl 1mol L<sup>-1</sup>, e das formas ligadas à matéria orgânica. Como visto anteriormente, esta tendência está relacionada com a redução do COT em profundidade e com o predomínio de formas minerais de melhor cristalinidade, corroborando a não identificação de horizontes espódicos bem desenvolvidos.

No Latossolo, o aumento do Al amorfo no horizonte Bw2 está relacionado com a destruição de alumino-silicatos primários pela frente de intemperismo, evidenciada pela micromorfologia (Figura 4). Nos demais perfis ocorre a redução gradual desta forma de alumínio, indicando a melhor cristalinidade dos minerais nos horizontes menos afetados pela matéria orgânica.

Um aspecto importante a ressaltar é a maior contribuição de polímeros de Al meta-estáveis, que constituem reserva não trocável de Al (Al-NH<sub>4</sub>OAc a pH4,0), no Organossolo e no Cambissolo (P1 e P4), evidenciando a menor maturidade

pedogenética desses solos, em relação ao Latossolo (P2) em que predominam formas mais cristalinas e oxídicas (gibbsita). Como a gibbsita é o mineral de argila dominante em todos os substratos, de P1 a P4, (Quadro 6), os dados ensejam duas conclusões possíveis: (i) há destruição de gibbsita em superfície, com concomitante formação de quelatos Al-MO (BUURMAN, 1984), verificados pelos dados de Al-CuCl<sub>2</sub>; ou (ii) ocorre a formação de polímeros (géis) de Al(OH)<sub>3</sub> solubilizados a partir da hidrólise de alumino-silicatos primários, especialmente micas e feldspatos, ainda não inteiramente decompostos. É possível, ainda, que os dois processos estejam ocorrendo simultaneamente.

A relação entre o Al-NH<sub>4</sub>OAc e o Al-KCl (índice W) indica que o potencial de liberação de polímeros de Al não trocável em relação ao trocável aumenta em profundidade em todos os solos estudados, com o Organossolo e o Cambissolo apresentando o maior potencial de liberação de formas não trocáveis de Al (Quadro 7). Os valores bem mais altos de Y (Al-NH<sub>4</sub>OAc/Al-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) corroboram a maior presença de polímeros adsorvidos no Cambissolo Húmico. O índice X (Al-CuCl<sub>2</sub>/Al-KCl) indica a grande capacidade de complexação da matéria orgânica, reduzindo a atividade de Al<sup>3+</sup> no meio e constituindo uma possível fonte de Al trocável no caso de condições favoráveis à mineralização.

As substâncias orgânicas podem acelerar ou retardar a neoformação de minerais secundários. A formação de complexos pode impedir a precipitação ou prevenir a hidrólise e polimerização do Al, ocupando sítios de coordenação hidroxil-Al. Em condições de mineralização lenta, são produzidas grandes quantidades de compostos de baixo peso molecular, com alto poder de complexação. Assim, o alumínio liberado pela alteração de minerais de argila é complexado (VOLKOFF, 1978).

Quadro 7 – Extração seqüencial de alumínio

Hor.	Al seqüencial (cmol <sub>c</sub> / kg)							Índices de Al			
	Al-KCl	Al-CuCl <sub>2</sub>	Al-NH <sub>4</sub> OAc	Al-Citrato	Al-Oxa	Amorfo	Entrecamadas	AT. Sulf.	W	X	Y
<b>Perfil 1 – Organossolo Méstico Sáprico típico - Floresta Primária</b>											
O <sub>2</sub>	0,5	6,6	26,6	183,9	145,7	112	38,2	-	56,7	12,4	-
O <sub>3</sub>	0,5	6,9	42,0	246,7	152,3	102,9	94,4	-	90,3	13,7	-
2 <sup>A</sup> <sub>1</sub>	0,2	4,6	52,0	275,6	160,9	104,1	114,7	-	238,6	19,8	-
2Bi	0,1	6,5	31,5	268,9	110,7	72,57	158,2	1028,0	261,6	50,8	3
<b>Perfil 2 – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico húmico – Floresta de Candeia</b>											
A1	0,5	5,8	11,2	123,9	67,9	50,4	56	-	23,7	10,8	-
AB	0,2	3,4	12,1	170	44,7	29	125,3	893,3	53,0	13,9	1,5
Bw1	0,1	1,2	7,7	109,2	27,2	18,2	82	1081,1	128,8	19,2	0,7
Bw2	0,0	1,1	8,3	88,2	39,5	30,1	48,7	1035,5	181,2	23,3	0,9
<b>Espodossolo Ferrocárbico Órtico Típico – Complexo rupestre de altitude</b>											
A1	0,5	5,2	5,6	38,1	29,2	17,9	8,9	-	11,9	10,4	-
Bh	0,3	5,5	9,5	63,4	32,9	17,6	30,5	-	27,9	15,9	-
Bhs	0,3	8,0	24,8	143,3	70,3	37,2	73	-	89,4	27,9	-
Bi1	0,2	3,8	9,4	41,6	30,7	17,3	10,9	522,8	50,5	19,6	1,8
BC	0,1	1,8	6,3	41,6	14,9	6,7	26,7	492,8	44,6	12,2	1,3
C	0,1	1,8	8,5	43,3	20,4	10	22,9	457,8	88,6	18,0	1,9
<b>Perfil 4 – Cambissolo Húmico distrófico típico – Complexo rupestre de altitude</b>											
A1	0,5	9,1	40,7	173,9	132,9	82,6	41	-	81,9	16,6	-
A2	0,4	6,9	30,5	148,3	94,9	57,1	53,4	-	77,9	16,9	-
Bi	0,2	3,4	31,2	99,2	84,9	50,1	14,3	433,9	129,8	13,5	7,5
C	0,2	2,2	31,2	105,1	68,3	34,7	36,8	516,7	189,6	12,9	6,2

W = Al-NH<sub>4</sub>OAc/Al-KCl; X = Al-CuCl<sub>2</sub> /Al-KCl; Y = Al-NH<sub>4</sub>OAc/Al-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

REEVE e SUMNER (1971) observaram quantidades bem superiores de Al polimérico, não trocável, extraídos em solos ácidos, em comparação ao Al trocável (KCl 1M). Estes autores propuseram que polímeros de  $Al(OH)_3$  positivamente carregados, e Al complexado por matéria orgânica, existem em equilíbrio com as formas trocáveis nestes solos.

