

ROSEILTON FERNANDES DOS SANTOS

**TERMODECOMPOSIÇÃO, ESTUDOS DE CARBONIZAÇÃO E SILICIFICAÇÃO
DA MATÉRIA ORGÂNICA E CORPOS SILICOSOS EM ECOSISTEMAS
TERRESTRES NO BRASIL E NA ANTÁRTICA**

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 *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2007**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S237t
2007

Santos, Roseilton Fernandes dos, 1974-

Termodecomposição, estudos de carbonização e silicificação da matéria orgânica e corpos silicosos em ecossistemas terrestres no Brasil e na Antártica / Roseilton Fernandes dos Santos. – Viçosa, MG, 2007.

x, 81f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Liovando Marciano da Costa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Análise. 2. Solos - Conservação. 3. Húmus.
4. Minerais de argila. 5. Mineralogia. 6. Grafita. 7. Silica.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.41

ROSEILTON FERNANDES DOS SANTOS

**TERMODECOMPOSIÇÃO, ESTUDOS DE CARBONIZAÇÃO E SILICIFICAÇÃO
DA MATÉRIA ORGÂNICA E CORPOS SILICOSOS EM ECOSISTEMAS
TERRESTRES NO BRASIL E NA ANTÁRTICA**

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 *Doctor
Scientiae*.

APROVADA: 24 de setembro de 2007.

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

Prof. Jairo Tronto

Prof. Walter Antônio Pereira Abrahão

Pesq. Ramon da Costa Alvarenga

Prof. Liovando Marciano da Costa
(Orientador)

Aos meus pais Maurício e Rosa;

À minha esposa Lidjane;

A todos os meus irmãos, especialmente a Marivaldo (in memoriam).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pelo pão de cada dia, pela graça do perdão e por minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade oferecida para realização desse curso.

Ao povo brasileiro pelo financiamento de meus estudos desde a alfabetização até o doutoramento.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao CNPq pelo financiamento do Projeto.

Ao Estado de Minas Gerais e ao povo viçosense, pelo acolhimento e receptividade.

Ao Prof. Liovando Marciano da Costa pela orientação no doutorado, pela postura elegante diante da vida e pelo exemplo de ser humano e pesquisador.

Ao Co-Orientador Prof. Nairan Félix de Barros pela atenção dispensada a minha pessoa e pelas sugestões a pesquisa.

Ao Co-Orientador, professor e amigo Carlos Ernesto R. G. Schaefer por sua grande contribuição a este trabalho, pelas palavras durante a defesa que muito me marcaram, pela objetividade, pelo entusiasmo, pela inteligência, pelo grande pesquisador e ser humano que é.

Aos membros da minha banca de qualificação, os professores Jaime Wilson Vargas de Mello e Ivo Ribeiro da Silva, pelas críticas e discussões para mim, proveitosas.

Aos membros da minha banca de defesa de tese, Pesq. Ramon da Costa Alvarenga, Prof. Jairo Tronto e Prof. Walter Antônio Pereira Abrahão, pelas significativas contribuições à melhoria deste trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Solos, sem distinção, pelo empenho e exercício de suas funções, acolhimento e contribuição a minha formação.

Aos professores do Departamento de Fitotecnia, nas pessoas de Carlos S. Sedyiama e Ricardo Santos, respectivamente pelas disciplinas Técnicas Experimentais em Fitotecnia e Agroecologia.

A professora Rita Márcia do Departamento de Educação, pelas aulas construtivas e motivadoras da disciplina Metodologia do Ensino Superior.

A EMATER-MG pela oportunidade do primeiro emprego e pelos dias concedidos em etapas importantes do Doutorado. Aos amigos e colegas de trabalho Lourdes Luiza de Souza Tranin e Pedro Carlos Pereira, bem como a suas respectivas famílias, pelo acolhimento em suas residências e pela amizade.

A Prefeitura Municipal de Divino nas pessoas do Sr. Mauri Ventura do Carmo e Pedro Dias Moreira pelo apoio nas ações voltadas para melhoria da qualidade de vida do homem do campo divinense.

Aos novos amigos pela recepção calorosa em minha chegada em Divino e pelo incentivo na fase final do Doutorado. Especialmente, gostaria de agradecer ao Sr. José Carlos de Souza Heinisch e sua amorosa família.

A todos os agricultores familiares do município de Divino, aqui representados pelo Sr. Noel Gomes Sobrinho, pela missão de ajudar ao próximo.

Aos conterrâneos e colegas de curso, sem distinção, pelo apoio e companheirismo nos momentos desconfortáveis e felizes em Viçosa. Gostaria de eleger como representante desses a Nilson Gomes Bardales (AC), Lindomário Barros de Oliveira (PE) e Ítalo Moraes Rocha Guedes (PB).

Aos amigos conquistados em Viçosa, pela amizade e bons momentos vividos: Nilza, Vicente e família, Daniele (Paracatu-MG), João Marceneiro, Edna (Imobiliária Millenium), aos amigos de República, onde criei laços de amizade: José Lindenberg Rocha Sarmiento (PB), João Francisco dos Santos (AL), Ueliton Messias (RJ) e Alexandre Paiva da Silva (PB).

Ao estudante de Agronomia e estagiário Sainy Martins (MS) pela ajuda nos trabalhos laboratoriais, bem como, pela atenção dispensada a minha família.

A todos os colegas do futebol (turma do domingo e turma da quarta-feira) pelas horas agradáveis de diversão futebolística, especialmente aos nobres colegas JP, Gil e Claudinho (Domingo) e Minette, César Chagas e Valdir (Quarta-feira).

A minha amada esposa e seus amorosos pais, José e Lindalva, também ao jovem Izak, por me apoiarem nessa empreitada, não medindo esforços e compartilhando comigo de momentos difíceis e felizes.

Aos meus progenitores, amados pai e mãe, pela dádiva de tê-los comigo em todos os momentos importantes de minha vida. Eu os amo até o limite de minha compreensão do que seja amor.

Aos meus queridos irmãos Rosenildo e Roseane pelos exemplos de homem e mulher que se tornaram, pelo amor e pelo apoio financeiro, sem o qual a minha caminhada teria sido mais árdua.

Aos queridos tio João Fernandes Batista (in memorian) e primo Jorge André de Oliveira Silva (in memorian) pela trajetória de vida, luta e conquistas. Vocês estarão sempre em minhas lembranças.

BIOGRAFIA

ROSEILTON FERNANDES DOS SANTOS é filho de Maurício Aprígio dos Santos e Rosa Fernandes Batista. Paraibano, natural de Campina Grande, viveu seus “verdes anos” em Remígio, onde estudou no Instituto Menino Jesus o primeiro ciclo do ensino fundamental (1º a 4º série) e na Escola Estadual José Bronzeado Sobrinho, o segundo ciclo do ensino fundamental (5º a 8º série) e o ensino médio (1º ao 3º ano científico). Engenheiro Agrônomo formado pelo Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Areia. Em 2001 defendeu tese de mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água (UFPB/Campus II/Areia), área de concentração em Agricultura Sustentável, Planejamento Ambiental e Poluição. Em 2002 ingressou no Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas (DPS/UFV), área de concentração em Manejo e Conservação do Solo, concluindo em 2007. Durante o curso de Doutorado prestou concurso público para a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais, tendo sido aprovado para a função de Extensionista Agropecuário II. Exerce esta função desde dezembro de 2005 na cidade de Divino, Região de Muriaé, Zona da Mata de Minas Gerais. Como atividades lúdicas, lê poesia de cordel e houve cantorias de repente, caminha nas praias paraibanas ou nordestinas, e aprecia futebol, MPB e cinema. É casado com Lidjane Fernandes Costa Santos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
CAPÍTULO 1 – TERMODECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA RELACIONADA ÀS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MINERALÓGICAS DE SOLOS DE DIFERENTES ECOSISTEMAS.....	01
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	02
2.1. Matéria orgânica do solo.....	02
2.2. Matéria orgânica nos diferentes pedossistemas.....	04
2.2.1. Criosolos da Antártica.....	04
2.2.2. Ambientes altimontanos da Mantiqueira: Serra Verde e Ibitipoca.....	06
2.2.3. Organossolo fólico da Ilha de Trindade.....	08
2.2.4. Solos sob Caatinga da Região dos Lagos, RJ.....	09
2.2.5. Cambissolos do Alto Paranaíba.....	10
2.2.6. Latossolos.....	11
2.2.7. Latossolos Húmicos.....	12
2.2.8. Vertissolos do Nordeste.....	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1. Descrição das amostras.....	13
3.2. Solos.....	14
3.3. Análises físicas.....	14
3.4. Análises químicas.....	18
3.5. Análises mineralógicas da fração argila.....	20

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Atributos físicos e químicos.....	20
4.2. Carbono orgânico e frações.....	25
4.3. Termodecomposição.....	30
5. CONCLUSÕES.....	44
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	51
CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DE FRAGMENTOS DE MADEIRA PETRIFICADA DA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA.....	57
1. INTRODUÇÃO.....	57
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
2.1. Descrição das amostras.....	58
2.2. Análises físico-químicas.....	59
2.2.1. Termodegradação da MO contida em madeira.....	59
2.2.2. Perda de massa relativa.....	59
2.2.3. Análise elementar.....	60
2.2.4. Carbono orgânico total.....	60
2.3. Análises mineralógicas.....	60
2.4. Análise estatística.....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4. CONCLUSÕES.....	65
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS.....	67
CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DE FITÓLITOS EM HORIZONTES SUPERFICIAIS DE SOLOS DE DIFERENTES ECOSSISTEMAS.....	69
1. INTRODUÇÃO.....	69
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	73
2.1. Solos e áreas de estudo.....	73
2.2. Extração de fitólitos no solo.....	73
2.2.1. Procedimentos de extração.....	73

2.2.2. Identificação de fitólitos.....	73
2.2.3. Fotografia.....	74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4. CONCLUSÕES.....	78
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXOS.....	80

RESUMO

SANTOS, Roseilton Fernandes dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2007. **Termodecomposição, estudos de carbonização e silicificação da matéria orgânica e corpos silicosos em ecossistemas terrestres no Brasil e na Antártica.** Orientador: Liovando Marciano da Costa. Co-orientadores: Carlos Ernesto R. G. Schaefer e Nairan Félix de Barros.

A matéria orgânica (MO) é altamente heterogênea e consiste de diversos componentes, desde açucares mineralizáveis até compostos alifáticos recalcitrantes. O tempo médio de residência (TMR) do C desses compostos varia desde alguns minutos até milhares de anos. Esta variação se deve em parte ao mineral de argila dominante no solo, promovendo interações e dinâmica diferenciada entre MOS e mineral. As adições de matéria orgânica (MO) ocorrem via síntese de compostos orgânicos através de fotossíntese, cuja quantidade adicionada depende de condições edáficas e climáticas. Por outro lado as perdas na forma de CO₂, dependem de processos físico-químico e biológicos que regem o ciclo do carbono nos solos. Há poucos estudos abrangentes sobre o efeito de variações de temperatura na decomposição da MO em solos, embora tais estudos possam subsidiar a melhor compreensão da natureza da MO nos sistemas naturais, muitos dos quais são submetidos à queimas naturais ou antrópicas. Os solos selecionados para este estudo (n=11) são oriundos de diferentes ecossistemas, aqui justificados pela riqueza de particularidades desses ambientes e da matéria orgânica do solo que se origina pelas mais diferentes rotas de humificação. O presente trabalho teve os seguintes objetivos: a) compreender como a matéria orgânica se comporta após tratamentos térmicos e de que forma sua manutenção pode ser influenciada pelas características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados; b) caracterizar química e mineralogicamente formas de carbono fossilizados, no caso específico, fragmentos de madeira petrificada coletados da Antártica; c) Identificar os corpos silicosos (fitólitos) em horizontes superficiais de solos provenientes de diferentes ecossistemas terrestres. A estabilidade da MO com base nas curvas termogravimétricas indicou que Latossolos argilosos possuem formas de carbono orgânico comparativamente mais estáveis. A termodecomposição indicou valores decrescentes de MO no sentido Caratinga-Berilo-Crato, seguindo a um gradiente decrescente de latitude, do Sudeste para o

Nordeste. O aumento do teor de fibras nos Organossolos aumentou a resistência a termodecomposição. A forma de carbono mineral nos fragmentos de madeira fossilizada é grafite. Além do grafite, a matriz mineral no material petrificado é constituída por sílica na forma de quartzo e por um outro mineral ou minerais, pouco cristalinos, que possuem relativa abundância em Fe, Al e Mg, não detectáveis pelo difratograma de raios X. Há uma natural variedade de formas e abundância de fitólitos nos solos estudados, quais sejam: bastonetes de tamanhos variados, buliforme, cela, halteres e formas retangulares, sendo bastonete e buliforme as formas mais abundantes. Os corpos silicosos foram bem mais abundantes e diversificados no único solo desenvolvido de quartzito, naturalmente rico em sílica, sendo a vegetação acumuladora neste elemento.

ABSTRACT

SANTOS, Roseilton Fernandes dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2007. **Thermodecomposition, organic matter carbonization silicification studies and silica bodies in terrestrial ecosystems in Brazil and Antarctica.** Adviser: Liovando Marciano da Costa. Co-Advisers: Carlos Ernesto R. G. Schaefer and Nairan Félix de Barros.

Soil organic matter (SOM) is highly heterogeneous in composition, which consists of components as different from each other as labile carbohydrates and recalcitrant aliphatic compounds. Mean residence time (MRT) of the various compounds comprising soil organic matter may range from a few minutes to thousands of years. This wide range is partly due to the soil predominant clay mineral type, which may influence SOM dynamics and interaction with the mineral fraction. Soil organic matter building occur through the synthesis of organic compounds in photosynthesis and depends on soil and climatic conditions. The loss of SOM as CO₂ depends on physical, chemical and biological processes which control soil carbon cycle. There are scarce studies on the effects of temperature variation on soil organic matter decomposition, although such studies would provide a better understanding of OM nature in natural systems, including those which undergo natural or man-made fires. The soil samples (n=11) selected for this study are representative of different ecosystems, and were chosen because of the ecological peculiarities of each area as well as because of the varying humification pathways which take place in those areas. The aims of this work were: a) to understand how soil organic matters behaves after heat treatments and how its stability is influenced by soil chemical, physical and mineralogical characteristics; b) proceed the chemical and mineralogical characterization fossilized carbon in petrified wood fragments from Antarctica; c) identify silica phytoliths in superficial horizons of soils from different terrestrial ecosystems. OM stability based on thermogravimetric data showed that clayey Latosols possess the most stable carbon forms. Thermodecomposition showed decreasing OM values towards Caratinga-Berilo-Crato, which follows a decrease in latitude gradient, from Southeast to Northeast. Fiber content increase in Organosols enhanced thermodecomposition resistance. The mineral carbon polymorph in fossilized wood fragments in graphite. Besides graphite, mineral matrix of the petrified material is constituted by quartz by other mineral or

minerals, poorly crystalline, which are relatively rich in Fe, Al, and MG and not detected by X-ray crystallography. There occurs a natural abundance in phytoliths and phytolith morphotypes in studied soils: variously sized rods, saddles, fan-shaped, dumbbells and rectangular shapes, with rods and fans the most abundant. Silica bodies were more abundant and diversified in the only soil developed on quartzite, naturally rich in silica and with a vegetation which accumulates silicon.

INTRODUÇÃO GERAL

O solo no estado natural constitui um sistema aberto, com trocas de matéria e energia com o meio. O sistema atinge a “estabilidade” quando a taxa de adição e perda se equivalem (Addiscot, 1992). Dentro desse conceito, as adições de matéria orgânica (MO) ocorrem via síntese de compostos orgânicos através de fotossíntese, cuja quantidade adicionada depende de condições edáficas/climáticas. Por outro lado as perdas na forma de CO₂, dependem de processos físico-químico e biológicos que regem o ciclo do carbono nos solos.

Há poucos estudos abrangentes sobre o efeito de variações de temperatura na decomposição da matéria orgânica em solos, embora tais estudos possam subsidiar a melhor compreensão da natureza da MO nos sistemas naturais, muitos dos quais são submetidos à queimas naturais ou antrópicas.

Os solos selecionados para este estudo, em sua maioria, são provenientes de diferentes regiões do Brasil e foram escolhidos com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, com exceção apenas do Criosolo Ornitogênico (Continente Antártico), classificado conforme o WRB-FAO. Procurou-se obter ampla variedade quanto ao material de origem e clima dos solos com a finalidade de selecionar solos distintos.

O estudo envolveu solos orgânicos e minerais oriundos de ambientes contrastantes quanto ao material orgânico aportado, produto de diferentes rotas de humificação. São, portanto, solos diferenciados em atributos pedo-climáticos e tais diferenças justificam estudos mais aprofundados sobre a matéria orgânica do solo (MOS).

O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- a) Compreender como a matéria orgânica se comporta após tratamentos térmicos e de que forma sua manutenção pode ser influenciada pelas características químicas, físicas e mineralógicas dos solos estudados;
- b) Caracterizar química e mineralogicamente formas de carbono fossilizados, no caso específico, fragmentos de madeira petrificada coletados da Antártica;
- c) Identificar os corpos silicosos (fitólitos) em horizontes superficiais de solos provenientes de diferentes ecossistemas terrestres.

CAPÍTULO 1

TERMODECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA RELACIONADA ÀS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MINERALÓGICAS DE SOLOS DE DIFERENTES ECOSISTEMAS

1. INTRODUÇÃO

Os minerais de argila, em princípio, podem influenciar a termod decomposição da matéria orgânica de solos. Por outro lado, pouco se conhece sobre o papel da mineralogia de solos tropicais na conservação da matéria orgânica do solo. O problema fundamental que se coloca é: a termod decomposição é uma situação freqüentemente presente em condições tropicais e as perdas por oxidação biológica da matéria orgânica do solo são as mais importantes.

A interação de componentes minerais do solo e a matéria orgânica é um fator importante para se compreender a dinâmica da matéria orgânica nos solos. Nas regiões tropicais, de maneira geral, os solos apresentam graus mais avançados de intemperismo, havendo predomínio, na fração argila, de minerais, como óxidos de ferro e alumínio – entre outros – e argilossilicatos, como caulinita. A elevada superfície específica e os grupos funcionais dispostos na superfície determinam a interação desses minerais e a matéria orgânica do solo.

Muitas substâncias orgânicas apresentam carga superficial, que em contato com as argilas, que também possuem cargas, podem desenvolver ligações entre as argilas e compostos orgânicos, formando complexos argilo-orgânicos. Dessa forma, a matéria orgânica pode ser protegida pela argila, conferindo maior estabilidade dos complexos formados e maior residência da matéria orgânica nos solos. A estabilidade da MOS é assunto que merece atenção dos pesquisadores interessados em seqüestro de carbono. Quanto mais estáveis forem os complexos argila-matéria orgânica maior será a residência do carbono nos solos (Costa et al., 2005).

O objetivo do presente trabalho foi compreender como a matéria orgânica se comporta após tratamentos térmicos e de que forma sua manutenção pode ser influenciada pelas características químicas, físicas e mineralógicas presentes nos solos estudados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Matéria Orgânica do Solo

Conforme Doran (1997), os estudos sobre matéria orgânica no solo constitui em importante indicador de qualidade ambiental, essencialmente pela expressiva influência sobre determinadas propriedades do solo (cor, estrutura, fertilidade, etc.) e á elevada sensibilidade a impactos ambientais.

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha relevante papel do ponto de vista químico, físico e biológico. A origem e transformações no ambiente do solo, bem como sua composição química e as diferentes funções que exerce tem norteados diferentes estudos.

A MO é altamente heterogênea e consiste de diversos componentes, desde açúcares mineralizáveis até compostos alifáticos recalcitrantes. O tempo médio de residência (TMR) do C desses compostos variam desde alguns minutos até milhares de anos. Esta variação se deve, em parte, ao mineral de argila dominante no solo, promovendo interações e dinâmica diferenciada entre MOS e mineral (Wattel-Koekkoek et al, 2001, 2003, 2004).

O TMR dos reservatórios estáveis é estimado em 250-380 anos nos solos tropicais e 850-3000 anos em solos de clima temperado. As variações na dinâmica da MO estável são relatadas pelas interações com o material mineral do solo, via estabilização física e química (Hsieh, 1996).

A fração mineral dos solos tem um profundo efeito sobre a quantidade e qualidade da MO nos solos. Este efeito depende parcialmente da adsorção das superfícies das argilas por onde uma grande parte da MO é protegida da decomposição microbiana e pela inacessibilidade física da MO nos poros dos microagregados (Oades, 1988).

Martin et al. (1982), estudando a perda acumulativa de carbono orgânico em solos de carga permanente e carga variável, solos típicos de climas temperados e tropicais, observaram que as perdas foram inferiores nos solos de carga variável, comprovando que há estabilização da matéria orgânica pela associação com os componentes da fração mineral desses solos.

A fração da MO lábil é mais jovem e parecida com o material proveniente de plantas, composta por carboidratos, proteínas, polifenóis (lignina) e grupos alquil, onde

carboidratos e proteínas são degradados rapidamente nos solos, os polifenóis decompõem mais lentamente. Os grupos alquil associados com as frações finas das argilas são mais recalcitrantes (Parfít et al., 1997).

Os resíduos orgânicos ocorrem naturalmente da decomposição de plantas e animais e de componentes remanescentes no ecossistema terrestre. Estes resíduos são misturas complexas que estão completa ou parcialmente transformados na MOS e inclui substâncias húmicas (SH), substâncias derivadas de ligninas, carboidratos e outras classes de compostos orgânicos. A composição do húmus é função da vegetação, do clima e da decomposição e propriedades do solo ou sedimentos (Swift, 2001).

As SH são categorias de moléculas com significativo grau de resistência à biodegradação. As SH incluem ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e Humina (HU). Estes apresentam graus diferentes de resistência à decomposição, sendo a fração HU a que apresenta o mais alto grau de resistência a biodegradação.

Os processos de acumulação dos teores de CO dependem de adequada avaliação da umidade durante o crescimento das plantas, especialmente raízes; das biotransformações ou humificação de resíduos de plantas e animais; da formação e estabilização dos agregados dos solos; da profundidade do solum; da profundidade das raízes no sistema; e da ciclagem das reservas de nutrientes (Swift, 2001).

Vários são os efeitos dos tratamentos térmicos sobre as características físicas (Sertsu e Sanches, 1978; Jorge, 1980), químicas (Nye e Greenland, 1964; Neto e Bertoni, 1974) e mineralógicas (Rooksby, 1961; Lippens e Steggerda, 1970) dos solos, refletidos fundamentalmente na perda de massa das amostras, diminuição do teor de C e decomposição de minerais. Esses efeitos podem ter outra conotação quando se trabalha com tratamentos químicos com água oxigenada para fins de decomposição química da MOS (Parra, 1986; Mendonça, 1988) e classes de agregados (Mendonça, 1988).

A MO é considerada importante para a manutenção da estabilidade estrutural de alguns tipos de solos, incluindo Mollissolos, Alfissolos, Ultissolos e Inceptissolos. Isto tende a diminuir nos Oxissolos e Andissolos, onde óxidos e hidróxidos desempenham importante influência no desenvolvimento da estabilização (Baldock e Nelson, 1999).

Wattel-Koekkoek et al. (2001) observaram que existem diferenças na dinâmica da MOS entre os minerais de argila caulinita e esmectitas. A MO associada com caulinita esteve em maior proporção livre ou ligada às superfícies de hidróxidos de

alumínio, e os minerais de argila do grupo das esmectitas se ligaram a MOS preferencialmente por meio de ligações catiônicas.

Alguns solos com carga variável como os Oxissolos e Andissolos contêm relativamente grande quantidade de MO por esta estar estabilizada por óxidos de ferro e alofanos, já que, ambos possuem pequeno tamanho de partículas e grande superfície específica (Parfit et al., 1997). Para Marchiori Júnior e Melo (2000), um alto teor de argilas oxídicas pode atuar como fonte de Al e Fe, complexando e retendo o húmus na forma de humina, conferindo maior estabilidade à matéria orgânica do solo.

2.2. Matéria Orgânica nos diferentes pedossistemas

2.2.1. Criossolos da Antártica

A Ilha Rei George está situada na Antártica Marítima, possui clima com o padrão “ET” (polar tipo tundra), classificação de Köppen, que é caracterizado por temperatura média do mês mais quente entre 0 e 10°C, com vegetação de musgos e líquens. A temperatura média anual é da ordem de -1,8°C e precipitação pluviométrica anual é de 366 mm, bem distribuída ao longo do ano. Os valores do pH das águas de chuvas na Ilha Rei George estão em torno de 6,1. A umidade relativa está quase sempre acima dos 80%, apresentando média anual de 85,2%. Os ventos apresentam média anual de 21 km/h, sendo esta maior no período do inverno. O clima nesta região é muito severo para permitir a existência de plantas superiores arbóreas, mas favorece a formação de líquens e musgos, que são encontrados junto a algas e outras formas primitivas de vida (Setzer et al., 2004).

A ilha possui rochas que variam desde o Cretáceo Superior¹ até o Oligoceno², lavas basálticas e andesíticas, rochas piroclásticas e depósitos vulcânicos, além de rochas hipoabissais (Schaefer et al., 2004a). A crioturbação³ e ornitogênese são muito atuantes na Antártica Marítima, o que resulta em diferenças marcantes nas propriedades

¹ Período cretáceo: aquele em que, na fauna, aparecem os primeiros mamíferos, de pequeno porte (marsupiais), e, na flora, se nota o progresso dos gimnospermas (coníferas) e o surgimento dos angiospermas mono e dicotiledôneos;

² Época oligocena: núcleo do terciário com o aparecimento dos primeiros símios antropomorfos (primatas que tem a cavidade orbitária fechada e semelhantes ao homem quanto a forma).

³ Termo usado para descrever todos os movimentos verticais e horizontais de solos devido à ação do congelamento descongelamento, deslocando camadas de depósitos não consolidados por movimento de massa, involuções, escorregamento, etc.

e características dos solos desta região em relação ao restante do Continente Antártico (Albuquerque Filho et al., 2004).

