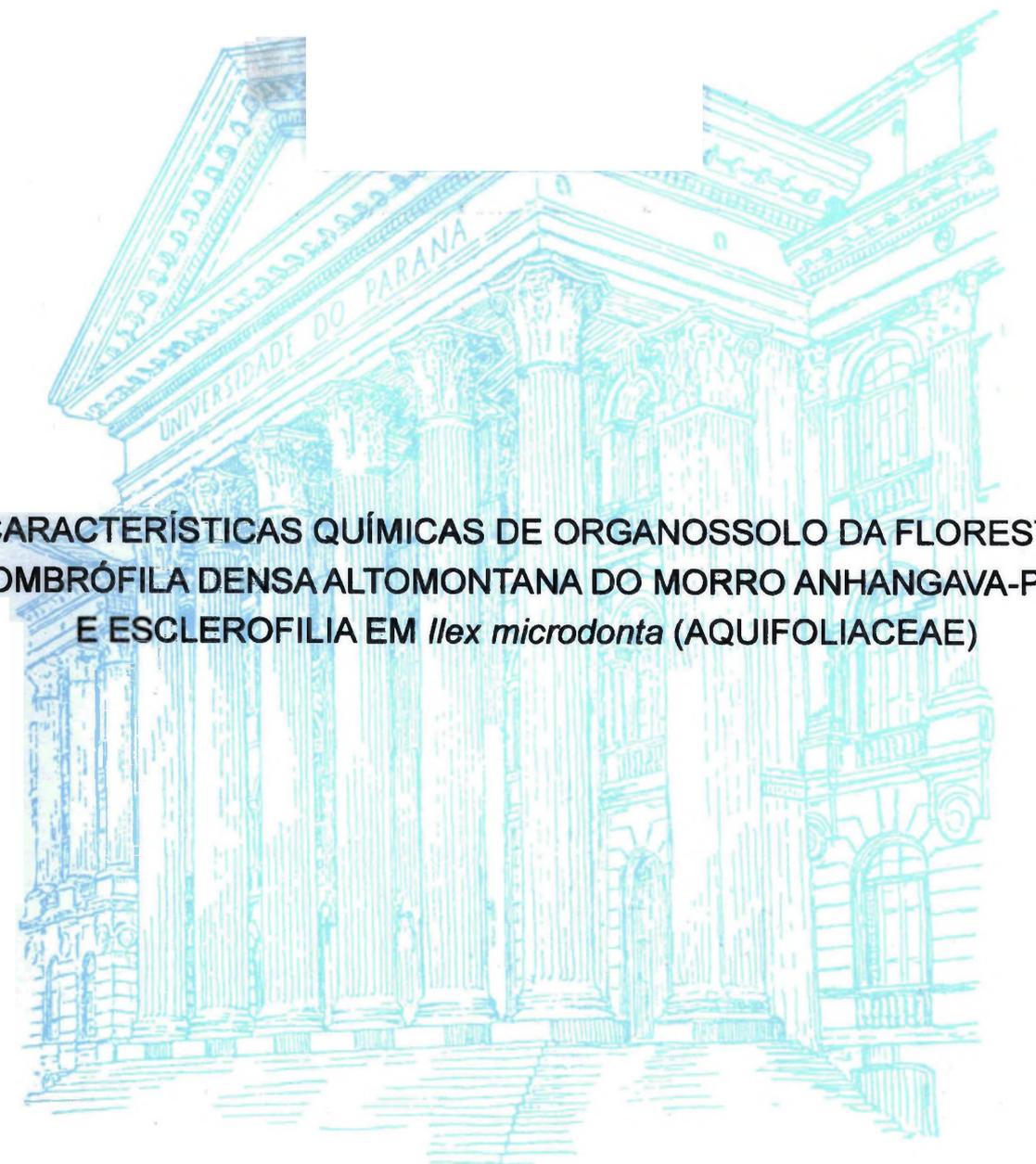


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO AQUINO DE PAULA



CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE ORGANOSSOLO DA FLORESTA
OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA DO MORRO ANHANGAVA-PR
E ESCLEROFILIA EM *Ilex microdonta* (AQUIFOLIACEAE)

CURITIBA

2008

RODRIGO AQUINO DE PAULA

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE ORGANOSSOLO DA FLORESTA
OMBRÓFILA Densa ALTOMONTANA DO MORRO ANHANGAVA-PR E
ESCLEROFILIA EM *Ilex microdonta* (AQUIFOLIACEAE)**

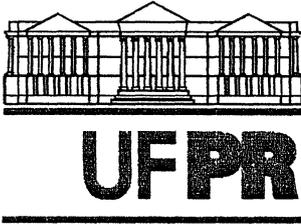
Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Dr^a Celina Wisniewski

Co-Orientadora: Dr^a Maria Regina Boeger

CURITIBA

2008



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcsolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcsolo@ufpr.br

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **RODRIGO AQUINO DE PAULA**, sob o título: "**Características químicas de Organossolo da Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro Anhangava e Esclerofilia em *Ilex microdonta* (Reineck)-AQUIFOLIACEAE**", requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Química e Biologia do Solo e Nutrição de Plantas"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 26 de junho de 2008.

Prof.^a Dr.^a Celina Wisniewski, Presidente.

Prof.^a Dr.^a Maria Regina Torres Beeger, I.^a Examinadora.

Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, II.^o Examinador.



AGRADECIMENTOS

Aos meus pais (José Benedito de Paula e Maria Aparecida A. de Paula),
Representam Deus da Maneira em que O Concebo. Tem meu respeito e amor.
Dedico a vocês todo o esforço desta dissertação. Que agora, meu amor por vós,
esteja imortalizado;

À Dr^a Celina Wisniewski,
Soberana em conhecimento, fonte de vida e esperança. Agradeço a DEUS por
ELE ter colocado-te no meu caminho... Agora sei que a fé sem ação é morta...

À Dr^a Maria Regina Torres Boeger,
Pelo apoio incondicional nos momentos de dificuldade;

Aos professores do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola;

Aos técnicos,
Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, Laboratório de Física do Solo e
Laboratório de Biogeoquímica que auxiliaram na realização das análises;

Ao Clube Curitibano,
Que disponibilizou o tempo necessário ao desenvolvimento desta dissertação;

Aos meus irmãos (Ricardo Aquino de Paula e Reynaldo Aquino de Paula),
Que sempre me apoiaram em minhas decisões;

À Premium Eletroeletrônicos pelo apoio tecnológico;

À minha Cunhada Patrícia Zella A. de Paula e meu lindo sobrinho Zé Ricardo;

A Luiz Alceu Ferreira (Gurizinho Del Rio),
Insista, persista e não desista...

À Camila,
Companheira nas horas difíceis deste percurso. Que Deus conceda-nos sempre
a serenidade necessária para aceitar as coisas que não podemos modificar,
coragem para modificar aquelas que podemos e sabedoria para distinguir umas
das outras...

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - VISTA GERAL DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA DO MORRO DO ANHANGAVA – PR, FACE SUL.....	18
FIGURA 2 - AMOSTRA DE SOLO RETIRADA COM AUXILIO DE TRADO TIPO HOLANDÊS	19
FIGURA 3 - FOLHAS JOVENS (DIREITA) E FOLHAS MADURAS (ESQUERDA) DE <i>I. microdonta</i>	20
FIGURA 4 - TRINCHEIRA ABERTA PARA ANÁLISE MORFOLÓGICA DO SOLO NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA NO MORRO DO ANHANGAVA – PR.....	24

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PESO PROPORCIONAL DOS COMPONENTES DO SOLO DA FLORESTA ALTO-MONTANA DO MORRO DO ANHANGAVA, PR.....	22
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA FRAÇÃO MINERAL DO ORGANOSSOLO DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA NO MORRO ANHANGAVA, PR.....	22
TABELA 3 - GRANULOMETRIA DO ORGANOSSOLO NO AMBIENTE DA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA NO MORRO ANHANGAVA, PR.....	25
TABELA 4 - TEORES TOTAIS DE MACRONUTRIENTES NA FRAÇÃO ORGÂNICA DO SOLO DO AMBIENTE ALTOMONTANO DO MORRO DO ANHANGAVA-PR.....	27
TABELA 5 - TEORES DE MACRONUTRIENTES NO EXTRATO AQUOSO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS SOLOS DO AMBIENTE ALTOMONTANO DO MORRO DO ANHANGAVA – PR.....	28
TABELA 6 - TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES DISPONÍVEIS NO ORGANOSSOLO DO AMBIENTE ALTOMONTANO DO MORRO DO ANHANGAVA – PR.....	29
TABELA 7 - MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE FOLHAS JOVENS E MADURAS DE <i>I. microdonta</i>	32

TABELA 8 -	TEORES MÉDIOS E DESVIO PADRÃO DOS MACRONUTRIENTES NAS FOLHAS NOVAS E MADURAS DE <i>I. microdonta</i> EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA NO MORRO ANHANGAVA, PR.....	35
TABELA 9 -	CONTEÚDO MÉDIO EM RELAÇÃO AO PESO DE 100 FOLHAS E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES EM <i>I. microdonta</i> , NA FLORESTA ALTOMONTANA DO MORRO DO ANHANGAVA, PR.....	41
TABELA 10 -	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ESCLEROFILIA DE <i>I. microdonta</i> E OS TEORES DE NUTRIENTES DO SOLO E DAS FOLHAS.....	44

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a esclerofilia, os teores e eficiência na utilização dos macronutrientes foliares da espécie *I. microdonta* (Reissek) – AQUIFOLIACEAE, na Floresta Ombrófila Densa Altomontana do morro do Anhangava, Quatro Barras, PR. A esclerofilia foi correlacionada estatisticamente com as características químicas do Organossolo sobre o qual a floresta se desenvolve e com os teores de nutrientes das folhas. Foram coletadas amostras de folhas novas e maduras, das quais foram estimados o peso seco, a área foliar, a área específica foliar, a densidade estomática e a espessura para avaliar a esclerofilia. Foram determinados os teores dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) totais e solúveis do solo e das folhas. O conteúdo foliar de nutrientes foi calculado a partir do peso de 100 folhas e a eficiência na utilização dos nutrientes foi calculada dividindo-se o conteúdo de nutrientes pela massa seca das folhas. O solo, classificado como Organossolo fólico fibrício/mésico/saprício, apresentou acúmulo de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição com espessura média de 20cm, pH extremamente baixo, caráter alítico e baixos teores de macronutrientes, especialmente P. As folhas maduras apresentaram maior grau de esclerofilia que as folhas mais jovens e ambas apresentaram baixos teores de P, teores muito altos de K e teores de N, Ca e Mg comparáveis a outras espécies do mesmo gênero. A relação N:P indicou que o P é o nutriente limitante no ambiente altomontano estudado. A espécie é muito eficiente na utilização do P. Embora correlações entre a esclerofilia e os teores de nutrientes do solo e das folhas tenham se mostrado fracas e não significativas, concluiu-se que a esclerofilia observada pode ser atribuída aos baixos teores de P no solo.

Palavras-chave: Floresta nebulosa; macronutrientes; eficiência na utilização de nutrientes; solos orgânicos.

ABSTRACT

Sclerophyllous traits as well as nutrient content and nutrient efficiency were evaluated in mature and new leaves of *I. microdonta* (Reisseck)-AQUIFOLIACEAE in the cloud forest at Anhangava mountain, Quatro Barras, PR. Dry weight, leaf area, specific leaf area, leaf thickness and stomatal density were measured to estimate degree of sclerophylly. The soil, classified as ORGANOSSOLO Fólico fibrico/mesico/saprico, (Histosol) according to the Brazilian classification system, was very acidic, with high levels of soluble Al, organic matter and cation exchange capacity. Nutrient levels were low, specially P. Older leaves had a higher degree of sclerophylly than younger ones and both had very low P content, low contents of Ca and very high K levels. Contents of N and Mg were similar to those of other species of the same genera. The high K content seems to be characteristic of *I. microdonta* in the cloud forest. Foliar N:P ratio indicated P to be the limiting nutrient and the species was found to be very efficient in P utilization. Although correlation coefficients among degree of sclerophylly and soil and foliar nutrient content were weak and non-significant, the results indicated that sclerophyllous characteristics of the leaves can be attributed at least in part to the low P availability in the soil.

Key-words: Cloud forest; leaf traits; soil nutrients; leaf nutrient content.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	ii
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1. OBJETIVO GERAL.....	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
3.1. ESCLEROFILIA.....	2
3.1.1 Medidas de esclerofilia.....	7
3.2. OS AMBIENTES ALTOMONTANOS TROPICAIS.....	8
3.2.1. Os ambientes altomontanos no Brasil.....	10
3.2.2. Os ambientes altomontanos no Paraná.....	12
3.3. <i>Ilex microdonta</i> REISSEK.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4.1. LOCALIZAÇÃO.....	17
4.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E QUÍMICA DO SOLO.....	18
4.3. COLETA E ANÁLISE DO MATERIAL FOLIAR.....	19
4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1. MORFOLOGIA DO SOLO.....	22
5.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DO SOLO.....	24
5.3. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS FOLHAS.....	31
5.4. MACRONUTRIENTES FOLIARES	35
5.5. CORRELAÇÕES.....	43
6. CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	56

1. INTRODUÇÃO

O termo esclerofilia, originado do grego “scleros” (duro) e “phylon” (folha), foi proposto ainda no séc. XIX, para distinguir folhas coriáceas e duras de plantas desenvolvidas em ambientes secos de plantas com folhas macias e/ou suculentas em ambientes sem déficit hídrico. Essas características morfológicas e anatômicas são particularmente expressivas em regiões com clima mediterrâneo caracterizado por invernos chuvosos e verões secos. No entanto, as mesmas características também foram observadas nos mais diversos ambientes. Vegetação esclerófila também é comum em solos pobres em nutrientes em outros tipos de clima, tanto tropicais como temperados, incluindo regiões com alta pluviosidade. Entre esses ambientes se incluem as florestas que recobrem as partes mais altas das montanhas das regiões tropicais, cujas folhas tem características bastante diferentes da vegetação das terras baixas na mesma latitude. Assim folhas esclerófilas tem sido correlacionadas também com a baixa disponibilidade de nutrientes, especialmente N e P, no solo e conseqüentemente nas folhas, embora o significado funcional desta adaptação morfológica ainda permaneça controverso, pois vários autores também a correlacionam com uma proteção das espécies contra herbivoria.