### **3.5 Atributos Micromorfológicos**

#### **3.5.1 Cambissolo Húmico**

No Cambissolo Húmico (Figura 3), ocorrem feições de podzolização incipiente, concentrando-se na base do Bi, em contato com o saprolito. Em A1, ocorrem abundantes restos vegetais lignificados (Figura 3A), em graus variados de decomposição (Figura 3B), e pelotas fecais de microartrópodos ao lado de eventuais partículas carbonizadas, bem menos freqüentes que no Espodossolo (P3). Abaixo, o horizonte A2 mostra feições de agregação organo-mineral, monomórfica e bem humificada (Figura 3C), gradando para material de natureza semelhante, com maior contribuição mineral e com abundantes nódulos ferruginosos/gibbsíticos, além de pseudomorfos de mica (Figura 3D).

Em Bi, ocorre plasma organo-mineral, escurecido, formando microestrutura do tipo *coat-and-bridge* (Figuras 3E, 3G e 3H), com presença de feições iluviais (podzolização) na forma de orgãos discretos, em torno de canais (Figura 3H) e ainda embebidos na matriz xantizada do solo (Figura 3G), com destaque para a abundância de litorelíquias de pseudomorfos de mica em vermiculita/illita. O saprolito tem partes mais compactadas e ferruginizadas.

#### **3.5.2 Latossolo Vermelho-Amarelo**

Em A<sub>1</sub>, a microestrutura é fortemente afetada pela matéria orgânica. Apesar do predomínio de agregados individuais na forma de micropeds poligonais, de composição organo-mineral (Figura 4A e 4B), ocorrem abundantes fragmentos de material vegetal pouco decompostos, raízes e grãos de quartzo (Figura 4B).

Em  $Bw_1$ , a estrutura microgranular típica dos latossolos sob intensa atividade biológica (SCHAEFER, 2001) é bem evidente (Figura 4C), sendo parcialmente coalescida e de tendência poliedral, com arredondamento relativamente baixo comparado com outros solos gibbsíticos (SCHAEFER, 2001). Este menor grau de arredondamento pode ser atribuído ao regime údico prevalescente na região, conforme modelo proposto por STOOP e BUOL (1985) para o grau de microagregação. Em meio ao plasma mineral ou organo-mineral são comuns fragmentos de carvão (“Black Carbon”) incorporados nos microagregados e pseudomorfos de mica transformados em VHE ou caulinita (Figura D), além de restos de raízes, pela cobertura vegetal densa do solo.

No contato entre a estrutura microgranular de  $Bw_2$  e o horizonte  $C_r$  há uma zona de ferruginização do saprolito, com embebimento de precipitados de hidróxidos de ferro na borda, (Figura E), com elevada birrefringência. Em  $C_r$ , há predomínio de estrutura litoreliquiar em alteromorfos (DELVIGNE, 1998) de natureza gibbsítica, substituindo e preservando a clivagem original de feldspatos e plagioclásios, com ferruginização ao longo dos litoporos formados pela intensa dessilificação de máficos (LACERDA et al., 2000; SCHAEFER, 2001;). Aparentemente, o material saprolítico do Latossolo possui constituição máfica mais pronunciada que os demais, o que poderia explicar o maior grau de evolução e sua preservação na paisagem.

### **3.5.3 Espodossolo ferrocárbico**

No horizonte A ocorrem abundantes fragmentos orgânicos carbonizados ou parcialmente carbonizados, restos de raízes, tecidos vegetais em diferentes estágios de decomposição e agregados organo-minerais em processo de pedo-plasmação (Figura 5A), com abundantes pelotas fecais de microartrópodes (Figura 5B). Observa-se espaço poroso abundante e bem conectado. Em Bh, material orgânico monomórfico opaco e humificado ocorre no espaço intergranular, com poucos fragmentos orgânicos esparsos (Figura 5C) e evidência de recobrimento orgânico

(organs) na superfície dos grãos de quartzosos (Figura 5D). Em Bhs, o plasma organo-mineral monomórfico mostra um padrão típico de Espodossolos (Podzóis) (DE CONINCK e McKEAGUE, 1985), com recobrimento parcial dos grãos quartzosos do esqueleto (Figura 5E). Neste horizonte, ocorrem concreções ferruginosas, à exemplo das feições de ferruginização observadas por BENITES et al., (2001) em Espodossolo desenvolvido de rochas cristalinas. São, possivelmente, litorelíquias onde houve precipitação de ferro (Figura 5F).

Em Bi, o plasma argiloso é incipientemente microestruturado, com tendência à formação de agregados mais estáveis e arredondados (Figura 5G), além de ocorrência de fragmentos de carvão e agregados pedobiológicos ricos em matéria orgânica (esquerda da Figura 5G), indicando processo atual de pedoturbação. O caráter câmbico da microestrutura é evidente, com desenvolvimento incompleto de peds. Zonas de concentrações plásmicas argilosas e ferruginizadas sugerem alguma iluviação, sem contudo representar cutãs típicos.

A fotomicrografia do contato dos horizontes Bhs/Bi no P3 ilustra agregados poliédricos, organo-minerais e recobrimentos de grãos de quartzo (organês), sugerindo processo atual de podzolização. A presença de uma camada de fragmentos orgânicos carbonizados nesta profundidade indica a presença de um horizonte A enterrado de um paleossolo. Fica evidente que a ocorrência de fogo é bastante antiga e está intimamente associada à formação destes ambientes.