Os solos ornitogênicos ocorrem tanto em terraços atuais, em pingüineiras ativas, ou em paleoterraços (soerguidas isostaticamente devido ao recuo das geleiras), onde antigas pingüineiras foram abandonadas pelas aves em busca de áreas mais próximas ao mar.

Grande parte dos estudos na Antártica Marítima trata principalmente de solos afetados pela atividade de aves. A cada ano, a utilização intensa do ambiente terrestre pela avifauna resulta em elevado aporte de materiais orgânicos, como guano fresco, casca de ovos e restos de animais. A mineralização destes produtos e a interação dos produtos com o substrato mineral dão origem aos solos chamados ornitogênicos (Schaefer et al., 2004b). A disponibilidade de P parece ser um fator importante no desenvolvimento da vegetação. Há forte relação entre ornitogênese, diversidade vegetal, produção de biomassa e incorporação expressiva de C nos solos (Simas et al., 2004).

Os pingüins são responsáveis pelos maiores aportes de guano ao ambiente terrestre da Antártica. Na margem oeste da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, formam-se diversas colônias (pingüineiras), com milhares de indivíduos. Em maior número destacam-se os representantes de *Pygoscelis adeliae* e, em menor quantidade, *P. antarctica* e *P. papua*. Durante o período em que ocupam as áreas terrestres expostas, chegam a depositar 10 kg de guano (matéria seca) por metro quadrado, afetando a área diretamente ocupada e adjacências. Nestes solos encontram-se diversos minerais de argila fosfatados, incomuns em outros ambientes naturais do planeta, como: Urato de amônio, estruvita, fluorapatita, brushita, leucofosfita e ainda, fosfatos de Al amorfos e bem cristalizados. As principais implicações ambientais dos criossolos ornitogênicos sobre a dinâmica ambiental da região da Antártica Marítima são representadas pelo controle dos fluxos de fósforo entre os ecossistemas marinhos e continentais da Antártica (Schaefer et al., 2004b).

A Figura 1 a seguir, ilustra o ambiente e o perfil representativo do Criossolo Ornitogênico na Ilha Rei George, Antártica Marítima, denominado de ARC 7, em referência a base polonesa.



Figura 1. Ambiente e perfil representativo do Criossolo Ornitogênico, Antártica Marítima (Fonte: acervo fotográfico Projeto Criossolos/UFV).

2.2.2. Ambientes altimontanos da Mantiqueira: Serra Verde e Ibitipoca.

A Serra Verde é parte da Mantiqueira, e está localizada na região limítrofe entre os municípios de Bocaina de Minas, Alagoa e Aiuruoca, MG, dentro da APA Mantiqueira. 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 (Simas, 2002).

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 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 (Simas, 2002).

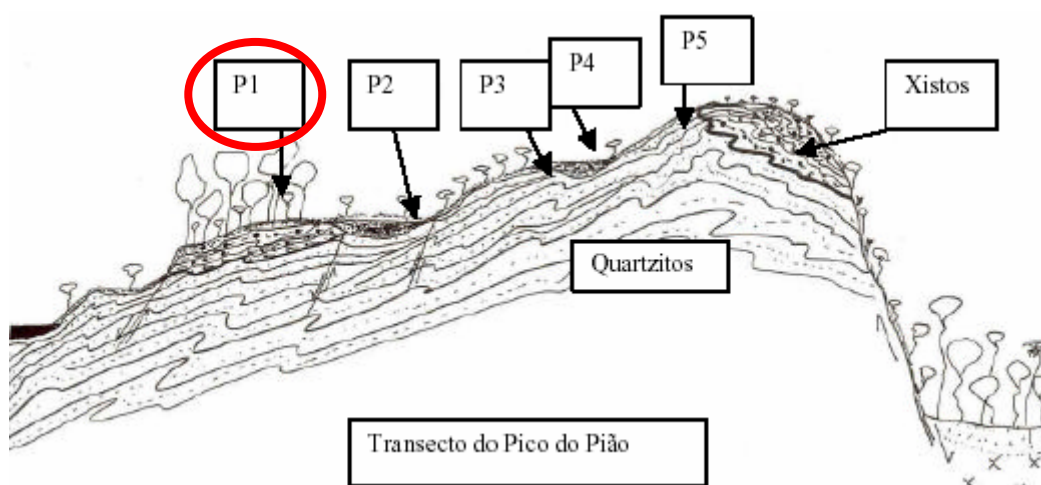
São comuns as famílias Lauraceae, com ocorrência de diferentes tipos de canela (*Nectandra sp*, *Ocotea sp*) e também *Meliaceae* como a canjerana (*Cabralea canjerana*). O sub-bosque é composto por diversas espécies de *Rubiaceae*, *Myrtaceae* e

Melastomataceae, sendo comum a presença de fetos⁴ arborescentes (samambaia-açu e xaxim) e espécies de *Bromeliaceae* e *Orquidaceae* (Simas, 2002).

O Organossolo selecionado é representativo das áreas coluvionares de pés de encostas, evidenciando o pronunciado acúmulo de material orgânico provindo das partes altas. Observou-se maior riqueza em nutrientes tanto no solo quanto na serrapilheira destes ambientes, em relação aos demais. O ambiente de recepção, com maior tempo de permanência de água favorece a absorção de nutrientes, especialmente por fluxo de massa.

O solo do Ibitipoca selecionado foi o Cambissolo Húmico distrófico latossólico. O Parque Estadual do Ibitipoca está situado no distrito de Conceição do Ibitipoca, no município de Lima Duarte, sudeste de Minas Gerais, entre as coordenadas 21° 40' - 21° 44' S e 43° 52' - 43° 55' W Gr., abrangendo 1.488 ha da Serra do Ibitipoca, com cotas altimétricas que variam de 1.050 m a 1.784 m. A Serra do Ibitipoca é parte isolada da Mantiqueira Mineira, localmente dominada por uma geologia de quartzitos sacaroidais grosseiros com muscovita, intercalações de quartzitos finos micáceos e biotita - xistos, pertencentes ao grupo Andrelândia. O Parque Estadual do Ibitipoca é uma área de preservação permanente com características ambientais singulares entre os ambientes altimontanos de Minas Gerais (Dias et al., 2003).

Dias et al. (2002) observaram uma notável diversidade pedológica, com forte controle estrutural sobre a distribuição dos solos (Figura 2). Foram relacionados Neossolos, Cambissolos, solos com características latossólicas, Organossolos e, destacadamente, Espodossolos (Podzóis) ou solos com evidências de podzolização.



⁴ Bot. Designação comum a todos os pteridófitos da ordem dos filicales; filifolha.

Figura 2. Perfil geológico esquemático da topolitossequência e posição do solo selecionado para este estudo - Cambissolo Húmico distrófico latossólico, simbolicamente representado por P1(Fonte: Dias et al., 2003).

2.2.3. Organossolo fólico da Ilha de Trindade

A Ilha de Trindade situa-se no Oceano Atlântico Sul aproximadamente no paralelo de Vitória, Espírito Santo, afastada 1.140 km da costa (Figura 3). É o cimo erodido de uma grande montanha vulcânica que faz parte de um lineamento de montes vulcânicos submarinos. Repousa sobre o assoalho oceânico a quase 5.500 m de profundidade. Seu relevo é extremamente acidentado, pois que sendo de cerca de 13,5 km² a área da ilha, nela existem três picos com altitude próxima de 600 m. Suas rochas são lavas e intrusões fortemente sódico-alcálicas e subsaturadas em sílica, e piroclastos diversos. É o único local em território brasileiro em que ainda se pode reconhecer parte de um cone vulcânico. A ilha não tem povoamento permanente, mas tem sido periodicamente ocupada por guarnições militares e visitada por pesquisadores. No decorrer dos cinco séculos desde que foi descoberta permaneceu desabitada por longos períodos, o que deu ensejo a invasões estrangeiras. Por sua distância da costa, dificuldade de desembarque e acesso exclusivamente por mar, Trindade não oferece condições para o turismo, mas é um excepcional local para investigações científicas (Almeida, 1961).

O Organossolo Fólico Tb distrófico selecionado para este estudo está localizado no topo de anfiteatro ravinado com vegetação de *Cyathea*, em relevo montanhoso, em terço superior de vertente, com blocos e matacões rochosos de fonólito recoberto de líquens crustosos e foliosos (Figura 3). Representa o nível mais elevado da Ilha, abaixo do Platô do Desejado, com altitude de 554 m e vegetação de floresta nebulosa (elfin forest)/ transicional para campo rupestre com stand uniforme de *Cyathea delgadii*, e sub-bosque de *Pytirograma calomelanos*. O horizonte O apresenta-se a 0-30 cm de profundidade e sua descrição morfológica é a seguinte: material fibroso com abundantes fungos filamentosos e líquens sobre tapetes de material indecomposto de folhas de *Cyathea* e *Pytirograma*; solo úmido com aspecto de xaxim. O horizonte A2 (30-50 cm) encontra-se parcialmente fibroso e fraca pequena blocos subangulares com fragmentos de cascalho de fonólito intemperizado ou não. O horizonte C1 (50-80+ cm) apresenta saprolito pouco alterado de fonólito e andesito sódico fraturados e perfurados com materiais fibrosos preenchendo fraturas e blocos menos intemperizados.

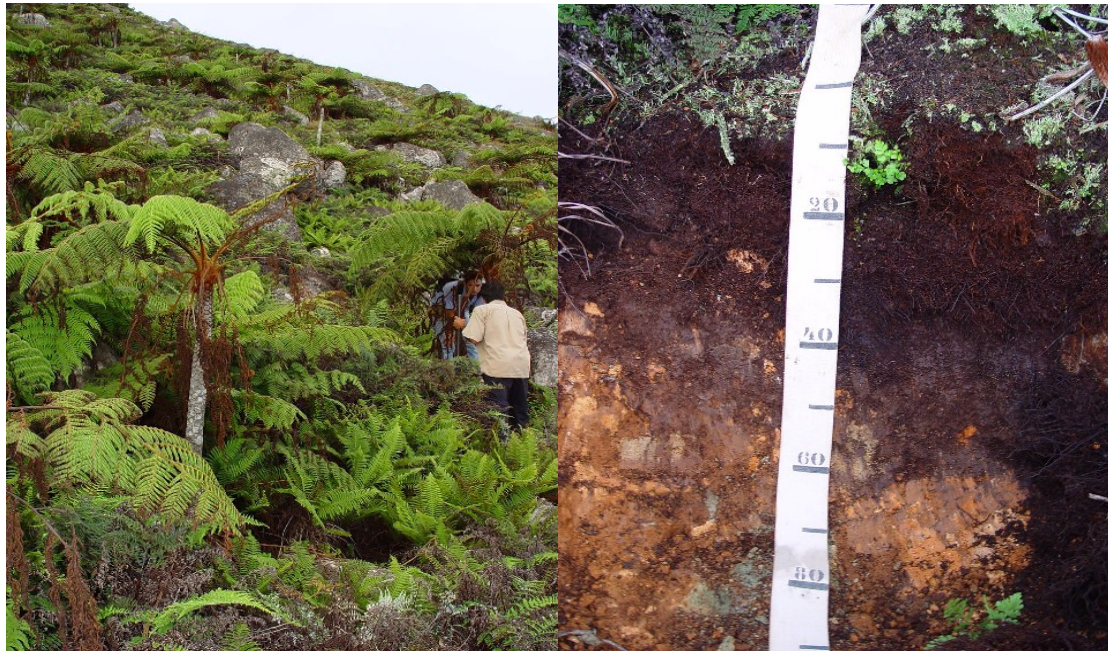


Figura 3. Ambiente com presença marcante de cyathea gigante sobre Organossolo (Fonte: Clemente, 2004).

2.2.4. Solos sob Caatinga da Região dos Lagos, RJ.

O perfil de solo selecionado para este estudo e classificado como Organossolo Sáprico (P3) pode ser visualizada na Figura 4. A vegetação de Caatinga na região seria uma relíquia de vegetação xerófila decidual, homóloga da Caatinga Nordestina, com ecótipos vicariantes⁵ do ambiente nordestino, em quase total isolamento ecológico atual. Neste quadro, destacam-se as espécies de cactáceas dos gêneros *Cereus* (mandacaru) e *Cephalocereus* (facheiro), e arbóreas, como *Jurema* (*Mimosa* sp.) e *Marmeleiro* (*Croton* sp.).

O ambiente em questão caracteriza-se por uma elevada salinidade (35 %, em média), que aumenta para o lado voltado ao Atlântico. A hipersalinidade se deve não só à baixa pluviosidade regional e à reduzida quantidade de água doce de origem fluvial, mas também à intensa evaporação, superando a precipitação, conforme demonstra o balanço hídrico de Cabo Frio (Ibraimo et al., 2004).

⁵ 1. Biogeogr. Diz-se de duas espécies intimamente ligadas sob o aspecto filogenético, e que habitam áreas geograficamente distintas.

A área de estudo está compreendida entre as coordenadas de 41° 55' W e 42° 15' W e 22° 42' S e 23° 0' S. A pluviosidade anual da região é baixa (800 - 1.100 mm) e a temperatura média anual é de 25 °C (Ibraimo et al., 2004).

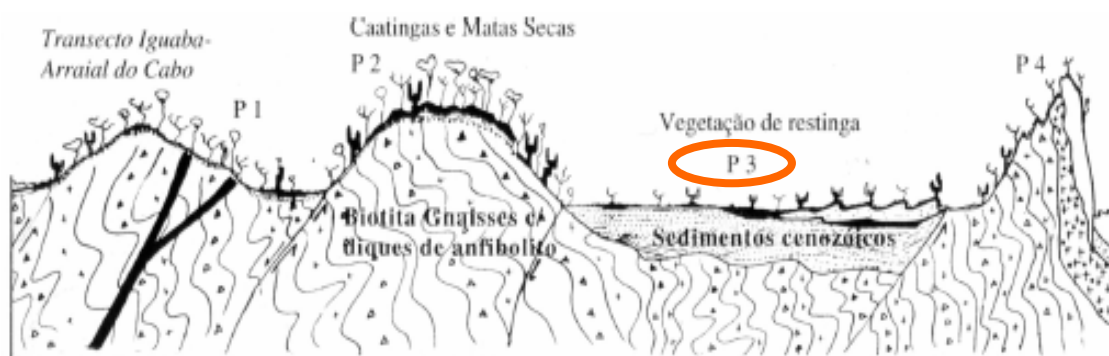


Figura 4. Localização do perfil de Organossolo Sáprico, aqui representado por P3. (Fonte: Ibraimo et al., 2004).

2.2.5. Cambissolos do Alto Paranaíba

A porção superior do Rio Paranaíba representa um dos divisores de água mais importantes dos Brasil, separando as cabeceiras de drenagem dos rios São Francisco, a leste, e Paraná, a oeste, com intensa apropriação agrícola e vocação agroindustrial. É ainda, área de elevado aproveitamento hidráulico, com várias barragens para geração de energia (Rolim Neto, 2002).

A geologia abrange uma vasta área, onde se sucedem litologias pré-Cambrianas (grupos Bambuí, Canastra, Ibiá, Paracatu, Araxá e Embasamento Cristalino), atravessadas por inúmeros corpos vulcânicos/subvulcânicos, relacionados aos eventos da separação entre África e América do Sul, a partir da reativação Juro Cretácea. Rochas efusivas básicas ocorrem na direção do Rio Paraná, enquanto diversos afloramentos de corpos ígneos de filiação máfica-ultramáfica ou alcalina se distribuem em sua borda, atravessando rochas pré-Cambrianas (Rolim Neto, 2002).

A região do Alto Paranaíba apresenta-se com embasamento de rochas metapelíticas do pré-Cambriano, dobradas e cobertas por sedimentos clásticos fluviais, com ocorrências de material piroclástico (Guimarães, 1955). Estes materiais, resultantes de atividades vulcânicas, originaram os chamados tufos vulcânicos ou tufitos que preenchem atualmente as partes dissecadas da paisagem (Carmo et al., 1984). Na mineralogia da fração argila dos Cambissolos, a rápida dessilificação conduz á

coexistência de gibbsita e óxidos de ferro com esmectitas e ilitas, em virtude da rápida ação do intemperismo em substratos pobres em sílica, como é o caso das rochas máficas ou ultra-máficas alcalinas (Rolim Neto, 2002).

Na Figura 5, o Cambissolo Háptico Ta Eutrófico léptico, foi selecionado para este estudo por apresentar em sua constituição mineralógica argilominerais do tipo 2:1 (argilas expansivas), sendo um solo pouco desenvolvido.

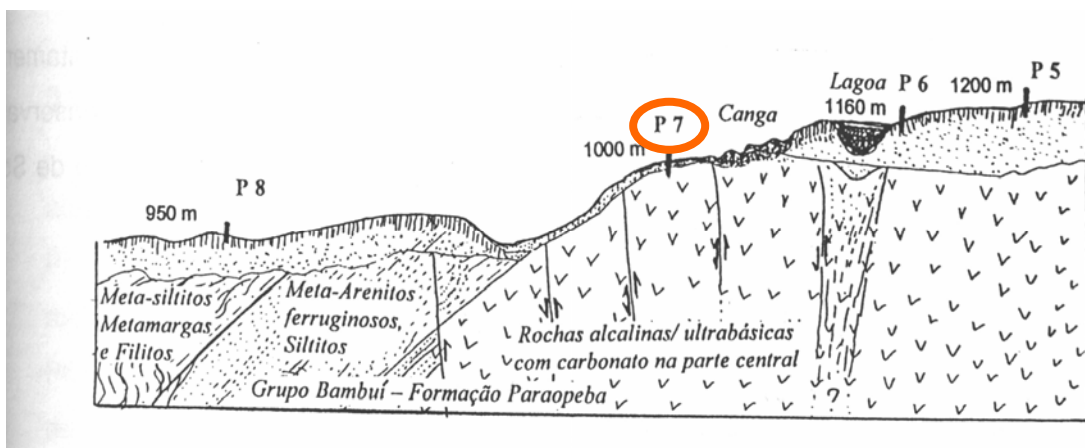


Figura 5. Perfil geológico esquemático da toplotossequência e posição do solo, simbolicamente representado nesta figura como P7. (Fonte: Rolim Neto, 2002).

2.2.6. Latossolos

Os Latossolos recobrem extensa área do Brasil, sendo solos profundos, muito porosos, macios, friáveis e muito permeáveis. São predominantes nas paisagens brasileiras típicas dos Cerrados, dos Planaltos do Sudeste, das Chapadas do Centro - Oeste. Um pouco menos porosos e apresentando coesão, outros Latossolos (Latossolos amarelos) ocorrem na Amazônia e Tabuleiros Costeiros.

Os Latossolos possuem excelentes condições físicas e embora apresentem limitações quanto à fertilidade natural, tornam-se muito produtivos quando utilizados sob sistemas de manejo tecnificados, que incluam a correção da acidez, o aumento da fertilidade e o controle da erosão.

2.2.7. Latossolos Húmicos

O município de Caratinga, MG apresenta, entre outras classes de solos, os Latossolos Húmicos distróficos, ocorrendo em relevo forte ondulado e montanhoso. São

normalmente muito argilosos e apresentam baixos teores de nutrientes, porém são ricos em matéria orgânica. Uma peculiaridade inerente a esse solo é a presença de horizonte A húmico muito profundo com cerca de 2 m de profundidade. O solo coletado dessa área para este estudo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico húmico, localizado a 1100 de altitude na Serra da Piedade de Caratinga, em área de Floresta Tropical Atlântica, úmida.

Um outro Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) Húmico ou A proeminente foi coletado em Berilo (Figura 6), no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais, sendo um perfil de ocorrência generalizada nas chapadas da região acima de 800 m, associado a clima mais seco e sazonal que o LVA húmico de Caratinga, e recoberto por Cerrado. Ocorrem, neste ambiente, perfis com horizontes A proeminente até A húmico, sempre com coloração escura em superfície (melanização).

Dois LVA's ricos em MO, foram selecionados do Nordeste brasileiro, sendo um localizado no Ceará, na estrada Crato-Nova Olinda, distando 12,6 km do Crato, 230 m após entroncamento com a estrada Crato-Araripe e sob altitude de 870 m. O outro LVA está localizado no Estado de Pernambuco e foi coletado no desvio a altura do km 5 da estrada velha Garanhuns-Águas belas (via Jenipapo, Mochila), lado esquerdo, distando aproximadamente 160 m da estrada. Município de Garanhuns e altitude de 860 m.



Figura 6. Vista do ambiente e perfil de Latossolo Amarelo, evidenciando o horizonte A proeminente em Berilo, no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais (Fonte: Schaefer, 2005).

2.2.8. Vertissolos do Nordeste

O Vertissolo selecionado para este estudo localiza-se na estrada sentido São Caetano-Garanhuns (BR 423), a 1,4 km depois de Cachoeirinha-PE e apresenta-se sob altitude de 520 m, sendo escolhido para este estudo por apresentar em sua constituição mineralógica argilas do tipo 2:1.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição das amostras

Foram coletadas amostras de horizontes superficiais provenientes de perfis de solos situados em áreas e regiões distintas (Quadro1). As amostras foram secas ao ar, destorroadas, obtendo partículas de diâmetro < 2 mm (TFSA).

3.2. Solos

Na Antártica, o material orgânico é de origem exclusivamente de musgos e líquens (criptógama), no Ibitipoca de origem de Mata subtropical de Candeia, na Serra Verde é oriunda de Floresta Ombrófila densa Montana e Altimontana, em Arraial do Cabo é proveniente de antigo manguezal rico em pteridófitas e em Trindade todo o Carbono é originário de restos de samambaias gigantes.

Para comparar os efeitos climáticos sobre a MOS de Latossolos, foram selecionados Latossolos ricos em MO (Húmico ou com A proeminente) desde o Nordeste mais seco (Garanhuns, Crato) até o Jequitinhonha (Tropical semi-árido de Cerrado em Berilo) e Caratinga (Tropical Úmido de Altitude).

Os solos orgânicos estudados são os seguintes: na Antártica (Criossolo), Ilha de Trindade, Serra Verde e Arraial do Cabo (nível do mar, salino).

Por fim, selecionou-se um Cambissolo Húmico em Ibitipoca (Terras Altas da Mantiqueira), um Cambissolo rico em argilas 2:1 em região úmida (Alto Paranaíba) e

um Vertissolo do sertão do Nordeste (Cachoeirinha-PE). Um maior detalhamento desses ambientes pode ser visualizado no Quadro 1.

3.3. Análises físicas

A granulometria dos solos foi determinada pelo método da pipeta, com dispersão do solo promovida por agitação mecânica em alta rotação e meio alcalino (NaOH 0,1 mol L⁻¹), sem proceder a destruição prévia da matéria orgânica. O tempo de agitação foi de 15 minutos, separando o silte da argila seguindo o princípio da Lei de Stokes. As frações areia grossa e fina foram separadas por tamisação em peneiras com malhas de 0,2 mm e 0,053 mm de abertura, respectivamente.

Quadro 1. Pedossistemas estudados e alguns atributos associados.

Horizonte (Profundidade, cm)	Localização	Coordenadas geográficas	Altitude, m	Litologia e formação geológica	Temperatura média, °C	Precipitação mm ano ⁻¹	Vegetação	Mineralogia da fração argila
Perfil 1 – CRIOSSOLO Ornitogênico Alofânico								
H (0-70)	Baía do Almirantado, Continente Antártico	62° 05' 07'' S e 58° 23' 33'' W	69	Diques vulcânicos, com composições variando de basaltos a andesitos	-1,8	360	Musgos e líquens	Alofanas Aluminossilicatos amorfos
Perfil 2 – ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico								
O (0-44)	Serra Verde, Bocaína de Minas, Mantiqueira, MG	22° 07' 30'' - 22° 10' 00'' S e 44° 31' 30'' - 44° 34' 00'' W	1.700	Gnaisses e migmatitos com veios de anfibolito e quartzo	0 a -3	1500	Floresta Ombrófila Densa Montana e Alto-Montana	Gb>Ct>Qz traços
Perfil 3 – ORGANOSSOLO FÓLICO tb distrófico								
O (0-30)	Ilha de Trindade	20°51'24,1''S e 29°32'55,0''W	554	Formação Desejado, com tipos fonolíticos	25,2	900	Floresta nebulosa/transicional para campo rupestre com estande uniforme de Cyathea delgadii	Gb Ct
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico								
A (0-30)	Patrocínio, MG	18° 41' S e 44° 01' W	1000	Ígneas ultrabásicas (dunito)	-	-	Floresta subperenifolia	VHE>II/Esm >Ct>Gb>Gt >Qz>An
Perfil 5 – LATOSSOLO AMARELO A húmico								
A (0-30)	Crato, CE	7°13'S e 39°19' W	870	Cretáceo Superior, Formação Exu. Arenitos.	-	700	Floresta subperenifolia	Ct
Perfil 6 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente								
A (0-30)	Berilo, MG	-	>800	Recobrimento do terciário sobre o Pré-Cambriano	-	900	Cerrado tropical subcaducifólio	Gb Ct

II = Ilita; Ct = Caulinita; VHE = Vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = Gibbssita; Gt = Goethita; Esm = Esmeccita; Qz = Quartzo; Na = Anatócio.

Quadro 1. Continuação.