Os ambientes altomontanos – situados acima dos 1000 m de altitude na Serra do Mar paranaense – caracterizam-se pela ocorrência da Floresta Ombrófila Densa Altomontana e refúgios vegetacionais, conforme proposto por Veloso, Rangel Filho e Lima (1991). Na Floresta Altomontana da Serra da Baitaca, desenvolvida sobre Organossolos (25°23'S; 49°00'W), *Ilex microdonta* (Reineck) AQUIFOLIACEAE foi a espécie de maior valor de importância na comunidade (RODERJAN, 1994). As características macromorfológicas das folhas desta espécie neste ambiente são indicativos de esclerofilia – pequena área foliar, maior espessura, textura coriácea. Considerando que o microclima altomontano com elevada pluviosidade e alta umidade relativa do ar e as características morfológicas e físicas do solo de textura orgânica não são, a princípio indicativos de escassez de água, permanece a questão da disponibilidade de nutrientes, que merece ser investigada.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETVO GERAL

Avaliar a esclerofilia e a composição nutricional das folhas de *Ilex microdonta* na Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro Anhangava, Quatro Barras (PR), correlacionando-as com as características químicas do Organossolo sobre o qual ela ocorre.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Descrever morfológicamente e analisar quimicamente o Organossolo da Floresta Ombrófila Densa Altomontana do Morro do Anhangava onde os indivíduos de *Ilex microdonta* selecionados ocorrem;
- b) Determinar peso seco, área foliar, área específica foliar, densidade estomática e espessura das folhas novas e maduras de *I. microdonta* para avaliar a esclerofilia;
- c) Determinar os teores e os conteúdos (relativo ao peso de 100 folhas) dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) das folhas novas e maduras e calcular o índice de eficiência da utilização desses nutrientes;
- d) Correlacionar os teores dos macronutrientes disponíveis no solo e os teores de macronutrientes das folhas com o grau de esclerofilia;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. ESCLEROFILIA

O termo esclerofilia, originado do radical grego “skleros” que significa literalmente “duro” e foi proposto em 1903 por A.F.W. Shimper¹ para distinguir plantas xeromórficas com folhas coriáceas das plantas com folhas macias ou suculentas ou sem folhas (READ e SANSON, 2003). Folhas esclerófilas em geral

são mais espessas, apresentando cutícula e epiderme ou hipoderme mais grossas e com grande quantidade de esclerênquima (na forma de fibras ou escleródes) particularmente na bainha vascular, ou ainda com maior número de camadas de tecidos do parênquima paliçádico, conferindo-lhes uma alta densidade e espessura expressas através da massa específica por unidade de área (ROTH, 1984; EDWARDS, READ E SANSON, 2000).

Muitas dessas características anatômicas comuns em folhas de espécies que se desenvolvem em ambientes secos, segundo Wright, Westoby e Reich (2002), têm sido efetivamente interpretadas como uma adaptação ao estresse hídrico. No entanto, a ocorrência das mesmas características em folhas de espécies crescendo em solos pobres em nutrientes, em climas sem deficiência hídrica levou Richards², apud Peace e MacDonald, (1981), já em 1952, a sugerir a deficiência mineral como a principal causa da esclerofilia em florestas tropicais sem período de seca. O significado funcional da esclerofilia no entanto permanece controverso, com três grupos principais de hipóteses (EDWARDS, READ E SANSON, 2000; READ e STOKES, 2006): 1. Adaptação a déficit hídrico sazonal; 2. Adaptação (ou conseqüência) a solos pobres em nutrientes; 3. Proteção contra herbivoria aumentando a longevidade da folha de modo a otimizar o ganho de carbono por unidade de investimento. As hipóteses não são excludentes.

Vários autores (LOVELESS, 1961; SOBRADO e MEDINA, 1980; BONGERS; POPMA, 1990; TURNER, 1994; TANNER; VITOUSEK; CUEVAS, 1998; BUSSOTTI et al, 2000; EDWARDS, READ e SANSON, 2000; FONSECA et al, 2000; KUTBAY, 2000; READ, SANSON; LAMONT, 2005) concordam que a esclerofilia pode ser uma resposta adaptativa aos solos pobres em nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, uma vez que o metabolismo do nitrogênio nas plantas é regulado pela disponibilidade do fósforo. Beadle (1966)³, apud Marin e Medina (1981), concluiu que solos pobres em P são ocupados por vegetação

¹ SCHIMPER, A.F.W. *Plant geography upon a physiological basis*. (Transl. by W. R. FISCHER) Clarendon Press, Oxford.

² RICHARDS, P.W. *The tropical rain forest*. Cambridge University Press, England. 1952

esclerófila independente do regime de chuvas. Loveless (1962) estendeu um pouco a hipótese nutricional da escleromorfia e caracterizou folhas escleromorfas em função da sua alta relação entre fibra bruta/proteína bruta e baixos conteúdos de P por peso seco foliar. Sobrado e Medina (1980), analisando a vegetação de solos arenosos podzolizados extremamente oligotróficos na região amazônica concluíram que a anatomia e morfologia e teores de N e P das folhas era muito semelhante às folhas esclerofilas da vegetação mediterrânea.

Turner (1994), Aerts e Chapin (2000) e Boeger e Wisniewski, (2003) concluíram que a esclerofilia em plantas de ambientes com solos oligotróficos pode ocorrer concomitantemente com altas concentrações de compostos fenólicos em folhas mais jovens de algumas espécies. As folhas mais maduras apresentam maior desenvolvimento de tecidos lignificados, conferindo dureza à folha. Em contrapartida, as folhas mais novas apresentam maior concentração de compostos fenólicos do que as folhas mais maduras, mecanismos estes que visam reduzir a herbivoria. Folhas esclerófilas tem menor palatabilidade e digestibilidade para os herbívoros. Wright e Cannon (2001) e Wright, Westoby e Reich (2002) propuseram que a esclerofilia pode ser uma adaptação para aumentar o tempo de vida da folha em ambientes onde o crescimento rápido não é possível, resultando num tempo maior de retenção dos nutrientes. Jordan, Dillon e Weston, (2005) estudaram plantas da família Proteaceae uma das maiores da América do Sul, cujas folhas apresentam muitas estruturas anatômicas esclerofilas e consideraram que a pobreza em nutrientes parece ter sido mais importante que a aridez na evolução da escleromorfia em muitos grupos desta família. Os autores distinguem dois modelos para explicar este fato: o primeiro, segundo os resultados de Loveless (1962), propõe que os fotossintetizados que não são usados metabolicamente por causa da limitação do fósforo se acumulam como esclerênquima ou cutícula. Segundo este modelo, a distribuição destes tecidos seria não específica, provavelmente ocorrendo próximo aos locais onde foram produzidos no mesófilo da folha. Um modelo alternativo propõe que a

³ BEADLE, N.C.W. Soil phosphate and the delimitation of plant communities in western Austrália. *Ecology*, v.35, n3, p. 370-375, 1954.

escleromorfia pode proteger folhas com um tempo de vida mais longo em ambientes pouco produtivos, contra muitos tipos de danos e estresse, segundo Turner (1994). Este modelo explica a esclerofilia não somente em solos pobres em nutrientes, mas também em ambientes secos e frios. Também prevê que as estruturas escleromórficas devem se organizar de forma a maximizar a proteção da folha. Embora a maioria das pesquisas tenha se restringido a danos físicos, especialmente a herbivoria, a proteção contra a radiação excessiva também é importante uma vez que as espécies se desenvolvem a pleno sol. A influência da radiação ultra-violeta na produção de compostos secundários para evitar herbivoria também tem sido estudada (BASMANN, 2005). Os resultados de Wright; Reich; Westoby (2001) estão de acordo com este modelo alternativo. Os autores concluíram que a forte correlação encontrada entre o tempo de vida de uma folha e uma alta taxa entre sua massa e área sugere que um reforço estrutural das folhas as torna menos suscetíveis a herbívoros e outros danos físicos, possibilitando assim que elas vivam mais tempo. Tal estratégia permitiria que a abscisão das folhas maduras fosse controlada pela própria planta como uma resposta a estímulos fisiológicos ou sombreamento. Esse controle além de resultar num maior tempo de retenção dos nutrientes na folha, também permitiria a retranslocação dos nutrientes das folhas senescentes para locais de intenso crescimento. Em média, estima-se que até 50% da quantidade de N e P podem ser reaproveitados desta maneira (AERTS, 1996 e 1999; KILLINGBECK, 1996). A morte da folha antes da retranslocação teria um impacto significativo no estoque de nutrientes da planta, principalmente em solos onde eles não estivessem prontamente disponíveis para serem novamente absorvidos. Segundo Grubb (2002), em microhabitats onde algum recurso importante seja limitante ao crescimento, ocorre a seleção para folhas com vida mais longa porque elas são capazes de fixar mais C por unidade de N absorvido do que folhas com vida mais curta. A concentração de N em folhas com alto peso específico, que são mais densas, é menor porque o elemento é diluído nos tecidos com paredes mais espessas responsáveis pela maior resistência e proteção das plantas.

Read, Sanson e Lamont (2005) alertam para a importância do efeito de

diluição se a concentração dos nutrientes nas folhas não for corrigido para a massa do tecido analisado. Ou seja, a medida que a quantidade de células nas paredes celulares aumenta, a concentração de nutrientes do conteúdo celular inevitavelmente diminui, confundindo as relações nutricionais. No seu trabalho, os autores calcularam a concentração de nutrientes como uma porcentagem da massa não fibrosa dos tecidos, o que não alterou as relações nutricionais com a esclerofilia. Sugerem que se deva expressar a concentração dos nutrientes por unidade de massa de água como o melhor indicador da concentração protoplasmática.

Rizzini (1976), no seu Tratado de Fitogeografia do Brasil, no entanto, considera que o espessamento das paredes celulares estaria ligado ao aumento da intensidade luminosa, pois quanto mais sol uma planta recebe ao longo do seu ciclo de vida e quanto maior a sua intensidade, mais esclerofilia ela apresenta. As plantas esclerófilas seriam assim uma fração importante das plantas xerófilas. O autor inclusive propõe o uso do termo "heliomorfismo", e cita experimentos de Handro (1966)⁴ que estudou planta do cerrado brasileiro (*Gomphrena prostata*) com alto grau de lignificação das bainhas perivasculares, mesmo recebendo solução nutritiva. O caráter xeromórfico apresentado pela planta não teria relação com água ou nutrientes uma vez que em condições naturais não apresentava deficiência de nutrientes, sendo inclusive uma planta acumuladora de cálcio. Rizzini (1976), no entanto, considera que existem casos nos quais o espessamento das paredes não estaria ligada a alta incidência da radiação solar, como os de árvores e epífitos de florestas pluviais. O autor admite, nestes casos, que determinadas características geneticamente fixadas tendem a permanecer em condições ambientais diferentes desde que não prejudiquem a planta, e que portanto a perspectiva histórica da espécie deve ser considerada. Assim, a esclerofilia se desenvolve em ambientes com características bastante diferenciadas dependendo dos movimentos vegetacionais passados aliados a dinâmica páleo-climática. O autor faz referência aos ambientes altomontanos

⁴ HANDRO, W. Escleromorfismo foliar e nutrição mineral em *Gonphrena próstata* Mart. Anais Acad. Brás. Ciências, 38 (supl.): 225-242. 1996

andinos (“puna” ou altiplanos), entre 3400-4300 ou até 6000 m de altitude, com clima seco e frio e forte radiação solar, cuja vegetação apresenta dominância de esclerofilia acompanhada de microfilia. A microfilia seria uma característica de plantas de regiões muito secas, com balanços hídricos desfavoráveis, em geral associada ao nanismo.

3.1.1. Medida da esclerofilia

Apesar da esclerofilia ser definida em termos de propriedades mecânicas tais como dureza, rigidez, resistência ou firmeza, pouca pesquisa tem sido realizada a esse respeito e alguns termos utilizados não tem uma definição muito precisa. (EDWARDS, READ e SANSON, 2000)

A esclerofilia tem sido frequentemente medida indiretamente como a razão entre a quantidade (peso) de fibra bruta (celulose + lignina) / proteína bruta (teor de N x 6,25) e que foi chamado por Loveless (1962) de índice de esclerofilia. O índice é calculado através da fórmula: fibra bruta X 100 / proteína bruta. Segundo o autor, valores acima de 100-150 já seriam indicativos que a vegetação é deficiente em fósforo, pois a alta correlação encontrada entre proteína bruta e o teor de P nas folhas, sugere uma habilidade de tolerar baixos níveis desse nutriente no solo, ou sua utilização com grande eficiência.

Segundo Rizzini (1976), o grau de esclerofilia indica a intensidade de diferenciação do limbo foliar e a densidade dos tecidos de sustentação expresso como a relação entre o peso seco e o dobro da superfície da folha (em g.dm^{-3}). O autor definiu que plantas esclerófilas apresentam índice (IE) > 0,6 e plantas mesófilas (IE) < 0,6. Este índice foi aplicado por Lebrun (1969)⁵ na investigação de comunidades de plantas lenhosas do litoral do Congo (florestas esclerofilas congolenses) que, segundo Rizzini (1976), são semelhantes a comunidades do ambiente de restinga do Brasil. O último autor apresenta uma tabela com o índice de esclerofilia de 60 espécies de vários ambientes brasileiros, incluindo campos altomontanos e três do gênero *Eucalyptus*. Para o autor, a esclerofilia aumenta da

⁵ LEBRUN, J. A propos des formations “sclérophylles” du littoral congolais. Bull. Soc. Roy. Bot. Belgique, 102(1):89-100

mata para o campo, com os índices da restinga e do cerrado sendo muito semelhantes aos ambientes de campo, tanto campo limpo como campos altimontanos.

A área específica foliar (AEF), que mede a quantidade de massa seca por unidade de superfície da folha, tem sido utilizada por vários autores como uma medida da esclerofilia (SOBRADO; MEDINA, 1980; MARIN; MEDINA, 1981; WITKOSKI; LAMONT, 1991; BUSSOTTI et al, 2000; TURNER et al, 2000; EDWARDS, READ; SANSON, 2003; BOEGER, 2000; BOEGER; WISNIEWSKI, 2003; SEREDA, 2008). Este índice é calculado como: $AEF (cm^2g^{-1}) = \frac{\text{Área foliar } (cm^2)}{\text{Peso foliar } (g)}$. Quanto menor o valor maior é o grau de esclerofilia da folha sem o estabelecendo limites para definir quando uma folha deixa de ser considerada mesófila e se torna esclerofila.

Groom e Lamont (1999), concluíram que a área foliar específica é a medida mais indicada para a esclerofilia por representar a medida de atributos anatômicos e estruturais que afetam diretamente a dureza de uma folha.