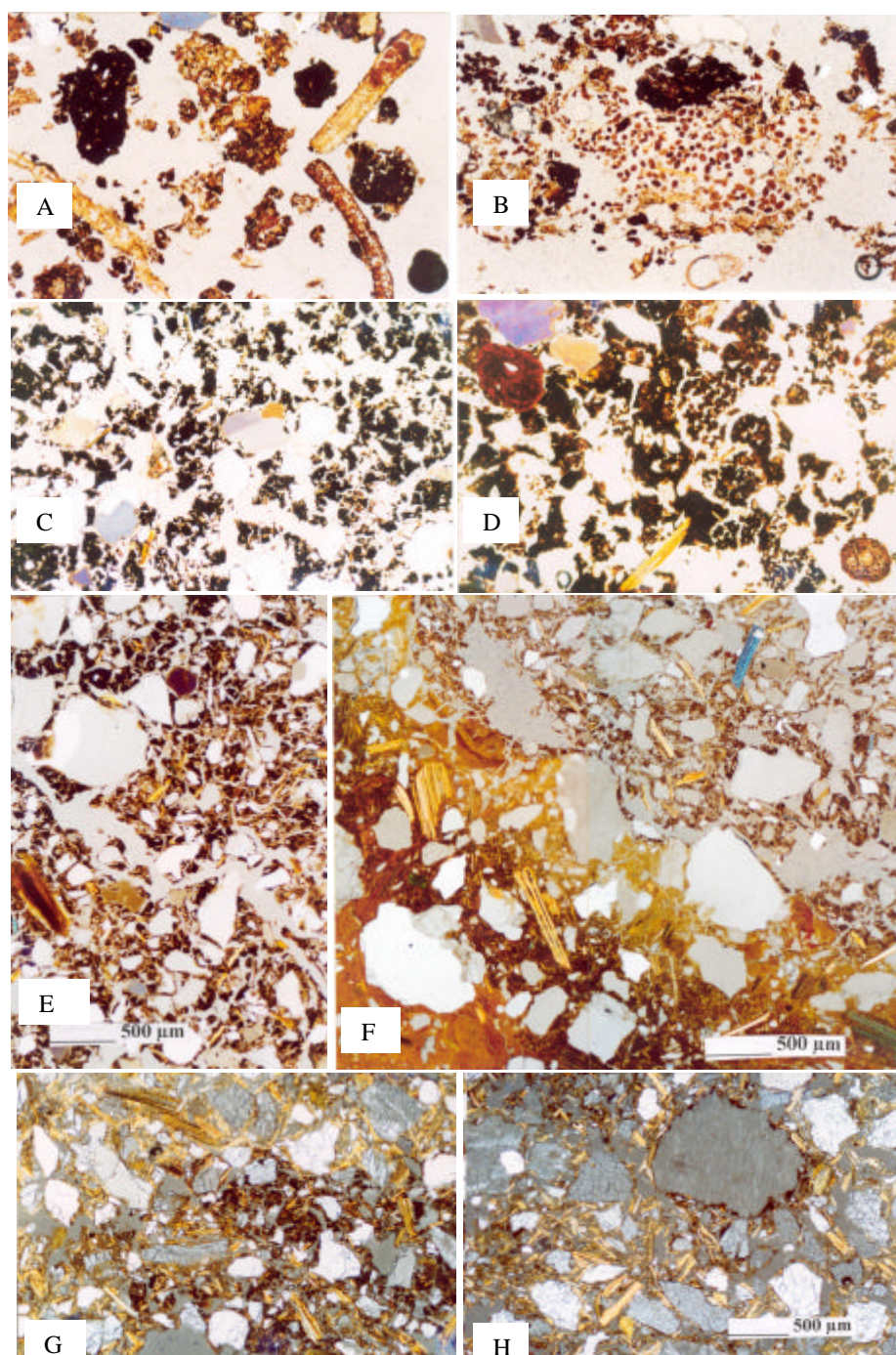


Figura 3 – Fotomicrografias selecionadas do Cambissolo Húmico (P4). (A) Parte superior do horizonte A<sub>1</sub>, com abundantes restos orgânicos lignificados e parcialmente carbonizados, e agregados organo-minerais; (B) pelotas fecais de microartrópodos digerindo restos vegetais em A<sub>1</sub>; (C) horizonte A<sub>2</sub> topo, (D) horizonte A<sub>2</sub>, base; (E) Plasma organo-mineral monomórfico no topo do Bi, em estrutura *coat-and-bridge*; (F) contato entre C, ferruginizado, e a base do Bi, com abundantes pseudomorfos de micas degradadas (VHE, illita e caulinita) em tamanho silte até areia; (G) base do horizonte Bi, com feições de iluviação orgânica incipiente, em meio ao esqueleto quartzoso e micáceo.

