

FERNANDA CASSEMIRO DOS SANTOS

Disponibilidade de Nitrogênio no Solo em um Gradiente Altitudinal da Mata Atlântica

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica a Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO
2014

FERNANDA CASSEMIRO DOS SANTOS

Disponibilidade de Nitrogênio no Solo em um Gradiente Altitudinal da Mata Atlântica

Dissertação apresentada ao Instituto de Botânica e Secretaria do Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de MESTRE em BIODIVERSIDADE VEGETAL E MEIO AMBIENTE, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

ORIENTADOR: DR MARCOS PEREIRA MARINHO AIDAR

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

Santos, Fernanda Cassemiro dos

S237d Disponibilidade de nitrogênio no solo em um gradiente altitudinal da Mata Atlântica / Fernanda Cassemiro dos Santos -- São Paulo, 2014
83 p. Il.

Dissertação (Mestrado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2014
Bibliografia.

1. Mata Atlântica. 2. Nitrogênio. 3. Solo. I. Título

CDU: 582.526.422.2

*Aos meus pais Claudia e Rogerio
pelo amor e apoio incondicional em
mais uma etapa da minha vida*

Dedico

*A Antonio Marchi Pavone por
completar a minha vida*

Ofereço

O Cântico da Terra

*Eu sou a terra, eu sou a vida.
Do meu barro primeiro veio o homem.
De mim veio a mulher e veio o amor.
Veio a árvore, veio a fonte.
Vem o fruto e vem a flor.*

*Eu sou a fonte original de toda vida.
Sou o chão que se prende à tua casa.
Sou a telha da cobertura de teu lar.
A mina constante de teu poço.
Sou a espiga generosa de teu gado
e certeza tranqüila ao teu esforço.
Sou a razão de tua vida.
De mim vieste pela mão do Criador,
e a mim tu voltarás no fim da lida.
Só em mim acharás descanso e Paz.*

*Eu sou a grande Mãe Universal.
Tua filha, tua noiva e desposada.
A mulher e o ventre que fecundas.
Sou a gleba, a gestação, eu sou o amor.*

*A ti, ó lavrador, tudo quanto é meu.
Teu arado, tua foice, teu machado.
O berço pequenino de teu filho.
O algodão de tua veste
e o pão de tua casa.*

*E um dia bem distante
a mim tu voltarás.
E no canteiro materno de meu seio
tranqüilo dormirás.*

*Plantemos a roça.
Lavremos a gleba.
Cuidemos do ninho,
do gado e da tulha.
Fatura teremos
e donos de sítio
felizes seremos.*

Cora Coralina

Quando a noite esconde a luz, Deus acende as estrelas”

Pe Fábio de Melo, scj

AGRADECIMENTOS

Existem muitas pessoas que preciso agradecer, mas gostaria de começar por alguém que sempre esteve ao meu lado, guiando meus passos e me mostrando o caminho: Deus, obrigada por estar presente em cada palavra que escrevi, em cada pensamento e idéia durante essa etapa da minha vida. Obrigada por me ensinar que a sabedoria é entender que tudo que fazemos, passamos, sentimos possui um valor inexplicável...que somos fortes para encarar os desafios da vida..e que somos capazes de coisas grandiosas...

Aos meus pais Claudia e Rogerio pelo amor incondicional, carinho, compreensão e apoio durante toda minha caminhada profissional. Desde o início da faculdade vocês dois sempre acreditaram no meu potencial e me incentivaram, dizendo que o estudo, o esforço e a vontade são a chave para o conhecimento e crescimento pessoal. Mãe, não tenho palavras para descrever como foi importante sua companhia, nossas risadas, suas palavras nos momentos de desânimo, seu cuidado, e sua comida mais do que deliciosa (rsrsrs), durante todo o meu mestrado. Tudo isso me fez ter mais forças para continuar essa longa caminhada! Pai, você mais do que ninguém acreditou nos meus estudos, e na minha capacidade de ir além do que eu mesma poderia imaginar! Você é um paizão, que apesar da distância não mede esforços para estar ao meu lado nos momentos de decisão, de angústia, de alegria e naqueles que é necessário um conselho de pai! Obrigada por vocês serem meus pais!