3.2. OS AMBIENTES ALTOMONTANOS TROPICAIS

Nos trópicos húmidos, em altitudes entre 500 a 3500 m, são encontradas as florestas nebulares também chamadas de matas nebulares, matas de neblina ou florestas nuvígenas (DOUMENGE et al, 1993). Segundo Bruijnzeel e Veneklaas (1998), dependendo da latitude as florestas denominadas de montanas podem ocorrer entre 1500 e 2500 m de altitude, embora fatores locais possam causar a formação de nuvens em altitudes tão baixas quanto 400 m, enquanto as floresta altomontanas podem ocorrer até 3900m. A precipitação anual e a temperatura podem variar bastante, mas em todos os casos essas florestas estão sujeitas a alta umidade atmosférica por ocorrerem numa zona altitudinal caracterizada por uma cobertura constante de nuvens e neblina. Essa cobertura de nuvens também modifica o ambiente atmosférico por reduzir a radiação solar e o déficit de vapor d'água, chegando a suprimir a evapotranspiração (HAMILTON, 1995; BRUIJNZEEL; VENEKLAAS, 1998), por contribuir para a entrada de água no

sistema através das gotículas de neblina que são capturadas pela folhagem das copas das árvores e que chegam ao solo.

Estimativas (FAO, 1993) mostram que 11% das florestas tropicais se enquadram na classe das florestas montanas e submontanas e segundo Persson (1974) as florestas nebulares cobrem $\frac{1}{4}$ desta área. Sua ocorrência é mais freqüente na América Tropical e Sudoeste da Ásia onde existe maior área montanhosa sujeita a influências oceânicas. Segundo Bubb; May; Miles; (2004), essas florestas, que não representam mais do que 2,5% das florestas tropicais, abrigam um grande número de espécies. São de vital importância para a captação de água por sua habilidade única de capturar umidade atmosférica, que somada a alta precipitação servem como importantes fontes de abastecimento de água para os ecossistemas das altitudes mais baixas.

As florestas dos ambientes alto-montanos tem características florísticas e estruturais bem diferentes das florestas de menores altitudes. (DOUMENGE et al, 1993; HAMILTON, 1995; MERLIN; JUVIK, 1993, RODERJAN, 1994, ROCHA, 1999; PORTES, 2000; VELÁZQUES-ROSAS; MEAVE; VÁZQUES-SANTANA, 2002). As árvores apresentam baixa estatura, troncos e galhos tortuosos recobertos de líquens e musgos, copas densas e compactas e folhas pequenas, espessas e coriáceas, características de esclerofilia. A densidade das árvores é bastante alta e endemismos são freqüentes. Também é caracterizada por ter uma alta proporção da sua biomassa composta de epífitas, com uma correspondente redução de lianas e cipós.

Segundo White (1963) os diferentes parâmetros estruturais e florísticos, como a altura média das árvores, a área basal e o número de espécies, decrescem nas maiores altitudes, até o ponto onde as comunidades arbóreas são substituídas pelos campos de altitude, formações estas configuradas fisionomicamente por espécies herbáceas e arbustivas.

Bruijnzeel e Veneklaas (1998) consideram que florestas montanas em geral tem uma produtividade menor (estimada a partir da produção de serapilheira ou incremento diamétrico), menor concentração de N e P nas folhas e taxas de ciclagem de nutrientes menores, atribuídas a uma variedade de hipóteses, entre

elas a baixa absorção de nutrientes do solo devido à uma baixa taxa de transpiração, acidez e/ou baixa fertilidade dos solos associada a uma reduzida taxa de decomposição ou mineralização da matéria orgânica. Os solos são bastante úmidos e com frequência apresentam hidromorfia e portanto acúmulo de matéria orgânica, as vezes o suficiente para enquadrá-los na classe dos solos orgânicos (histosols) (HAMILTON, 1995); embora Bruijnzeel e Veneklaas (1998) considerem que a baixa produtividade das floresta nebulares em alguns casos possa ser atribuída à falta periódica de água, principalmente onde os solos são rasos e pedregosos. Acúmulo de matéria orgânica formando horizontes orgânicos espessos são relatados por vários autores (RAMBO, 1953; RODERJAN, 1994; GHANI, 1996; ROCHA, 1999; BENITES, 2001; BENITES et al, 2001; WILCKE et al., 2001; RODERSTEIN; HERTEL; LEUSCHNER, 2005; WEERAKKODY; PARKINSON, 2006; SCHAWÉ; GLATZEL; GEROLD, 2007; VASHCHENKO, 2006; VASCHENKO et al, 2007).

3.2.1. Os ambientes altomontanos do Brasil

No Brasil, as florestas de altitude ocorrem no alto dos planaltos ou serras, atingindo até 2000 m de altitude, e tem sido subdivididas em montanas e altimontanas em diferentes faixas de altitude, dependendo da latitude. (OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000). As florestas denominadas altomontanas ocorrem acima dos limites da floresta montana e nesta tipologia estão incluídas as florestas nebulares. Na Serra do Itatiaia ocorrem acima de 2000 m (SEGADAS-VIANA, 1968), e na Serra da Mantiqueira ocorrem a 1900 m (FRANÇA; STEHMANN, 2004).

As florestas nebulares no sul do Brasil ocorrem a partir de 700 m de altitude, estando associadas às elevações da serra do mar nos estados do Paraná e Santa Catarina e dos Aparados da Serra (Serra Geral) nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Rambo (1953), as denominou “matinhas nebulares” pelo efeito constante dos nevoeiros e Leite e Klein (1990), usaram o termo “floresta nuvígena” para descreve a vegetação arbórea densa e de pequena estatura, formando um

dossel uniforme, com árvores tortuosas de folhas pequenas, muito ramificadas e cobertas de epífitos.

A formação vegetal predominante na Serra do Mar foi denominada de Floresta Ombrófila Densa por IBGE (1992), por ocupar ambientes ombrófilos caracterizados por altas temperaturas e precipitação também alta e bem distribuída durante o ano, sem período biologicamente seco. Este tipo de vegetação foi subdividido em cinco formações ordenadas segundo uma hierarquia topográfica, denominadas aluvial, das terras baixas, submontana, montana e altomontana, apresentando fisionomias diferentes de acordo com as variações ecotípicas das faixas altimétricas e de situações geomorfológicas. O limite entre cada formação é variável conforme a latitude considerada, sem transições abruptas.

Maack (1981) define a Serra do Mar no Paraná como um degrau entre a região litorânea e o primeiro planalto, e também como uma serra marginal típica que se eleva de 500 m a 1000 m sobre o nível médio do planalto. É composta por diversos blocos de montanhas com denominações locais e constitui-se predominantemente de rochas metamórficas e ígneas, possivelmente pré-cambrianas (500 a 600 milhões de anos), compreendendo migmatitos e outras rochas associadas como quartzitos, quartzo-muscovitas, anfibólitos, xistos, xistos magnesianos, quartzitos com magnetita e rochas manganíferas. Os migmatitos são intrudidos por diversos corpos graníticos que constituem os núcleos das serras regionais (BIGARELLA, 1978).

No Sul do Brasil, a vegetação altomontana ocorre acima de 1000 m de altitude e é caracterizada principalmente pela ocorrência das caúnas (*Ilex microdonta* e *I. dumosa*) e congonhas (*I. theezans* e *I. chamaedrifolia*) da família Aquifoliaceae e pelas espécies de Myrtaceae, cambuí (*Syphoneugena reitzii*) e guamirim (*blephaocalyx salicifolius*) e gêneros *Eugenia*, *Myrcia* e *Myrceugenia* (MAACK, 1981; LEITE; KLEIN, 1990; RODERJAN, 1994; PORTES, 2000; KOEHLER; GALVÃO; LONGHI, 2002).

3.2.2. Os ambientes altomontanos no Estado do Paraná

O trabalho pioneiro sobre a vegetação altomontana no estado do Paraná foi realizado por Roderjan (1994) no Morro do Anhangava, ponto mais alto da Serra da Baitaca localizada nas proximidades de Curitiba. Naquele ambiente, o autor pesquisou não somente os aspectos florísticos e fitossociológicos mas estudou as relações entre a vegetação e o solo, tendo descrito e caracterizado pela primeira vez os solos do ambiente altomontano do estado.

Embora a classificação brasileira vigente à época (EMBRAPA, 1981), não admitisse, os solos foram classificados como Solos Orgânicos associados a afloramentos de rocha e a Cambissolos rasos nas feições geomórficas de colo de encosta com declividade menos acentuada. O solo Orgânico foi descrito como sendo composto de material orgânico fibroso a sáprico raso distrófico em um relevo montanhoso com baixa saturação de bases e altos teores de alumínio trocável. Roderjan (1994) verificou que *Ilex microdonta* foi a espécie com o maior valor de importância apresentando um dossel muito denso e compacto. As alturas médias situam-se em torno de 3,5 m com a altura máxima de 7 m. Já os troncos das árvores apresentam 10 a 20 cm de DAP cobertos por líquens, com menos epífitas que na formação montana.

A esse estudo pioneiro seguiram-se outros também enfocando a relação solo-vegetação como os de Portes, Koehler e Galvão (1996), Portes (2000) e Portes, Galvão e Koehler (2001), que além da composição florística e fitossociologia, também descreveram os solos, além de estudar aspectos da ciclagem de nutrientes.

Em 1996, Ghani realizou um trabalho mais detalhado, caracterizando física, química e mineralogicamente solos altomontanos do Morro do Marumbi, também na Serra do Mar paranaense, concluindo que os solos eram extremamente pobres em nutrientes e apresentavam caráter álico. A composição mineralógica do riólito foi considerada a principal responsável pelos baixos teores de nutrientes no solo, além do excedente de precipitação e o relevo favorecem a intensa lixiviação dos nutrientes e a formação de solos ácidos e álicos. A autora utilizou na época o sistema de classificação americana, de 1975 para os "Histosols", que abrange

principalmente solos formados em condição de hidromorfia com uma minoria de drenagem livre podendo nunca apresentar saturação por água e o teor de carbono orgânico maior ou igual 20%. Ghani (1996) formalizou uma proposta de classificação de solos orgânicos no Brasil onde estes solos com drenagem livre deveriam apresentar: teores de carbono orgânico maior ou igual 13,33%, condições de drenagem livre ou ocasional saturação por somente poucos dias (menos que trinta dias); qualquer espessura desde que sobre contato lítico, material fragmentar e interstícios preenchidos total ou parcialmente com material orgânico; e horizonte mineral, se presente, menor ou igual a 10cm entre o contato lítico e o material orgânico com espessura de no mínimo o dobro da espesura do horizonte mineral subjacente. Os resultados deste estudo foram incorporados na versão de 1999 da Classificação Brasileira de Solos (EMBRAPA, 1999) que passou a incluir esses solos na classe dos Neossolos Litólicos hísticos, por ainda não admitir espessuras de material orgânico menores do que 30 cm na classe dos Organossolos.

Rocha (1999), também no Parque Estadual do Pico do Marumbi – Morretes, PR, voltou a estudar florística e fitossociologia, incluindo a caracterização morfológica e química dos solos em dois transectos. Encontrou solos distróficos, com teores altos de fósforo e de carbono. A autora descreveu um solo orgânico não hidromórfico sáprico raso distrófico em relevo escarpado de contato lítico com profundidade variando de 25 a 35cm, pH entre 3,2 a 3,8; saturação de bases entre 2,79 a 5,54% e a CTC de 19,0 a 30,1. O fósforo teve variação de 28 a 56 mg/dm³. O alumínio variou de 0,8 a 2,4 cmol_d/dm³ e o potássio de 0,29 a 0,69 cmol_d/dm³.

Koehler, Galvão e Longhi (2002), estudando aspectos florísticos e estruturais em sete diferentes trechos da Serra do Mar, também observaram solos predominantemente pouco desenvolvidos como Neossolos litólicos e Organossolos fólicos com profundidade raramente superior a 50 cm. Wisniewski, Tempesta e Rodrigues (2005), descrevendo os solos e a vegetação em uma topossequência do Morro Mãe Catira na Serra da Graciosa, verificaram predominância do que ainda no Sistema de Classificação vigente (EMBRAPA,

1999) foi descrito como Neossolo Litólico hístico associado a Organossolos. Os autores tiveram dificuldade de detalhar a classificação dos Organossolos até o segundo nível categórico pois morfológicamente a matéria orgânica do perfil de 40 cm, em média, apresentava características fíbricas na parte superior, características hêmicas ou mésicas na parte intermediária e características sábricas na parte inferior em contato lítico com o material de origem. Em posição de colo mais acentuado, os autores observaram a ocorrência de Gleissolo melânico.

Vashchenko (2006) e Vashchenko et al (2006), em seu estudo sobre caracterização da trilha e impacto do montanhismo nos Picos Camacua, Camapuã e Tucum em Campina Grande do Sul, região próxima onde foi desenvolvido o presente estudo, encontrou um solo onde foi classificado como Neossolo Litólico (RLi), com horizonte hístico, camada superficial de material orgânico, com teor de carbono igual a 15%, com espessura de 14cm sobre contato lítico. Este solo foi encontrado a uma altitude de 1.700m no Topo do Pico Camapuã em Campina Grande do Sul. Ainda, o pH encontrado encontrava-se ácido, com grande presença de alumínio, baixa saturação de base e CTC efetiva elevada.

A ocorrência de acúmulo de matéria orgânica nesses ambientes está associada às características climáticas de baixa temperatura associada a alta umidade relativa do ar. Roderjan (1994) reportou médias térmicas inferiores a 15°C no Morro do Anhangava, observando com frequência umidade relativa de 100% resultando numa média anual acima de 90%. Isto reflete a forte influência das massas de ar úmido que vem do Oceano Atlântico e que associados ao relevo montanhoso contribuem para a elevada precipitação. O maior índice pluviométrico foi registrado em setembro, com 305,5mm e o menor no mês de agosto com 40,0mm, totalizando 2.091mm por ano, resultando em excedente hídrico durante o ano todo, caracterizando um clima superúmido. Durante o período de observação a temperatura mínima absoluta registrada atingiu -5,0°C indicando a ocorrência de geada.

O acúmulo de restos vegetais nesses ambientes saturados por água durante parte do ano é favorecido pelas condições microclimáticas. Portes e

Galvão (1998) comprovaram a lentidão da decomposição da serapilheira das espécies mais representativas em um trecho da floresta altomontana, no Morro Anhangava. Portes e Galvão (1998) e Portes (2000), estimaram uma deposição de 4,4 Ton/ha/ano de serapilheira, composta principalmente de folhas, das quais *I. microdonta* representou quase a metade. Ao final de um ano de análises verificou que havia menos de 30% de biomassa foliar remanescente de *I. microdonta*. Este é um dado importante para entender a presença de horizontes hísticos e a gênese dos Organossolos neste ambiente. A autora também verificou que a concentração de nutrientes e compostos fenólicos na serapilheira variaram com a espécie, mas que em geral a concentração de N apresentou-se baixa, resultando numa alta relação C/N o que pode também explicar a reduzida taxa de decomposição da serapilheira e acúmulo de material orgânico que dá origem ao horizonte hístico ou Organossolo. Concluiu que *Ilex microdonta* foi a espécie que apresentou maior taxa de decomposição de serapilheira o que pode estar relacionado com a baixa concentração de lignina nas folhas.