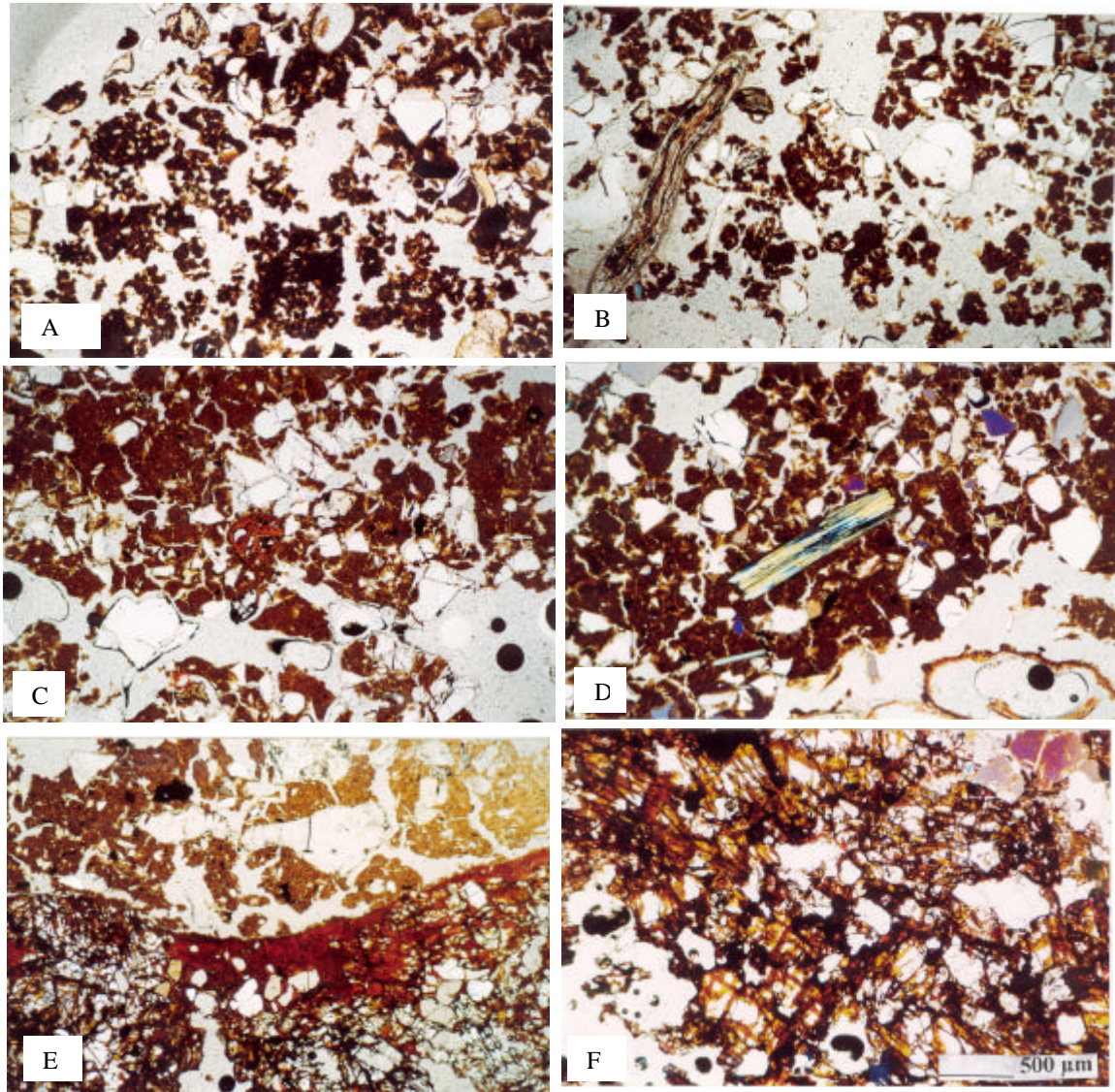


Figura 4 – Fotomicrografias selecionadas de horizontes pedogenéticos do Latossolo (P2). (A) horizonte A<sub>1</sub>, com abundantes pelotas fecais e plasma organo-mineral agregado com grãos de quartzo; (B) plasma organo-mineral ilustrando elevada porosidade superficial, com fragmento orgânico pouco decomposto; (C) e (D) microestrutura granular poliédrica, partículas de carvão pseudomorfas de mica degradados e restos de raiz; (E) contanto BW<sub>2</sub>/Cr; (F) estrutura litoreliquiar em Cr, com litoporos e gibbsitização de plagioclásios e feldspatos.