Horizonte (Profundidade, cm)	Localização	Coordenadas geográficas	Altitude, m	Litologia e formação geológica	Temperatura média, °C	Precipitação mm ano ⁻¹	Vegetação	Mineralogia da fração argila
Perfil 7 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A húmico								
A (0-30)	Caratinga, MG	19° 37' 30'' S 42° 09' 00'' W	1100	Série Paraíba (Charnockitos, granulitos, dioritos e gabros).	22,7	1200	Floresta tropical perenifólia	Gb>Ct>Gt
Perfil 8 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente								
A (0-30)	Garanhuns, PE	9° 00' 00'' S 36° 00' 00'' W	860	Capoeamento sobre o Pré-Cambriano.	-	800	Remanescentes de floresta subperenifólia.	Ct>Gb
Perfil 9 – VERTISSOLO A moderado e textura argilosa								
A (0-30)	Cachoeirinha, PE	8° 00' - 8° 30' 00'' S e 36° 00' - 36° 30' 00'' W	520	Pré-Cambriano, calcário com flogopita-diopsídio-actinolita	-	800 a 900	Caatinga hipoxerófila arbustiva e campos antrópicos	Esm>VHE>II
Perfil 10 – CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico								
O (0-20)	Ibitipoca, MG	21° 40' 00'' - 21° 44' 00'' S e 43° 52' 00'' - 43° 55' 00'' W	1.050- 1.784	Quartzitos sacaroidais grosseiros com muscovita, intercalações de quartzitos finos micáceos e biotita xistos, pertencentes ao grupo Andrelândia.	18,9	1380	Complexo rupestre de altitude	Ct>Gb
Perfil 11 – ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico sálico								
HO (0-50)	Cabo Frio, RJ	22° 42' 00'' - 23° 00' 00'' S e 41° 55' 00'' - 42° 15' 00'' W	> que o nível do mar	Sedimentos cenozóicos	22,9	850	Vegetação de restinga	Ct

II = Ilita; Ct = Caulinita; VHE = Vermiculita com hidróxi entre camadas; Gb = Gibbsita; Gt = Goethita; Esm = Esmeclita; Qz = Quartzito; Na = Anatósio.

A argila dispersa em água foi obtida por dispersão de 10 g de TFSA com água e determinação do teor de argila pelo método da pipeta (Embrapa, 1997).

A densidade de partículas foi determinada considerando-se o volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa (Embrapa, 1997).

Para a determinação do equivalente de umidade, amostras de solo foram colocadas em caixas com uma fina tela de arame numa das extremidades, adicionado papel de filtro até recobrir a tela em questão e em seguida cerca de 1 cm de espessura de solo, peneirado (2 mm). As amostras foram, logo após, saturadas por um período mínimo de 6 h e colocadas para centrifugar a 2.440 rpm, por 30 minutos. Cada amostra foi, então, transferida para um recipiente com tampa previamente tarado, com aproximação de 0,01 g (Mr). Esse conjunto pesado ($M_{r+solo+água}$) foi levado à estufa a 100-105° C, durante 48 h. Após, foi transferido para o dessecador até atingir a temperatura ambiente para ser novamente pesado.

O grau de floculação foi obtido pela relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, obtida após dispersão (Embrapa, 1997).

O atributo cor do solo foi determinado através da comparação visual sob luz solar difusa, com o uso da caderneta de Munsell (1994), conforme recomenda Lemos & Santos (1996) para solo seco (TFSA).

Amostras de 5,000 g de solo foram pesadas e submetidas às seguintes temperaturas: 25; 105; 150; 250; 350; 450; 550 e 650°C em amostras de solos (n=7). Foram anotados os pesos iniciais e finais das amostras após cada intervalo, informação que foi utilizada para calcular a perda de massa relativa. As testemunhas foram mantidas à temperatura ambiente. O aquecimento foi realizado em forno mufla (Vulcan, capacidade até 1200°C). Para cada tratamento usaram-se três repetições.

As análises termogravimétricas de todas as amostras de solo (n=9) foram feitas em um analisador termogravimétrico TGA- 50 Shimadzu, usando-se amostras de $11,000 \pm 4,000$ mg, em ambiente estático ao ar. O peso inicial foi estabilizado a 30 °C e curva de aquecimento de 5 °C min⁻¹ até 105 °C, com um tempo de espera de 10 min., seguido de aquecimento a 5 °C min⁻¹ até 650 °C, ou até 600 °C, quando detectado o final da queima pela estabilização do peso do resíduo. O processo consumiu em média 2 h e 30 min. por

amostra além de 30 min. adicionais para o resfriamento do aparelho. As curvas de termodecomposição foram adquiridas por um microcomputador acoplado ao instrumento, utilizando o programa TA-50 WSI (Shimadzu), a uma razão de um ponto a cada 10 s, num total de 800 pontos por curva. A perda de peso até 105 °C, incluído o tempo de espera, foi considerada como umidade da amostra. O resíduo ao final da queima foi considerado como o teor de cinzas (Huffman e Stuber, 1985).

Para obtenção da perda de massa relativa das amostras considerou-se o peso inicial e final das amostras de solo submetidas a termodecomposição em forno mufla. O peso inicial da amostra foi considerado como 100 % do material. As perdas foram expressas em termos de percentagem.

3.4. Análises químicas

O pH em H₂O foi determinado por medição do potencial na suspensão solo-solução 1:2,5, com tempo de contato mínimo de uma hora e agitação da suspensão antes da leitura (Embrapa, 1997). Cálcio e magnésio trocáveis foram extraídos com KCl 0,500 mol L⁻¹, na proporção 1:20 e dosados por espectrofotometria de absorção atômica. Potássio, sódio, ferro, zinco, manganês e cobre trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,050 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹ (Mehlich 1), o potássio dosado pelo espectrofotômetro de absorção molecular, enquanto os demais pela absorção atômica. Alumínio trocável extraído com KCl 1,000 mol L⁻¹, na proporção 1:20 e determinado por titulação com NaOH 0,025 mol L⁻¹. Acidez extraível (H⁺ + Al³⁺) foi extraída com acetato de cálcio 1,000 mol L⁻¹ a pH 7,0 na proporção 1:15 e determinada por titulação com NaOH 0,060 mol L⁻¹ (Embrapa, 1997). O fósforo foi extraído com Mehlich 1 e determinado pelo espectrofotômetro de absorção molecular. O Fósforo remanescente (P-rem) foi determinado de acordo com metodologia proposta por Alvarez V. et al. (1999).

O carbono orgânico foi determinado pelo método de Walkley-Black – oxidação via úmida com K₂Cr₂O₇ 0,4N em meio fortemente ácido (H₂SO₄) e titulação pelo Fe (NH₄)₂.(SO₄)₂ 0,1N e difenilamina como indicador – e a matéria orgânica do solo estimada pela equação: MO = C. Org. x 1,724.

O carbono orgânico total das amostras submetidas a termod decomposição foi determinado pelo método de Yeomans e Bremner (1988). As amostras de solo (fração TFSA) após tratamento térmico foram trituradas em almofariz, em seguida pesadas (0,300 g por amostra) e colocadas em tubos de ensaio de 100 mL para bloco digestor. Foi adicionado 5 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) a 0,167 mol/L e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado por amostra. Em seguida os tubos foram colocados no bloco digestor a 170 °C por 30 minutos, e o seu conteúdo foi transferido para Becker de 100 mL, usando água destilada para elevar o volume para 50 mL. Deixar esfriar até temperatura ambiente e adicionar 10 mL de ácido fosfórico (H_3PO_4) concentrado, uma pitada de fluoreto de sódio (NaF) e 0,3 mL (5 a 8 gotas) de solução indicadora (ferroin). Em seguida, fez-se a titulação com sal de mohr (sulfato ferroso), considerando o ponto de virada quando ocorrer à mudança da cor verde para a vermelha.

O conteúdo de carbono orgânico (CO) das amostras foi calculado pelos volumes gastos em mL na titulação (solução de mohr) das referidas amostras (S), do branco aquecido (BA), e do branco não aquecido (B), pela seguinte equação:

$$CO = \frac{(A) (Conc. de mohr) \cdot (0,003) \cdot (100)}{Peso da amostra (g)}$$

Onde: $A = [(BA - S) \cdot (B - BA)/B] + (BA - S)$;

CO = carbono orgânico em (dag/kg);

0,003 = peso equivalente do carbono;

100 = transformação do resultado para %.

O teor de cada fração húmica foi determinado em todas as amostras, segundo a técnica de fracionamento quantitativo de substâncias húmicas (Hayes et al., 1989) adaptado por Benites (2001). A determinação quantitativa de carbono nos extratos das frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina foi feita segundo método proposto por Yeomans e Bremner (1988).

Avaliou-se a termod decomposição de ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HU) através do fracionamento térmico quantitativo das SH, que foram calculadas da seguinte forma: $\Delta AH = (AH_{25^\circ C} - AH_{105^\circ C}; AH_{25^\circ C} - AH_{150^\circ C}; AH_{25^\circ C} - AH_{250^\circ C}; AH_{25^\circ C} - AH_{350^\circ C})$; $\Delta AF = (AF_{25^\circ C} - AF_{105^\circ C}; AF_{25^\circ C} - AF_{150^\circ C}; AF_{25^\circ C} - AF_{250^\circ C}; AF_{25^\circ C} - AF_{350^\circ C})$;

$\Delta HU = (HU_{25^{\circ}C} - HU_{105^{\circ}C}; HU_{25^{\circ}C} - HU_{150^{\circ}C}; HU_{25^{\circ}C} - HU_{250^{\circ}C}; HU_{25^{\circ}C} - HU_{350^{\circ}C})$, obtendo-se ao final quatro pontos analisados por fração húmica.

3.5. Análises mineralógicas da fração argila

Foram realizadas pela técnica de difração de raios X, após remoção da matéria orgânica do solo com hipoclorito de sódio (NaClO 10% (p/v) a pH 9,5 e, quando necessário, desferrificação com ditionito-citrato-bicarbonato (Mehra e Jackson, 1960), preparação de lâminas com orientação paralela, saturadas com magnésio, glicerol e potássio, à temperatura ambiente e aquecidas a 350 °C e 550 °C. Para realização dessa etapa foi utilizado o difratômetro Rigaku com tubo de cobalto e filtro de níquel. A faixa de varredura (2θ) foi de 2 a 35° e a velocidade de varredura foi de um passo 0,01° a cada 10s. O γ (Comprimento de onda) da emissão de raios X foi de 0,1789 nm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Atributos físicos e químicos

As características físicas e químicas dos solos estudados refletem a influência marcante dos materiais de origem e da localização geográfica. Os ambientes de origem, a classificação dos solos e os resultados das análises físicas e químicas são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3. Os dados da mineralogia são apresentados no Quadro 1 e nos Anexos de A até I.

Os solos orgânicos (P1, P2, P3 e P11) apresentam uma estreita relação com as condições edáficas e climáticas reinantes.

De uma maneira geral os solos apresentaram horizontes superficiais muito escuros (valor e croma baixos), indicativo de condições pedoambientais propícios ao acúmulo de matéria orgânica nos solos. A textura mais argilosa dos Latossolos (P5, P6, P7 e P8) em relação aos Organossolos (P2, P3 e P11), Cambissolo (P4 e P10), Vertissolo (P9) e Criosolo (P1) sugere uma maior interação entre a matriz argilosa e os compostos orgânicos presentes nos Latossolos.

A variação nas concentrações de macro e micronutrientes (Tabela 2 e 3) deve-se, principalmente, à localização dos solos nos diferentes ecossistemas, esta localização, por sua vez, também é indicativa de um maior ou menor desenvolvimento dos solos.

Dentre os solos estudados (Tabela 1), pode-se observar solos com textura franco-arenosa até solos com textura muito argilosa. Aqueles com textura franco-argilosa estão representados pelos perfis (P3 e P4), os de textura franco arenosa (P1 e P8), areia franca (P2) argila (P6 e P9), muito argilosa (P5 e P7), franco-argilo-arenosa (P10 e P11), demonstrando a ampla variedade textural dos solos estudados.

Nos perfis onde os teores de argila foram maiores houve tendência à maiores valores de densidade de partículas. A densidade de partículas variou de 1,78 em P3 até 2,66 g cm⁻³ em P4.

Os valores de pH em água (Tabela 2) evidenciam que, a exceção dos perfis P4 (Cambissolo) e P9 (Vertissolo), todos os solos apresentam reação ácida, com valores mais baixos para o P3 (Organossolo de Ilha de Trindade) e o P10 (Cambissolo Húmico de Ibitipoca).

A saturação por alumínio (índice m) apresenta-se com valores nulos em alguns dos horizontes dos solos estudados (P4, P9 e P11), onde o balanço de cargas é nulo ou positivo. Os valores de m variaram de 8,3 (P8) a 98,6 (P10).

Observando o valor V% (saturação por bases), constata-se que, de todos os solos, apenas os perfis P4 (Cambissolo de Patrocínio-MG), P9 (Vertissolo de Cachoeirinha-PE) e P11 (Organossolo de Cabo Frio-RJ), são eutróficos, ou seja, apresentam valor V > 50% em seus horizontes (Tabela 2).

Tabela 1. Características físicas dos solos.

Hor.	Profundidade	Cor solo seco	AG	AF	Silte	Argila	ADA	GF	Textura	silte/argila	Equiv. Umidade	DP
	cm		----- dag Kg ⁻¹ -----								kg kg ⁻¹	g cm ⁻³
Perfil 1 – CRIOSSOLO Ornitógeno Alopânico (Antártica)												
H	0-70	10YR 4/2	67	9	10	14	5,6	60	Franco-arenosa	0,71	-	2,50
Perfil 2 – ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico (Serra Verde)												
O	0-44	10YR 2/1	50	25	12	13	4,6	65	Areia-franca	0,92	-	-
Perfil 3 – ORGANOSSOLO FÓLICO Tb distrófico (Ilha de Trindade)												
O	0-30	10YR 3/2	31	5	32	32	16,15	50	Franco Argilosa	1,00	0,779	1,78
O/C	30-50	10YR 5/2	29	3	34	34	16,80	51	Franco-argilosa	1,00	0,794	1,68
C	50-80	10YR 7/3	25	6	32	37	-	-	Franco-argilosa	0,86	0,774	-
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico (Patrocínio-MG)												
A	0-30	5YR 3/3	13	16	32	39	19,65	50	Franco-argilosa	0,82	0,233	2,66
Perfil 5 – LATOSSOLO AMARELO A húmico (Crato-CE)												
A	0-30	10YR 6/3	32	2	5	61	45,25	26	Muito-argilosa	0,08	0,079	2,50
Perfil 6 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente (Berilo-MG)												
A	0-30	10YR 3/2	26	12	13	49	34,75	29	Argila	0,26	0,202	2,40
Perfil 7 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A húmico (Caratinga-MG)												
A	0-30	10YR 5/6	19	11	8	62	20,65	67	Muito-argilosa	0,13	0,307	2,50
Perfil 8 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente (Garanhuns-PE)												
A	0-30	-	61	20	2	17	13,95	18	Franco-arenosa	0,12	0,067	2,50
Bw	140-150	-	51	13	2	34	30,15	11	Franco-argilo-arenosa	0,06	0,120	2,56
Perfil 9 – VERTISSOLO A moderado e textura argilosa (Cachoeirinha-PE)												
A	0-30	-	20	11	25	44	35,05	20	Argila	0,57	0,369	2,56
	45-65	-	16	12	28	44	37,45	15	Argila	0,64	0,371	2,56
Perfil 10 – CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico (Ibitipoca-MG)												
O	0-20	10YR 3/4	48	13	12	27	-	-	Franco-argilo-arenosa	0,44	-	-
Perfil 11 – ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico sálico (Cabo Frio-RJ)												
HO	0-50	-	46	13	18	23	13	43	Franco-argilo-arenosa	0,78	-	1,36

- não determinado; Hor. = horizonte; AG = areia grossa; AF= areia fina; ADA= argila dispersa em água; GF= grau de floculação; DP= densidade de partícula.

Tabela 2. Características químicas dos solos.

Hori- zonte	Profun- didade (cm)	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	m	V	CO	P
		H ₂ O	-----cmol _c dm ⁻³ -----							-----%-----			mg dm ⁻³	
Perfil 1 – CRIOSSOLO Ornitogênico Alofânico (Antártica)														
H	0-70	4,48	1,13	0,49	0,20	8,35	23,3	1,82	10,17	25,12	82,1	7,2	2,86	562,5
Perfil 2 – ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico (Serra Verde)														
O	0-44	4,96	1,11	0,61	0,34	1,63	25,3	2,07	3,70	27,37	44,10	7,6	4,06	11,7
Perfil 3 – ORGANOSSOLO FÓLICO Tb distrófico (Ilha de Trindade)														
O	0-30	4,00	1,21	1,11	0,24	2,88	30,3	2,57	5,45	32,87	52,8	7,8	4,31	440,2
O/C	30-50	3,83	0,57	0,72	0,25	4,32	33,4	1,54	5,86	34,94	73,7	4,4	4,24	415,6
C	50-80+	4,52	0,49	0,16	0,35	0,00	33,3	1,01	1,01	34,31	0,00	2,9	0,79	610,6
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico (Patrocínio-MG)														
A	0-30	7,20	1,2	19,3	0,77	0	2,31	21,3	21,3	23,6	0	90	1,86	535,55
Perfil 5 – LATOSSOLO AMARELO A húmico (Crato-CE)														
A	0-30	4,80	0,00	0,05	0,04	1,25	5,9	0,09	1,34	5,99	93,3	1,5	1,70	1,7
Perfil 6 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente (Berilo-MG)														
A	0-30	4,17	0,00	0,13	0,06	2,40	9,0	0,19	2,59	9,19	92,7	21	2,43	1,5
Perfil 7 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A húmico (Caratinga-MG)														
A	0-30	4,96	0,88	0,27	0,08	0,38	9,7	1,23	1,61	10,93	23,6	11,3	5,76	1,8
Perfil 8 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente (Garanhuns-PE)														
A	0-30	5,61	0,68	0,39	0,02	0,10	2,4	1,10	1,20	3,50	8,3	31,4	0,69	1,2
Bw	140- 150+	4,94	0,28	0,31	0,02	0,77	3,0	0,62	1,39	3,62	55,4	17,1	0,25	1,6
Perfil 9 – VERTISSOLO A moderado e textura argilosa (Cachoeirinha-PE)														
A	0-30	7,30	22,88	18,18	0,26	0,00	1,1	41,33	41,33	42,43	0,0	97,4	0,69	205,8
Cv	45-65+	7,22	23,60	18,07	0,30	0,00	1,0	41,97	41,97	42,97	0,0	97,7	0,98	189,0
Perfil 10 – CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico (Ibitipoca-MG)														
O	0-20	4,21	0,00	0,05	0,00	5,61	32,8	0,08	5,69	32,88	98,6	0,2	10,02	0,5
Perfil 11 – ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico sálico (Cabo Frio-RJ)														
HO	0-50	4,54	5,16	18,20	2,33	0,00	27,3	47,21	47,21	74,51	0,00	63,4	28,76	0,4

- não determinado; Os perfis 10 e 11 apresentaram os seguintes teores de sódio trocável (Na⁺): P10 = 0,03 e P11 = 21,53 cmol_c dm⁻¹; ISNa (P10=0,47 e P11=45,59 %).

Tabela 3. Teores de fósforo remanescente, zinco, ferro, manganês e cobre de horizontes superficiais de diferentes solos.

Horizonte	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu
(profundidade, cm)	mg L⁻¹	-----mg dm⁻³-----			
Perfil 1– CRIOSSOLO Ornitogênico Alofânico (Antártica)					
H (0-70)	31,9	0,32	346,4	1,1	9,42
Perfil 2 – ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico (Serra Verde)					
O (0-44)	19,0	1,66	51,8	44,6	0,63
Perfil 3 – ORGANOSSOLO FÓLICO Tb distrófico (Ilha de Trindade)					
O (0-30)	35,5	2,71	36,2	3,8	0,40
O/C (30-50)	28,9	1,55	231,6	1,5	0,29
C (50-80)	-	1,55	1088,5	3,25	0,00
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico (Patrocínio-MG)					
A (0-30)	20,7	0,00	32,4	35,8	3,89
Perfil 5 – LATOSSOLO AMARELO A Húmico (Crato-CE)					
A (0-30)	22,9	0,00	38,8	0,9	0,16
Perfil 6 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente (Berilo-MG)					
A (0-30)	26,4	5,41	82,9	1,0	0,43
Perfil 7 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A húmico (Caratinga-MG)					
A (0-30)	13,5	0,00	40,9	4,2	0,18
Perfil 8 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente (Garanhuns-PE)					
A (0-30)	47,9	0,00	33,2	3,9	0,34
Bw (140-150+)	35,3	0,00	49,1	0,9	0,27
Perfil 9 – VERTISSOLO A moderado e textura argilosa (Cachoeirinha-PE)					
A (0-30)	46,2	0,00	25,6	27,1	0,57
Cv (45-65+)	41,6	0,00	25,0	33,5	0,51
Perfil 10 – CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico (Ibitipoca-MG)					
O (0-20)	28,5	1,66	3,4	0,2	0,00
Perfil 11 – ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico sálico (Cabo Frio-RJ)					
HO (0-50)	56,2	0,60	0,6	0,3	0,00

- não determinado

4.2. Carbono orgânico e frações

O CO apresentou-se com valores variando de médios a elevados nos solos testados (Tabela 2 e 4) e alguns valores excepcionalmente altos foram encontrados nas amostras de Organossolos. Os teores de CO chegaram a zero ou próximo de zero aos 450°C e as menores perdas proporcionais de C foram percebidas nos solos minerais. As amostras de solos queimadas a 150 e 250°C, intervalo de temperatura denominada na literatura de carbonização, apresentaram aumento nos teores de CO. As temperaturas maiores que 250°C causaram diminuição dos teores de CO.

Observaram-se diferenças crescentes nos dados de CO obtidos pelos métodos WB (Walkley-Black) em comparação com YB (Yeomans e Bremner), sobretudo, nos dados relativos aos solos orgânicos, vejamos no Quadro 2, abaixo:

Quadro 2. Teores de CO obtidos pelos métodos WB e YB (temperatura ambiente) de amostras de solos de diferentes ecossistemas terrestres.

Pedossistema	Solo	WB	YB
ARC 7-Antártica	Criossolo	2,86	3,24
Serra Verde- Mantiqueira	Organossolo	4,06	12,14
Ilha de Trindade	Organossolo	4,31	23,15
Região dos Lagos-RJ	Organossolo	28,76	-
Ibitipoca-MG	Cambissolo	10,02	30,00
Alto Paranaíba/ Patrocínio-MG	Cambissolo	1,86	2,50
Crato-CE	Latossolo	1,70	1,47
Garanhuns-PE	Latossolo	0,69	0,90
Vale do Jequitinhonha/ Berilo-MG	Latossolo	2,43	2,60
Serra da Piedade/ Caratinga-MG	Latossolo	5,76	4,52
Cachoeirinha-PE	Vertissolo	0,69	1,00

- dados não determinados

Este comportamento deve ter acontecido porque os métodos utilizados para determinação do CO em solos orgânicos não são adequados para solos desta natureza. Na verdade, a pesquisa ainda não desenvolveu um método apropriado para tal fim. Um outro ponto importante relacionado e que possivelmente pode ajudar na elucidação desta questão, ou seja, às diferenças encontradas de um método para outro na expressão dos resultados

para os mesmos solos, é o fato de WB não realizar aquecimento externo em sua metodologia, o que acontece no método proposto por YB.

Algumas correlações simples (PEARSON) foram calculadas para respaldar discussão. As correlações calculadas entre Carbono Orgânico Total submetido a termod decomposição (COT tmd) e a fração argila dos solos oscilaram de 0,307413 (105°C) a 0,382579 (250°C), portanto, baixas. Quando esta mesma correlação foi calculada considerando COT tmd versus fração silte + argila obteve-se correlações mais altas e significativas, variando de 0,435474 (105°C) a 0,865420 (350°C). Os valores de COT WB e COT YB tmd apresentaram-se assim: 0,497200 (25°C) até 0,539931 (250°C), crescente até esta faixa de temperatura, depois apresentou correlações menores, decrescentes e até negativas, 0,339309 (350°C) e -0,028870 (450°C).

As diferenças entre amostras de solo quanto aos teores de CO das substâncias húmicas (SH) com os tratamentos térmicos indicam a natureza dessas substâncias em relação ao estágio de humificação. De uma maneira geral, os ácidos húmicos (AH) comparados aos ácidos fúlvicos (AF), contribuiriam com o dobro do C na apresentação dos teores de carbono orgânico total (COT) dos solos. Situação contrária à encontrada em solos com boa aeração, onde há um favorecimento de mineralização mais rápida dos compostos orgânicos, formando preferencialmente AF em detrimento dos AH (Tabela 4 e 5).

O fracionamento químico quantitativo das SH revelou diferenças na distribuição das formas de C nos diferentes solos estudados. Dentre as SH, a fração húmica (HU) foi a que apresentou os maiores teores, por serem substâncias orgânicas estáveis e que apresentam alta resistência a termod decomposição. Os altos teores de HU encontrados em alguns solos (P1, P2, P3, P5 e P7) indicam uma natureza peculiar dessa fração, acarretando maior estabilidade e maior resistência à oxidação (Tabela 4 e 5).

Tabela 4. Perda de massa, cor do solo seco, teores de carbono orgânico total e substâncias húmicas em amostras de solo submetidas a tratamentos térmicos.