Koehler Galvão e Longhi (2002), estudando aspectos florísticos em sete ambientes altomontanos do Paraná, observaram que *Ilex microdonta* estava entre as 4 espécies mais importantes em todos eles. Os autores, baseados no seu estudo e no de outros trabalhos como os de Roderjan (1994), Rocha (1999) e Portes e Galvão (1998), concluíram que esta espécie tipifica a Floresta Ombrófila Densa Altomontana na Serra do Mar paranaense.

Wisniewski e Paula (2003) estudaram as características morfológicas e anatômicas das folhas de *Ilex microdonta* da Floresta altomontana do Morro do Anhangava, concluindo que tanto folhas novas como maduras apresentavam esclerofilia de acordo com o índice proposto por Rizzini (1976).

3.3. *Ilex microdonta* REISSEK

O gênero *Ilex* pertence à família Aquifoliaceae, ordem Aquifoliales, classe Magnoliopsida, com cerca de 220 espécies na América do Sul, 68 das quais ocorrem no Brasil.

Ilex microdonta é conhecida pelo nome vulgar de congonha, caúna ou caúna-miúda. Edwin e Klein (1967), observaram sua ampla dispersão no planalto leste de Santa Catarina nas “matinhas nebulares” e na Floresta Ombrófila Mista, com rara ocorrência nas matas das planícies quaternárias do litoral e nas partes altas dos morros da mata pluvial da encosta atlântica. Sua área de distribuição inclui também os estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Os autores a consideraram uma espécie higrófito, pela sua abundância nas matas nebulares dos planaltos acima de 700 m de altitude, embora bastante freqüente também nos capões dos campos e nas matas ciliares. Estudos mais recentes (KOEHLER, GALVÃO e LONGHI, 2002), apontam a espécie como tipificadora da Floresta Ombrófila Densa Altomontana da Serra do Mar no estado do Paraná, embora ocorra também na Floresta Ombrófila Mista (CALDEIRA, 2003, WLATZLAWICK et al, 2005).

Apresenta porte arbóreo, de arvoreta ou arbusto com 6 a 10 m de altura, com folhas apresentando lâminas finas até coriáceas, margens apressas, subespinoso-serradas, ápice obtuso, agudo ou abruptamente acuminado, base aguda e finamente decurrente pelo comprimento do pecíolo. O florescimento ocorre de outubro a dezembro, as inflorescências são solitárias, na sua maioria localizadas nas axilas das folhas, apresentando flores femininas e masculinas pediceladas ou em pedúnculo. A maturação dos frutos que são globosos com 4-5 mm de diâmetro, ocorre de fevereiro até abril (Edwin e Klein, 1967)

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCALIZAÇÃO

O estudo foi realizado na floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro do Anhangava (latitude Sul 25°23', longitude Oeste 49°00' e altitude 920 m do nível do mar) localizado na Serra da Baitaca- PR., em uma área classificada climaticamente como Cfb (subtropical mesotérmico úmido), segundo Koëppen, (IAPAR, 1994), com verões frescos, invernos com ocorrências de geadas severas e freqüentes, não apresentando estação seca. O clima regional, no entanto, é bastante modificado pela altitude. Roderjan (1994) registrou na altitude de 1300 a 1400m, uma temperatura média 18,2°C; umidade relativa média do ar no mês mais seco (agosto) de 79,9% e em março, mês mais úmido, de 96,9% e uma precipitação total de 2091 mm.

As coletas de folhas foram realizadas no outono/inverno ano de 2002 e as coletas de solos em 2007 e 2008 em área relativamente homogênea do terço superior da encosta na face sul do Morro Anhangava numa altitude aproximada de 1350 m. A área selecionada encontra-se em uma declividade média de 58%, e o solo foi descrito por Roderjan (1994), como "Solo Orgânico profundo a pouco profundo fíbrico/mésico álico". Esta classificação foi feita de acordo com o sistema de classificação vigente à época (EMBRAPA, 1981).



FIGURA 1 - VISTA GERAL DA FLORESTA OMBRÓFILA Densa ALTOMONTANA DO MORRO DO ANHANGAVA – PR, FACE SUL.

4.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA E QUÍMICA DO SOLO

O solo da área foi descrito morfológicamente de acordo com Santos et. al., (2005). Amostras compostas do solo foram retiradas com auxílio de trado tipo holandês logo abaixo do dossel dos cinco indivíduos de *Ilex microdonta*, selecionada por ser a espécie mais importante da comunidade da floresta ombrófila densa altomontana do morro do Anhangava (RODERJAN, 1994). As coletas foram feitas a uma profundidade de 20 cm, por ser esta a profundidade média dos solos da área.

A grande variação na constituição do solo resultou numa análise diferenciada em função da constituição mineral ou orgânica da amostra. No material mineral foi realizada análise de rotina de solos, e no material de constituição orgânica foi realizada extração com HCl 3N, após incineração para determinação do resíduo mineral, com objetivo de determinar o teor total dos macronutrientes. Para a determinação do teor de macronutrientes disponíveis no material essencialmente orgânico, foi efetuada uma extração com água.

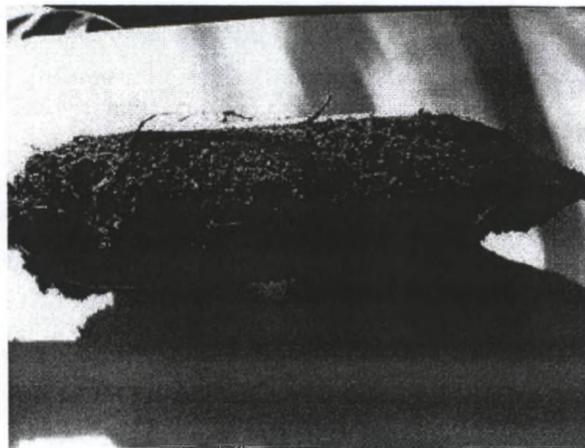


FIGURA 2 - AMOSTRA DE SOLO RETIRADA COM AUXÍLIO DE TRADO TIPO HOLANDÊS.

As amostras de material orgânico foram encaminhadas ao Laboratório de Biogeoquímica do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. A digestão foi realizada em mufla (via seca) a 500°C e a solubilização foi feita em ácido clorídrico (HCl) 3 mol L⁻¹, de acordo com MARTINS; REISSMANN (2006) para a determinação dos teores totais de macronutrientes (P, K, Ca e Mg) . O nitrogênio foi determinado pelo método KJELDAHL. A extração aquosa na proporção de 1:2 seguiu o protocolo de Raij; Gheyne e Bataglia (2001).

4.3. COLETA E ANÁLISE DO MATERIAL FOLIAR

Foram selecionadas, ao acaso, cinco árvores de *I. microdonta*. Os ramos com folhas novas, completamente estendidas, e folhas maduras de ramos ao sol da parte mais alta da copa das árvores com altura média de 3,7m e diâmetro médio de 10,3 cm, foram cortados com tesoura de poda, colocados em sacos plásticos e devidamente etiquetados. As folhas foram destacadas dos galhos e separadas em jovens e maduras.

Foram utilizadas 20 folhas novas e 20 folhas maduras de cada árvore para a determinação da área foliar e duas folhas (novas e maduras), para análise da anatomia e morfologia. A área foliar (cm²) foi calculada a partir da imagem

digitalizada em “scanner” de mesa, com o programa Sigma Scan (versão 4.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA), a massa seca foi determinada pela pesagem das folhas previamente secas em estufa a 65° C, até peso constante em balança de precisão. A área específica foliar (AEF) foi calculada de acordo com a seguinte fórmula $AEF = \text{área foliar}/\text{massa seca foliar} (\text{cm}^2.\text{g}^{-1})$ (WITKOWSKI e LAMONT, 1991) e o índice de esclerofilia (IE), pela relação: $IE = \text{massa seca}/2 \times \text{área foliar} (\text{g}.\text{cm}^{-2})$. As plantas foram consideradas esclerófilas com $IE > 0,6$ e as plantas como mesófilas com $IE < 0,6$ (RIZZINI, 1976).



FIGURA 3 - FOLHAS JOVENS (DIREITA) E FOLHAS MADURAS DE *I. MICRODONTA* (ESQUERDA).

A superfície da região mediana de 10 folhas jovens e 10 folhas maduras foi modelada com esmalte incolor na face abaxial da folha para estimar a densidade estomática através da contagem dos estômatos numa área de 1 mm^2 .

Para a análise da anatomia foliar foram realizadas secções da região mediana da folha com 1 cm^2 de área de 2 folhas novas e 2 folhas maduras, de cada indivíduo, que foram fixadas em F.A.A. 50 (formaldeído, ácido acético, etanol

50%, 1:1:18 v/v). O material então foi cortado transversalmente com auxílio de lâmina de barbear, e a espessura foliar foi medida em microscópio ótico com auxílio de ocular micrométrica.

Foram separadas mais 100 folhas jovens e velhas, das quais se determinou o peso seco (peso de 100 folhas), após secagem em estufa a 65°C. Posteriormente essas folhas foram moídas em moinho tipo Wiley para a determinação dos macronutrientes. O material foliar foi digerido com HCl 3 mol L⁻¹ em mufla a 500° C, para a determinação dos teores de P, K, Ca e MG, utilizando-se a metodologia descrita por Martins e Reissmann (2007) . O nitrogênio foi determinado pelo método KJELDAHL.

A estimativa da eficiência de utilização dos nutrientes (EUN), foi feita a partir da fórmula adaptada de Barros et al (1986), na qual EUN= biomassa seca do tronco/conteúdo de nutrientes acumulado no tronco. A biomassa do tronco foi substituída pela massa seca de 100 folhas, e o conteúdo de nutrientes do tronco foi substituído pela quantidade dos mesmos contida nas 100 folhas.

4.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados de morfologia foliar correspondentes às folhas novas e maduras foram analisados estatisticamente segundo um delineamento inteiramente casualizado através do programa M-stat. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A associação entre as variáveis, índice de esclerofilia, teores de nutrientes totais e solúveis do solo e teores de nutrientes das folhas foram medidos através do calculo do coeficiente de correlação de Pearson, através do programa Statgraphics Plus For Windows 4.1

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. SOLO

O solo apresentou acúmulo de matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição (ANEXO 1). Na parte superior o material orgânico apresentou-se mais fibroso e na parte média/inferior a matéria orgânica apresentou-se num estágio de decomposição mais avançado (hêmico a sáprico). Logo acima do contato lítico, em todas as amostras encontrou-se uma camada de espessura variável (2 a 5 cm) de material sáprico misturada a material mineral da rocha intemperizada, com muitos grãos de quartzo. Em todas as situações o contato foi lítico. A estrutura grumosa da camada superior e média encontra-se entremeada a raízes finas, sendo encontrados muitos espaços vazios entre o solo e a rocha. Estes espaços vazios podem ser atribuídos ao sistema radicular das árvores naquele relevo muito íngreme que causam soerguimento do material orgânico. Considerando a grande densidade de árvores, a estrutura dos sistemas radiculares das árvores, o relevo e a fragilidade do solo orgânico do ambiente altomontano estudado, a abertura de uma trincheira é bastante trabalhosa, causando degradação de uma área considerável. (Fig. 4) Em laboratório, as amostras coletadas foram separadas visualmente de acordo com a textura mais orgânica ou mais mineral do material do solo e também até onde foi possível, das raízes que compõe talvez a maior parte do volume do perfil do solo (Tabela 01).

TABELA 01 - PESO PROPORCIONAL DOS COMPONENTES SOLO DA FLORESTA ALTO-MONTANA DO MORRO DO ANHANGAVA, PR.

Amostra	Mineral	Orgânico	Raízes
	%		
1	55	44	1
2	27	59	14
3	69	27	4
4	57	41	2
5	58	41	1

Embora nesta tabela os valores se refiram à porcentagem de peso e não de volume, já que as amostras foram coletadas com trado o que causa uma deformação morfológica e o material orgânico tem uma densidade muito menor que a do material mineral, pode-se ter uma idéia da proporção desses componentes no solo.

Os solos foram incluídos na classe dos Organossolos fólicos. Estes solos são caracterizados por estarem saturados por água, no máximo por 30 dias consecutivos por ano, durante o período mais chuvoso, e por apresentarem horizonte O hístico originado de acumulação de folhas, galhos finos, raízes, cascas de árvores, etc, em diferentes graus de decomposição, sobrejacente a contato lítico ou ocupando os intersitícios de material constituído de fragmentos de rocha (cascalhos, calhaus e matacões). Em geral, localizam-se em ambientes altimontanos (EMBRAPA, 2006).

Verificou-se uma dificuldade de enquadrar o solo no terceiro nível categórico da versão atual da classificação brasileira, segundo a qual os estados de decomposição da matéria orgânica usados para o enquadramento são excludentes (EMBRAPA, 2006), ou seja, o Organossolo fólico pode ser fíbriico, ou méisico ou sáprico. Por isso o solo foi denominado de Organossolo fólico fíbriico/méisico/sáprico.

Os Organossolos fólicos fíbriicos são solos que apresentam material orgânico constituído de fibras, facilmente indentificável como de origem vegetal, na maior parte dos horizontes ou camadas dentro de 100 cm da superfície do solo. Já a característica méisica indica solos com matéria orgânica parcialmente alterada por ação física e bioquímica, em estágio de decomposição intermediário e que não satisfaz os requisitos para caracterizar os materiais fíbriico ou sáprico, que na maior parte dos horizontes ou camadas dentro de 100cm da superfície o solo.