A meu namorado Antonio que faz a minha vida ser mais leve, linda e perfeita... Você tem o dom de fazer as coisas serem mais simples, de dizer a palavra certa na hora em que nada mais parece ter solução, principalmente quando eu estava enlouuuuquecendo no final do mestrado!! Rsrs. Obrigada pela sua companhia, por cada sorriso, cada abraço, pelo seu amor verdadeiro, e principalmente por me ensinar o real significado de FÉ! Você me fez acreditar em mim mais do que eu poderia acreditar, e me fez ver que basta ter fé que as coisas se concretizam.... “Fé que tudo vai dar certo, preta” !! Obrigada por estar comigo sempre!! Te amo demais, até o céu!

À toda minha família, e principalmente minha avó Guiomar e tia Silvia, que acompanharam cada etapa do meu mestrado, com palavras de carinho, incentivo, e muito amor! Obrigada por me fazer entender que sou capaz...e que sou forte o suficiente para fazer qualquer coisa nessa vida! Amo vocês!!

A minha melhor amiga e irmã, Alessandra Gangi pela amizade e carinho inexplicável de sempre!! Você é uma pessoa mais do que especial na minha vida, não canso de dizer! Obrigada

por estar presente em todos os momentos, por me ouvir, pelas constantes alegrias, pelos conselhos e palavras. Mesmo com uma distância de mais de 200Km, nossa amizade continua a mesma do que era a 10 anos atrás...nada mudou...só nós que ficamos mais velhas (e lindas!! rrsrs). Obrigada pelo carinho de sempre toda vez que apareço em São Carlos para uma visita! Não tenho palavras para descrever o quanto sua amizade é importante para mim!

As minhas amigas de faculdade, mestrado, e de sempre Cristiane Aguiar e Francine Faia, obrigada por todo o carinho, e amizade verdadeira!! Obrigada por escutar tantas lamentações, reclamações...rrs....e desabafos!! Não foi fácil e vocês sabem disso!!

Aos meus amigos queridos do IBt, Nidia, Janaina, Filipe, Marcelo, Celso, Marco, Pedro, Pepe, Vitor, Kassinha, Dai, Fê, Roseli, Aline, Ju, Evandro, Paulo, Bia e Cabelo. Vocês foram essenciais para a conclusão dessa etapa, e quero levar a amizade de vocês para a vida!! Obrigada por cada sorriso, cada palavra, cada ensinamento, ajuda, paciência e principalmente carinho!! Sem vocês minha caminhada no mestrado não seria tão significativa!!! Vocês me ensinaram muitas coisas, e aprendi a admirar cada um!!

Ao meu orientador Marcos Pereira Marinho Aidar. Obrigada por fazer parte do meu crescimento profissional e maturidade pessoal.

À Dra Marcia Lopes por todo o carinho, atenção e acolhida! Obrigada por toda sua paciência em cada explicação, pelas conversas, e por me ensinar a gostar ainda mais do nosso querido solo! Obrigada por tudo Marcia! Sem você com certeza meu mestrado teria sido muito mais difícil!

À Dra Brigitte Feigl do Centro de Energia Nuclear da Agricultura (CENA), por participar da minha banca de qualificação, com seus ensinamentos e conhecimento científico, e pela oportunidade de realizar parte das minhas análises no CENA. Obrigada pela ajuda com as análises e por ser tão prestativa e carinhosa em cada dúvida durante o processo final da minha dissertação.

Aos técnicos Ralf e Dagmar do laboratório de Biogeoquímica do Cena pela paciência e carinho nos dias que estive em Piracicaba para fazer minhas análises. Obrigada pela atenção e trabalho!

Ao Renato Belinelo (Pezão) pela ajuda, amizade, risadas e ensinamentos durante as coletas! Ao Wagner do Núcleo Santa Virgínia pela ajuda.

Ao Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Santa Virgínia e Picinguaba, e Parque Estadual de Campos do Jordão pelo apoio.

As agências financiadoras CAPES e FAPESP.

Ao Instituto de Botânica (IBt-SP) e a todos os pesquisadores e alunos do núcleo de Fisiologia e Bioquímica de Plantas!

E a todos que direta ou indiretamente tiveram participação nesse trabalho...o meu muito Obrigada!