Tratamento (Fração < 2,00 mm)	Perda de massa (5g/mufra/2 h)		Cor do solo seco	C	AH	AF	HU	
	°C	g						%
Perfil 1– CRIOSSOLO Ornitogênico Alofânico (0-70 cm, Antártica)								
Seco ao ar	-	-	-	5YR 4/3	3,26	1,11	0,40	1,73
105*	0,42	8,40	9,17	5YR 4/3	3,22	-	-	-
150	0,46	9,20	-	5YR 5/4	3,12	0,89	0,46	1,66
250	0,50	10,00	-	7,5YR 4/4	2,41	0,71	0,37	1,07
350	0,75	15,00	-	5YR 5/6	1,09	0,54	0,00	1,12
450	0,80	16,00	-	2,5YR 5/8	0,08	-	-	-
Perfil 2 – ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico (0-44 cm, Serra Verde)								
Seco ao ar	-	-	-	10YR 6/3	12,72	2,05	1,57	8,52
105*	0,41	8,20	8,93	10YR 6/3	10,90	-	-	-
150	0,46	9,20	-	10YR 6/4	13,26	1,78	0,65	8,71
250	1,12	22,40	-	10YR 5/3	10,42	1,61	0,55	7,08
350	1,66	33,20	-	10YR 5/3	1,14	0,27	0,09	0,74
450	1,86	37,20	-	7,5YR 5/8	0,00	-	-	-
Perfil 3 – ORGANOSSOLO FÓLICO Tb distrófico (0-30 cm, Ilha de Trindade)								
Seco ao ar	-	-	-	10YR 3/2	23,31	4,02	1,10	18,03
105*	2,12	42,40	73,61	10YR 3/2	23,20	-	-	-
150	2,14	42,80	-	10YR 4/2	24,44	2,94	1,06	17,12
250	3,29	65,80	-	10YR 4/2	17,29	1,96	0,09	15,20
350	3,69	73,80	-	10YR 4/2	7,62	0,36	0,00	7,23
450	3,84	76,80	-	5YR 5/6	0,60	-	-	-
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta eutrófico léptico (0-30 cm, Patrocínio – MG)								
Seco ao ar	-	-	-	5YR 4/3	2,51	0,94	0,53	1,03
105*	0,33	6,60	7,07	5YR 4/3	2,17	-	-	-
150	0,15	3,00	-	5YR 5/4	2,27	0,71	0,28	1,27
250	-	-	-	7,5YR 4/4	1,64	0,62	0,18	0,83
350	0,33	6,60	-	5YR 5/6	1,22	0,54	0,00	0,65
450	0,51	10,20	-	2,5YR 5/8	0,04	-	-	-
	0,57	11,40	-					
Perfil 5 – LATOSSOLO AMARELO A Húmico (0-30 cm, Ceará)								
Seco ao ar	-	-	-	10YR 6/3	1,47	0,26	0,36	0,81
105*	0,47	9,40	10,37	10YR 6/3	1,31	-	-	-
150	0,18	3,65	-	10YR 5/3	1,35	0,18	0,32	0,84
250	0,31	6,13	-	10YR 5/3	1,03	0,18	0,00	0,59
350	-	-	-	7,5YR 5/8	0,84	0,09	0,00	0,58
450	0,35	6,90	-	7,5YR 5/6	0,27	-	-	-
	0,50	10,01	-					
Perfil 6 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente (0-30 cm, Berilo, MG)								
Seco ao ar	-	-	-	10YR 3/2	2,30	0,43	0,35	1,29
105*	0,42	8,40	9,17	10YR 3/2	2,19	-	-	-
150	0,43	8,52	-	10YR 4/2	2,29	0,36	0,28	1,53
250	0,45	9,09	-	10YR 4/2	1,84	0,36	0,23	0,86
350	0,59	11,70	-	10YR 4/2	0,89	0,18	0,00	0,50
450	0,78	15,65	-	5YR 5/6	0,18	-	-	-
Perfil 7 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A Húmico (0-30 cm, Caratinga, MG)								
Seco ao ar	-	-	-	10YR 5/6	4,52	1,03	0,66	2,78
105*	0,87	17,40	21,06	10YR 5/6	4,36	-	-	-
150	0,97	19,43	-	10YR 5/5	4,78	0,98	0,46	3,17
250	1,09	21,77	-	10YR 5/3	4,05	0,89	0,37	1,92
350	1,44	28,80	-	5YR 5/8	1,24	0,18	0,00	1,03
450	-	-	-	2,5YR 4/8	0,00	-	-	-
	1,55	30,94	-					

* Amostras de solo TFSA submetidas à temperatura de 105°C por uma noite para determinação de umidade residual (UR), conforme EMBRAPA (1997).

** UR (%) = 100 x (a - b) / b, onde a = peso da amostra TFSA; b = peso da amostra seca à 105°C.

AH= ácidos húmicos; AF= ácidos fúlvicos; H= humina;

Tabela 5. Fracionamento quantitativo das substâncias húmicas dos solos estudados e recuperação em relação ao método.

Trat. °C	Hor.	Prof. cm	AH AF HU Soma				AH/AF EA/HU AH ^{/1} AF ^{/1} HU ^{/1}			Rec. COT ^{/2}		
			-----dag kg ⁻¹ -----				-----%-----					
Perfil 1 – CRIOSSOLO ORNITOGÊNICO (Antártica)												
TFSA	H	0-70	1,11	0,40	1,73	3,24	2,78	0,87	34,26	12,35	53,39	99,39
150	H	0-70	0,89	0,46	1,66	3,01	1,94	0,82	29,57	15,28	55,15	96,47
250	H	0-70	0,71	0,37	1,07	2,15	1,94	1,01	33,02	17,21	49,77	89,21
350	H	0-70	0,54	0,00	1,12	1,66	0,00	1,12	32,53	0,00	67,47	152,29
Perfil 2 – ORGANOSSOLO MÉSICO Sáprico típico (Serra Verde)												
TFSA	O ₁ +	0-44	2,05	1,57	8,52	12,14	1,31	0,42	16,89	12,93	70,18	95,44
150	O ₁ +	0-44	1,78	0,65	8,71	11,14	2,77	0,28	15,98	5,83	78,19	84,01
250	O ₁ +	0-44	1,61	0,55	7,08	9,24	2,91	0,30	17,42	5,95	76,62	88,68
350	O ₁ +	0-44	0,27	0,09	0,74	1,10	3,00	0,49	24,54	8,18	67,27	96,49
Perfil 3 – ORGANOSSOLO FÓLICO Tb distrófico (Ilha de Trindade)												
TFSA	O	0-30	4,02	1,10	18,03	23,15	3,66	0,28	17,36	4,75	77,88	99,31
150	O	0-30	2,94	1,06	17,12	21,12	2,78	0,23	13,92	5,02	81,06	86,42
250	O	0-30	1,96	0,09	15,20	17,26	21,30	0,14	11,36	0,52	88,06	99,83
350	O	0-30	0,36	0,00	7,23	7,59	0,00	0,05	4,74	0,00	95,26	99,61
Perfil 4 – CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico léptico (Patrocínio-MG)												
TFSA	A	0-30	0,94	0,53	1,03	2,50	1,71	1,45	37,60	21,20	41,20	99,60
150	A	0-30	0,71	0,28	1,27	2,26	2,57	0,78	31,42	12,39	56,19	99,56
250	A	0-30	0,62	0,18	0,83	1,63	3,36	0,97	38,04	11,04	50,92	99,39
350	A	0-30	0,54	0,00	0,65	1,18	0,00	0,82	45,76	0,00	55,08	96,72
Perfil 5 – LATOSSOLO AMARELO A Húmico (Crato-CE)												
TFSA	A	0-30	0,26	0,36	0,81	1,43	0,71	0,77	18,18	25,17	56,64	97,28
150	A	0-30	0,18	0,32	0,84	1,34	0,55	0,60	13,43	23,88	62,69	99,26
250	A	0-30	0,18	0,00	0,59	0,77	0,00	0,30	23,38	0,00	76,62	74,76
350	A	0-30	0,09	0,00	0,58	0,67	0,00	0,16	13,43	0,00	86,57	79,76
Perfil 6 – LATOSSOLO AMARELO A proeminente (Berilo-MG)												
TFSA	A	0-30	0,43	0,35	1,29	2,07	1,23	0,60	20,77	16,91	62,32	90,00
150	A	0-30	0,36	0,28	1,53	2,17	1,30	0,41	16,59	12,90	70,51	94,76
250	A	0-30	0,36	0,23	0,86	1,45	1,56	0,69	24,83	15,86	59,31	78,80
350	A	0-30	0,18	0,00	0,50	0,68	0,00	0,36	26,47	0,00	73,53	76,40
Perfil 7 – LATOSSOLO VERMELHO AMARELO A húmico (Caratinga-MG)												
TFSA	A	0-30	1,03	0,66	2,78	4,47	1,56	0,61	23,04	14,76	62,19	98,89
150	A	0-30	0,98	0,46	3,17	4,61	2,13	0,45	21,26	9,98	68,76	96,44
250	A	0-30	0,89	0,37	1,92	3,18	2,41	0,66	27,99	11,63	60,38	78,52
350	A	0-30	0,18	0,00	1,03	1,21	0,00	0,17	14,88	0,00	85,12	97,58

AH = ácidos húmicos; AF = ácidos fúlvicos; H = humina; /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

Os resultados indicam que as frações húmicas de solos que apresentam horizontes hísticos podem ter origem herdada. Segundo Stevenson (1994), existem vias de formação das substâncias húmicas no solo com possibilidade de formação a partir da alteração direta de compostos lignificados, por meio de demetilação e oxidação, com incorporação de grupamentos carboxílicos e grupamentos amino. Esta forma seria bem mais rápida, sem a alteração e decomposição mais acentuada de compostos originais e síntese de novos compostos humificados. Este processo é referido como “Via de Herança”, destacando-se como característico na formação da fração humina em ambientes menos propícios à atividade microbiana, como em solos saturados por água.

No solo Antártico, os conteúdos de carbono orgânico são preservados nas condições de frio intenso. As frações mais estáveis do material orgânico são compostas por moléculas facilmente degradáveis combinadas, com uma matriz fibríca. A natureza fibríca do material, associado à pequena contribuição da fauna do solo na fragmentação da matéria orgânica leve, leva a preservação deste material por longos períodos. Outro importante fator de conservação deste material pode estar ligado a natureza amorfa da fração mineral, que adsorve o material orgânico conferindo-lhe proteção física. Estes minerais oferecem inúmeros sítios de adsorção para exercer ação protetora contra a degradação biótica, adsorvendo e conseqüentemente reduzindo a atividade de importantes agentes da decomposição como amilases, proteases e seus substratos (Michel, 2005).

A taxa de humificação na Antártica Marítima é controlada pelo clima frio, pouca biota decompositora do solo e regime de umidade do solo. A Antártica é virtualmente livre de plantas produtoras de lignina devido a dominância de líquens e briófitas. A formação de substâncias húmicas nestes ambientes, onde a lignina e seus sub-produtos de degradação não prevalecem, deve ocorrer somente através da condensação de compostos de amino-açúcares, ou por reações entre cetonas e aminoácidos. As condições climáticas severas deste ambiente levam a formação de ácidos húmicos e ácidos fúlvicos densamente carregados, sendo que sua diferença de solubilidade se deve principalmente ao tamanho da molécula. As substâncias húmicas assim formadas atuam de forma marcante no perfil, conferindo maior quantidade de sítios de ligação e complexação, cátions e metais (Michel, 2005).

No Organossolo de Serra Verde (Simas, 2002) observou o aumento da relação ácidos húmicos/ácidos fúlvicos ao longo do perfil, sugerindo uma intensa saída da fração ácidos fúlvicos ou, possivelmente, a formação de ácidos húmicos pela polimerização de ácidos fúlvicos e metais.

O Organossolo de Trindade encontra-se numa condição de maior umidade e acúmulo de MO na liteira, cujo material ainda se encontra inalterado, sendo proveniente de restos orgânicos da floresta de *Cyathea delgadii* e *Myrsine floribunda*. Os elevados teores de carbono sugerem que as condições ambientais não são favoráveis a decomposição da MO, sobretudo pela ausência de detritívoros e herbívoros. A acumulação de materiais fibricos pode ser devido a baixa atividade microbiana, ausência de mesofauna e a formação de complexos estáveis de Al-MO, mais resistentes a oxidação.

Em Ibitipoca, as temperaturas baixas devem ser fatores condicionantes do reduzido metabolismo microbiano. Em condições de elevado Al trocável, as plantas produzem maior quantidade de compostos fenólicos, reduzindo mais ainda a sua degradabilidade (Dias et al., 2003).

4.3. Termodecomposição

Houve perda de massa das amostras de solo ao longo das temperaturas testadas, comportamento esse, observado em todos os solos estudados. Ênfase deve ser dada às maiores perdas apresentadas pelos Organossolos ao longo das temperaturas, compreendendo 8,20 a 36,20% em P2 e 42,40 a 77,40% em P3. Esses solos apresentaram os maiores teores de COT e os menores teores de argila e em sua constituição percebeu-se considerável quantidade de material orgânico fibrico, facilmente identificável como de origem vegetal, provavelmente matéria orgânica leve, contribuindo para os altos teores de umidade residual encontrado nessas amostras.

Nas Figuras 7 a 13 pode-se entender que a termodegradação da MOS segue um modelo linear na maior parte dos solos estudados. É importante observar que a inclinação da reta varia entre os solos. Entretanto, quanto menor a referida inclinação, maior será a estabilidade da MOS (Costa et al., 2005).

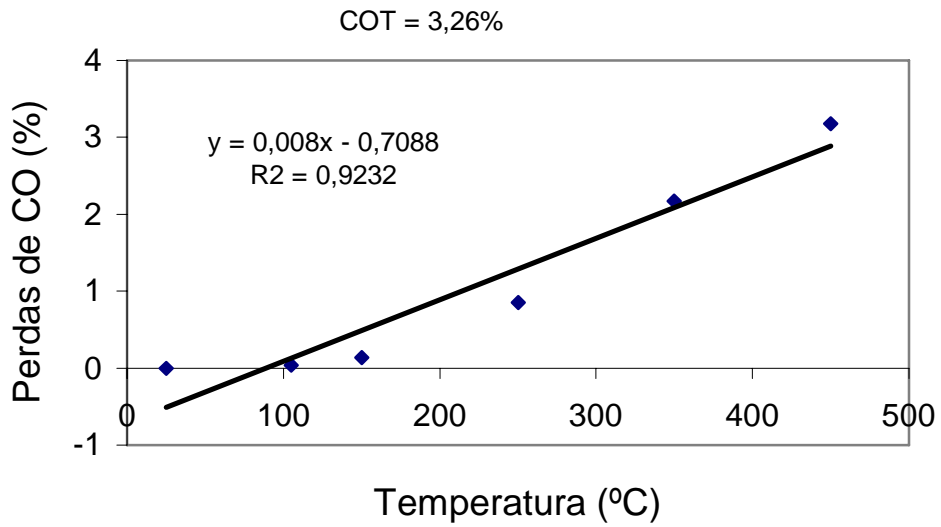


Figura 7. Perdas de CO, após tratamentos térmicos, em Criossolo da Antártica.

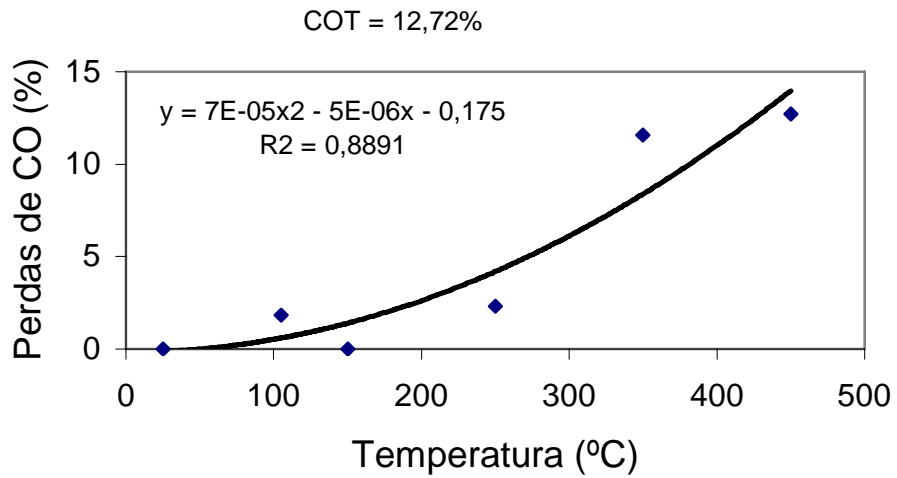


Figura 8. Perdas de CO, após tratamentos térmicos, em Organossolo de Serra Verde, MG.

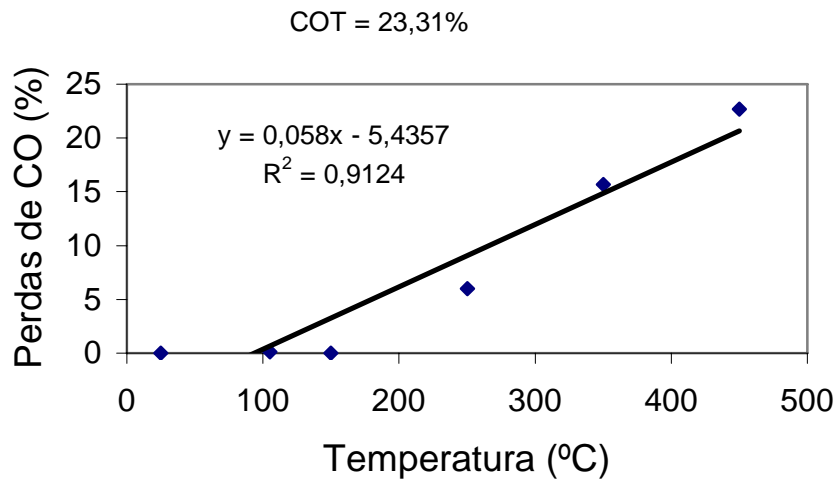


Figura 9. Perdas de CO, após tratamentos térmicos, em Organossolo de Ilha de Trindade.

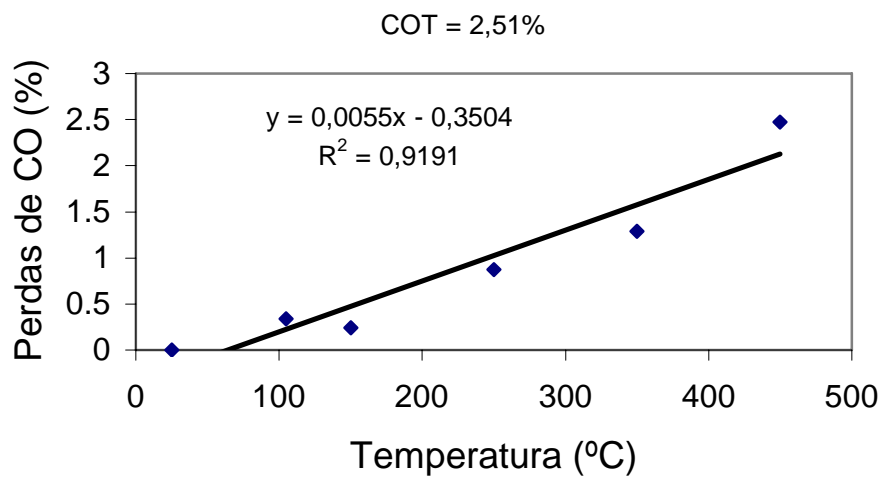


Figura 10. Perdas de CO, após tratamentos térmicos, em Cambissolo de Patrocínio, MG.

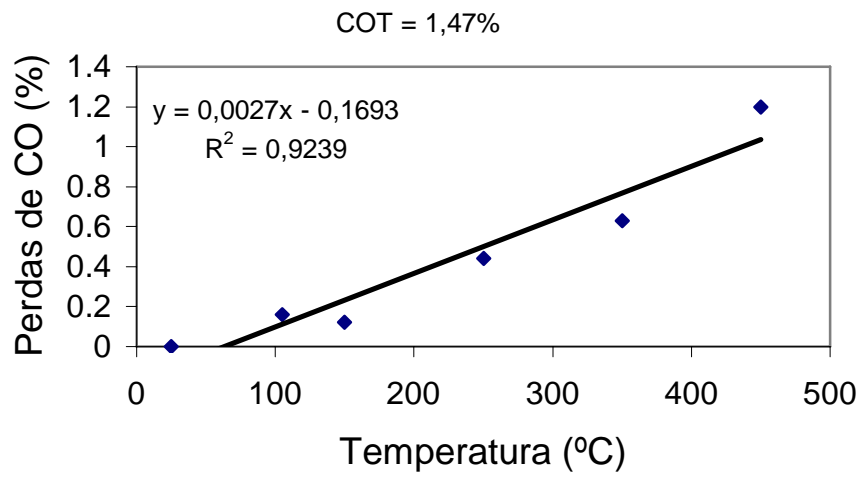


Figura 11. Perdas de CO, após tratamentos térmicos, em Latossolo de Crato, CE.

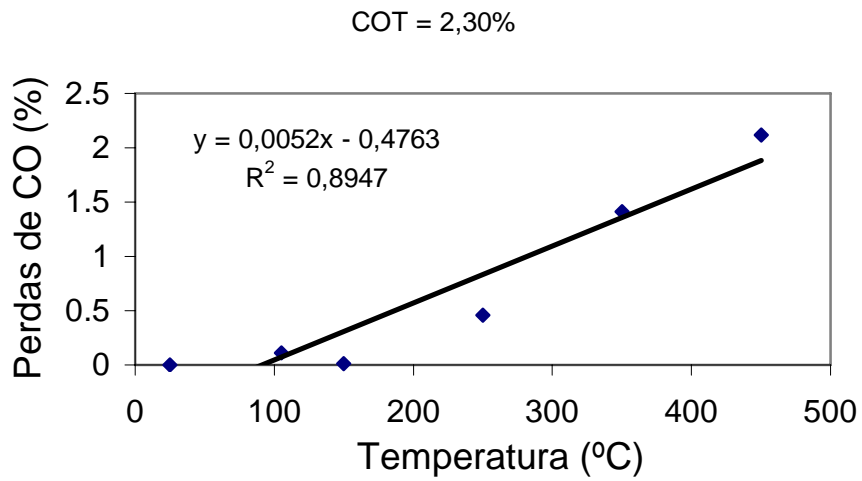


Figura 12. Perdas de CO, após tratamentos térmicos, em Latossolo de Berilo, MG.

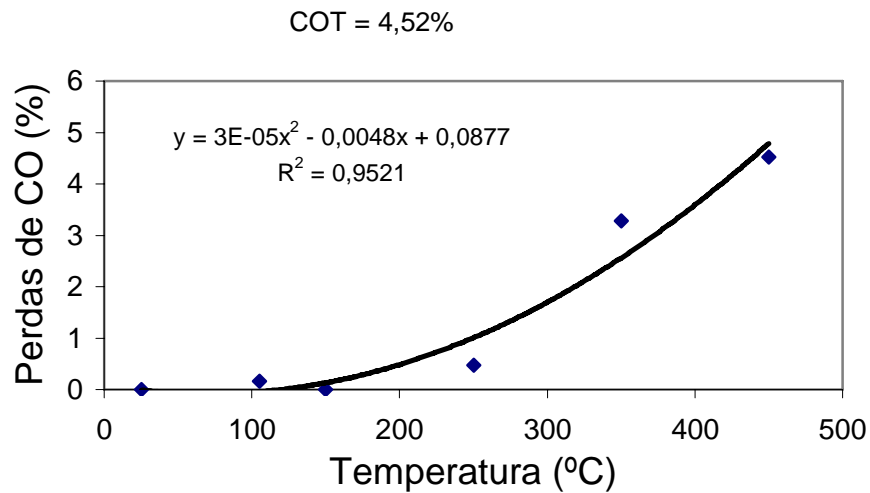
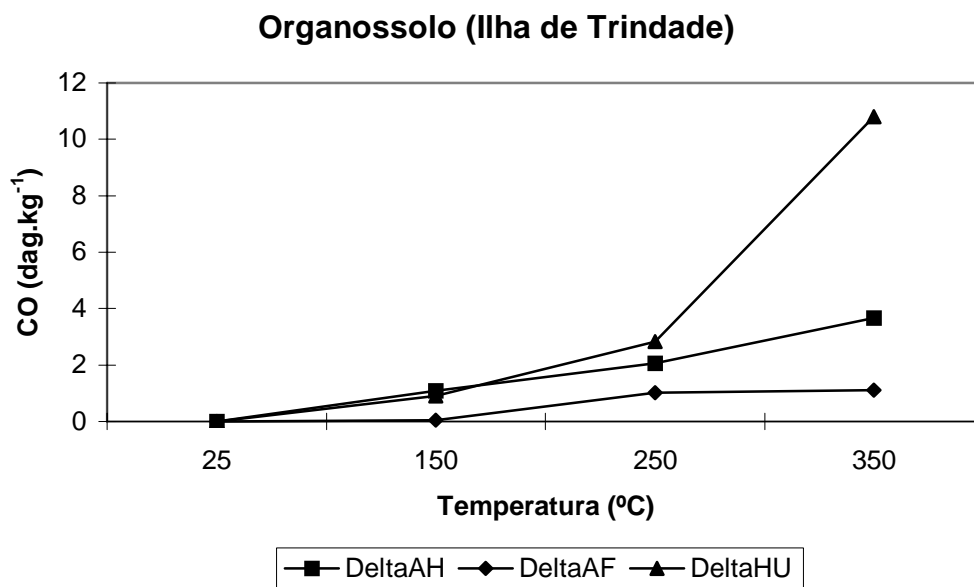
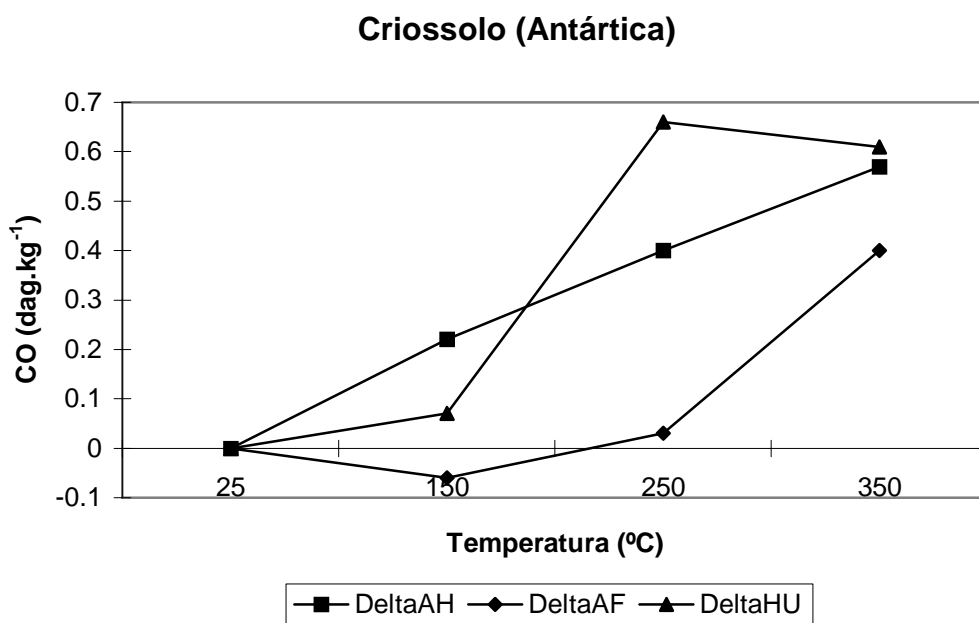


Figura 13. Perdas de CO, após tratamentos térmicos, em Latossolo de Caratinga, MG.