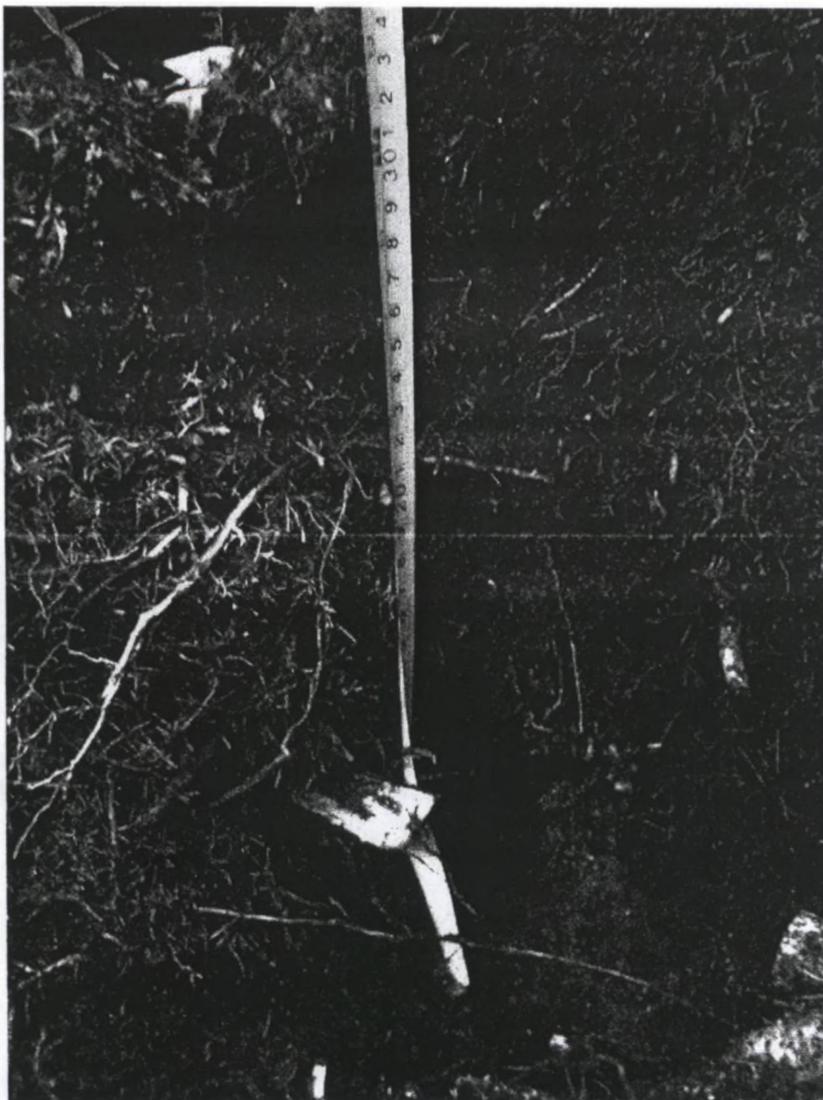


FIGURA 4 - TRINCHEIRA ABERTA PARA ANÁLISE MORFOLÓGICA DO SOLO NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA DO MORRO DO ANHANGAVA - PR.

5.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E GRANULOMÉTRICAS DO SOLO

Na Tabela 02 encontram-se os resultados da análise química de rotina da parte mineral dos solos, e na Tabela 03 estão os resultados da análise granulométrica.

TABELA 02 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA FRAÇÃO MINERAL DO ORGANOSSOLO DA FLORESTA OMBRÓFILA Densa ALTOMONTANA NO MORRO ANHANGAVA, PR.

	pH		N	C org.	P	Ca	K	Mg	Al	H+Al	T	V	m
	CaCl ₂	SMP	g.kg ⁻¹	g.dm ⁻³	mg.dm ⁻¹	cmolc kg ⁻¹						(%)	(%)
1	3,6	4,1	4,0	58,8	4,9	0,2	0,1	0,4	9,2	26,8	27,5	2,5	92,9
2	3,8	4,2	2,1	34,1	0,2	0,1	0,1	0,2	9,4	19,0	19,4	2,0	95,5
3	3,7	4,2	1,5	43,8	0,5	0,1	0,1	0,1	8,6	19,0	19,3	1,5	96,6
4	3,0	3,6	3,5	106,8	7,9	0,2	0,2	0,5	5,8	41,6	42,5	2,1	86,6
5	3,3	3,9	8,0	75,4	3,5	0,1	0,1	2,0	8,1	32,0	34,2	6,4	78,6
	3,4±	4,0±	3,8±	63,7±		0,2±	0,1±	0,6±	8,2±	27,7±	28,6±	2,8±	90,1±
x	0,3	0,2	2,5	28,6	3,4±3,2	0,05	0,04	0,7	1,4	9,5	8,9	2,0	7,5

TABELA 03 - GRANULOMETRIA DO ORGANOSSOLO NO AMBIENTE DA FLORESTA OMBRÓFILA Densa ALTOMONTANA NO MORRO ANHANGAVA, PR.

Ponto	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
	dag.kg ⁻¹			
1	6,9	88,1	5,0	Silte
2	11,9	82,1	6,0	Franco-siltosa
3	8,2	83,8	8,0	Franco-siltosa
4	10,7	84,8	4,5	Franco-siltosa
5	5,4	90,6	4,0	Silte
Média	8,6±2,7	85,9±3,4	5,5 ± 1,6	Franco-siltosa

Todas as amostras da fração mineral analisadas apresentaram pH muito baixo, saturação por alumínio alta, em média acima de 90%, evidenciando o caráter alítico dos solos (MONT SERRAT; KRIEGER; MOTTA, 2006). Cuenca et

al. (1990) estudando a tolerância ao Al solúvel em uma espécie da floresta tropical altomontana na Venezuela, observaram que a espécie apresentava mecanismos de tolerância a este elemento, tais como, deposição nos vacúolos e quelação na rizosfera que diminuíram seu efeito tóxico. Mesmo assim concluíram que os solos ácidos e com altos níveis de Al solúvel estavam impondo um alto custo ecológico em termos de alocação de fotossintatos e taxa de crescimento. Embora os autores não tenham feito referência à esclerofilia, o alto custo ecológico reportado poderia ser um fator importante no desenvolvimento de características esclerófilas.

O solo apresentou também caráter distrófico, com a saturação de bases baixa, muito inferior a 50%. O valor médio muito alto da CTC de 28,6 encontrado no solo estudado evidencia uma alta capacidade de troca de cátions em decorrência da grande quantidade de carbono orgânico, uma vez que, na parte mineral, predomina a fração a fração silte e a quantidade de argila é muito baixa. A quantidade média de carbono é muito alta e os teores médios de P, muito baixos (COMISSÃO, 2004; MONT SERRAT; KRIEGER; MOTTA, 2006), embora os teores de P tenham variado bastante entre os pontos amostrados, acompanhando a variação na quantidade de matéria orgânica. Os teores de Ca são muito baixos, os de K são baixos e os teores de Mg podem ser considerados médios (MONT SERRAT; KRIEGER; MOTTA, 2006).

Os resultados das características químicas do solo em relação aos teores de C orgânico, P, Ca, Mg, K e saturação em bases são menores do que os observados por outros autores em ambientes semelhantes sobre Organossolos no estado do Paraná (RODERJAN, 1994; GHANI, 1996, ROCHA, 1999; PORTES, 2000; WISNIEWSKI; TEMPESTA; RODRIGUES, 2005; VASHCHENKO et al., 2007) Essa diferença foi bastante significativa comparando-se os resultados obtidos para P, por Roderjan (1994) (56 ppm) e Portes (2001), (10 a 46 mg.dm⁻³) que analisaram solos orgânicos no mesmo local.

Em relação à análise granulométrica deve-se observar que a fração silte é bastante elevada, característica de solo com pequeno grau de desenvolvimento pedológico. Os baixos teores de argila demonstram também a importância da matéria orgânica neste solo na manutenção e disponibilização dos nutrientes.

Os teores de nutrientes da fração predominantemente orgânica do solo podem ser vistos na Tabela 04. Como foi realizada uma extração com HCl 3N, estes valores representam os teores totais destes elementos e portanto não estão prontamente disponíveis para as plantas.

TABELA 04 - TEORES TOTAIS DE MACRONUTRIENTES NA FRAÇÃO ORGÂNICA DO SOLO DO AMBIENTE ALTOMONTANO DO MORRO DO ANHANGAVA-PR.

	N	P	K	Ca	Mg
Ponto					
s			g.kg ⁻¹		
1	8,30	5,32	0,57	0,17	0,02
2	18,9	8,18	0,49	0,19	0,08
3	15,5	4,28	0,33	0,20	0,02
4	6,30	1,86	0,24	0,22	0,02
5	12,2	4,41	0,49	0,23	0,01
Média	12,2±5,4	4,8±2,30	0,4±0,13	0,2±0,02	0,03±0,03

Observa-se, comparando os valores das Tab.3 e 4, a grande reserva de N e P na fração orgânica do solo. Esses elementos vão se tornando disponíveis para a vegetação à medida que vai ocorrendo a mineralização da matéria orgânica. No caso do K, cujos teores são também altos nesta fração orgânica, sua disponibilização se dá muito mais pela solubilização pela ação da água da chuva.

Isto evidencia a grande importância da ciclagem de nutrientes para este ecossistema.

Na Tabela 05 são apresentados os resultados dos teores de macronutrientes da extração aquosa da fração orgânica do solo que correspondem aos elementos prontamente disponíveis para serem absorvidos pela vegetação.

TABELA 05 - TEORES DE MACRONUTRIENTES NO EXTRATO AQUOSO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS SOLOS DO AMBIENTE ALTOMONTANO DO MORRO DO ANHANGAVA – PR.

Ponto	N	P	K	Ca	Mg
			g.kg ⁻¹		
1	0,04	0,25	0,83	0,01	0,01
2	0,04	0,33	1,22	0,01	0,04
3	0,01	0,03	0,40	0,02	0,01
4	0,01	0,20	1,87	0,03	0,04
5	0,01	0,20	1,12	0,03	0,01
Média	0,02±0,02	0,20±0,10	1,08±0,54	0,02±0,01	0,02±0,02

Observa-se que os valores são bastante reduzidos, principalmente de N, Ca e Mg quando comparados aos teores totais da fração orgânica (Tabela 04), com exceção dos teores de K, que foram maiores no extrato aquoso. Os altos teores deste elemento na fração orgânica devem-se aos altos teores encontrados nas folhas (Tab. 8), uma vez que esta é a espécie mais importante naquela comunidade (Roderjan, 1994, Portes, 2000) e responsável por 43% do peso total das folhas da serapilheira produzida pela floresta (Portes, 2000). Esta serapilheira, ao se decompor parcialmente vai formar o horizonte hístico, característico dos

Organossolos. O solo orgânico também pode ser sido enriquecido pelo potássio lavado das folhas das copas das árvores pela água da chuva, já que ele é um elemento bastante móvel na planta por não participar de compostos orgânicos celulares. Pinto (2001), observou em solução lixiviada de folhas verdes para várias espécies da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, entre as quais *I. theezans*, que o nutriente liberado em maiores quantidades foi o K. Também é possível que, em parte, os altos teores de K no extrato aquoso possam ser atribuídos à formação de compostos orgânicos nas amostras e que emitiriam sinais que interferem na leitura do K, superestimando os mesmos (REISMANN, 2008, comunicação pessoal).

A Tabela 06 apresenta os teores totais de nutrientes disponíveis no solo, correspondendo à soma dos teores do solo (Tabela 03) com os teores do extrato aquoso da fração orgânica (Tabela 07).

TABELA 06 - TEORES TOTAIS DE NUTRIENTES DISPONÍVEIS (EXTRATO AQUOSO+FRAÇÃO MINERAL) NO ORGANOSSOLO DO AMBIENTE ALTOMONTANO DO MORRO DO ANHANGAVA – PR.

	N	P	K	Ca	Mg
Pontos			g.kg ⁻¹		
1	4,05	0,25	0,92	0,21	0,91
2	2,15	0,33	1,3	0,11	0,42
3	1,51	0,03	0,49	0,12	0,1
4	3,51	0,21	2,05	0,23	0,55
5	8,01	0,21	1,21	0,14	2,01
Média	3,84±2,54	0,21±0,09	1,19±0,57	0,16±0,05	0,80±0,73

Em ecossistemas naturais, as relações nutricionais são complexas pois os elementos orgânicos e inorgânicos interagem através do processo de ciclagem

dos nutrientes. Além disso, as variações espaciais e temporais do solo, a amostragem, preparo das amostras, técnicas analíticas empregadas podem influenciar os resultados e suas interpretações. Comparativamente aos parâmetros utilizados pela COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC (2004, p.50, 51,52) para solos do estado do Paraná e Santa Catarina, por Novais; Smyth (1999) e por Mont Serrat; Krieger; Motta (2006), mesmo considerando o somatório das frações mineral e orgânica, os teores de P e Ca ainda são considerados muito baixos. Com a contribuição do extrato aquoso, no entanto, os teores de K passaram a ser considerados muito altos e os de Mg altos. A concentração média de K no extrato aquoso é da ordem de 100 vezes maior que sua concentração na fração mineral do solo, indicando a importância da reciclagem deste nutriente extremamente móvel, para este sistema. A interpretação desses autores para os resultados de análises de solo utiliza como referência solos agrícolas e por isso os dados devem ser analisados com cautela.

Tanner (1977), comparando florestas altomontanas da Jamaica, embora não tenha reportado valores de P para o solo, desenvolveu bioensaios e mediu teores do elemento nas folhas da vegetação. Apesar das diferenças entre os ambientes estudados, o autor não encontrou evidências suficientes que comprovassem ser o P, o elemento limitante ao crescimento.

LARCHER (2004, p. 194), propõe valores médios para macro e micronutrientes no solo e nas plantas, considerados como adequados para ambientes terrestres. Em relação ao proposto pelo autor, o solo analisado apresenta teores muito mais baixos de P, K, Ca e Mg e teores relativamente maiores de N.

Os teores de N são bem menores que os reportados por Benites et al, (2005) para solos de nove ambientes em altitudes entre 900-2300m de altitude no oeste do Brasil. Os autores analisaram o teor de N dos ácidos húmicos extraídos dos solos. A maioria dos solos minerais é deficiente em formas absorvíveis de N (nitrato e amônio). A matéria orgânica do solo e a fixação biológica são as

principais fontes naturais deste elemento para as plantas. Tanner (1977) estudando solos de quatro florestas altomontanas na Jamaica, encontrou valores médios de 1,5% de N (15 g.kg^{-1}). Utilizando bioensaios, o autor concluiu que este não era um elemento limitante ao crescimento das espécies, embora os teores de N nas folhas da vegetação tenham variado, sugerindo uma diferença na sua disponibilidade, o que também refletia um aumento característica coriácea das folhas.

Ao observar-se a vegetação como um todo e a espécie estudada especificamente, não se percebe sintomas aparentes de deficiências nutricionais. Experimentos sobre o efeito da omissão de nutrientes no crescimento e desenvolvimento da espécie poderiam ser conduzidos, embora este enfoque seja bastante reducionista, não considerando a complexidade das interações do ambiente altomontano.