Sumário

Lista de Figuras	VIII
Lista de Tabelas	XII
Resumo.....	XIII
Abstract	XIV
1 Introdução	1
1.1 Mata Atlântica	1
1.2 Solo.....	3
1.4 Disponibilidade de Nitrogênio no Solo	5
2 Justificativa	10
3 Objetivo geral.....	11
3.1 Objetivos Específicos	11
3.2 Material e Método	12
3.3 Descrição da Área de Estudo.....	12
3.3.1 Parque Estadual de Campos do Jordão	14
3.3.2 Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Santa Virgínia	14
3.3.3 Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Picinguaba	15
3.4 Dados Complementares	16
3.5 Amostragem de Solo	16
3.6 Amostragem de Serapilheira Acumulada	16
3.7 Preparo das Amostras de Solo	17
3.8 Preparo das Amostras de Serapilheira	17
3.9 Estoque de Carbono e Nitrogênio na Serapilheira e no Solo	17
3.10 Mineralização e Nitrificação de Nitrogênio no Solo	17
3.11 Nitrogênio Mineral <i>in situ</i>	18
3.12 Aminoácidos no Solo.....	18
4 Análises Estatísticas	20
4.1 Análise Estatística Descritiva	20
4.2 Análise Estatística Inferencial	20
5 Resultados e Discussão	21
5.1 Condições climáticas: Temperatura e Precipitação	21
5.1.1 Parque Estadual de Campos do Jordão	21

5.1.2	Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Santa Virgínia	22
5.1.3	Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Picinguaba	24
5.2	Teor de umidade do solo	26
5.3	Serapilheira Acumulada	26
5.4	Estoque de Carbono e Nitrogênio na Serapilheira.....	29
5.5	Nitrogênio Mineral <i>in situ</i>	32
5.6	Mineralização e Nitrificação de Nitrogênio no Solo	37
5.7	Estoque de Carbono e Nitrogênio no Solo	40
5.8	Aminoácidos no Solo.....	44
6	Conclusão.....	48
7	Referências Bibliográficas	49

Lista de Figuras

- Figura 1: Ciclo do Nitrogênio. Fonte: Adaptada de Hodgson 1991.....8
- Figura 2: Esquema da localização geográfica das áreas de estudo na Serra da Mantiqueira (Parque Estadual de Campos do Jordão - PECJ), e Serra do Mar (Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Santa Virgínia – NSV e Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Picinguaba NP).....13
- Figura 3: Perfil esquemático de Floresta Ombrófila. Fonte: Adaptado de Veloso *et al.* (1991)....15
- Figura 4: Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) mensal de setembro de 2012 a fevereiro de 2014 em Campos do Jordão – SP. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Fonte: CIIAGRO on line 2014.....21
- Figura 5: Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) mensal de setembro de 2012 a fevereiro de 2014 em Campos do Jordão, SP. Barras cinzas indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Fonte: CIIAGRO on line 2014..... 22
- Figura 6: A. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 01 de agosto a 01 de setembro de 2013, na microbacia Ribeirão Casa de Pedra, Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar, SP. B. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 01 de janeiro a 01 de fevereiro de 2014, na microbacia Ribeirão Casa de Pedra, Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Em destaque período de coleta de dados. Fonte: Laboratório de Ciências Atmosféricas, IAG/USP.....23
- Figura 7: Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) mensal de setembro de 2012 a fevereiro de 2014 na microbacia Ribeirão Casa de Pedra, Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Fonte: Laboratório de Ciências Atmosféricas, IAG/USP.....24
- Figura 8: A. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 01 de agosto a 01 de setembro de 2013, em Ubatuba. B. Dados de precipitação (mm) e temperatura

média (°C) durante o período de 02 de janeiro a 02 de fevereiro de 2014, em Ubatuba. Em destaque período de coleta de dados. Fonte: CIIAGRO on line 2014.....24

Figura 9: Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) mensal de setembro de 2012 a fevereiro de 2014 no município de Ubatuba, SP, local próximo a coleta de solo. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Fonte: CIIAGRO on line 2014.....25

Figura 10: Acúmulo de serapilheira (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....27

Figura 11: Estoque de carbono na serapilheira (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas indicam comparação entre as estações e igual altitude. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....30

Figura 12: Estoque de nitrogênio na serapilheira (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....30

Figura 13: Relação C/N na serapilheira no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....32

Figura 14: Concentração de amônio ($\mu\text{g NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) no conteúdo edáfico avaliado através de resina de troca iônica mista em cada área de estudo no verão e no inverno. Os valores representam a mediana e intervalo interquartil IQ(25% -75%).....33