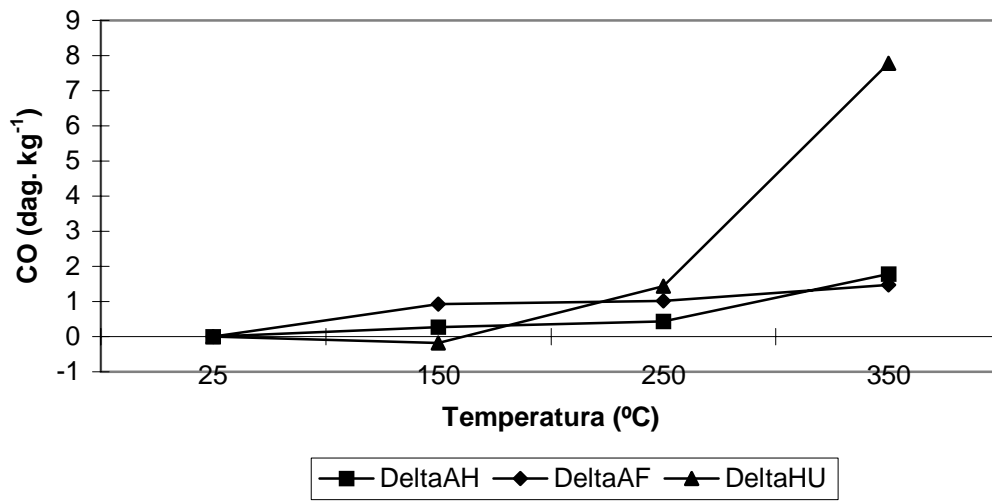
O fracionamento térmico quantitativo das SH é mostrado na Figura 14. Observa-se com a evolução da temperatura uma tendência geral a diminuição nos teores de CO na seqüência AF, AH e HU, independente da mineralogia da fração argila

Os termogramas de todos os solos apresentam duas fases de termodegradação. Estas fases podem ser visualizadas pelas curvas termogravimétricas (Figura 15). Segundo os estudos realizados com a fração ácidos húmicos, a primeira fase é atribuída a termodegradação das cadeias alifáticas e a segunda fase, a termodegradação do núcleo aromático. Ibarra et al. (1994) relacionam a perda de peso até 300°C a termodegradação de grupos funcionais e cadeias alifáticas. Conforme Campanella e Tomassetti (1990), o núcleo policíclico aromático permanece inalterado em temperaturas superiores a 300°C. Mangrisch et al. (2000), analisando ácidos húmicos extraídos de vermicompostos pelas técnicas de TG-DSC, atribuíram à segunda fase da termodecomposição (350 a 650 °C) a um maior gasto de energia no processo de termodecomposição, sugerindo a ocorrência de um núcleo aromático policondensado.

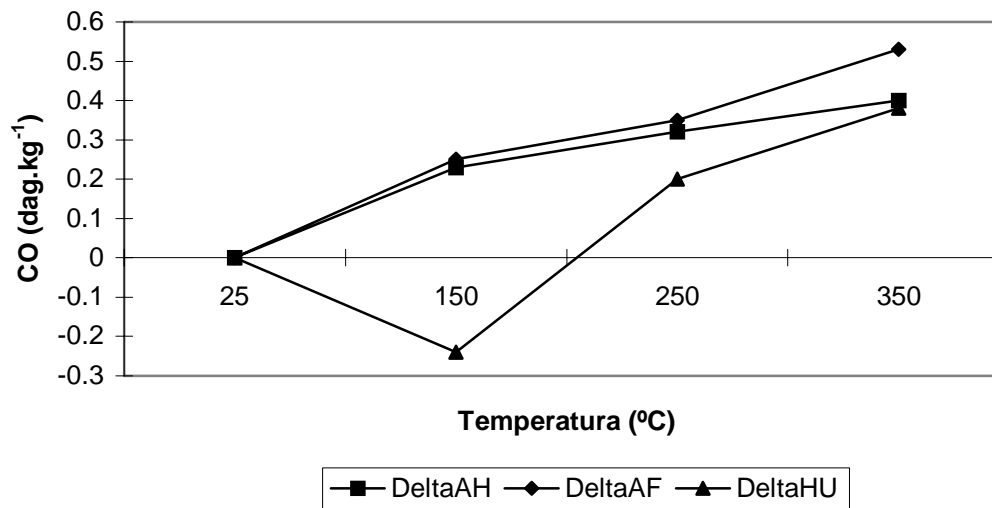
Figura 14. Fracionamento térmico quantitativo das substâncias húmicas dos solos estudados.



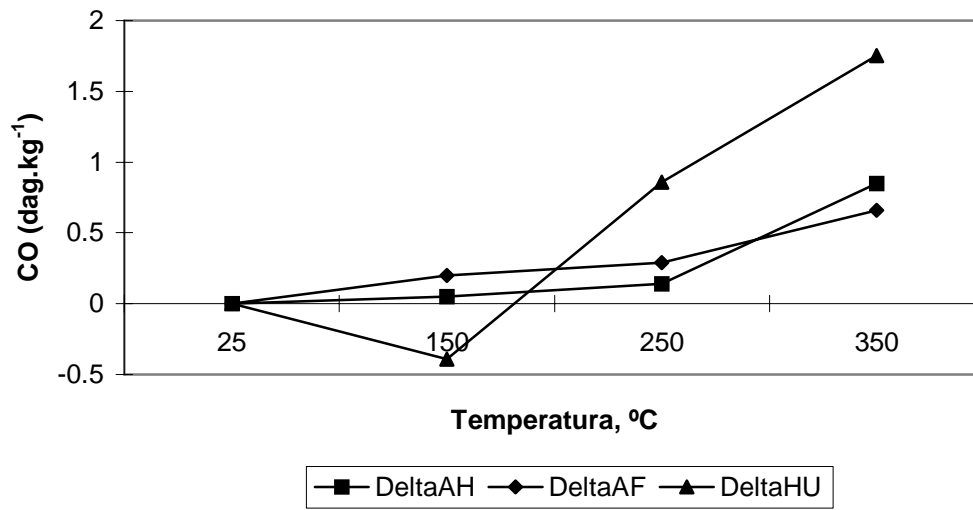
Organossolo (Serra Verde, MG)



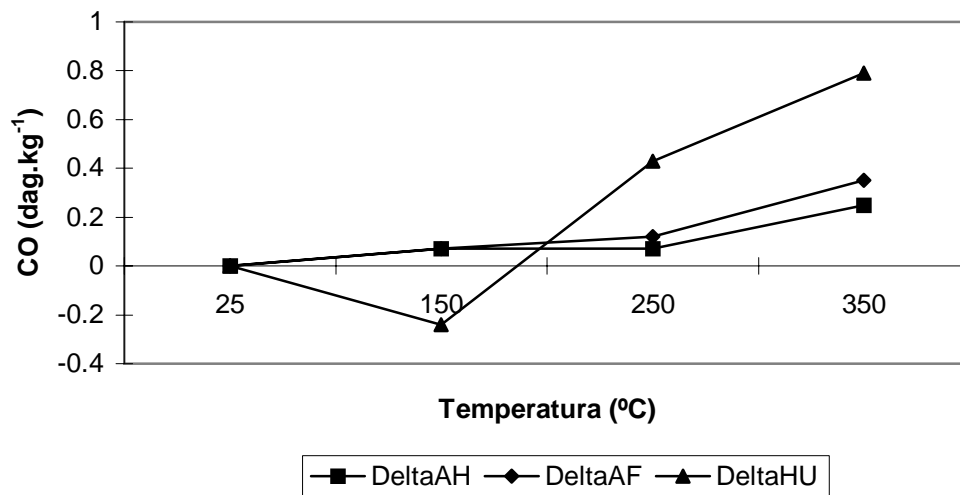
Cambissolo (Patrocínio, MG)



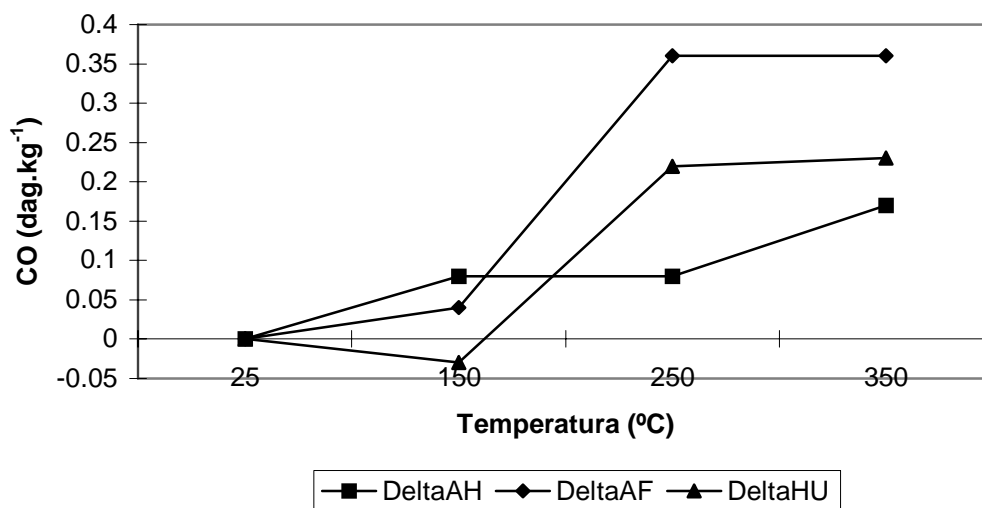
Latossolo (Caratinga, MG)



Latossolo (Berilo, MG)



Latossolo (Crato, CE)

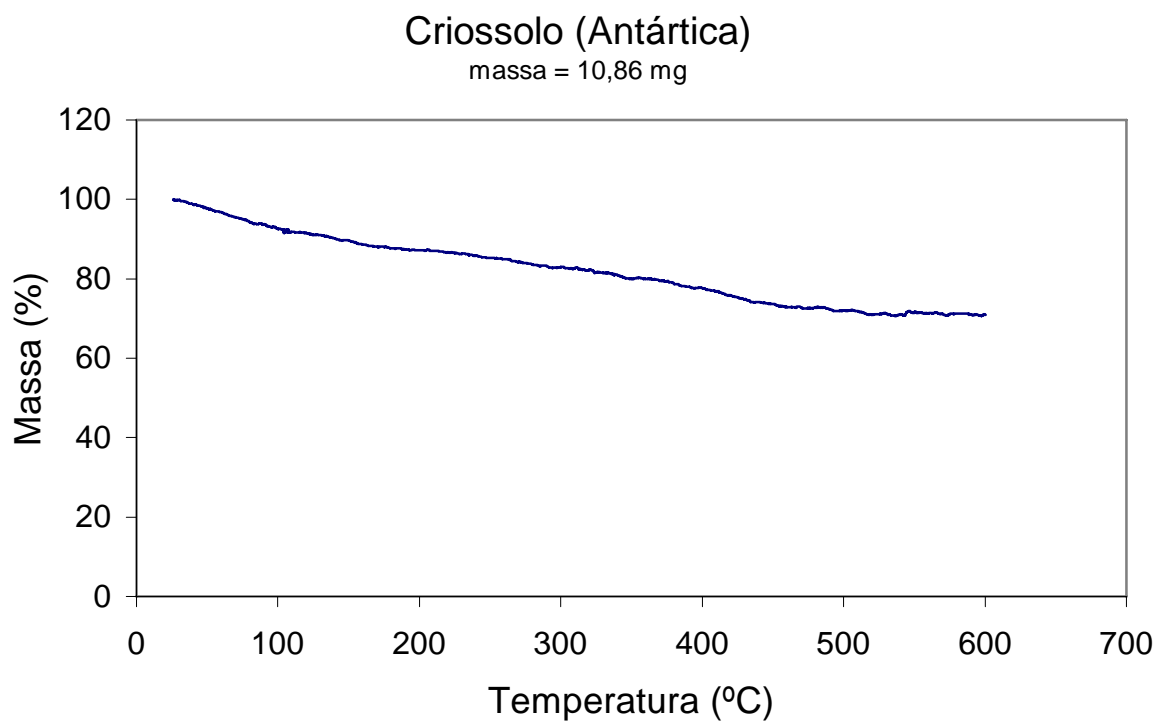


A perda de massa na segunda fase foi maior que na primeira fase da termodecomposição em todos os solos testados, corroborando as informações dos estudos termogravimétricos realizados por Benites (2002) com ácidos húmicos e ácidos fúlvicos em áreas de vegetação rupestre de altitude. O percentual de perda de massa em cada fase/evento, bem como o pico máximo de termodecomposição do segundo evento, apresentou variação entre as amostras quanto a resistência à termodecomposição.

Alguns solos apresentaram um máximo de termodecomposição em temperaturas próximas a 400 °C, ratificando os estudos preliminares de Santos et al. (2005) com esses mesmos solos, usando o forno mufla como agente para promoção da termodecomposição, onde se obtiveram as seguintes perdas de massa em percentagem no intervalo de 105 a 450 °C: 8,4 a 16,0% (P1), 8,2 a 37,2% (P2), 42,4 a 76,8% (P3), 6,6 a 11,4% (P4), 9,4 a 10,0% (P5), 8,4 a 15,6% (P6) e 17,4 a 30,9% (P7). Acredita-se que nos solos minerais estudados (P6, P7, P8 e P9), tenha havido uma maior participação da matriz mineral residual na catálise da queima das SH, ou ainda a ação de complexos organo-minerais muito estáveis na proteção de estruturas orgânicas mais facilmente termodegradáveis (Benites, 2002). Segundo este mesmo autor, as temperaturas de máxima termodegradação dos AF, foram em média menores que os encontrados em AH, indicando a natureza menos condensada e menos resistente destes compostos.

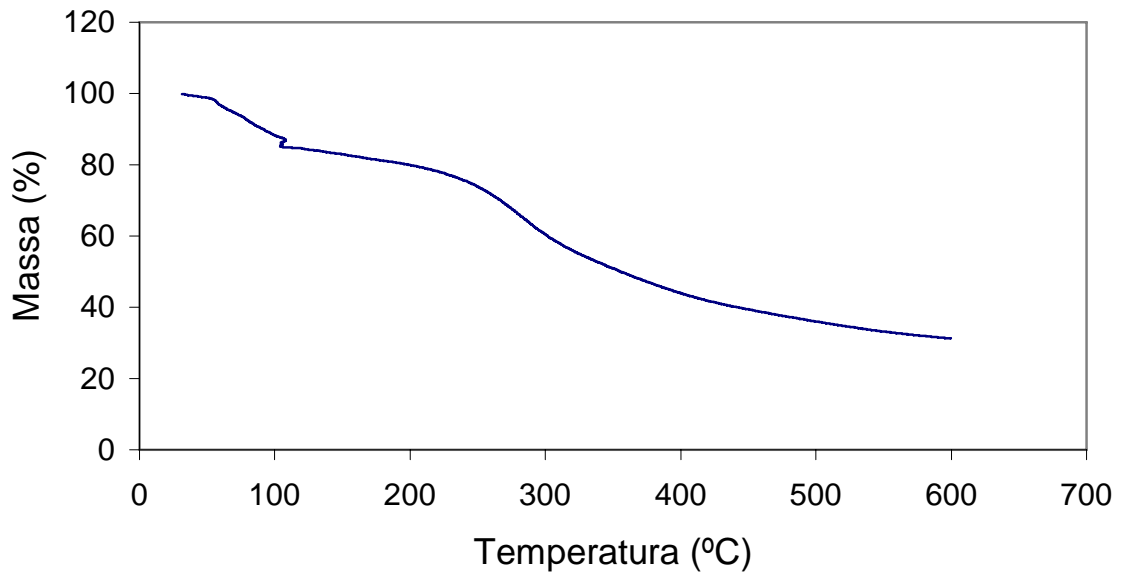
As mudanças de massa nas amostras aconteceram gradativamente com a elevação da temperatura. Essas mudanças na massa das amostras foram atribuídas à ruptura e formação de várias ligações físicas e químicas a temperaturas elevadas, sobretudo à liberação de substâncias voláteis ou perda de peso como resultado da reação de desidratação, desidroxilação ou decomposição (Tan et al., 1986).

Figura 15. Curvas termogravimétricas obtidas em analisador termogravimétrico TGA- 50 Shimadzu dos diferentes solos estudados.



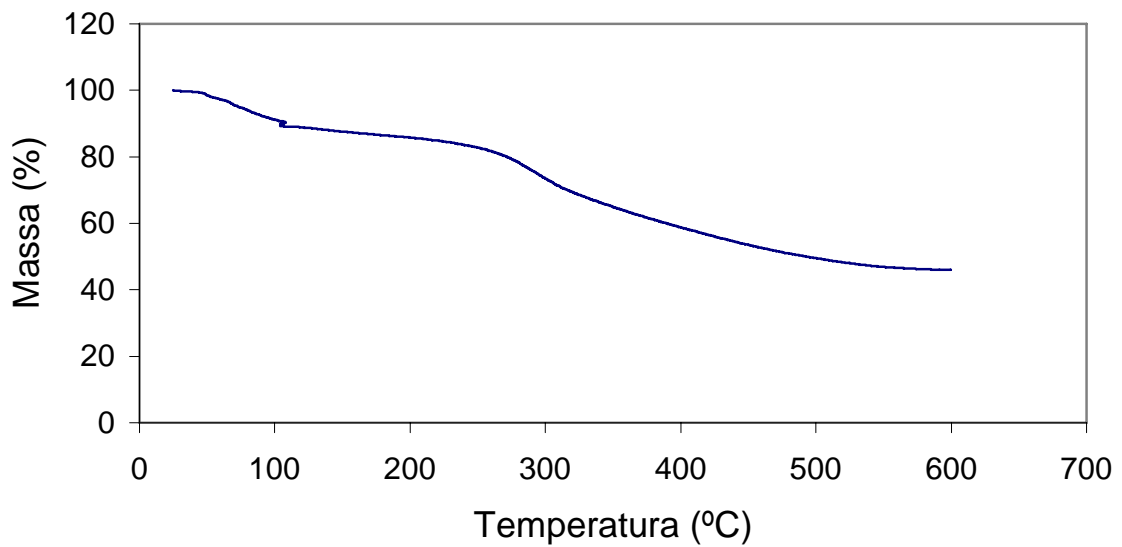
Organossolo (Ilha de Trindade)

massa = 12,15 mg



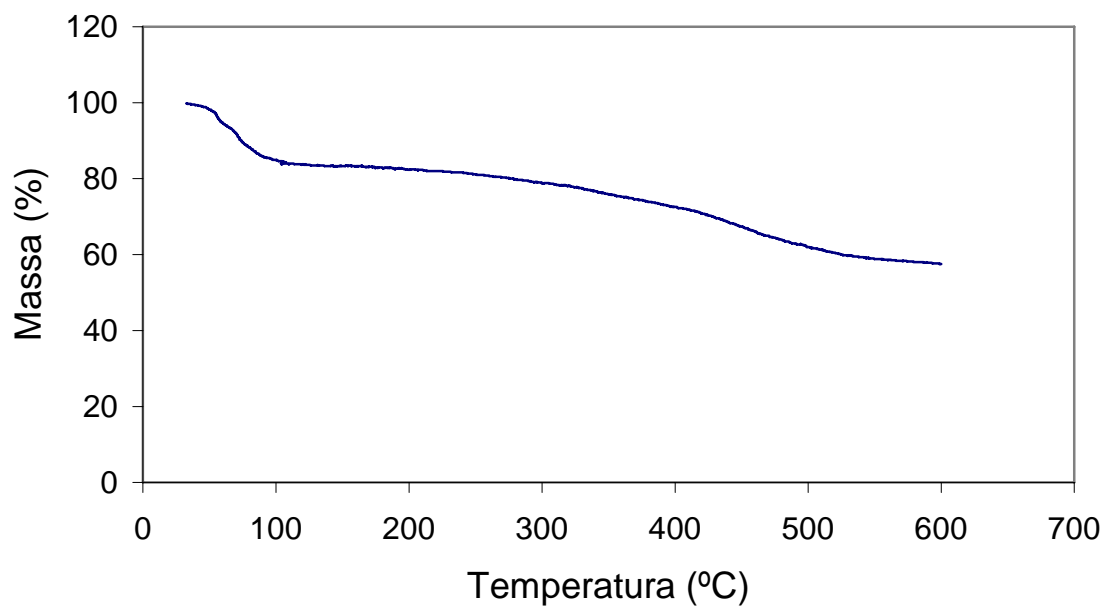
Organossolo (Serra Verde)

massa = 12,64 mg



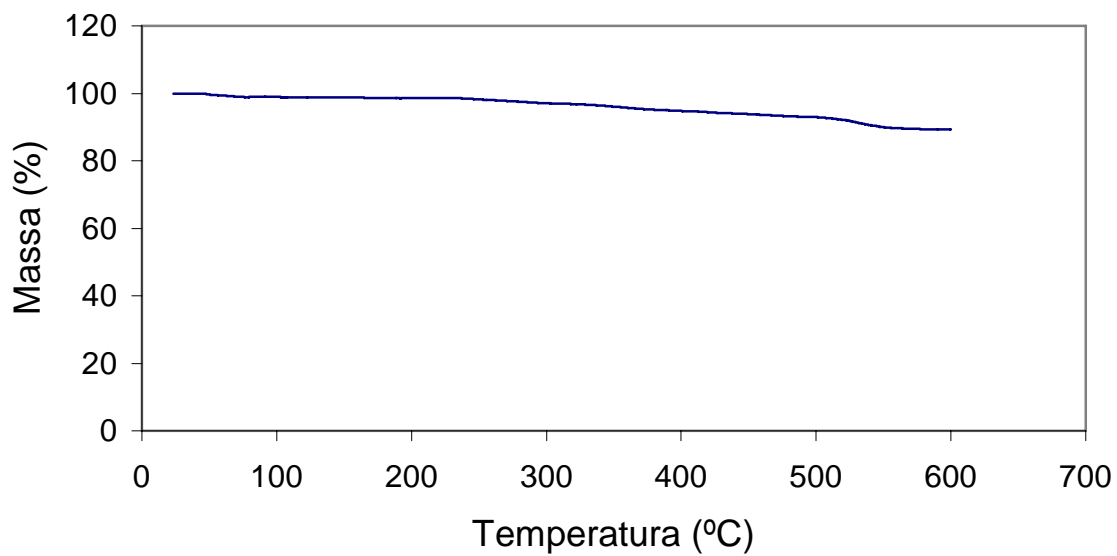
Cambissolo (Ibitipoca)

massa = 15,48 mg

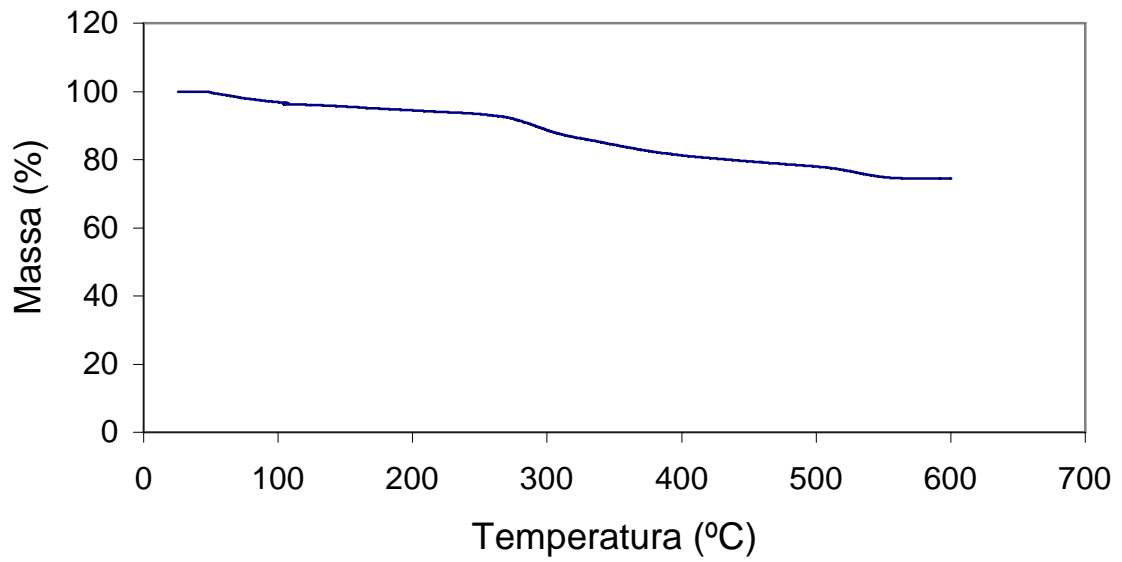


Latossolo (Garanhuns, PE)