5.3. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS FOLHAS

Os valores médios das características morfológicas para as folhas novas e maduras de *I. microdonta* podem ser observadas na TABELA 07. Com exceção da densidade estomática e AEF, as folhas maduras apresentaram os maiores valores médios para as características morfológicas analisadas. O IE superior a 0,6, segundo Rizzini (1976) é um indicativo de esclerofilia. O conjunto de todas as variáveis de morfologia foliar não deixa dúvidas quanto à presença de alto grau de esclerofilia nas folhas. As folhas mais maduras podem ser consideradas mais esclerófilas que as folhas mais jovens, como esperado, uma vez que quanto mais velha a folha, maior quantidade de material estrutural ela apresenta. Isto pode ser observado pelo aumento da espessura, com desenvolvimento de mais tecido estrutural.

TABELA 07 - MÉDIAS E DESVIO PADRÃO DAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE FOLHAS JOVENS E MADURAS DE *I. microdonta*.

Característica	Folhas jovens	Folhas maduras
Massa seca (g)	0,03±0,008 b	0,09± 0,02 a
Área foliar (cm ²)	2,00± 0,54 b	3,79±0,83 a
AEF (cm ² .g ⁻¹)	67,75±6,19 a	43,6± 7,4 b
Densidade estomática (n°.mm ⁻²)	651± 136 a	482,7±118 b
Espessura foliar (µm)	316,2±30,5 b	434,5± 52,5 a
Índice de Rizzini (mg.cm ⁻²)	7,44± 0,7 b	11,79±1,99 a

Médias seguidas por letras diferentes diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey $p<0,05$, (n=100).

De acordo com os estudos de Boeger (2000), Boeger e Wisniewski (2003), o maior aumento do peso seco das folhas maduras em relação às folhas novas, comparativamente a um menor aumento da área foliar, mas com um aumento significativo da espessura foliar concordam com o aumento do peso devido à lignificação na esclerofilia. Os menores valores de AEF e maior espessura das folhas maduras em relação às folhas novas também indicam maior grau de esclerofilia nas folhas maduras.

As folhas maduras apresentaram maiores valores médios de massa seca, área foliar e espessura foliar, uma vez que as folhas jovens encontravam-se ainda em expansão. No entanto, os incrementos de área, massa e espessura não são uniformes quando se compara os valores de folhas jovens e maduras. Enquanto a massa seca triplica, a folha apenas duplica a sua área, indicando um maior investimento na estrutura da folha do que na sua expansão propriamente dita. O incremento em espessura acompanhou os valores de incremento da área foliar. As folhas mais maduras são cerca de 50% mais espessas que as folhas mais

jovens, o que evidencia novamente o maior investimento em tecido estrutural e não fotossintetizante.

A área específica foliar das folhas maduras foi maior que das folhas novas. Em folhas mesófilas, a expansão foliar se dá de uma maneira mais uniforme, e a área aumenta proporcionalmente em relação a massa e a espessura (BOEGER, 2000). Em folhas esclerófilas, devido as condicionantes ambientais, esta relação se altera, ocorrendo uma compactação de tecidos refletida na maior espessura e/ou no maior investimento na estrutura da folha quer para aumentar a capacidade de suporte mecânico da folha, quer para utilizar os fotossintatos a base de carbono em excesso na planta (TURNER, 1994; EDWARDS; READ; SANSON, 2000).

Os estômatos ocorreram na face abaxial da epiderme, indicando folhas hipoestomáticas. Segundo Coutinho (1962), uma cutícula espessa na face adaxial (superior), impedindo o acúmulo de água, na superfície da folha e assim o desenvolvimento de epifilia, seria a característica responsável pelo hipoestomatismo. Pyykkö, (1979), considera que esta característica pode evitar o bloqueio dos estômatos pelo excesso de água da chuva, o que poderia ser o caso do ambiente altomontano onde não só a quantidade de precipitação (2091 mm) como a umidade relativa do ar (91,5%), são elevadas. (Roderjan, 1994). O desenvolvimento de epifilia não foi avaliado, mas Witkamp (1970) sugere que o desenvolvimento de microorganismos e líquens na superfície das folhas das florestas tropicais é favorecida pela longevidade das folhas, e alta precipitação, embora suas vantagens e desvantagens ainda sejam objeto de muitas discussões. Boeger (2000) observou por microscopia de varredura a presença de epifilia em folhas de *I. theezans* na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas na planície litorânea paranaense.

Lleras, (1977), concluiu que o hipoestomatismo pode ser um fator de proteção contra a temperatura mais elevada na face adaxial de folhas expostas ao sol, o que também pode ser o caso da floresta altomontana estudada, considerando que na altitude de 1400m na qual ela se encontra, a insolação é mais alta.

A densidade estomática diminuiu das folhas novas em relação as maduras. Os valores observados nas folhas jovens foram maiores e os valores das folhas maduras foram semelhantes aos verificados por Boeger e Wisniewski (2003) para *I. theezans* na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas no Paraná.

5.4. MACRONUTRIENTES FOLIARES

Na Tabela 08 estão os resultados da análise química das folhas de *I. microdonta*.

TABELA 08 - TEORES MÉDIOS E DESVIO PADRÃO DOS MACRONUTRIENTES NAS FOLHAS NOVAS E MADURAS DE *I. microdonta* EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA ALTOMONTANA NO MORRO ANHANGAVA, PR.

	N	P	N:P	K	Ca	Mg
Folhas	g.kg ⁻¹					
Novas	15,1± 2,9a	0,76 ± 0,15a	19,9	26,1± 14,5a	3,9 ± 1,3a	3,42± 0,89a
Maduras	14,6± 3,2a	0,72 ± 0,10a	20,3	17,9 ± 9,5a	4,26± 1,1a	3,64 ± 1,08a

Os teores dos nutrientes, tanto nas folhas jovens quanto maduras, apresentou a sequência, K>N>Ca>Mg>P. Não houve diferença significativa entre os macronutrientes nas folhas maduras e novas, embora tenha havido um ligeiro decréscimo nos teores de todos os macronutrientes com exceção do Ca nas folhas maduras. O declínio nos níveis da maioria dos nutrientes com a idade dos órgãos das plantas é comum, causado pelo aumento relativo na proporção de material estrutural como paredes celulares e ligninas e também órgãos de reserva (MARSCHNER, 1986). Por este mesmo motivo se observa um aumento nos teores de Ca, elemento componente dos tecidos estruturais da plantas. A diferença nos teores das folhas maduras e novas também pode ser um indicativo da retranslocação de nutrientes. Segundo Aerts (1996), Killingbeck (1996) e Vera; Cavelier e Santamaria (1999) em média até 50% da quantidade de N e P podem ser reaproveitados desta maneira. Wright, Reich e Westoby (2001) e Wright;

Westoby e Reich, (2002) concluíram que a forte correlação encontrada entre o tempo de vida de uma folha e a esclerofilia (alta taxa entre sua massa e área) sugere que um reforço estrutural das folhas as torna menos suscetíveis a herbívoros e outros danos físicos, possibilitando assim que elas vivam mais tempo de forma que a abscisão das folhas maduras seja controlada pela própria planta. Esse controle além de resultar num maior tempo de retenção dos nutrientes na folha, também permitiria que uma maior quantidade de nutrientes fosse reaproveitada em locais de intenso crescimento. A morte da folha antes da retranslocação teria um impacto significativo no estoque de nutrientes da planta, principalmente em solos onde eles não estivessem prontamente disponíveis para serem novamente absorvidos. Segundo Grubb (2002), em microhabitats onde algum fator ecológico importante seja limitante, ocorre a seleção para folhas com vida mais longa porque elas são capazes de fixar mais C por unidade de N absorvido do que folhas com vida mais curta. A concentração de N em folhas com alto peso específico, que são mais densas, é menor porque o elemento é diluído nos tecidos com paredes mais espessas responsáveis pela maior resistência e proteção das plantas. O tempo médio de vida das folhas em florestas altomontanas foi estimado em 14-18 meses comparativamente a 12-14 meses em florestas em mais baixas altitudes (GRUBB, 1977).

Teores de nutrientes das folhas são afetados por outros fatores além da sua disponibilidade no solo como idade da folha e época de coleta. A discussão a respeito dos níveis dos macronutrientes é dificultada por não se ter conhecimento sobre a nutrição mineral da espécie. Os valores observados encontram-se dentro das faixas propostas por Larcher (2004, p.193), para ambientes terrestres, com

exceção do Ca, que está bem acima. Os intervalos dos níveis propostos pelo autor para todos os nutrientes no entanto, são bastante amplos e portanto generalizados, devendo ser analisados com cuidado.

Caldeira (2003), avaliando a produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em um trecho da Floresta Ombrófila Mista Montana no centro-sul do Paraná, analisou a concentração de nutrientes das folhas e do lenho de *I. microdonta*, espécie também encontrada naquele ambiente. Os teores de N e P das folhas foram semelhantes aos encontrados no ambiente altomontano e os teores de Mg foram um pouco superiores. Em relação ao K e ao Ca, no entanto, observou uma relação inversa, com altos teores de Ca e teores de K muito mais baixos que a mesma espécie no ambiente altomontano.

Portes, (2000), avaliou a produção de serapilheira de um trecho da Floresta Ombrófila Densa altomontana do morro do Anhangava. Neste trabalho analisou separadamente as folhas de *I. microdonta* por ser a espécie com a maior contribuição para o total da serapilheira produzida. Embora as folhas analisadas já tenham sofrido abscisão e portanto uma boa parte de alguns dos nutrientes possa ter sido retranslocada, lixiviada ou mineralizada, os valores podem ser utilizados para comparação. Os teores de N, P e Mg encontrados pela autora foram um pouco menores do que o observado no presente trabalho, provavelmente devido a retranslocação antes da abscisão das folhas. Os teores de Ca foram bem maiores, o que poderia ser devido ao fato das folhas da serapilheira serem mais velhas e acumularem este nutriente. Os teores de K foram bem menores, o que poderia ser explicado pela lixiviação deste nutriente tanto das folhas verdes como das folhas presentes na serapilheira ao longo do tempo. Esta alta taxa de lixiviação poderia

explicar a alta concentração deste elemento no extrato aquoso da fração orgânica do solo (Tab. 5) e indica a importância da sua ciclagem no sistema, uma vez que os teores no solo mineral são extremamente baixas (Tab. 2).

Níveis de nutrientes foliares de outras espécies do mesmo gênero também podem ser usados como referência. O fato de apresentarem relação filogenética permite comparações. Em relação à *I. paraguariensis*, segundo trabalhos de REISSMANN et al, (1983) e WISNIEWSKI et al, (1996), *I. microdonta* apresentou teores semelhante de N e Mg, teores muito inferiores de Ca e principalmente P, e teores bastante elevados de K. Boeger; Wisniewski e Reissmann (2005) analisando folhas de *I. theezans* em três tipologias da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas sobre Espodosolos no PR, encontraram valores de N, P, e especialmente K mais baixos e Ca e Mg mais altos que os *I. microdonta* no presente trabalho. Protil (2006), estudando o mesmo ambiente alguns anos depois, encontrou, para *I. theezans*, teores de N, P e Mg semelhantes, teores de Ca mais altos e teores de K muito menores aos de *I. microdonta*.

Não são encontradas na literatura, muitas informações sobre teores de nutrientes em espécies de ambientes altomontanos. Vera; Cavelier e Santamaria (1999), na Colômbia, encontraram teores médios de N em folhas maduras de dez espécies, variando de 9,0 a 11,9 g.kg⁻¹ respectivamente para florestas a 1850 e 2800 m de altitude. Os teores de P ficaram entre 1,1 e 5,9 g.kg⁻¹, e os de Ca entre 10,7 e 11,0 g.kg⁻¹. No Sri Lanka, Jayasekera (1993) encontrou teores médios de 16,7 g.kg⁻¹ de N; 0,97 g.kg⁻¹ de P; 11,4 g.kg⁻¹ de K e 12,6 g.kg⁻¹ de Ca, em seis espécies de árvores dominantes de floresta altomontana a 2000 m de altitude. Embora em ambientes semelhantes, somente em relação ao N esses resultados

são similares ao observado para *I. microdonta*, cujos teores de P e Ca são inferiores e os de K, bastante superiores aos encontrados por esses autores.

Os teores observados encontram-se dentro da faixa de variação reportada por Boeger (2000), para diferentes formações florestais tropicais, embora nenhuma delas em ambientes altomontanos, com exceção novamente dos teores de P e K. Tanto folhas novas quanto maduras apresentaram teores de P e principalmente K acima da média reportada pela autora para ambientes diferentes tipologias florestais sucessionais da planície litorânea paranaense sobre Espodossolos e também na sua revisão sobre outros ambientes tropicais. A autora, concluiu que os teores de N e P das folhas das principais espécies de cada tipologia poderiam ser utilizadas para avaliar o grau de esclerofilia. SEREDA (2008), avaliou nutricionalmente o guanandi (*Callophylum brasiliense*) na planície litorânea paranaense, encontrando valores semelhantes de P, Ca e Mg, valores menores de N e principalmente de K. A autora relacionou os baixos teores de N e P encontrados com a esclerofilia das folhas.

A análise comparativa com a mesma espécie na Floresta Ombrófila Mista Montana, com outras espécies do mesmo gênero ou não, indicam que os altos teores de K e baixos teores de Ca nas folhas parecem ser característicos da *I. microdonta* no ambiente altomontano., embora o alto desvio padrão da média dos teores de K indiquem a grande variação entre os dados obtidos. Este elemento tem a característica única entre os nutrientes essenciais por participar de muitos processos metabólicos das plantas, incluindo a catálise de enzimas, desenvolvimento das estruturas celulares, fotossíntese e respiração, transporte de assimilados, metabolismo de proteínas e óleos, entre outros (MUNSON, 1985).

Sua participação em todos esses processos exige que ele interaja com muitos outros constituintes minerais de maneira antagonista ou sinérgica. A manutenção do equilíbrio iônico interno da planta depende da disponibilidade relativa dos três cátions dominantes (K, Ca e Mg), e portanto o efeito competitivo entre eles é facilmente demonstrado em experimentos nutricionais (MENGEL; KIRKBY, 1987). Este parece ser o caso quando se analisa os altos teores de K em relação aos teores baixos de Ca, em *I. microdonta* no ambiente altomontano, comparativamente à mesma espécie na Floresta Ombrófila Mista (CALDEIRA, 2003) e a outras espécies do mesmo gênero, que apresentaram teores menores de K mas teores maiores de Ca. Ou seja, os altos teores de K poderiam estar provocando uma deficiência induzida de Ca, para manutenção do equilíbrio iônico.