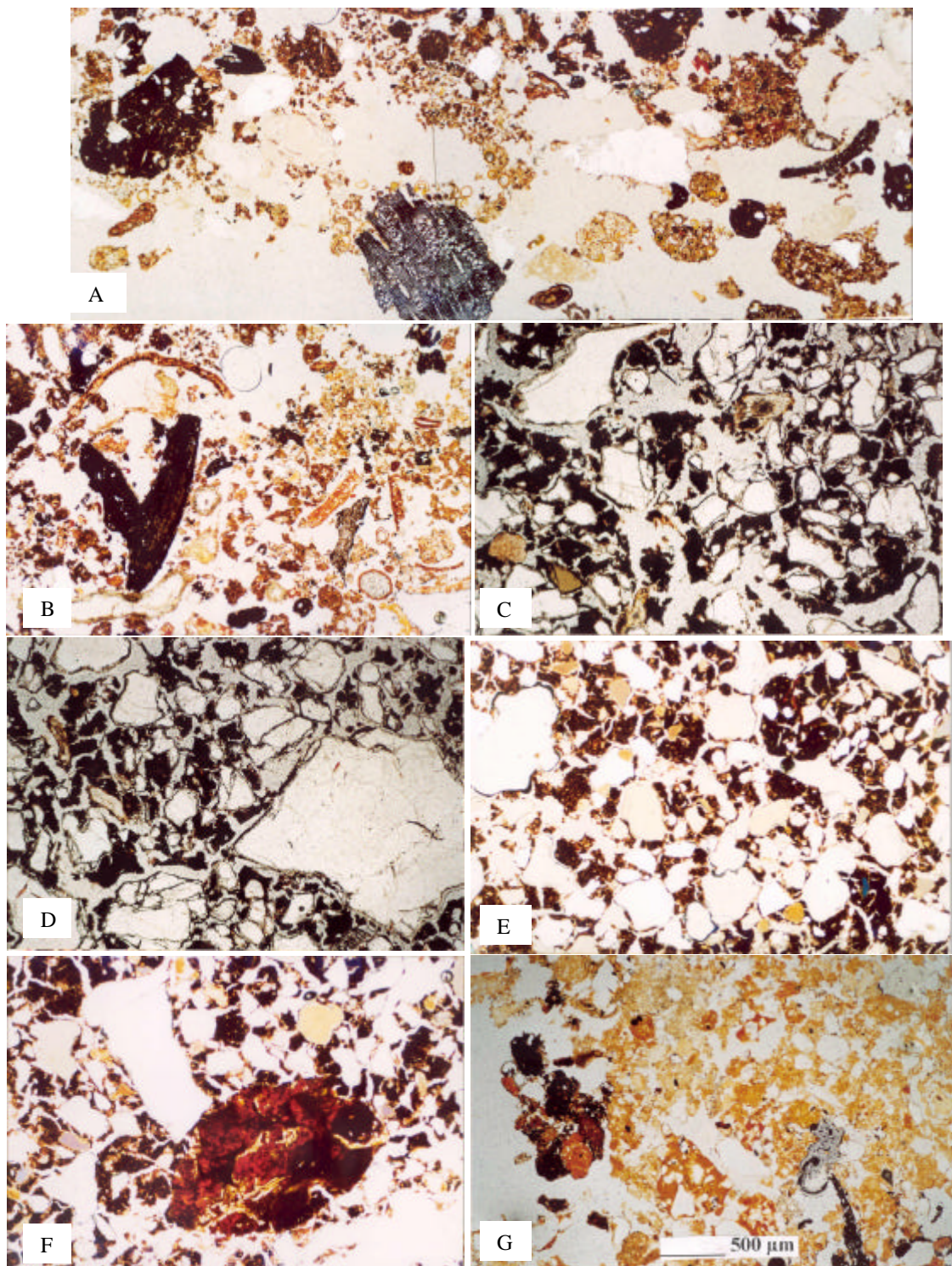


Figura 5 – Fotomicrografias selecionadas de horizontes pedogenéticos do Espodossolo Ferrocárbico (P3). (A) horizonte A<sub>1</sub>, superfície; (B) horizonte A<sub>1</sub>, a 1cm de profundidade; (C) e (D) horizonte Bh; (E) horizonte Bhs, parte superior; (F) horizonte Bhs, parte inferior; (G) horizonte Bi.

### 3.6 Estoque de carbono

Os valores encontrados nos solos da Serra Verde foram superiores à média mundial estimada para solos de classes similares por BATJES (1996), com base em banco de dados da FAO –UNESCO, corroborando a importância dessas áreas na imobilização de carbono (Quadro 8).

Em termos absolutos, as encostas e grotas florestadas constituem o geoambiente com maior estoque de carbono no solo. Em termos relativos, as áreas de turfeira são as mais importantes, com acúmulo de mais de 1500 toneladas de carbono por hectare (Quadro 9).

Quadro 8 – Teor de carbono total em t ha<sup>-1</sup> dos solos estudados na Serra Verde, considerando-se três profundidades, comparados com os valores médios mundiais, encontrados por BATJES (1996) para classes similares (sistema FAO-UNESCO).

Prof	O	Histosols	LV	Humic Ferrasols	ES	Humic Podzols	CH	Humic Cambisols
0-30	321	283	208	93	85	103	192	116
0-50	455	464	240	132	143	120	320	161
0-100	760	776	313	190	275	178	354	211

O = Ogranossolo; LV = Latossolo Vermelho-Amarelo; ES = Espodossolo Ferrocárbico; CH = Cambissolo Húmico

Os valores calculados representam na realidade apenas uma aproximação dos teores reais presentes na natureza. No entanto, como exercício inicial, dão idéia da magnitude do estoque de carbono presente neste ambientes. Fica evidente a importância das áreas montanhosas tropicais na imobilização de carbono em formas de ciclagem lenta, sendo necessários estudos mais criteriosos para a obtenção de dados seguros, em escalas regionais. A utilização dos valores de humina como uma primeira estimativa de *turnover* lento pode representar uma promissora avaliação

dos estoques de C protegido no solo, com longo tempo de residência. Para uma estimativa mais segura é recomendável separar a matéria orgânica leve antes do fracionamento, evitando superestimar a fração humina.

Quadro 9 – Estoque de carbono total e por unidade de área para cada geoambiente, teores totais e contribuição percentual da fração de lenta ciclagem, representada pela humina.

Geoambientes	Área (ha)	Total (t)	t ha <sup>-1</sup>	Humina (t)	% Hum
Encostas e Grotas	624,7	308.680	494	109.865	36
Topos Aplainados	125,2	25.025	200	19.519	78
Complexo rupestre	366,5	72.313	197	26.150	36
Vales com Araucárias	60,2	28.548	474	10.391	36
Pastagens	99,3	8.441	85	3.376	40
Áreas em regeneração	168,2	30.294	180	14.480	48
Escarpas	74,4	14.272	192	5.708	40
Turfeiras	5,1	7.726	1.515	2.163	28
Patamares estruturais	43,9	33.364	760	9.341	28
Total	1567,5	528.663	344	206.769	39

#### 4. CONCLUSÕES

1. Os solos da Serra Verde, compartimento orográfico típico da Mantiqueira mineira, possuem mineralogia gibbsítica e fertilidade natural extremamente baixa em ambientes ricos em biodiversidade e biomassa vegetal, ilustrando a importância dos mecanismos de ciclagem de nutrientes mais fechados para o desenvolvimento e manutenção da vegetação atual.
2. Estes mecanismos mais fechados de ciclagem são indicados pela concentração de raízes nos horizontes superficiais de todos os perfis estudados, com pouca penetração de raízes finas até a frente de intemperismo pela virtual ausência de nutrientes no saprolito.
3. Apesar do rejuvenescimento atual da paisagem, onde o relevo acidentado favorece a morfogênese (erosão) em detrimento da pedogênese, prevalece a herança do material de origem pré-intemperizado (saprolito) e pobre (gibbsítico), condicionando a necessidade de mecanismos de adaptação, onde as perdas são minimizadas.
4. O acúmulo de carbono orgânico atual no solo é influenciado pela produção de biomassa e condições ambientais mais frias (regimes subtropicais), úmidas e pobreza em nutrientes (oligotrofismo). A distribuição do carbono ao longo do perfil está relacionada à textura do solo, qualidade da matéria orgânica e posição na paisagem.
5. Por meio do estudo integrado do fracionamento de substâncias húmicas, especiação química de alumínio e feições micromorfológicas, evidenciou-se o processo de podzolização nos solos, em graus variados, formando horizonte espódico bem desenvolvido (Espodossolo) ou em processo incipiente de

formação (Cambissolos). Nos horizontes espódicos há aumento de espécies amorfas de Fe e Al.