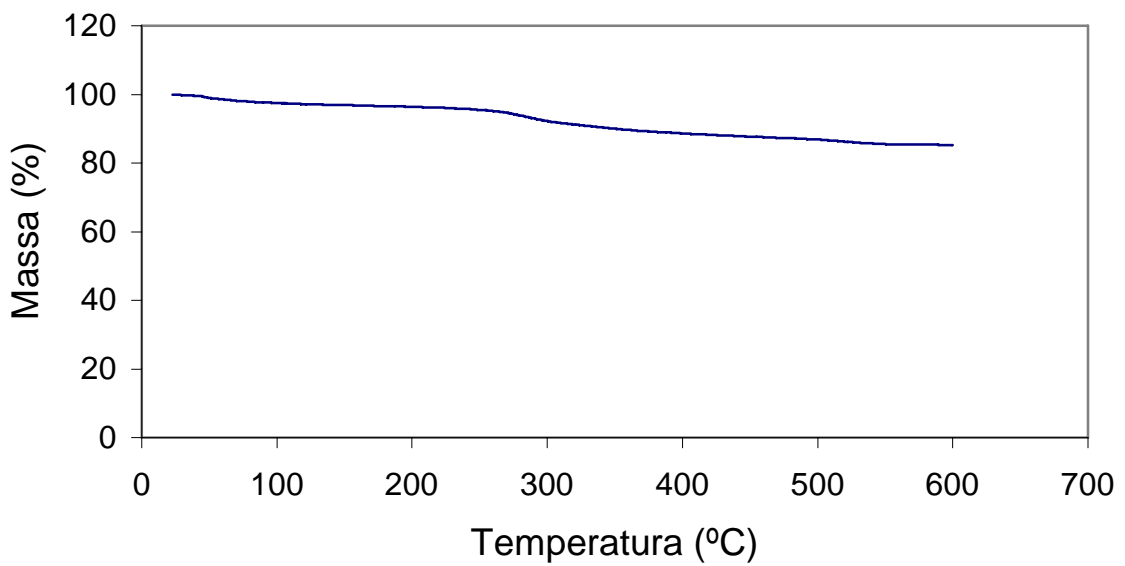
massa = 15,95 mg



Latossolo (Caratinga, MG)
massa = 11,02 mg

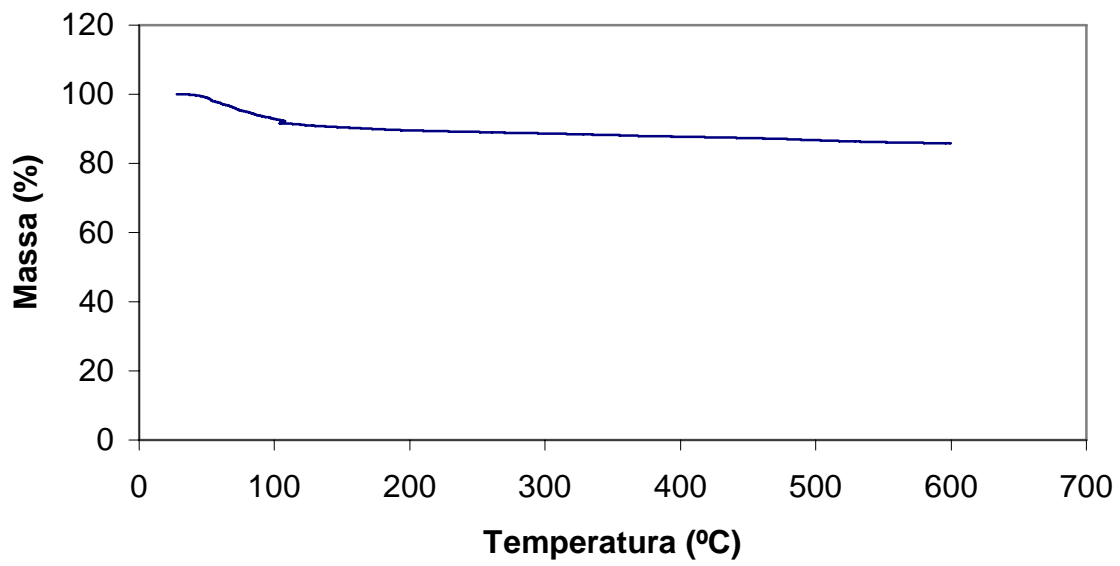


Cambissolo (Patrocínio, MG)
massa = 13,35 mg



Vertissolo (Cachoeirinha, PE)

massa = 15,39 mg



5. CONCLUSÕES

- 1) A estabilidade da matéria orgânica com base nas curvas termogravimétricas indica que Latossolos argilosos possuem formas de carbono orgânico comparativamente mais estáveis;
- 2) Nos Latossolos das partes elevadas, a termodecomposição indicou valores decrescentes de matéria orgânica no sentido Caratinga-Berilo-Crato, seguindo a um gradiente decrescente com latitude (climático), do Sudeste para o Nordeste;
- 3) O aumento do teor de fibras nos Organossolos aumenta a resistência a termodecomposição;
- 4) As temperaturas de máxima termodecomposição dos AF foram, em média, menores que os encontrados em AH e HU, indicando a natureza menos condensada e menos termoresistente destes compostos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISCOTT, T. M. Entropy and sustainability. *European Journal of Soil Science*, 46:161-168, 1992.
- ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SIMAS, F. N. B.; COSTA, L. M.; DIAS, J. R.; PEREIRA, V. V.; COELHO, L. M. Características físicas e químicas de solos sobre rochas vulcânicas na península Keller, Antártica Marítima. In: SCHAEFER, C. E.G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT, 2004. 192 p. :il.
- ALMEIDA, F. F. M. Geologia e Petrologia da Ilha de Trindade. Rio de Janeiro: DNPM/DGM, 197P. 1961. (monografia XVIII).
- ALVAREZ V.V.H., NOVAIS, R.F.de, BARROS, N.F. de, CANTARUTTI, R.B. e LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa-MG, p. 25-32. 1999.
- BALDOCK, J. A.; NELSON, P. N. Soil organic matter. In: Summer, M. E. **Handbook of soil science**. 1999.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecosistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.:il.
- 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 de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude. Viçosa: UFV, 2002. 71p.: il. Tese (Doutorado).
- BRASIL. Levantamento de reconhecimento dos solos da Zona do Médio Jequitinhonha – Minas Gerais. Rio de Janeiro, 1970.
- BRASIL. Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do estado do Ceará. Volume II. Recife, 1973.
- CAMPANELLA, L. & TOMASSETTI, M. Thermogravimetric and IR analysis of different extracts of humic substances. **Thermochemica Acta**. 170: 67-80. 1990.

- CARMO, D. N.; CURI, N.; RESENDE, M. Caracterização e gênese de Latossolos da Região do Alto Paranaíba-MG. **R. Bras. Ci. Solo**, 8:235-240, 1984.
- CLEMENTE, E. de P.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; OLIVEIRA, F. S.; ALVES, R. V.; MELO, V, F. **Solos “endêmicos” da Ilha de Trindade, Atlântico Sul: características químicas, físicas e relações solo-vegetação**. 2005 (no prelo).
- COSTA, L. M.; OLIVEIRA, A. P.; GUEDES, I. M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SANTOS, R. F.; SOARES, C. R. A. **O papel do solo no ciclo do carbono**. Conferência Regional do Sudeste. 2005. <http://www.cetec.br/cnctisudeste/temasregionais.htm>
- DIAS, H. C. T.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; OLIVEIRA, A. P.; MICHEL, R. F. M.; LEMOS JR., J. B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibipitoca (MG). **R. Bras. Ci. Solo**, 27:469-481,2003.
- DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. (CD-ROM.) Rio de Janeiro:SBCS, 1997.
- EMBRAPA. Zoneamento agroecológico do Estado do Pernambuco. Mapa de reconhecimento de baixa e média intensidade. Garanhuns. Folha SC.24-X-B-IV. 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p. : il.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p. : il.
- GUIMARÃES, D. contribuição ao estudo dos tufos vulcânicos da Mata da Corda. Belo Horizonte: Instituto Técnico Industrial, 1955. 27p. (Boletim, 18).
- HAYES, M. H. B.; MACCARTHY, P.; MALCOLM, R. L.; SWIFT, R. S. The search for structure: setting the scene. In Hayes, M. H. B. et al. (eds) **Humic Substances II: In search of structure**. P. 3-33, John Wiley, Chichester. 1989. 764p.
- HSIEH, Y. P. Soil organic carbon pools of two tropical soils inferred by carbon signatures. **Soil Science Society of America Journal**. v. 60, 1996. p. 1117-1121.
- HUFFMAN, E. W. D.; STUBER, H. A. Analytical methodology for elemental analysis of humic substances. p. 433-455. In: Aiken et al. (Eds.) **Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization**. Wiley, 1985.

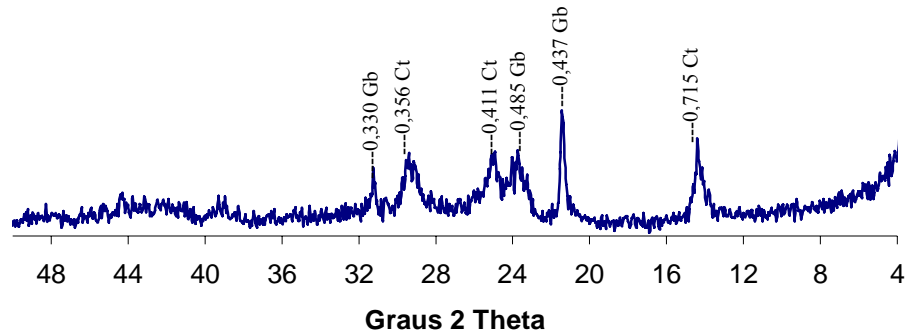
- IBARRA, J. V.; MOLINER, R. & BONET, A. J. Termal alteration of coal humic acids simulating early coalification. p. 1325-1330. In: SENESI, N. & MIAMO, T. M. (Eds) Humic substances in the global environment and implications on human health. Elsevier, 1994.
- IBRAIMO, M. M. Solos sob caatinga da região dos Lagos, RJ: gênese e relações geomorfológicas. Viçosa: UFV, 2000. 92 p. : il. Dissertação (Mestrado).
- IBRAIMO, M. M. SCHAEFER, C. E. G. R.; KER, J. C.; LANI, J. L.; ROLIM NETO, F.C.; ALBUQUERQUE, M. A.; MIRANDA, V. J. Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (Caatinga) na Região dos Lagos (RJ). **R. Bras. Ci. Solo**, 28:695-712, 2004.
- JORGE, J. A. Eficácia de métodos de oxidação da matéria orgânica do solo para análise granulométrica. **R. bras. Ci. Solo**. 4: 118-121, 1980.
- LEMO, R. C. & SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3.^a ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84p.
- LIPPENS, B. C. & STEGGERDA, J. J. Active alumina. In: LINSEN, B. G., ed. Physical and chemical aspects of adsorbents and catalysts. New York. Academic Press, 1970. p. 171-221.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Efeito da queima sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo e sobre a produção de milho. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 14., Santa Maria, 1973. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p. 690-701.
- MANGRISH, A. S.; LOBO, M. A.; TANCK, C. B.; WYPYCH, F.; TOLEDO, E. B. S.; GUIMARÃES, E. Criterious preparation and characterization of earthworm-composts in view of animal waste recycling. Part I. Correlation between chemical, thermal and FTIR spectroscopic analyses of fourhumic acids from earthworm-composted animal manure. **J. Braz. Chem. Soc.** 11(2): 164-169, 2000.
- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W. J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 35, n. 6. 2000. p. 1177-1182.
- MARTIN, J. P. & HAIDER, K. Microbial activity in relation to soil humus formation. **Soil Science**, 111:54-63, 1971.
- MARTIN, J. P.; ZUNINI, H.; PEIRANO, P.; CAIOZII, M.; HAIDER, K. Decomposition of ¹⁴C-Labelled lignins, model humic acid polymers, na fungal melanins in allophanic soil. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford, v. 14, p. 289-293, 1982.
- MEHRA, J. P. & JACKSON, M. L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bircarbonate system buffered with sodium bicarbonate. **Clays Clay Miner.**, 7 (4): 317-327, 1960.

- MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica e características químicas de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob mata natural, seringueira e pastagem**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1988. 78p. (Tese de Mestrado).
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F. A. de O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 508p.:il.
- MUNSELL. **Soil Color Charts**. Maryland, 1994.
- NYE, P. H. & GREENLAND, D. J. Changes in the soil after clearing tropical forest. **Pl. Soil.**, 21: 101-112, 1964.
- OADES, J. M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**. v. 5, 1988. p. 35-70.
- PARFITT, R. L.; THENG, B. K. G.; WHITTON, J. S. et al. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**. v. 75, 1997. p. 1-12.
- PARRA, M. S. Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes num Latossolo Roxo distrófico submetido aos sistemas de plantio convencional e direto e a diferentes sucessões de culturas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 94p. Dissertação (Mestrado).
- 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. 780p.
- ROLIM NETO, F. C. Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de topolitosseqüências de solos do Alto Paranaíba, MG. Viçosa: UFV, 2002. 143p.: il. (Tese Doutorado).
- ROOKSBY, H. P. Oxides and hydroxides of aluminium and iron. In: BROWN, G., ed. The x-ray identification and crystal structures of clay minerals. London. Mineralogical Society, 1961. p. 354-392.
- SANTOS, G. A.; BRAWN, W. A. G.; VELLOSO, A. C. X. Influência do tratamento térmico sobre algumas propriedades do solo. **R. bras. Ci. Solo**. 3: 144-148, 1979.
- SANTOS, R. F.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. R.; BARROS, N. F.; GUEDES, I. M. **R. Efeitos da termodegradação da matéria orgânica sobre o carbono orgânico, substâncias húmicas e cor do solo**. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife - PE. Anais do XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005.
- SAS STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. User's guide: Statistics. Version 6.12, NC; SAS Institute, 1996.

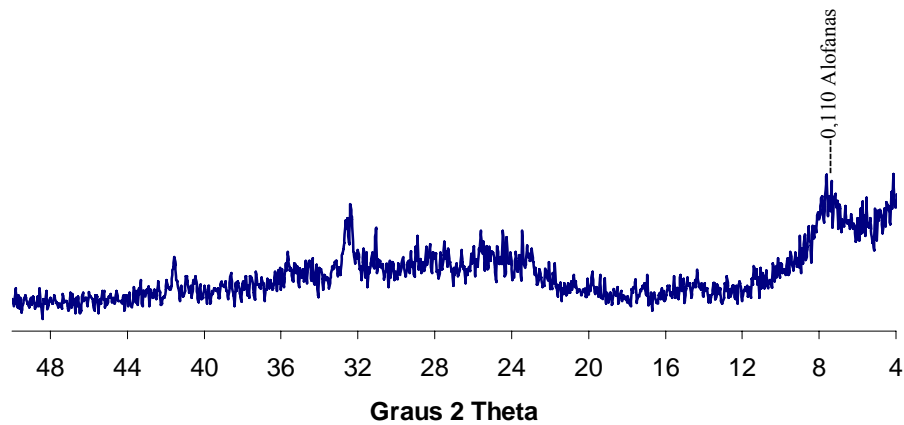
- SCHAEFER, C. E. G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT, 2004. 192 p. :il.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; COSTA, L. M. Geologia e geotectônica da Península Keller, Antártica Marítima. In: SCHAEFER, C. E.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT, 2004a. 192 p. :il.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; COSTA, L. M. Geologia e geotectônica da Península Keller, Antártica Marítima. p.7-13. In: SCHAEFER, C. E. G. R et al. **Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima**. Viçosa: NEPUT, 2004. 192p. il.
- SCHAEFER, C. E.G. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; VIANA, J. H.; TATUR, ANDREZJ. Fosfatização: processo de formação de solos na Baía do Almirantado e Implicações ambientais. In: SCHAEFER, C. E.G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT, 2004b. 192 p. :il.
- SERTSU, S. J. & SANCHEZ, P. A. Effects of heating on changes in soil properties in relation to na Ethiopian management practice. *Agronomic Economic Research on Tropical Soils. Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:940-944, 1978.
- SETZER, A, W.; OLIVEIRA, M. R.; FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M. In: SCHAEFER, C. E.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT, 2004. 192 p. :il.
- SIMAS, F. N. B. Pedogênese e geoambientes na Serra Verde, parte da Mantiqueira Mineira: Atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos. Viçosa: UFV, 2002. 78p.: il. Dissertação (Mestrado).
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MICHEL, R. M. DIAS, L. E.; BORGES JR., MEUBLES; PRATES, L. Atributos químicos de Criossolos ornitogênicos da Baía do Almirantado, Antártica. In: SCHAEFER, C. E.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Ecosistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT, 2004. 192 p. :il.
- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; CHAGAS, A. C.; BRANDÃO, P. C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. *Geoderma*, 125: 187-201. 2005.

- SIMAS, F. N. B.; SCHAEFER, C. E.G. R.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; MICHEL, R. F. M.; COSTA, L. M.; MENDONÇA, E. S.; PEDROSO, I. V. C. P. Carbono Imobilizado: Indicador ambiental no ecossistema terrestre da península Keller. In: SCHAEFER, C. E.G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Ecossistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima – Baía do Almirantado, Ilha Rei George**. Viçosa: NEPUT, 2004. 192 p. :il.
- SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 74: 65-105, 1996.
- STEVENSON, F. J. Húmus chemistry: gênese, composition, reactions. John Wiley & Sons. New York, USA, 1982.443p.
- SWIFT, R. S. Sequestration of carbon by soil. **Soil Science**, v. 166, N.11, 2001. p. 858-871.
- TAN, K. H.; HAJEK, B. F.; BARSHAD, I. Thermal Analysis Techniques. In: American Society of Agronomy-Soil Science of America, Madison, WI, USA. Methods of soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph n° 9 (2nd Edition). 151-183 p. 1986.
- WATTEL-KOEKKOEK, E. J. W. & BUURMAN, P. Mean residence time of kaolinite and smectite-bound organic matter in Mozambiquan soils. **Soil Sci. Soc. Am J.** v. 68, 2004. p. 154-161.
- WATTEL-KOEKKOEK, E. J. W.; BUURMAN, P.; VAN DER PLICHT, J.; et al. Mean residence time of soil organic matter associated with kaolinite and smectite. **European Journal of Soil Science**. v. 54, 2003. p. 269-278.
- WATTEL-KOEKKOEK, E. J. W.; VAN GENUCHTEN, P. P. L.; BUURMAN, P. et al. Amount and composition of clay-associated soil organic matter in a range of kaolinitic and smectitic soils. **Geoderma**. v. 99, 2001. p. 27-49.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Sci. Plant Anal**, v. 19, n. 13, 1988. p. 1467-1476.

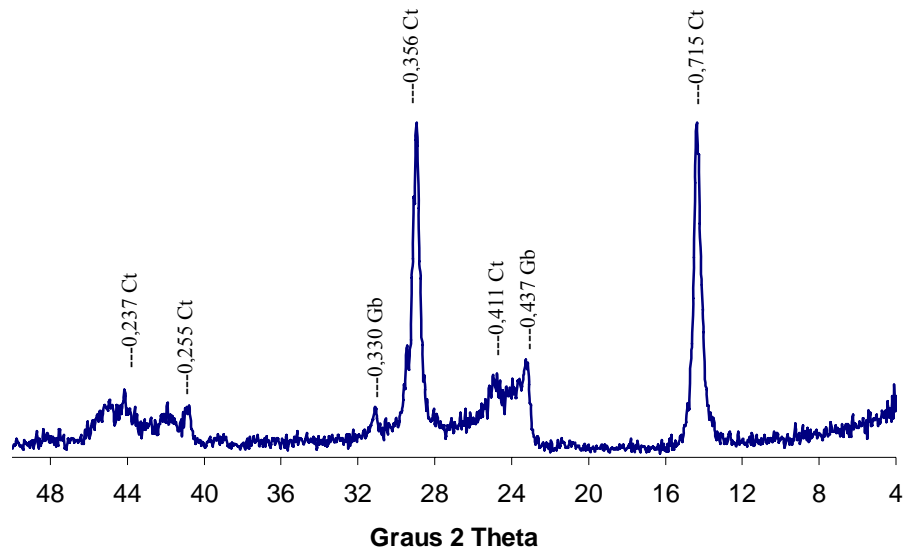
ANEXOS



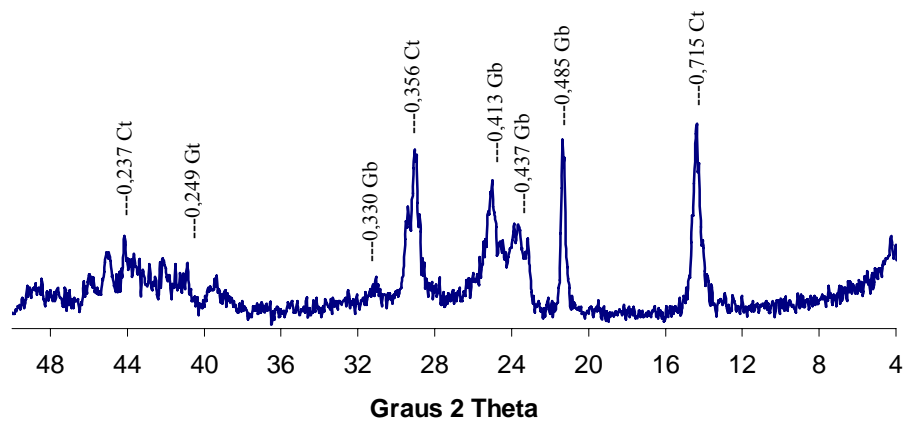
Anexo A. Difratoograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Cambissolo (Patrocínio-MG) contendo Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Esm: esmectita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.



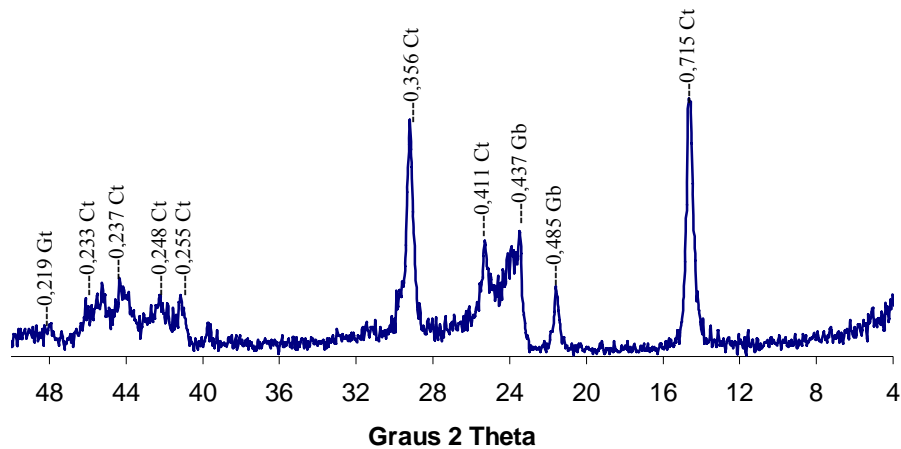
Anexo B. Difratoograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Criossolo (Antártica) contendo Alofanos e aluminossilicatos amorfos. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.



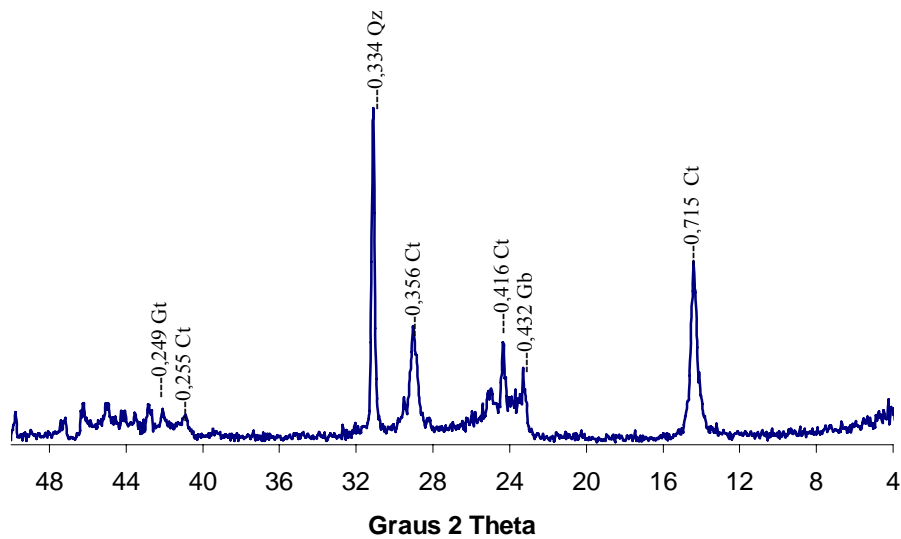
Anexo C. Difratograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Latossolo (Berilo-MG) contendo Ct: caulinita; Gb: gibbsita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.



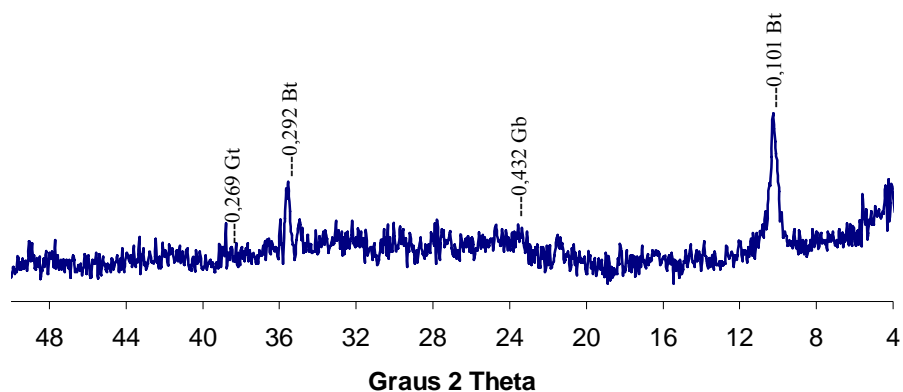
Anexo D. Difratograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Latossolo (Caratinga-MG) contendo Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.



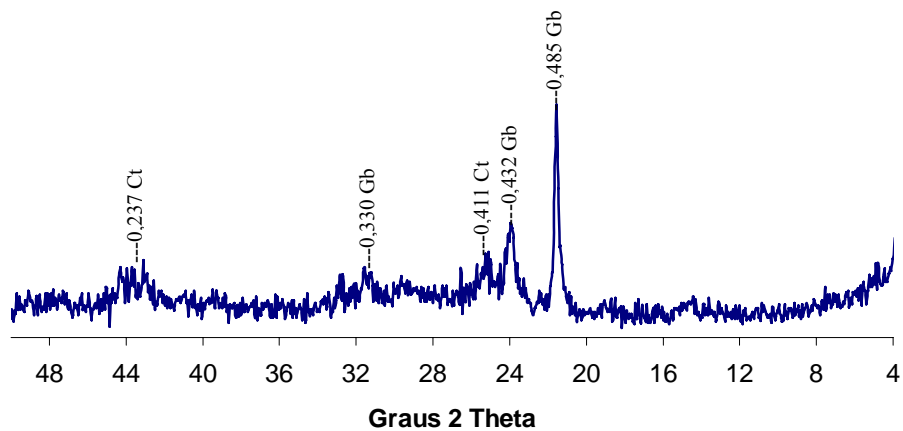
Anexo E. Difratoograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Latossolo (Crato-CE) contendo Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Gt: goethita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.