Aerts e Chapin, (2000, p.2), propõe a relação N:P das folhas como um indicador do elemento limitante ao crescimento. Razões N:P acima de 16 indicam P como o fator limitante, razões entre 16 e 14, indicam ambos como limitantes e razões inferiores a 14 indicam o N como fator limitante. Os valores da relação N:P obtidos para folhas novas e maduras de *I. microdonta* indicam o P como fator limitante ao crescimento no ambiente altomontano estudado.

Na Tabela 09 encontram-se os valores correspondentes ao conteúdo de nutrientes (calculado a partir do peso seco de 100 folhas) e a eficiência na utilização dos nutrientes das folhas de *I. microdonta*. A análise dos tecidos foliares é a mais utilizada para mostrar o grau de deficiência de nutrientes, mas pode mascarar efeitos de diluição ou concentração. A utilização do conteúdo de nutrientes por unidade de massa, como o peso de 100 folhas, pode evitar esse problema.

TABELA 09 - CONTEÚDO MÉDIO EM RELAÇÃO AO PESO DE 100 FOLHAS E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES EM *I. microdonta*, NA FLORESTA ALTOMONTANA DO MORRO DO ANHANGAVA – PR.

		N	P	K	Ca	Mg
	Peso 100 fls (g)			g		
Fls. novas	3,0	0,045	0,002	0,078	0,011	0,010
EUN*		67	1500	38	273	300
Fls. maduras	8,9	0,129	0,006	0,159	0,037	0,032
EUN*		70	1483	56	240	278
EUN**		64	1277	143	85	197

* EUN= Eficiência de utilização de nutrientes

** *I. microdonta* em Floresta Ombrófila Mista Montana (CALDEIRA,2003)

Observou-se que as folhas velhas apresentaram um conteúdo superior de nutrientes, proporcional ao aumento do peso das folhas novas em relação às maduras (Tab. 08), com exceção do K, cujo aumento foi menor. O nutriente absorvido em maior quantidade tanto por folhas novas quanto maduras foi o K, seguido pelo N, Ca, Mg e por último o P, mantendo a mesma sequência observada em relação aos teores.

O resultado observado em relação ao K, que foi o nutriente absorvido em maior quantidade, reforça a hipótese desta ser uma característica desta espécie no ambiente altomontano e da importância da sua reciclagem no sistema, uma vez que o K é bastante móvel e portanto facilmente lixiviado das copas e também do solo pela ação da chuva e neblina, tão características desse ambiente.

A maior eficiência foi observada na utilização do fósforo, seguindo-se o Mg, o Ca, o N e por último o K. A alta eficiência na utilização do P confirma este elemento como fator limitante ao crescimento de *I. microdonta* no ambiente altomontano

WINCKLER et al, (2006), avaliaram o índice de eficiência de utilização nutrientes de *I. microdonta*, de um trecho da Floresta Ombrófila Mista Montana no Paraná sobre solos mais argilosos, mas também ácidos e pobres em nutrientes, principalmente. Os autores verificaram, analisando a biomassa das folhas em relação ao seu conteúdo nutricional, uma eficiência muito alta em relação ao P, semelhante ao valor observado no presente trabalho. Em relação aos demais nutrientes a eficiência foi Mg>K>Ca>N, diferente da observada para a mesma espécie no alto do morro do Anhangava, cuja relação foi Mg>Ca>N>K. Na floresta estudada, esta espécie apresentou maior estatura e biomassa e arquitetura normal comparativamente ao ambiente altomontano, embora os teores de P e especialmente K no solo tenham sido bem menores (1,6 e 62 mg.dm⁻³ respectivamente) . Os teores de Ca foram semelhantes (1,5 cmol_c.dm⁻³) e os teores de Mg foram um pouco menores (0,51 cmol_c.dm⁻³). Provavelmente outros fatores do solo como profundidade, estrutura, porosidade e aeração que são muito diferentes dos Organossolos altomontanos, além do microclima tenham uma influência no crescimento e desenvolvimento da espécie na Floresta Ombrófila Mista.

5.5. CORRELAÇÕES

A TABELA 10 apresenta os coeficientes de correlação entre os atributos morfológicos medidos, o índice de esclerofilia de Rizzini de e os teores de nutrientes disponíveis no solo e o das folhas. Considerou-se como nutrientes disponíveis no solo a soma dos elementos do extrato aquoso da parte orgânica com os elementos disponíveis na parte mineral do solo (Tab. 07).

TABELA 10 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ESCLEROFILIA DE *I. microdonta* E OS TEORES DE NUTRIENTES DO SOLO E DAS FOLHAS.

Nutrientes	Folhas novas		Folhas maduras	
	Rizzini	AEF***	Rizzini	AEF
Total do solo*				
N	0,23	0,51	0,43	0,42
P	-0,45	-0,41	0,37	0,55
K	-0,46	0,75	-0,41	0,46
Ca	-0,52	-0,47	-0,74	-0,67
Mg	0,34	0,79	0,51	0,43
Fração orgânica**				
N	0,16	-0,79	-0,49	0,53
P	0,40	-0,91	-0,20	0,46
K	-0,10	0,77	-0,08	0,46
Ca	0,22	0,68	0,57	0,60
Mg	-0,01	0,85	-0,57	0,55
Folhares				
N	-0,58	-0,37	0,15	0,65
P	-0,01	0,35	0,23	0,35
K	-0,38	0,48	0,02	0,24
Ca	-0,66	0,58	-0,46	0,60
Mg	0,14	0,48	-0,24	0,70

*Total de nutrientes disponíveis no solo (fração mineral + extrato aquoso) (Tab. 6)

** Nutrientes disponíveis no extrato aquoso da fração orgânica (Tab. 5)

*** Área específica foliar

Não foram detectadas correlações estatisticamente significativas entre o índice de esclerofilia de Rizzini ou a área específica foliar ((AEF) e os teores macronutrientes tanto no solo como nas folhas. O pequeno número de repetições utilizados no cálculo com certeza foi um fator determinante nos resultados observados, além da relativa homogeneidade e da pequena área do ambiente estudado. Embora não estatisticamente significativos alguns resultados chamam a atenção como por exemplo a correlação negativa (-0,59) entre os teores de P disponíveis no solo e o índice de esclerofilia das folhas maduras, o que poderia indicar a hipótese de uma relação inversa entre os teores de P no solo e o

desenvolvimento de estruturas esclerofilas. Os resultados em relação ao N, no entanto, não são indicativos de uma correlação inversa.

Sugere-se portanto, a necessidade de um maior número de amostras de solo, já que as amostras de folhas foram em maior número e os mesmos dados podem ser utilizados, uma vez que os resultados aqui apresentados mostram-se inconclusivos em relação entre o índice de esclerofilia e a disponibilidade de N e P no solo.

Estudos da mesma espécie crescendo em diferentes altitudes como observado por Roderjan (1994), na transição da floresta altomontana para a montana no Morro do Anhangava, onde já predominavam solos minerais (Neossolos litólicos) e também na Floresta Ombrófila Mista, onde a espécie ocorre sobre outros tipos de solos são necessários para que se compreenda melhor essas complexas relações ecológicas.

Embora as correlações tenham sido fracas e não significativas, os resultados dos teores e conteúdo de P nas folhas, da relação N:P das folhas, aliados aos baixos teores desse elemento no solo, permitem supor que ele seja um fator limitante nesse ambiente o que poderia, pelo menos em parte, ser responsável pela esclerofilia observada nesta espécie.

6. CONCLUSÕES

- a) O solo do ambiente altomontano do Morro do Anhgava foi classificado como Organossolo fólico fibrico/hêmico/sápico, extremamente ácido, com altos teores de Al trocável, alto conteúdo de C orgânico e CTC muito alta e textura franco-siltosa;
- b) Na fração mineral do solo os teores de macronutrientes foram médios (Mg), baixos (K) e muito baixos (P e Ca);
- c) A contribuição do extrato aquoso da fração orgânica do solo aumentou consideravelmente a disponibilidade de Mg e principalmente de K, mas não de P nem de Ca;
- d) Avaliando-se o peso seco, a área foliar, a área específica foliar e a espessura das folhas novas e maduras de *Ilex microdonta*, concluiu-se que a espécie apresenta esclerofilia, que é maior nas folhas maduras;
- e) As folhas novas e velhas apresentaram baixos teores de P, teores muito altos de K e teores de N, Ca e Mg comparáveis a outras espécies do mesmo gênero;
- f) A relação N:P indicou que o P é o nutriente limitante no ambiente altomontano estudado;
- g) A espécie é muito eficiente na utilização do P;
- h) Embora correlações entre a esclerofilia e os teores de nutrientes do solo e das folhas tenham se mostrado fracas e não significativas, concluiu-se que a esclerofilia observada pode ser atribuída aos baixos teores de P no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERTS, R. Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns? **Journal of Ecology**, Oxford, v.84, p.597-608, 1996.

AERTS, R. Interspecific competition in natural plant communities: mechanisms, trade-offs and plant-soil feedbacks. **Journal of Experimental Botany**, Oxford: Oxford University Press, v. 50, n. 330, p.29-37, jan. 1999.

AERTS, R.; CHAPIN, F. S. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. **Advances in Ecological Research**, Wageningen, v. 3, p.1-67, 2000.

BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F.; CARMO, D.N.; NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais – descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.1, p.112-120, 1986.

BASSMAN, J.H. Ecosystem consequences of enhanced solar ultraviolet radiation: secondary planta metabolites as mediators of multiple trophic interactions in terrestrial plant communities. **Photochemistry and photobiology**, v. 79, n. 5, 382-398, 2004

BENITES, V. M. **Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude**. 71p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

BENITES, V. M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, E. de S.; MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob Campos de Altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p.661-674, 2001.

BENITES, V.M.; MENDONÇA, E.S.; SCHAEFER, C.E.G.R.; NOVOTNY, E.; REIS, E.L.; KER, J.C. Properties of Black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. **Geoderma**, v.127, p.104-113, 2005.

BIGARELLA, J. J. **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Governo do Estado do Paraná – ADEA, 1978. 249 p.

BOEGER, M. R. T. **Morfologia foliar e aspectos nutricionais de espécies arbóreas em três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa das terras baixas, Paranaguá, PR**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

BOEGER, M., R. T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos da floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n.1, p.61-72, 2003.

BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C.; REISSMANN, C.B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. **Acta bot. bras.**, v.19, n.1, p.167-181, 2005.

BONGERS, F.; POPMA, J. Leaf characteristics of the tropical rain forest flora of Los Tuxtlas, Mexico. **Botanical Gazette**, The University of Chicago Press. n. 3, v. 151, p.354-365, 1990.

BRUIJNZEEL, L. A.; VENEKLAAS, E. J. Climatic conditions and Tropical Montane Forest productivity: the fog has not lifted yet. **Ecology**, Durham, v. 79, n. 1, p. 3-9, 1998.

BUBB, P.; MAY, I.; MILES, L.; SAYER, J. **Cloud forest agenda**. UNEP, WCMC – World Conservation Monitoring Center, Cambridge, UK. 2004

BUSSOTTI, F.; BORGHINI, F.; CELESTI, C.; LEONZIO, C.; BRUSCHI, P. Leaf morphology and macronutrients in broadleaved trees in central Italy. **Trees**, Berlin, v. 14, p.361-368, 2000.

CALDEIRA, M.V.W. Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta ombrófila mista Montana em General Carneiro, Paraná. Curitiba, PR. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal doParaná. 2003

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem – para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10 ed. Porto Alegre, 2004, 400p.

COUTINHO, L.M. Contribuição ao conhecimento da ecologia da mata pluvial tropical. **Boletim da F.F.C.U.S.P. Botânica**, São Paulo, v.18, p.1-219, 1962.

CUENCA, G.; HERRERA, R.; MEDINA, E. Aluminium tolerance in trees of a tropical cloud forest. *Plant and Soil*, v.125, p.169-175, 1990.

DOUMENGE, C.; GILMOUR, D.; PEREZ, M.R.; BLOCKHUS ed: Tropical Montane Cloud Forests: conservation status and management issues. In: HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. A.; SCATENA, F. N. **Tropical Montane Cloud Forests**. (Proceedings of the International Symposium, San Juan), Springer-Verlag, p. 17-24, 1993.

EDWARDS, C.; READ, J.; SANSON, G. Characterising sclerophylly: some mechanical properties of leaves from heath and forest. *Oecologia*, Berlin, v. 123, p. 158-167, 2000.

EDWIN, G.; REITZ, P.R. **Aquífoliaceas**. Flora Ilustrada catarinense, Itajaí: R. Reitz, 1967. 47 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. SNLCS. **Sistema brasileiro de classificação de solos (2ª aproximação)**. Rio de Janeiro, 1981.107 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília : Embrapa-SPI, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FAO. **Forest Resources Assessment 1990**. Tropical countries, FAO forestry paper 112. Rome: Food and Agriculture Organization of the UN, 1993.

FONSECA, C.R.; OVERTON, J. M.; COLLINS, B.; WESTOBY, M. Shifts in trait-combinations along rainfall and phosphorus gradients. *Journal of Ecology*, v.88, p. 964-947, 2000.

FRANÇA, G. S.; STEHMANN, J. R. Composição florística e estrutura do componente arbóreo de uma floresta altimontana no município de Camanducaia, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, n. 27, p.19-30, 2004.

GHANI, N. L. B.; **Caracterização Morfológica, Física, Química Mineralógica, Gênese e Classificação de Solos Altimontanos derivados de Ri'lito e Migmatito da Serra da Mar – PR**. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônoma) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.

GROMM, P.K.; LAMONT, B.B. Wich common indices of sclerophylly reflect differences in leaf structure? *Ecoscience*, v.6, n.3, p.471-474, 1999.

GRUBB, P. J.. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains: with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 8, p. 83-107, 1977

GRUBB, P. J. Leaf form and function: towards a radical new approach. *New Phytologist*, Oxford: Blackwell Publishing, v. 155, n. 3, p.317-320, set. 2002.

HAMILTON, L. S. Mountain Cloud Forest Conservation and Research: A Synopsis. *Mountain Research and Development*, Boulder, v. 15, n. 3, p. 259-266, 1995.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, Documento, 16. 1994

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, (Manuais Técnicos em Geociências, 1), 1992. 92p.

JAYASEKERA, A. Concentrations of selected heavy metals in different compartments of a mountain rain forest ecosystem in Sri Lanka. In: MARKERT, B., ed. **Plants as biomonitors: indicators for heavy metals in the terrestrial environment**, VCH-Publisher, Weinheim, New York, Tokio, p.613-622, 1993.