6. Os solos da Mantiqueira, com horizontes húmicos ou hísticos, representam importante compartimento de carbono seqüestrado protegido, com valores que alçam  $760 \text{ t ha}^{-1}$ , até 1,0 m de profundidade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21. Capítulo 13: Gerenciamento de ecossistemas frágeis: desenvolvimento sustentável das montanhas. [www.agenda21.org.br](http://www.agenda21.org.br).

ALLISON, F.E. The organic matter content of soils. In: **Soil organic matter and its role in crop production**. New York: Elsevier, 1973. p.120-130.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**. 47:151-163, 1996.

BAYER, C. e MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In Santos, G.A e CAMARGO, F.A.O.(eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. 508p.

BENITES, V.M. . **Caracterização dos solos e das substâncias húmicas em Complexos Rupestres de Altitude**. Tese de Doutorado. Viçosa:UFV, 2002.

BENITES, V.M, SCHAEFER, C.E.R.G., MENDONÇA, E.S.. e MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 25:661-674, 2001.

BENITES, V.M. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira**. Dissertação de Mestrado. Viçosa: UFV, 1998. 123p. 1997

BULLOCK, P., FEDOROFF N., JONGERIUS., A., STOOPS, G., TURSINA, T., E BABEL, U. **Handbook for soil thin section description**. Waine Research Publications-Wolverhamptom, 1985.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. **Soil genesis e classification**. Ames: Iowa State University Press, 1980. 404 p.

BUURMAN, P. Podzols. Van Nostrand Reinhold Soil Science Series. Nova Iorque, 1984. 450 p.

DALAL, R.C. e MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 24, p.281-292, 1986.

- DELVIGNE, J.E. Atlas of micropedology and mineralogy/**Orstom, especial publication 3**. Ottawa, 1990. 494 p.
- DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. **Geoderma** 24:101-128. 1980
- DE CONINCK, F.; McKEAGUE, J.A. Micromorphology of Spodosols. In: Douglas, L.T. e Thompson, M.L. (Eds.) **Soil Micromorphology and soil classification**. P. 121-144. SSSA Special publications n°15, Madison, 1985. 216 p.
- DIAS, H.T. **Geoambientes e pedogênese do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte (MG)**. Tese de Doutorado, Viçosa, UFV. 2000. 121 p.
- DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **CDRom...Rio de Janeiro:SBCS**, 1997.
- DORAN, J.W. e PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA/SSSA, 1994. p. 3-21.
- DRISCOLL, C.T., van BREEMEN, N. e MULDER, J. Aluminium chemistry in a forested spodosol. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 49:437-444.1985.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos e análises de solo**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 1997.
- EMBRAPA, CNPS. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, 1999. 412 p.
- FITZPATRICK, E.A. **Soil Microscopy and Micromorphology**. John Wiley, Chichester, 1993.
- GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black Carbon in soils: the use of benzenecarboxylic acids as specific markers. **Organic Chemistry**. v 9 (4):811-820. 1998.
- HAYES, M.H.B.; MACCARTHY, P.; MALCOM, R.L. e SWIFT, R.S. The search for the structure: setting the scene. In Hayes, M.H.B.; MacCarthy, P.; Malcolm, R.L. e Swift, R.S (eds.) **Humic substances II. In search for the structure**. p. 689-733. Chichester, 1989.

- HSU, P.H. Aluminium hydroxides and oxyhydroxides In: Dixon, J.B. e Weed, S.B. (Eds.) **Minerals in soils environments**. P. 1051-1088. SSSA. Madison, 1989. 720 p.
- HAUMAIER, L.; ZECH, W. Black Carbon as possible source of highly aromatic components of soil humic acids. **Organic Chemistry** v. 23 (3)191:196. 1995.
- JONES, C.G.; LAWTON, J.H. e SHACHAK, M. Organisms as ecosystem engineers. **Oikos** 69:373-386. Copenhagen, 1994
- KITTRICK, J.A. Precipitation of kaolinite at 25 ° C and 1 atm. **Clays Clay Min.** 18:261-267, 1970.
- LACERDA, M.P.C.; ANDRADE, H.; QUEMÉNEUR, J.J.G **Micropedologia e alteração em perfis de solos com B textural na região de Lavras, MG**. R. Bras. Ci. Solo 24:829-841, 2000.
- LANI, J.L. **Estratificação de ambientes na Bacia do Rio Itapermirim no Sul do estado do Espírito Santo** (Dissertação de Mestrado). Viçosa, MG. UFV, 1987. 114 p.
- LINDSAY, W.L. **Chemical equilibria in soils**. John Wiley and Sons, New York. 1979. 449p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Associação Bras. Para Pesquisa da potassa e do Fosfato 1989, 201 p.
- MARTIN, J.P.; ZUNINI, H.; PEIRANO, P.; CAIOZII, M.; HAIDER, K. Decomposition of <sup>14</sup>C-Labelled lignins, model humic acid polymers, and fungal melanins em allophanic soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.14, p.289-293, 1982.
- McKEAGUE, J.A. e DAY, J.H. Dithionite and oxalate extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. **Can. J. Soil Sci.** V.46, 13-22. 1966.
- MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de latossolos. **R. Bras. Ci. Solo.** 19:25-30, 1995.
- MIELNICIZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In Santos, G.A e CAMARGO, F.A.O.(eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. 508p.

MIKLÓS, A.A.W. **Biodinâmica d'uma cobertura pedológica na região de Botucatu, Brasil.** Doctorat thesis, Université Paris VI, France. 1992.