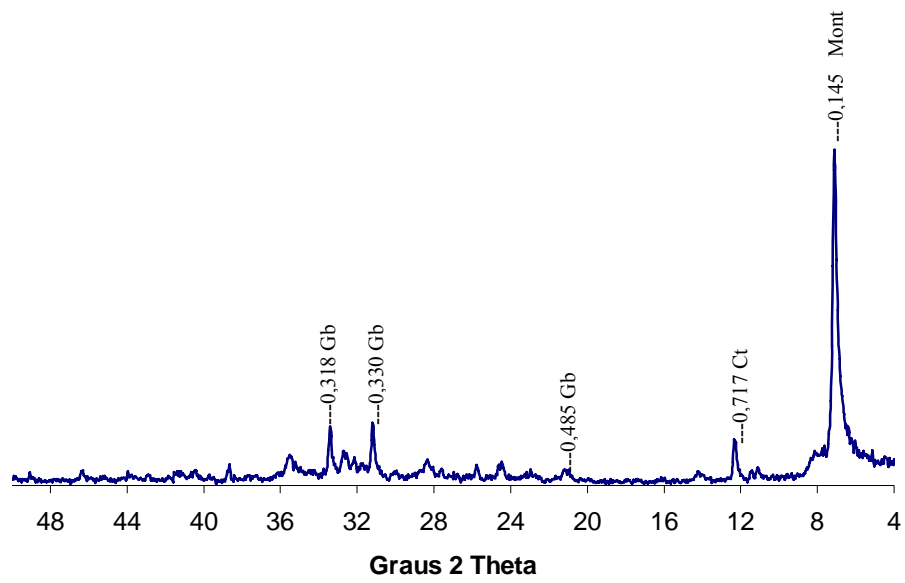
Anexo F. Difratoograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Latossolo (Garanhuns-PE) contendo Ct: caulinita; Gb: gibbsita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.



Anexo G. Difratoograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Organossolo (Ilha de Trindade) contendo Gb: gibbsita; Gt: goethita; Bt: biotita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.



Anexo H. Difratoograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Organossolo (Serra Verde-MG) contendo Ct: caulinita; Gb: gibbsita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.



Anexo I. Difratoograma de raios X da fração argila (montagem orientada) de amostra de Vertissolo (Cachoeirinha-PE) contendo Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Mont: montmorillonita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DE FRAGMENTOS DE MADEIRA PETRIFICADA DA ILHA REI GEORGE, ANTÁRTICA.

1. INTRODUÇÃO

A geologia da Antártica Marítima é dominada por rochas vulcânicas. A Formação Península Keller, com idade radiométrica de cerca de 66 milhões de anos (idade do limite Cretáceo-Terciário), apresenta inúmeros fragmentos de madeiras fossilizadas, a maioria encontrada nos piroclastos e brechas basais de fluxos piroclásticos.

Existem dois processos de fossilização da madeira: carbonização e petrificação. Acredita-se que o grupo de fragmentos de madeira selecionado tenha passado pelos dois processos, portanto representam, fragmentos de madeira petrificada e carvoejada (Schaefer et al., 2004).

A petrificação da madeira é o processo em que há a substituição total ou parcial do material orgânico original por uma matriz mineral, conservando, no entanto, as estruturas morfológicas macro e microscópicas da madeira. Os compostos mineralizadores são: sílica, calcita, goethita, pirita, dolomita, fosfato de cálcio.

Os fatores que favorecem a petrificação pela sílica são: a) organismo depositado em água rica em sílica solúvel; b) remoção parcial ou total de material orgânico, possibilitando entrada de sílica; c) cristalização gradual da sílica, permitindo a conservação das estruturas; d) mecanismos de enrijecimento rápidos o suficiente para estabelecer uma estrutura resistente ao longo do tempo geológico (Kuczumow et al., 2001; Siurek et al., 2003; Nowak et al., 2005).

Algumas das questões pendentes apontadas pela literatura são: (1) a identificação dos processos de substituição da matriz orgânica por uma matriz mineral; (2) a elucidação das causas das diferenças de cores, principalmente nas estruturas anulares; (3) a

confirmação da presença de formas menos cristalinas de sílica em associação com carbono e identificação da forma assumida pelo carbono em madeiras petrificadas.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar química e mineralogicamente um grupo de amostras de fragmentos de madeira petrificada provenientes da Ilha Rei George, na Península Antártica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição das amostras

O material analisado constitui-se de fragmentos de madeira petrificada coletados na Ilha Rei George, na Península Antártica. Antes das análises procedeu-se à trituração das amostras em almofariz de ágata e peneiramento em malha de 250 mesh. (Figura 1).



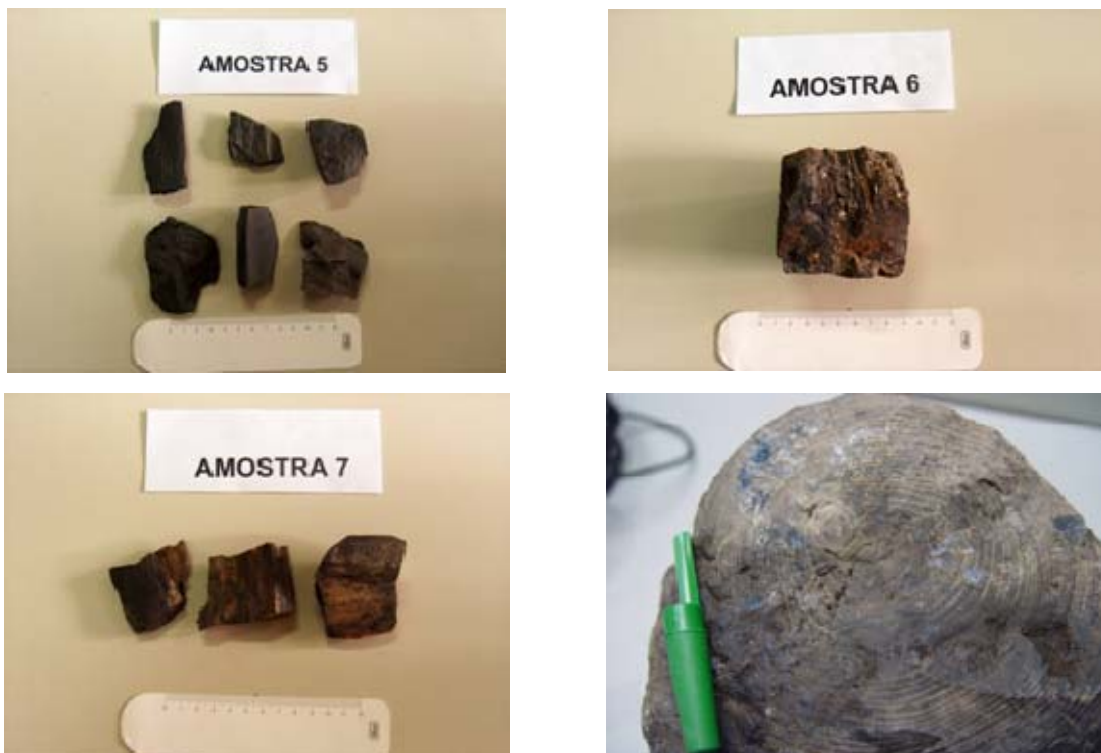


Figura 1. Fotos em câmera digital de fragmentos de madeira petrificada da Antártica.

2.2. Análises físico-químicas

2.2.1. Termodegradação da MO contida em madeira

Amostras de 1,000 g de madeira ($n= 7$) foram pesadas e submetidas às seguintes temperaturas: 25; 100; 200; 300; 400 e 500 °C. Foram anotados as massas iniciais e finais das amostras após cada seção, informação que foi utilizada para calcular a perda de massa relativa das amostras. As testemunhas foram mantidas à temperatura ambiente. O aquecimento foi realizado em forno mufla.

2.2.2. Perda de massa relativa

Peso inicial e final das amostras de madeira foram submetidas a termodecomposição em forno mufla. O peso inicial da amostra foi considerado como 100 % do material. As perdas foram expressas em termos de percentagem.

2.2.3. Análise elementar

Ataque triácido ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4 + \text{HF}$) para abertura das amostras. Elementos: Al, As, B, Ba, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Ti, V, Zn extraídos de acordo com Embrapa (1997) e quantificados por ICP-OES; C, H, N, quantificados por analisador elementar. Silício extraído em meio alcalino forte (NaOH) e dosado por ICP-OES em capela.

2.2.4. Carbono orgânico total

O carbono orgânico total foi determinado pelo método proposto por Yeomans e Bremner (1988).

2.3. Análises mineralógicas

Realizada pela técnica de difração de raios X, após preparação de lâminas escavadas contendo amostras de madeira petrificada (100 mesh). Para realização dessa etapa foi utilizado difratômetro Rigaku com tubo de cobalto e filtro de níquel, no intervalo de varredura de 4 a 48° e 20 a $50^\circ 2\theta$. Para confirmação do mineral grafite, trataram-se as amostras com 5 mL de HF concentrado, 3 mL de HNO_3 concentrado e 5 mL de ácido bórico em Microwave Digestion System (MDS 200), com pressão de 100 PSI e temperatura de 220°C , pelo tempo de 45 minutos.

2.4. Análise estatística

As análises estatísticas realizadas foram de correlação simples de Pearson (SAS Institute, 1999).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, os fragmentos de madeira petrificada e carvoejada concentram Fe, Al, Mg e Ca. Houve correlações lineares positivas entre Fe-Al, Fe-Mg e Al-Mg com coeficientes altos e significativos (Tabela 1). Na Tabela 2, pode-se observar que em todas as amostras o Fe foi o elemento mais abundante com valores entre 90,21 a 468,21 mg L⁻¹, seguido pelo Al (36,27 a 227,44 mg L⁻¹), Si (57,04 a 137,09 mg L⁻¹), Mg (9,56 a 116,32 mg L⁻¹) e Ca (58,63 a 65,43 mg L⁻¹). Apresenta ainda, valores baixos e variados de Mn (0,35 a 3,18 mg L⁻¹), B (0,22 a 12,48 mg L⁻¹), Cu (0,22 a 4,80 mg L⁻¹), Ti (4,03 a 12,02 mg L⁻¹) e V (0,01 a 2,19 mg L⁻¹).

Os teores de Ba, As, Pb, Se, Cd, Cr, Mo, Ni e Zn encontram-se abaixo do nível de detecção do ICP. Os teores de carbono orgânico total (COT) encontrados foram muito altos, variando de 5,41 a 19,94 dag kg⁻¹ (Tabela 3) e ao longo das temperaturas (Figura 4), sendo a amostra 2 a que apresentou os maiores teores de CO e a amostra 7, a que apresentou os menores teores de CO.

Observou-se que os maiores teores de Fe, Al, Mg e Ca correlacionam-se com os maiores teores de COT, indicando sua associação com a biomassa vegetal. O mesmo comportamento foi observado para o C total determinado por analisador elementar (5,30 a 28,0%). O C inorgânico das amostras, provavelmente na forma de carbonatos, variou de 0,17 a 4,59% (Tabela 3).

As análises de raios X mostraram picos claros de quartzo (0,334 nm) nas amostras analisadas, e algumas mostraram também picos prováveis de óxido de Fe (goethita ou hematita). Os resultados obtidos indicam que a matriz mineral no material petrificado analisado é predominantemente constituída por sílica na forma mais cristalina assumida pelo quartzo e secundariamente por um outro mineral ou minerais que possuem relativa abundância em Fe, Al e Mg (Figura 2).

O tratamento das amostras com ácido fluorídrico, ácido nítrico e ácido bórico em microondas permitiram a eliminação dos minerais silicatados, e com isso foi possível confirmar o mineral grafite (Figura 3) como a forma assumida pelo C nas amostras de madeira. Segundo Dana (1969), o grafite não é atacado pelos ácidos. É importante ressaltar que há sobreposição dos picos de quartzo (0,3343 nm) com o grafite (0,3348 nm). Essa

situação pode ter dificultado por muito tempo a identificação de grafite em amostras de rochas, sobre outros materiais como a madeira petrificada.

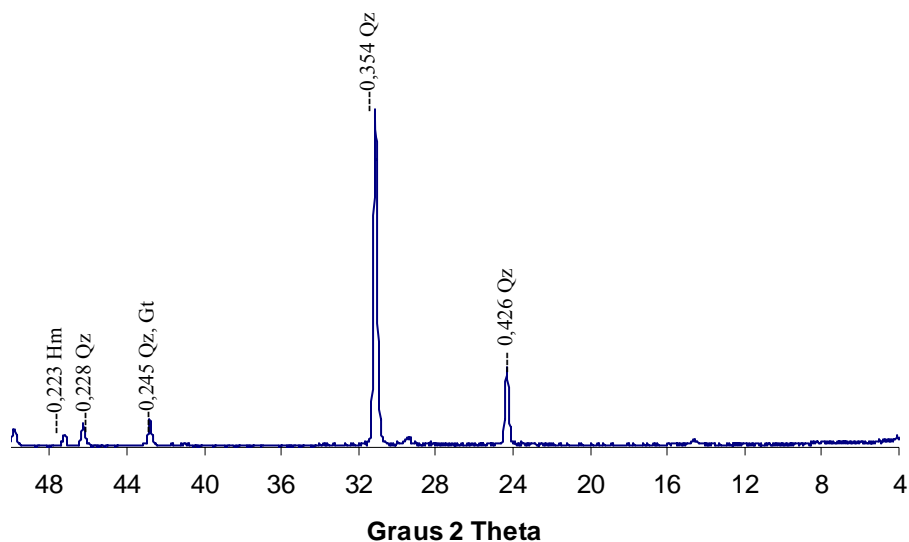


Figura 2. Difratoograma de raios X (montagem em pó) de amostra de madeira petrificada antes do ataque ácido, contendo Qz: quartzo, Gt: Goethita, Hm: Hematita. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.

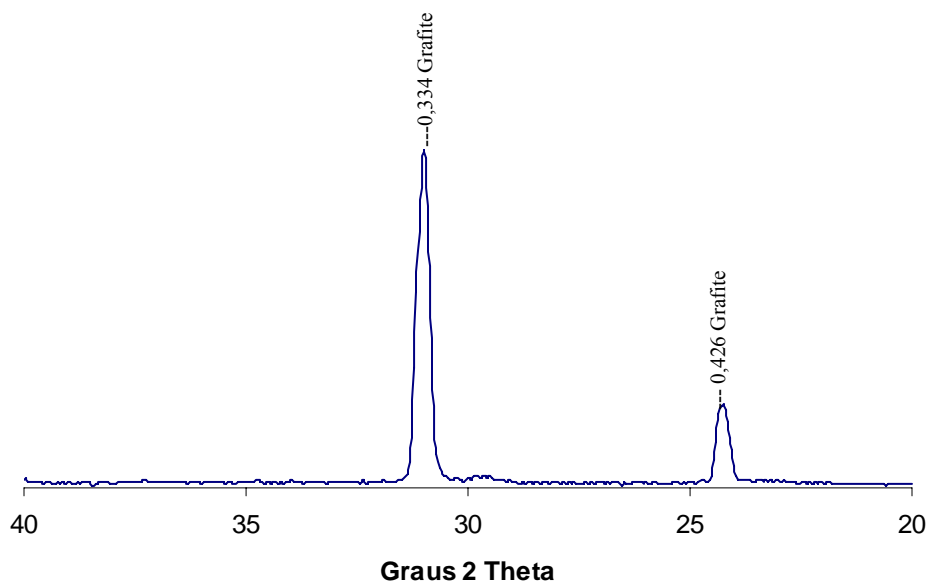


Figura 3. Difratoograma de raios X (montagem em pó) de amostra de madeira petrificada após ataque ácido, contendo Grafite. Números representam espaçamento d em nm. CoK α /Ni.

Tabela 1. Valores de correlação linear entre teores de alguns elementos nas amostras de madeira petrificada.

Elemento	Al	Ca	Fe	Mg
	Valor r			
Al	1,00000	0,79783	0,99997**	0,99946*
Ca	0,79783	1,00000	0,80260	0,81727
Fe	0,99997**	0,80260	1,00000	0,99969*
Mg	0,99946*	0,81727	0,99969*	1,00000

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 2. Concentração de elementos nos extratos após ataque tri-ácido ($\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4 + \text{HF}$) para abertura das amostras e Si extraído em meio alcalino forte (NaOH).

Amostra	Elemento												
	Si	Al	Ba	Ca	Fe	Mg	Mn	Pb	B	Cu	Ti	V	Zn
-----mg/L-----													
1	86,83	72,75	-	62,21	127,04	27,04	0,75	-	0,67	0,64	12,02	0,03	-
2	97,37	200,65	-	58,63	414,27	103,00	2,90	-	7,87	3,18	7,29	1,12	0,15
3	88,21	227,44	1,28	57,55	468,21	116,32	3,18	2,41	12,48	4,42	9,65	2,19	0,23
4	137,09	165,52	0,65	75,31	278,17	67,11	2,18	-	1,37	4,80	19,74	0,10	-
5	102,19	144,94	-	65,43	251,64	61,11	1,86	-	0,22	3,35	6,99	0,61	-
6	88,92	79,31	-	63,81	152,02	30,70	0,98	-	0,00	1,90	4,03	0,01	-
7	57,04	36,27	-	59,44	90,21	9,56	0,35	-	0,23	0,22	10,43	0,00	-

- Teores abaixo do nível de detecção do ICP.

Figura 4. Carbono Orgânico em fragmentos de madeira petrificada submetida a tratamentos térmicos.

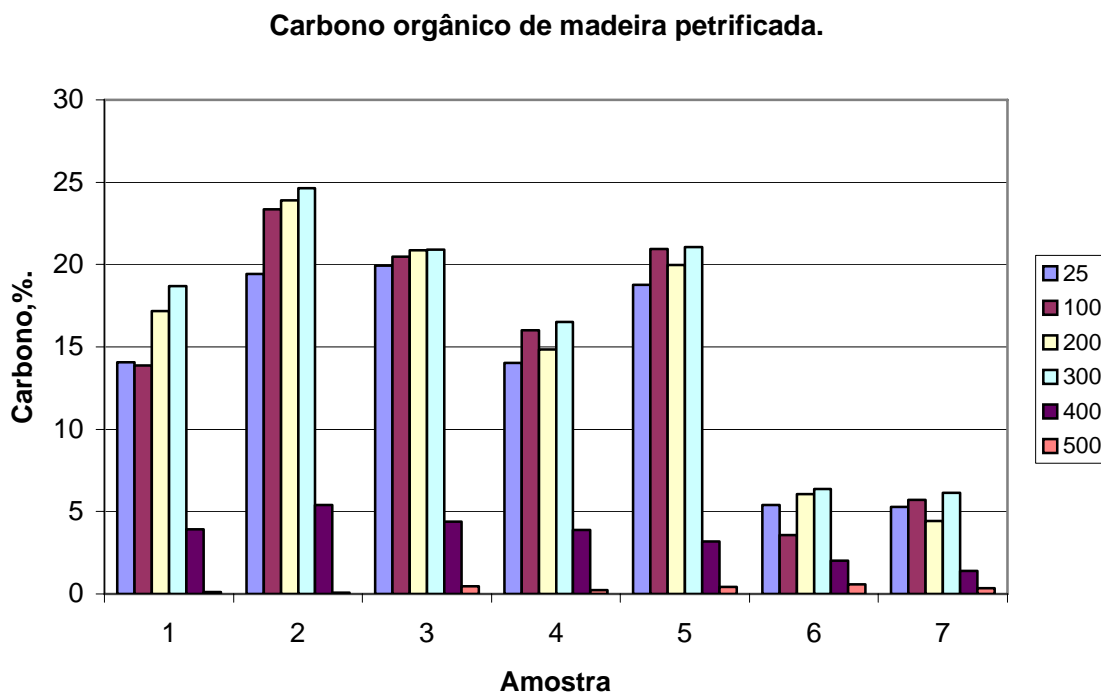


Tabela 3. Carbono Orgânico determinado por dois métodos e submetidos a tratamento ácido para eliminação dos carbonatos.

Amostra	COT (%)	C-CHN (%)	C-CHN (%) (HCl 1,2 mol L ⁻¹)	Perdas (%) (HCl 1,2 mol L ⁻¹)
1	14,06	20,34	18,67	1,67
2	19,41	28,00	24,45	3,55
3	19,94	26,59	22,00	4,59
4	14,01	18,64	18,11	0,53
5	18,77	21,59	18,97	2,62
6	5,41	5,30	5,13	0,17
7	5,27	20,29	19,07	1,22

4. CONCLUSÕES

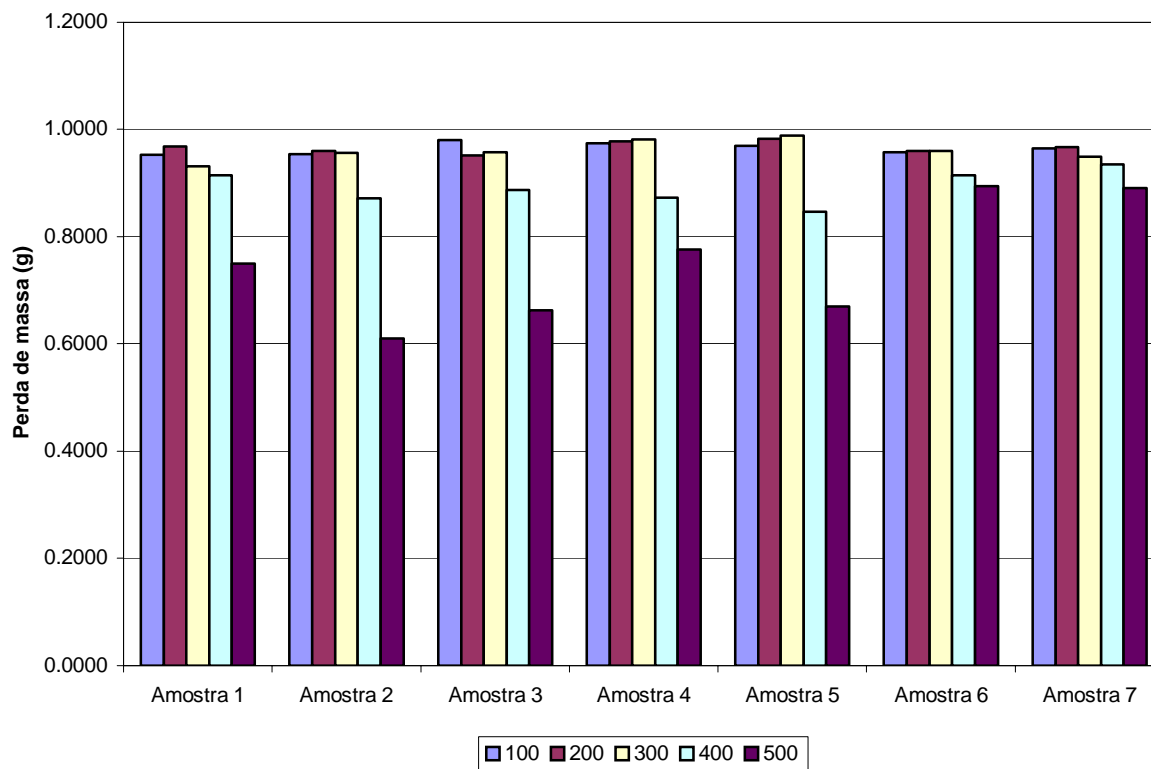
- 1) Os valores de carbono imobilizados ilustram a capacidade de imobilização durante processos vulcânicos, através da temperatura elevada em ambiente pobre em oxigênio;
- 2) A forma de carbono mineral nos fragmentos de madeira fossilizada é grafite;
- 3) Além do grafite, a matriz mineral no material petrificado é constituída por sílica na forma de quartzo e por um outro mineral ou minerais, pouco cristalinos, que possuem relativa abundância em Fe, Al e Mg, não detectáveis pelo difratograma de raios X.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. F. Recursos Minerais do Brasil. V.1. Materiais não metálicos. Rio de Janeiro. 1960.
- DANA, J. D. Manual de Mineralogia. V.1. Tradução: FRANCO, R. R. Editora da Universidade de São Paulo, 1969. 354p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p. : il.
- KUCZUMOW, A.; CHEVALLIER, P.; CHUL-UN RO.; WAJNBERG, P.; KALITA, J.; SIUREK, J. Microspectrometric Investigation of Petrified Wood from South-Eastern Poland. **Mikrochim. Acta** 137, 173-183. 2001.
- NOWAK, J.; FLOREK, M.; CHEVALLIER, P.; KUCZUMOW, A et al. Composite structure of wood cells in petrified wood. **Materials Science and Engineering C**. 25, 119-130. 2005.
- SANTOS, R. F.; GUEDES, I. M. R.; RIBEIRO, S. M.; SCHAEFER, C. E. R. G.; COSTA, L. M. Análise elementar de fragmentos de madeira petrificada da Ilha Rei George, Antártica. In: XIX Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química – Minas gerais, Ouro Preto (CD-ROM). 2005.
- SAS STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. User's guide: Statistics. Version 6.12, NC; SAS Institute, 1996.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; FRANCELINO, M. R.; SIMAS, F. N. B; COSTA, L. M. Geologia e geotectônica da Península Keller, Antártica Marítima. p.7-13. In: SCHAEFER, C. E. G. R et al. Ecossistemas Costeiros e Monitoramento Ambiental da Antártica Marítima. Viçosa: NEPUT, 2004. 192p. il.
- SIUREK, J.; CHEVALLIER, P.; KUCZUMOW, A. et al. Studies on the wood tissue substitution by silica and calcite during the preservation of fossil wood. **Journal of Alloys and Compounds**. 362, 107-115. 2004.