JORDAN, G. J.; DILLON, R. A.; WESTON, P H. Solar radiation as a factor in the evolution of scleromorphic leaf anatomy in Proteaceae. **American Journal Of Botany**, Ithaca: Botanical Society of America, v. 92, n. 5, p.789-796, 2005.

KILLINGBECK, K. T. Nutrients in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. **Ecology**, Ecological Society Of America, Washington, Dc, v. 77, n. 6, p.1716-1727, 1996.

KOEHLER, A.; GALVÃO, F.; LONGHI, S. J. Floresta Ombrófila Densa Altomontana: aspectos florísticos e estruturais em diferentes trechos da Serra do Mar, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 27-39, 2002.

KUTBAY, H. G. Sclerophylly in *Fraxinus angustifolia* Vahl. subsp. *oxycarpa* (Bieb. ex Willd.) Franco & Rocha Afonso and *Laurus nobilis* L. and Edaphic Relations of These Species. **Turkish Journal Of Botany**, Tübitag, n. 24, p.113-119, 2000.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2004

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. Vegetação. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil: Região Sul**. Rio de Janeiro, 1990. p. 113-150.

LLERAS, E. Differences in stomatal number per unit área within the same species under different micro-environmental conditions: a working hypothesis. **Acta Amazônica**, Manaus, v.7, n4, p. 473-476, 1977

LOVELESS, A. R. A nutritional interpretation of sclerophylly based on differences in the chemical composition of sclerophyllous and mesophytic leaves. **Annals of Botany**, v.25, p. 168-184, 1961.

LOVELESS, A. R. Further evidences to support a nutritional interpretation of sclerophylls. **Annals of Botany**, London, v. 26, p. 549-561, 1962.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2 ed. Rio de Janeiro, J.

Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981. 450 p.

MARIN, D.; MEDINA, E. Duracion foliar, contenido de nutrientes y esclerofilia em arboles de um bosque muy seco tropical. **Acta Científica Venezolana**, Caracas, v. 32, p. 508-514, 1981.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 674p.

MARTINS, A.P.L.; REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.1, p. 73-89, 2007

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4 ed. Bern: International Potash Institute, 1987, 687 p.

MERLIN, M.; JUVIK, J. Montane cloud forest in the tropical Pacific: some aspects of their floristics, biogeography, ecology, and conservation. In: HAMILTON, L. S.; JUVIK, J. A.; SCATENA, F. N. **Tropical Montane Cloud Forests**. (Proceedings of the International Symposium, San Juan, Puerto Rico), Springer-Verlag, 1993.

MUNSON, R.D. **Potassium in Agriculture**. Madison: American Society of Agronomy. 1985.1223 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. UFV, DPS, Viçosa, MG, 399p, 1999

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, Lawrence: The Association for Tropical Biology And Conservation, v. 32, n. 4b, p.793-810, 2000.

PEACE, W. J. H.; MACDONALD, F. D. An investigation of the leaf anatomy, foliar mineral levels, and water relations of trees of a Sarawak Forest. **Biotropica**, Lawrence, v. 13, n. 2, p.100-109, jun. 1981.

PERSSON, R. **World Forest Resources**. Stockholm. Royal College of Forestry. 1974.

PINTO, C.B. **Contribuição de espécies arbóreas para a ciclagem de nutrientes em sucessão vegetal na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas**. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 2001

PORTES, M. C. G de O. **Deposição de serapilheira e decomposição foliar em Floresta Ombrófila Densa Altomontana, Morro Anhangava, Serra da Baitaca, Quatro Barras – PR.** 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

PORTES, M. C. G. de O.; GALVÃO, F. Floresta Ombrófila Densa Altomontana. Avaliação da decomposição foliar de cinco espécies arbóreas e da serapilheira. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 49., Salvador, 1998. *Anais...* Salvador: 1998. p. 302.

PORTES, M.C.G. de O.; KÖEHLER, A.; GALVÃO, F. Variação sazonal da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila densa altomontana no Morro do Anhangava, PR. *Floresta*, v. 26, n. 1/2, p.3-10, 1996.

PORTES, M. C. G. de O.; GALVÃO, F.; KOEHLER, A. Caracterização florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana do morro do Anhangava, Quatro Barras, PR. *Floresta*, v. 31, n. 1/2, p. 9-18, 2001.

PROCTOR, J. et al. Ecological studies in four contrasting Lowland Rain Forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak: II. litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. *The Journal Of Ecology*, London: British Ecological Society, v. 71, n. 1, p.261-283, mar. 1983.

PROTIL, C.Z. **Contribuição de quatro espécies arbóreas ao ciclo geoquímico em floresta atlântica na planície litorânea do Paraná.** 128 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

PYYKKÖ, M. Morphology and anatomy of leaves from some Woody plants in humid tropical Forest of Venezuelan Guayana. *Acta Botanica Fennica*, Helsink, v.112, p. 1-41, 1978.

RAIJ, B. V.; GHEYI, H. R.; BATAGLIA, O. C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extrato aquosos de solos. In: RAIJ, B. V.; de ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. p. 277-281.

RAMBO, B. História da flora do planalto riograndense. *Sellowia*, Itajaí, SC, v.5, p.185-232. 1953

READ, J.; SANSON, G. D. Characterizing sclerophylly: the mechanical properties of a diverse range of leaf types. *New Phytologist*, Blackwell Scientific Publications: Oxford, v. 160, n. 1, p.81-99, out. 2003.

READ, J.; SANSON, G. D.; LAMONT, B. B. Leaf mechanical properties in sclerophyll woodland and shrubland on contrasting soils. **Plant and Soil**, Springer Netherlands, p.95-113, 2005.

READ, J.; STOKES, A. Plant biomechanics in an ecological context. **American Journal of Botany**, St. Louis, n. 93, p.1546-1565, 2006.

REISSMANN, C.B.; ROCHA, H.O.; KOEHLER, C.W.; CALDAS, R.L. S.; HILDEBRAND, E. Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) sobre Cambissolos na região de Mandirituba – PR. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 16, n.2, p. 49-54, 1983

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil**. São Paulo: EDUSP/HUCITEC, v. 1, 1976.

ROCHA, M. L. R. **Caracterização fitossociológica e pedológica de uma floresta ombrófila densa altomontana no Parque Estadual Pico do Marumbi – Morretes, PR**. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

RODERJAN, C. V.; **A floresta ombrófila densa altomontana do Morro Anhangava, Quatro Barras, PR, aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos**. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1994.

RODERSTEIN, M.; HERTEL, D.; LEUSCHNER, C. Above and below-ground litter production in three tropical montane forests in southern Ecuador. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 21, p. 483-492, 2005

ROTH, I. Stratification of tropical forest as seen in leaf structure. In: LIETH, H. (Ed.). **Tasks for vegetation science**. The Hague: Junk, 1984.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92 p.

SCHAWÉ, M.; GLATZEL, S.; GEROLD, G. Soil development along an altitudinal transect in a bolivian tropical montane rain forest: podzolization vs hydromorphy. **Catena**, Elsevier, v.69, p.83-90, 2007

SEGADAS-VIANNA, F. **Ecology of the Itatiaia Range, Southeastern Brazil: I. Altitudinal zonation of the vegetation**. Arquivos do Museu Nacional, v. 53, p.7-30, 1968.

SEREDA, F. **Caracterização nutricional e grau de esclerofilia foliar de guanandi em floresta ombrófila densa no litoral do Paraná**. 78 f. Dissertação

(Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

SOBRADO, M. A.; MEDINA, E. General morphology, anatomical structure, and nutrient content of the “bana” vegetation of Amazonas. *Oecologia*, Berlin, v. 45, p. 341-35, 1980.

TANNER, E.V.J. Four montane rain forests of Jamaica: a quantitative characterization of the floristics, the soils and the foliar mineral levels and a discussion of the interrelations. *Journal of Ecology*, Oxford, v.65, p. 883-918, 1974.

TANNER, E. V. J.; VITOUSEK, P.M.; CUEVAS, E. Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth on wet tropical mountain *Ecology*. Ecological Society of America, Washington DC, v.79, n.1, p.10-22, 1998.

TURNER, I. M. Sclerophylly: Primarily Protective? *Functional Ecology*, London: British Ecological Society, v. 8, n. 6, p.669-675, dez. 1994.

TURNER, I. M.; LUCAS, P.W.; BECKER, P.; WONG, S.C.; YONG, J.W.H.; CHOONG, M.F.; TYREE, M.T. Tree leaf form in Brunei: a heath forest and mixed dipterocarp forest compared. *Biotropica*, v.32, n.1, p. 53-61, 2000.

VASHCHENKO, Y. **Caracterização da trilha e o impacto do montanhismo nos Picos Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR.** 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

VASHCHENKO, Y.; PIOVESAN, R.; LIMA, M.R.; FAVARETTO, N. Solos e vegetação dos picos Camacuã, Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR. *Scientia Agrária*, Curitiba, v.8, n.4, p.441-419, 2007

VELÁZQUEZ-ROSAS, N.; MEAVE, J.; VÁZQUEZ-SANTANA, S. Elevational Variation of Leaf Traits in Montane Rain Forest Tree Species at La Chinantla, Southern Mexico. *Biotropica*, Lawrence: The Association for Tropical Biology And Conservation, v. 34, n. 4, p.534-546, 2002.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação, brasileira adaptada a um sistema universal.** Rio de Janeiro, IBGE. 162p. 1991.

VERA, M.; CAVELIER, J.; SANTAMARIA, J. Reabsorción de nitrógeno y fósforo foliar en árboles de bosques montanos en los Andes centrales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, vol.47, no.1-2, p.33-43,1999.

WEERAKKODY, J.; PARKINSON, D. Input, accumulation and turnover of organic matter, nitrogen and phosphorus in surface organic layers of an upper montane forest in Sri Lanka. *Pedobiologia*, v. 0, p. 377-383, 2006

WHITE JR, H. H. Variation of stand structure correlated with altitude, in the Luquillo Mountains, Puerto Rico. **Caribbean Forester**, Rio Piedras, v. 24, n. 1, p. 46-52, 1963.

WILCKE, W.; HESS, T.; BENGEL, C.; HOMEIER, J.; VALAREZO, C. ZECH, W. Coarse woody debris in a montane forest in Ecuador: mass, C and nutrient stock and turnover. **Forest Ecology and management**. Elsevier, v.205, p.139-147, 2005.

WINCKLER, M.V.; MARQUES, R. M.; SOARES, R. V.; WATZLAWICK, L.F. Índice de eficiência de macronutrientes em espécies arbóreas – floresta ombrófila mista Montana, Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.27, n.3, p.321-332, 2006

WISNIEWSKI, C; JINZENJI, F.; CLARO, A.M.; SOUZA, R. M. de. Exportação de biomassa e macronutrientes com a primeira poda de formação da erva-mate na região de Pinhais-PR. **Agrárias**, Curitiba, v.15, n. 2, p.179-186, 1996.

WISNIEWSKI, C.; PAULA, R. A. Esclerofilia em *Ilex microdonta* (Aquifoliaceae) em Neossolo Litólico hístico do Morro do Anhangava, PR. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil, 2003, Fortaleza. **Anais VI CEB**. Fortaleza - CE : Universidade Federal do Ceará - Sociedade de Ecologia do Brasil, v. 1. p. 321-321, 2003.

WISNIEWSKI, C.; TEMPESTA, P. B. ; RODRIGUES, V. M. R. Solos e vegetação em uma topossequência do morro Mãe Catira, alto da Serra da Graciosa, Morretes, PR. In: XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005, Recife. **Anais XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2005.

WITKAMP, M. Mineral retention by epiphytic organisms. In: US ATOMIC ENERGY COMMISSION. **A tropical rain forest**. Office Information Service. Capítulo H-14, p. H77-179, 1970

WITKOWSKI, E. T. F.; LAMONT, B. B. Leaf specific mass confounds leaf density and thickness. **Oecologia**, Berlin, v. 88, p. 486-493, 1991.

WLATZLAVICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; VALERIO, A.F.; SILVESTRE, R. Caracterização da composição florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Mista no município de General Carneiro, PR. **Ambiência**, Guarapuava, PR; v.1, n.2, p.229-237. 2005

WRIGHT, I. J.; CANNON, K. Relationships between leaf life span and structural defences in a low nutrient sclerophyll flora. **Functional Ecology**, Blackwell Sci. Pub., Oxford. V.15, p.351-359. 2001.

WRIGHT, I. J.; REICH, P. B.; WESTOBY, M. Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high- and low-rainfall and high- and low-nutrient habitats. **Functional Ecology**, Blackwell Scientific Publications: Oxford, v. 15, n. 4, p.423-434, 2001.

WRIGHT, I. J.; WESTOBY, M.; REICH, P.B. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient poor habitats has different consequences for leaf life span. **Journal of Ecology**, Blackwell Scientific Publication: Oxford, v.90, p.534-543, 2002.

ANEXO

ANEXO 1

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO PERFIL DO SOLO

Data: 17/11/2002

Classificação primária: Organossolo fólico

Localização: Morro do Anhangava, Quatro barras, PR.

Situação: terço superior

Altitude: 1350 m snm

Material originário: saprólitos do granito Anhangava

Relevo local: Montanhoso, 58% de declividade

Relevo regional: escarpado e montanhoso

Pedregosidade: não pedregoso

Rochosidade: não rochoso

Erosão: não aparente

Drenagem: moderadamente drenado

Vegetação primária: Floresta Ombrófila Densa Alto-montana

Uso atual: idem

Descrito e coletado: Celina Wisniewski e Rodrigo Aquino e Paula

Descrição morfológica:

Oo₁ : 0-6 cm, preto(N2/), material fíbrico herbáceo e lenhoso, com folhas e ramos pouco decompostos na superfície; com muitas raízes finas e médias vivas e, entremeadas com o material orgânico pouco decomposto, espaços vazios pequenos e medos freqüentes, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual para Oo₂.

Oo₂ : 7-25 cm, preto (10YR 2/1), matriz sáprica de estrutura grumosa entremeada com material fibroso herbáceo e lenhoso e muitas raízes finas e médias vivas e espaços vazios pequenos e médios, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual para Od.

Od : 26-31 cm, bruno acinzentado escuro (10 YR 3/2) , matriz sáprica de matéria orgânica bastante decomposta, franco-arenosa, fraca/moderada e pequena bloco subangular, firme, não plástica e ligeiramente pegajosa, transição abrupta e plana com a rocha.

Raízes:

Oo₁ : Muitas finas, poucas médias e poucas grossas;

Oo₂ : Muitas finas, poucas médias e poucas grossas;

Od : Poucas finas e médias,

Poros:

Oo₁ : Muitos grandes;

Oo₂ : Muitos grandes;

Od : Comuns pequenos.