MUNSÉLL. **Soil Color Charts.** Maryland, 1994.

OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochem.** 5:35-70, 1988.

PARFITT, R.L. **Optimum conditions for extraction of Al, Fe e Si from soils with acid oxalate.** Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 20: 801-816, 1989

RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais: Folhas SF23/24. Rio de Janeiro/Vitória; Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro, 1983. 780 p.

REEVE, N.G. e SUMNER, M.E. Cation exchange capacity and exchangeable aluminium in Natal oxissols. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 35:38-42.

REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil e Tillage Research,** Amsterdam, v.43, p.131-167, 1997.

RESENDE, M. **Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of Central Plateau of Brasil.** PhD Thesis, Lafayette, Purdue UNIV., 1976.237 p.

SCHAEFER, 1996. **Relatório de excursão de pedologia ao Itatiaia e ao estado do Rio de Janeiro.** 32 p.

SCHAEFER, C.E.G.R. **Ecogeography and Human Scenario.** In: Roraima, Amazonia. Ciência e Cultura, 49(4) 241-252. 1997.

SCHAEFER, C.E.R.; ALBUQUERQUE, M.A.; CHARMELO, L.L.; CAMPOS, J.C.F.; SIMAS, F.N.B. **Elementos da Paisagem e a Gestão da Qualidade Ambiental.** Informe Agropecuário, v.21, jan./fev. 2000.

SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; GILKES, R.J.; CAMPOS, J.C.; DA COSTA, L.M; SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. **Geoderma,** 2001 (in press).

SCHAEFER, C.E.R.; VALE Jr., J.F.; MARTIN-NETO L.; MENDONÇA, E.S.; NOVOTRY, E.; ALBUQUERQUE, M.A. Organic carbon characterization in soils under shifting cultivation, natural forest or pasture in north Amazonia. 2002 (submetido).

SCHWERTMANN, U. e TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. e WEED, S.B. (Eds.) **Minerals in soil environments**. P. 1051-1088. SSSA. Madison, 1989. 1207 p.

SCHWERTMANN, U. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hydroxides. **Nature**, 212:645-646. 1966.

SKEMSTAD, J.O.; CLARKE, P.; TAYLOR, J.A., OADES, J.M.; McCLURE, S.G. The chemistry and nature of protected carbon in soil. v. 34 (2):251-271.1996.

STOOPS, G.J. e BUOL, S.W. Micromorphology of Oxisols. In: Douglas, L.T. e Thompsom, M.L. (Eds.) **Soil Micromorphology and soil classification**. P. 121-144. SSSA Special publications n°15, Madison, 1985. 216 p.

SOON, Y.K. Fractionation of extractable aluminium in acid soils: a review and a proposed procedure. **Soil Sc. Pl. Anal.** 24:1683-1708. 1993.

TRICART, J.; KIEWITDEJONGE, C. **Ecogeography and rural mangement**. Longman Scientific, Harlow, 1992.

VAN BREEMEN, N.; BUURMAN, P. **Soil Formation**. Kiuwer Academic Publishers, 1998. 377 p.

VIOLANTE, A; VIOLANTE, P. Influence of pH, concentration and chelating power of organic anions on the synthesis of aluminium hydroxide and oxihydroxides. **Clays Clay Miner.** 28:425:434, 1980.

VOLKOFF, B. Os produtos ferruginosos que determinam a cor dos Latossolos da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.2, p.55-59, 1978.

VOLKOFF, B., CERRI, C.C., MELFI, A.J. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campos de altitude dos estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v.8, p.277-283, 1984.

YEOMANS, J.C. e BREMNER, J.M. **A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil**. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 19(13): 1467-1476. 1988.

YOUNG, A. e STEPHEN, I. Rock Weathering and soil formation of high altitude plateaux of Malawi. **J. Soil Sci.** 16:322-333. 1965.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

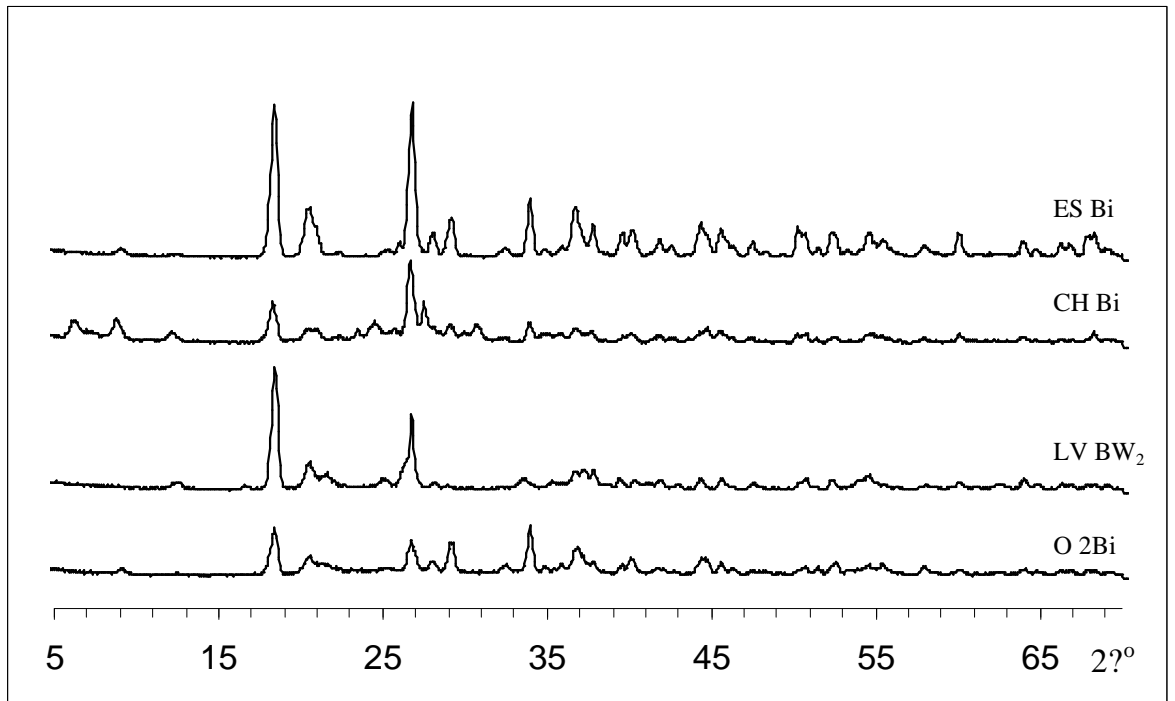
A Serra Verde constitui uma área altamente estratégica para a gestão ambiental dos altos da Mantiqueira mineira, pela grande conectividade e elevado estado de conservação dos ecossistemas naturais. Juntamente com a Serra do Papagaio e com o Maciço do Itatiaia, faz parte de uma expressiva área contínua de ambientes Alto-Montanos em Minas Gerais, onde encontram-se importantes nascentes e remanescentes florestais. Destacam-se as extensas áreas de Floresta Ombrófila Mista, Montana e Alto-Montana, assim como áreas de Complexo Rupestre de Altitude. O mapeamento geoambiental da porção mais elevada da Serra Verde, no entorno da Mitra do Bispo, representa uma primeira estratificação ambiental de grande importância para o planejamento local e regional.