ANEXOS

Anexo A. Perda de massa em amostras de fragmentos de madeira petrificada submetida a tratamentos térmicos.



CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DE FITÓLITOS EM HORIZONTES SUPERFICIAIS DE SOLOS DE DIFERENTES ECOSSISTEMAS

1. INTRODUÇÃO

Fitólitos são corpos silicosos microscópicos amorfos aos raios-x, que resultam de processos no qual determinadas plantas superiores depositam sílica intra e extra celular após absorve-la da solução do solo. O termo fitólito é de origem grega e significa *pedra de planta* e é freqüentemente utilizado para indicar todas as formas de substâncias minerais secretadas por plantas superiores sejam elas de composição silicosa ou calcária (Sanches & Costa, 1998).

Quando os primeiros pedólogos observaram certas formas microscópicas de sílica opalina no solo, logo interpretaram esses materiais como sendo provenientes de esponjas e até como carapaças silicosas de microorganismos que viveriam nas células de plantas terrestres. Trata-se de corpúsculos de sílica, variando de 15 a 100 micra, densidade 2,0 a 2,3, índice de refração 1,42 a 1,45, cuja concentração pode alcançar até 3% do peso do solo (Sendulsky & Labouriau, 1966).

O trabalho pioneiro para interpretação correta desses corpúsculos de sílica foi o estudo do pedólogo russo Ruprecht (1986), em que se descobriu a gramínea *Stippa Pennata L.* como a principal fonte desses corpos no Chernozem das estepes russas. Efetivamente esta planta incorpora 429 kg de sílica por hectare, por ano ao solo dessas estepes, enquanto os primeiros contribuem apenas com 15 kg/ha/ano. Outras fontes vegetais desses corpos silicosos do solo foram identificados em outros solos russos, em solos de Illinois (EUA) e nas pradarias de Óregon (EUA). Tais corpos silicosos do solo, originados pela decomposição de plantas, foram denominados fitólitos (Sendulsky & Labouriau, 1966).

Quanto ao destino final dos fitólitos foi observado o ataque centrípeto (dissolução), pelo qual eles são gradualmente transformados em calcedônea – sílica microcristalina, transparente e translúcida – e eventualmente dissolvidos. A velocidade do processo que conduz à sua destruição depende das condições ambientais. A duração média

de um fitólito é estimada em certos sítios da Austrália em cerca de mil anos; nas pradarias de Oregon em 4500 a 7000 anos. Fitólitos oriundos de 10 espécies identificadas de gramíneas ocorrem na jazida arqueológica de Hastimpura (Índia), datada de 1100 anos AC até o século III DC, o que daria para estes fitólitos uma duração de 1554 a 3054 anos. Fitólitos em paleossolos da Austrália são atribuídos ao Plioceno (Sendulsky & Labouriau, 1966).

A análise dos fitólitos e sua relação com a vegetação é uma promissora ferramenta para estudos da história ambiental nos trópicos úmidos (Piperno, 1988).

Quanto ao interesse ecológico do estudo de fitólitos em ecossistemas, as formações vegetais abertas, via de regra, são muito mais ricas em indivíduos e espécies de gramíneas que as formações florestais. Disso decorre que os solos de tais formações abertas devem receber uma carga anual de fitólitos de gramíneas muito maior que áreas equivalentes de solos sob florestas. O contraste desses solos em concentração de fitólitos será, então, apropriado para estudar a variação histórica das fronteiras entre florestas e formações abertas confrontantes, mediante a prospecção da distribuição vertical da concentração de fitólitos ao longo de transectos que cruzem as fronteiras atuais, caminhando nos dois sentidos. Cabe aqui ressaltar o pioneiro, intenso e exaustivo trabalho do professor Labouriau e colaboradores em identificar e caracterizar os corpos silicosos de gramíneas do Cerrado (Sendulsky & Labouriau, 1966; Campos & Labouriau, 1969; Sondahl & Labouriau, 1970).

Os compostos orgânicos podem ser depositados e preservados entre algumas das camadas de sílica, podendo ser utilizado na datação pelo método do C^{14} . Nesse sentido, Costa et al. (1992), sugerem que os fitólitos encontrados no solo apresentam um bom potencial para esse tipo de datação. As espículas de esponjas⁶ ou os fitólitos, quando presentes no solo, podem ser úteis em estudos que dependam de determinações de idade de solos ou sedimentos, podendo também contribuir com os estudos sobre seqüestro de carbono (Parr & Sullivan, 2005).

Em termos mundiais os estudos sobre opala (sílica biogênica) concentram-se na Botânica, Arqueologia e Ciência do Solo (65%). Outras áreas tem contribuído para o

⁶ Espículas de esponjas são corpos silicosos formados a partir de um filamento axial orgânico e pela deposição de sílica em torno dele.

avanço desse assunto, tais como: Paleontologia, Geologia, Ecologia, Agricultura, Microscopia, Antropologia e Geoquímica. A grande maior parte dos estudos concentram-se em aspectos morfológicos dos fitólitos (fito = planta e lito = rocha).

No Brasil, poucas pesquisas sobre fitólitos foram realizadas, entretanto, segundo Sanches & Costa (1998), já se acumularam informações importantes em nível de Brasil, tanto para o desenvolvimento de trabalhos como para a aplicação prática e em conhecimento científico.

Há um considerável número de formas de fitólitos, sendo os principais os halteres, bastonetes, celas/rondeles, esferóides lisos e espinhosos, blocos, tricomas rígidos e flexíveis e buliformes (Anexo 1, 2 e 3). Para cada tipo há uma variedade de tamanhos e formas. Além disso, o silício pode estar presente nas paredes celulares e em estômatos. Outros organismos como as Diatomáceas e Esponjas marinhas e de água doce também produzem uma variedade de corpos silicosos ou opala biogênica (Costa, 2005).

As monocotiledôneas são muito ricas em fitólitos com destaque para as gramíneas e ciperáceas. Muitas dicotiledôneas produzem fitólitos que se localizam em diferentes partes das plantas. Para que os fitólitos sejam estudados, é necessário extraí-los das plantas, dos solos e dos sedimentos. A extração ou purificação é uma etapa de grande importância para qualquer estudo subsequente. É importante ressaltar que os procedimentos adotados em laboratório devem gerar o mínimo possível de modificações químicas ou morfológicas dos fitólitos (Costa, 2005).

A extração não é tarefa fácil quando é feita a partir de solos e de sedimentos, já que é necessário remover a matéria orgânica, argila e as diferentes frações de areia. Os fitólitos concentram-se na fração silte (2 a 50 μm). Sabe-se que para dispersar uma amostra de solo são necessárias algumas etapas (Embrapa, 1997). Os corpos silicosos são constituídos de opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Em muitos casos o valor de n varia de 0 a 2. As ligações químicas de Si-O são consideradas muito fortes, o que ajuda entender porque eles são muito estáveis. Desse modo, os fitólitos suportam altas temperaturas e pressões, bem como o contato com os ácidos fortes concentrados, exceto o ácido fluorídrico. Eles têm pouca estabilidade em bases fortes (Costa, 2005).

Assim, os fitólitos podem ser extraídos em muflas, fornos microondas e em misturas de ácidos fortes na presença de água oxigenada. Em função disso, os fitólitos

podem ser preservados por muito tempo em solos, sedimentos e em rochas sedimentares como microfósseis. Daí sua importância em arqueologia e paleontologia como testemunhos de grupos de plantas nativas ou cultivadas em determinada área ou região (Costa, 2005).

Os fitólitos podem ser usados para determinação de idade de camadas de sedimentos ou horizontes de solos, já que o carbono ocluído neles é preservado por muito tempo, especialmente em solos de baixa drenagem ou em sedimentos em represas ou ainda em sedimentos recentes depositados nos oceanos (Costa, 2005).

A estabilidade os fitólitos não depende apenas das ligações Si-O, mas também dos compostos orgânicos contidos neles, bem como de vários elementos químicos metais e não metais que fazem parte de sua constituição. Alguns autores afirmam que os fitólitos têm concentrações significativas de Al, Fe, Ti, Mn, P, Cu, N e C. Percebe-se que o avanço nos estudos dos fitólitos depende de uma avaliação detalhada tanto dos compostos orgânicos como da parte inorgânica dos diferentes fitólitos produzidos nos diversos tipos de plantas, solos e condições climáticas. Esta área está praticamente intocada no território brasileiro com as suas mais variadas condições ambientais (Costa, 2005).

Alguns resultados podem ser esperados pelo que já se conhece dos fitólitos, mas não se conhece sua interação com os diferentes solos. Apesar de ser considerado como parte da fração silte, algumas características dos fitólitos como cargas superficiais, formas, etc., possivelmente darão outras características ao solo. Além destes aspectos discutidos, há muitos outros como seqüestro de carbono em fitólitos (Parr & Sullivan, 2005), ou ainda, análise dos fitólitos e sua relação com a vegetação como ferramenta para estudos da história ambiental (Piperno, 1988). Segundo Sanches & Costa (1998) ainda há pouco saber acumulado sobre o tema e muito a ser pesquisado sobre fitólitos nos solos e na vegetação do Brasil e do mundo.

A presente pesquisa tem por objetivo caracterizar morfologicamente fitólitos em horizontes superficiais de solos oriundos de diferentes ecossistemas terrestres.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Solos e áreas de estudo

Os solos foram: 01 Criossolo da Antártica, 02 Organossolos (Serra Verde-MG e Ilha de Trindade), 02 Cambissolos (Patrocínio-MG e Ibitipoca-NG), 04 Latossolos (Crato-CE, Garanhuns-PE, Berilo-MG, Caratinga-MG) e 01 Vertissolo (Cachoeirinha-MG). Maiores detalhes sobre esses ambientes podem ser visualizados no Capítulo 1.

2.2. Extração de fitólitos no solo

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-30 cm.

2.2.1. Procedimento de extração modificado de Costa (2004)

- 1) Secagem das amostras em temperatura ambiente;
- 2) Obtenção da terra fina por peneiramento;
- 3) Remoção da matéria orgânica na mufla: 500 °C por 5 h. Foram usados 5g de solo por cadinho de porcelana;
- 4) Tratar o material com HCl 10% para eliminação das impurezas contidas nas cinzas (relação 1:2,5);
- 5) O tempo de contato deverá ser de 1 h. Em seguida centrifugar a 2500 rpm pelo tempo de 5 min. Repetir essa etapa mais duas vezes com HCl (10%) e duas lavagens com H₂O destilada. Obs: descartar o extrato ou sobrenadante após cada lavagem.
- 6) Remoção de fração areia entre 0,250 a 2,000 mm;
- 7) Remoção da argila por sedimentação. Para descarte do sobrenadante usar técnica do sifonamento. Proceder dez agitações, uma a cada dez minutos;
- 8) Secar em estufa com ventilação forçada a 105-110°C;

2.2.2. Identificação de fitólitos

Preparação de lâminas lisas com amostras de silte, aplicação de óleo de imersão para melhorar visualização, seguido de identificação de fitólitos em microscópio óptico

Olympus CX31 (objetivas de 10 e 40 vezes). Foram escolhidos cinco campos para observação e contagem das morfologias de fitólitos presentes em cada solo.

2.2.3. Fotografia

Os fitólitos dos solos foram fotografados por câmera digital acoplada a microscópio Óptico Olympus CX31.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho demonstram que o material extraído dos solos estudados (Tabela 1), mais precisamente da fração silte de cada solo, refletem a riqueza e a pobreza de alguns ambientes quanto à sílica biogênica e corrobora a influência marcante do material de origem aliada à vegetação nesse quadro constatado. Nesse sentido, destaca-se a pobreza em sílica biogênica dos Latossolos e Vertissolo nordestinos sob remanescente de floresta subperenifólia e Caatinga hipoxerófila arbustiva e campos antrópicos (Garanhuns, Cachoeirinha e Crato), conforme pode ser visualizado na Tabela 2. Esse quadro de pobreza em sílica biogênica se assemelha com outros ambientes do Brasil, por exemplo: em Berilo, Caratinga e Patrocínio (MG). Os ambientes montanhosos apresentaram maior diversidade de morfologias. Destaque deve ser dado para a fração silte de Ibitipoca que apresentou quase 50% de sua constituição como sendo biogênica, refletindo a influência marcante do seu material de origem, que é o quartizito. Em outros solos, não tão ricos em sílica biogênica (Ilha de Trindade e Antártica) constatou-se a presença de diatomáceas⁷.

Do ponto de vista ecológico, através da caracterização de fitólitos no solo podem ser realizados trabalhos de análise de fronteiras, recomposição de vegetações passadas e, conseqüentemente, das mudanças ambientais ocorridas (Sanches & Costa, 1998).

Nos solos, os fitólitos têm muita influência, pois solos sob vegetação que produzem grandes quantidades de fitólitos e diferentes formas têm características distintas

⁷ Bot. Microrganismos autotróficos providos de uma rígida carapaça silicosa formada por duas valvas que se encaixam, e que, em algumas espécies, é ricamente ornamentada. Vivem na água doce e na salgada, formando, não raro, colônias gelatinosas. [Sin.: bacilariáceas, bacilariofíceas, bacilariófitas.]

daqueles que possuem vegetação com produção em menor quantidade, assim, por exemplo, solos sob bambuzal se diferenciam daqueles sob vegetação de palmáceas (Sanches & Costa, 1998). Tanto pela quantidade de fitólitos produzidos como pela diversidade de formas e características dos mesmos.

Tabela 1. Solo, ambiente, profundidade de coleta, carbono total e pH do solo de diferentes pedoambientes.

Solo/Local	Profundidade (cm)	COT Total YB (%)	pH do solo H₂O
Criossolo/Antártica	0-70	3,24	4,48
Organossolo /Ilha de Trindade	0-30	23,15	4,00
Organossolo /Serra Verde-MG	0-44	12,14	4,96
Cambissolo/Ibitipoca	0-20	30,00	4,21
Latossolo /Garanhuns-PE	0-30	0,90	5,61
Latossolo /Crato-CE	0-30	2,21	4,80
Latossolo/Berilo-MG	0-30	2,60	4,17
Latossolo /Caratinga-MG	0-30	4,52	4,96
Cambissolo /Patrocínio-MG	0-30	2,50	7,20
Vertissolo /Cachoeirinha-PE	0-30	1,00	7,30

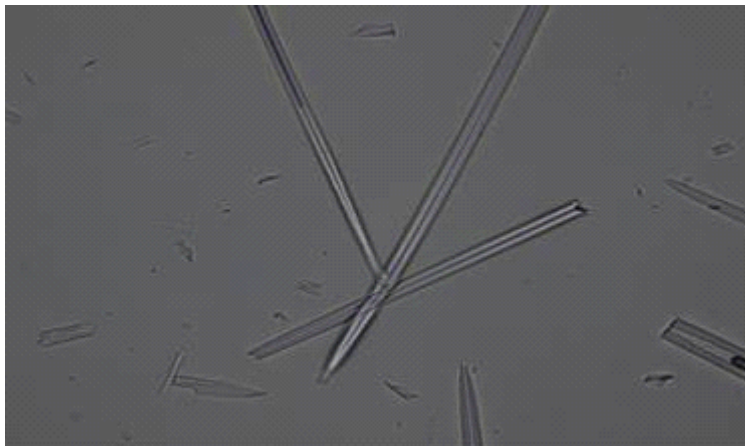
COT por YB = Yeomans & Bremner (1988)

Tabela 2. Descrição morfológica de fitólitos da fração silte em horizontes superficiais de solos provenientes de diferentes ecossistemas.

Tipos identificados	Abundância⁸	Forma	Vegetação	Local
06	03	Tecido silicificado, buliforme, bastonete, diatomáceas elíptica, halteres, cela.	Musgos e Líquens	Antártica
05	03	Diatomácea retangular, bastonete serrilhado, corpo silicoso perfurado castanho, cela mal formada, pólen.	Floresta nebular/transicional para campo rupestre com estande uniforme de <i>Cyathea delgadii</i>	Ilha de Trindade
04	02	Bastonete, buliforme, halteres, pedaço de espícula de esponja.	Floresta ombrófila densa montana	Serra Verde-MG
09	05	Bastonete de tamanhos variados, buliforme, cela, halteres, formas retangulares, outras formas, pedaço de espícula de esponja, Forma não identificada,	Complexo rupestre de altitude	Ibitipoca-MG
04	02	Cruz, bastonete, forma retangular	Remanescentes de floresta subperenifólia	Garanhuns-PE
02	01	Bastonete corroído, cela	Floresta tropical perenifólia	Caratinga-MG
02	01	Célula buliforme, bastonete	Floresta subperenifólia	Patrocínio-MG
02	01	Bastonete, halteres	Caatinga hipoxerófila arbustiva e campos antrópicos	Cachoeirinha-PE
02	01	Bastonete, bastonete corroído	Floresta subperenifólia	Crato-CE
02	01	Bastonete	Cerrado tropical subcaducifólio	Berilo-MG

⁸ O termo abundância refere-se a regularidade com que as formas aparecem nos campos e nas lâminas observadas, onde 01 significa pouco abundante, 03 medianamente abundante e 05 muito abundante.

Figura 1. Algumas formas de fitólitos (sílica biogênica), encontradas em horizonte superficial de Ibitipoca-MG sob microscópio óptico.



Espículas de esponja



Halteres (dumbell)



Bastonete serrilhado, Célula buliforme (pá de ventilador)

4. CONCLUSÕES

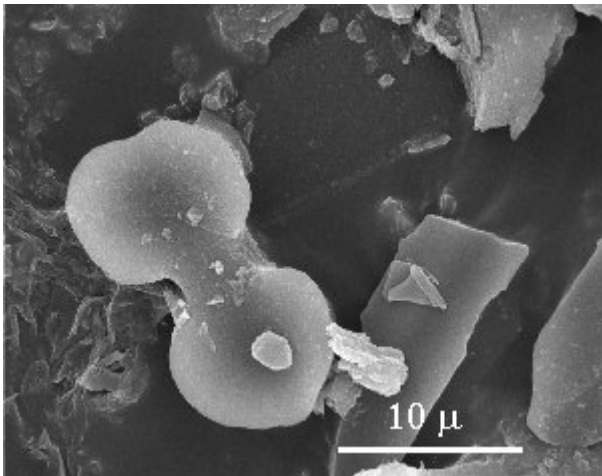
- 1) Há uma natural variedade de formas e abundância de fitólitos nos solos estudados, quais sejam: bastonetes de tamanhos variados, buliforme, cela, halteres e formas retangulares, sendo bastonete e buliforme as formas mais abundantes;
- 2) De maneira geral, a corrosão observada dentre todas as formas, foi maior nos buliformes, seguido dos bastonetes;
- 3) Os corpos silicosos foram bem mais abundantes e diversificados no único solo desenvolvido de quartzito, naturalmente rico em sílica, sendo a vegetação acumuladora neste elemento;
- 4) Nos Latossolos, não houve diferenças de abundância de fitólitos entre os solos sob Cerrado ou Mata Atlântica e Caatinga, comparados no presente estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

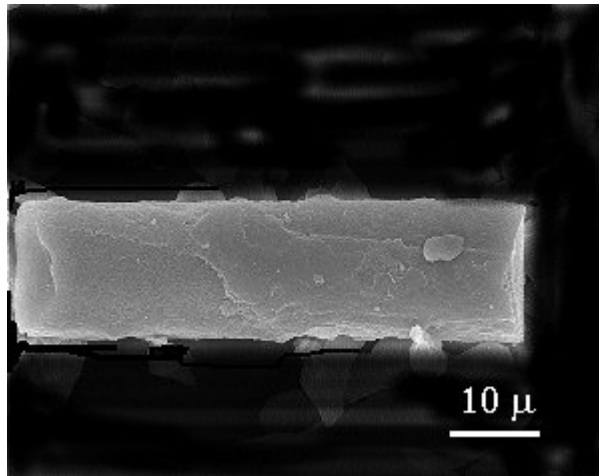
- CAMPOS, A. C. & LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados.II. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 4:143-151, 1969.
- CLARKE, J. The occurrence and significance of biogenic opal in the regolith. **Earth Science Reviews**, 60, 175-194. 2003.
- COSTA, L. M. Relatório interno de Pós-Doutorando, 23 páginas. 2004.
- COSTA, L. M. Seminário Especial apresentado ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. 2005.
- COSTA, L. M.; KELLER, W. D. & JOHNS, W. D. Espículas de esponja em solos de João Pinheiro, Minas Gerais. Revista Ceres, 39 (226): 597-603. 1992.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 1997. 212p. : il.
- <http://scirus.landingzone.nl/other/?q=phytoliths>
- LENTFER, C. J. & Boyd, W. E., 1998. A Comparison of Three Methods for Extraction of Phytoliths from Sediments. **Journal of Archaeological Science** (1998) 25, 1159-1183.
- PARR, J. F. & SULLIVAN, L. A. Soil carbon sequestration in phytoliths. **Soil Biology & Biochemistry**. 37, 117-124. 2005.
- PIPERNO, D. R. Phytolith Analysis. An Archaeological and Geological Perspective. Academic Press, London, 1988.
- SANCHES, E. C. & COSTA, L. M. Caracterização de fitólitos em plantas e solos. In: Relatório PIBIC/CNPq. Universidade Federal de Viçosa. 1998. 32 p.
- SENDULSKY, T. & LABOURIAU, L. G. Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados – I. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 38 suplemento: 159-170, 1966.
- SÖNDAHL, M. R. & LABOURIAU, L.G. Corpos silicosos de gramíneas dos cerrados – IV. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 5:183-207, 1970.

ANEXOS

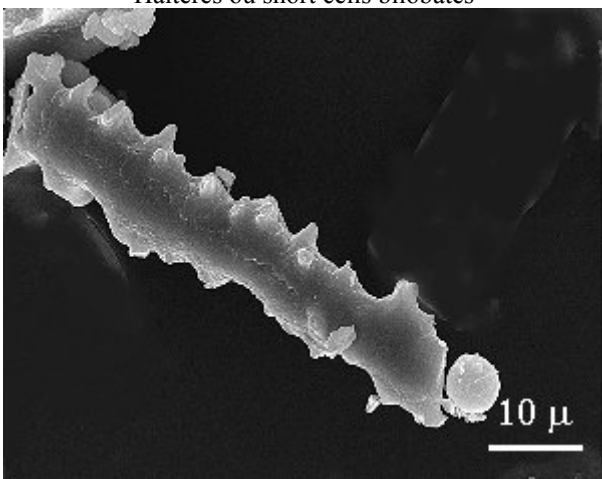
Anexo A. Ilustração de formas de fitólitos em gramíneas sob microscópio eletrônico. Fonte: <http://scirus.landingzone.nl/other/?q=phytoliths>



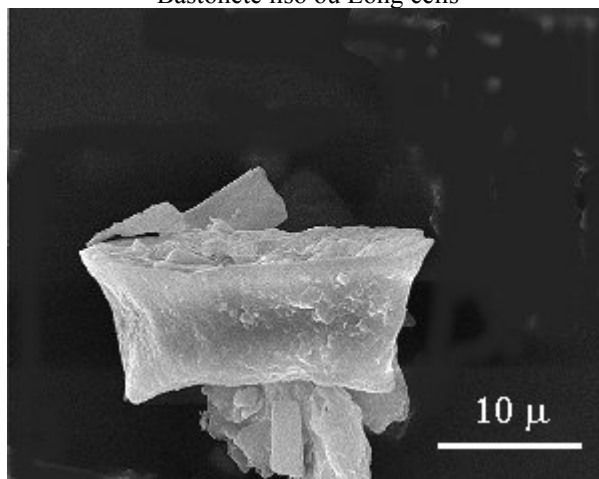
Halteres ou short cells bilobates



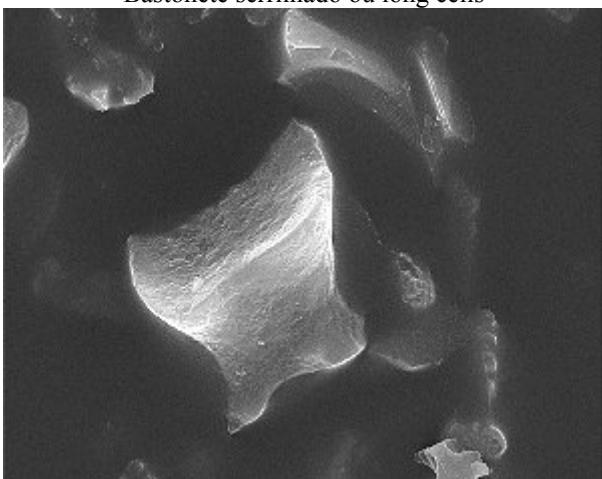
Bastonete liso ou Long cells



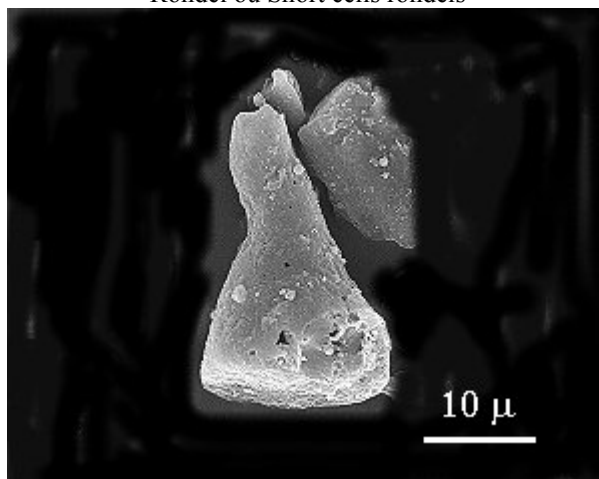
Bastonete serrilhado ou long cells



Rondel ou Short cells rondels



Cela ou Short cells rondels



Células buliformes