Do ponto de vista pedológico, predominam solos distróficos, com elevados teores de alumínio trocável e expressivo acúmulo de carbono orgânico, desenvolvidos a partir de saprolitos gibbsíticos altamente intemperizados e com baixa reserva nutricional. A matéria orgânica, através da geração de cargas e fornecimento de nutrientes, desempenha um papel essencial para a manutenção do ecossistema. A concentração de raízes nas camadas mais superficiais indica o predomínio de mecanismos de ciclagem fechados, onde as perdas são minimizadas.

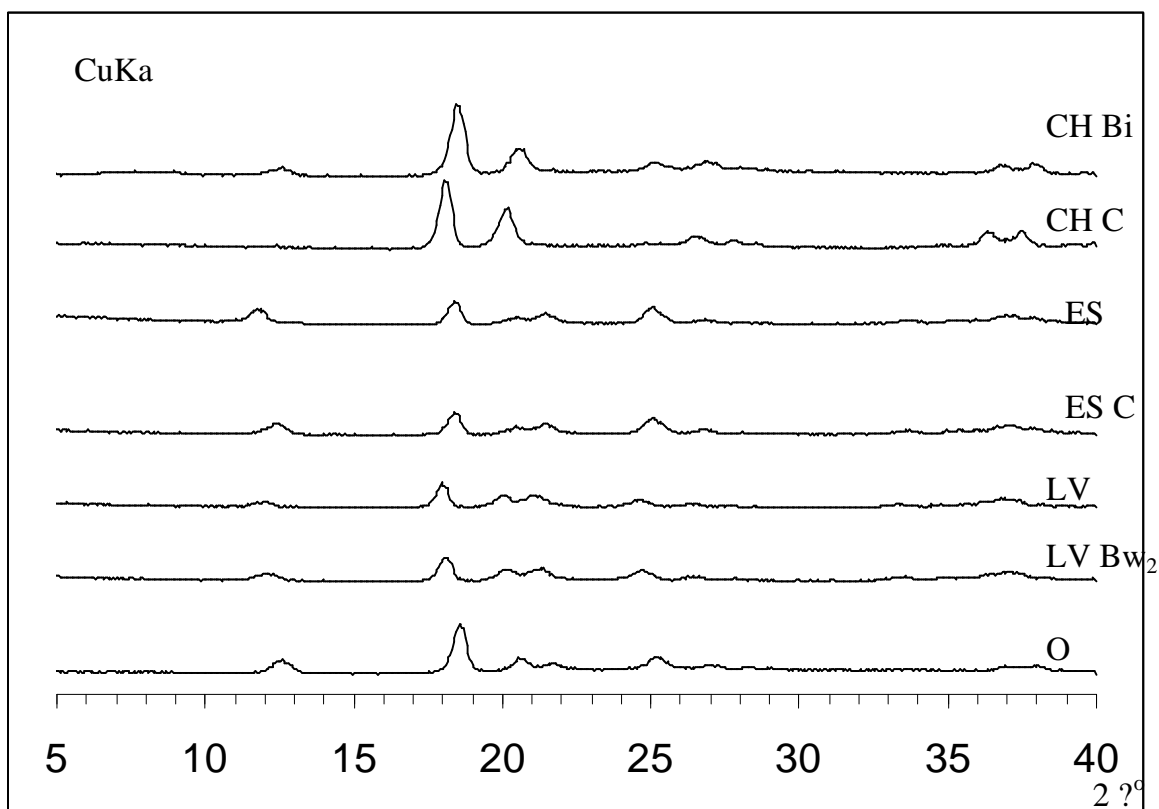
A análise integrada do fracionamento de substâncias húmicas, da extração seqüencial de alumínio e feições micromorfológicas evidenciou a ocorrência de podzolização. A estimativa dos estoques de carbono nos solos e geoambientes estudados revelam a importância da Mantiqueira como reservatório de carbono seqüestrado protegido.

O estudo dos solos, associado ao mapeamento geoambiental, mostrou-se adequado para a estratificação ambiental. Neste sentido, a carência de informações sobre o meio físico da Mantiqueira mineira indica a necessidade de estudos mais amplos, em escala regional, para o melhor entendimento e gestão destas áreas.

## APÊNDICE



Difratogramas de raio-X da fração silte dos solos estudados na Serra Verde



Difratogramas de raio-X da fração argila de horizontes selecionados dos solos estudados na Serra Verde

## Geoambientes do entorno da Mitra do Bispo, Serra Verde, MG