Figura 15: Concentração de amônio ($\mu\text{g NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) no conteúdo edáfico avaliado através de resina de troca iônica mista entre as áreas de estudo no verão e no inverno. Os valores representam a mediana e intervalo interquartil IQ(25% -75%).....	34
Figura 16: Concentração de nitrato ($\mu\text{g NO}_3^- \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) no conteúdo edáfico avaliado através de resina de troca iônica mista em cada área de estudo no verão e no inverno. Os valores representam a mediana e intervalo interquartil IQ(25% -75%).....	35
Figura 17: Concentração de nitrato ($\mu\text{g NO}_3^- \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$) no conteúdo edáfico avaliado através de resina de troca iônica mista entre as áreas de estudo no verão e no inverno . Os valores representam a mediana e intervalo interquartil IQ(25% -75%).....	35
Figura 18: Mineralização de nitrogênio no solo ($\mu\text{g N g}^{-1}$) em profundidade de (0-5cm) durante 7 dias de incubação. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....	37
Figura 19: Nitrificação de nitrogênio no solo ($\mu\text{g N g}^{-1}$) em profundidade de (0-5cm) durante 7 dias de incubação. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....	38
Figura 20: Estoque de carbono no solo (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....	41
Figura 21: Estoque de nitrogênio no solo (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....	43

Figura 22: Relação C/N do solo no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.....44

Lista de Tabelas

Tabela 1: Teor de umidade (%) dos solos de Campos do Jordão (FOM 1600m), Núcleo Santa Virgínia (FODM 900m), e Núcleo Picinguaba (FOTB 100m).....26

Tabela 2: Aminoácidos no solo no verão e inverno em FOM (1600m), FODM (900m) e FOTB (100m). Os aminoácidos estão apresentados em nmol/ml N e porcentagem, sendo: His=Histidina, Asn=Asparagina, Ser=Serina, Gln=Glutamina, Arg=Arginina, Gly=Glicina, Asp=Aspartato, Glu=Glutamato, Thr=Treonina, Ala=Alanina, GABA=Gaba, Pro=Prolina, Orn=Ornitina, Cys=Cisteína, Lys=Lisina, Tyr=Tirosina, Met=Metionina, Val= Valina, Ile= Isoleucina, Leu= Leucina, Phe=Fenilalanina Trp=Triptofano.....45

Resumo

O nitrogênio (N) é essencial na composição de muitas biomoléculas do metabolismo vegetal e um elemento chave para regulação, produção e estruturação das populações vegetais. Sua disponibilidade no ambiente é determinada por condições bióticas (presença de plantas, microorganismos) e principalmente por fatores climáticos. O estudo em gradiente altitudinal tem sido reconhecido como uma ferramenta importante para explorar e quantificar a influência das condições ambientais nos processos do ecossistema, pois interfere diretamente na estrutura, produtividade, ciclagem, limitação de nutriente, e diversidade de espécies. Nesse sentido, o presente estudo tem o objetivo de caracterizar a disponibilidade de nitrogênio no solo ao longo de um gradiente altitudinal da Mata Atlântica em duas estações do ano: verão e inverno. Foram coletadas amostras de solo (0-5cm) e serapilheira no verão e no inverno (estação úmida e seca), no Parque Estadual de Campos do Jordão (Floresta Ombrófila Mista, FOM 1600m) e no Parque Estadual da Serra do Mar em duas altitudes (Floresta Ombrófila Densa Montana, FODM 900m e Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, FOTB 100m) para análise do acúmulo de serapilheira no solo, estoque de nitrogênio e carbono na serapilheira, estoque de carbono e nitrogênio no solo, mineralização e nitrificação, e o conteúdo de aminoácidos. A disponibilidade de nitrogênio mineral *in situ* foi analisada por meio de resina de troca iônica. O estudo mostrou um maior acúmulo de serapilheira no inverno. O estoque de carbono apresentou o mesmo padrão da serapilheira para as estações, com resultados superiores no inverno e um padrão altitudinal no verão. A mineralização também apresentou valores superiores no inverno, mas a nitrificação teve o seu máximo no verão, com diferenças significativas entre FOM 1600m e FOTB 100m. No solo, o estoque de nitrogênio foi superior em FOM 1600m em comparação às outras áreas estudadas. Os resultados mostraram uma maior quantidade de amônio disponível no solo em todas as altitudes. Foi possível demonstrar acúmulo de aminoácidos no inverno. A disponibilidade de nitrogênio no solo apresentou diferenças entre as altitudes e as estações, devido as características ecológicas, fisiológicas e principalmente climáticas de cada área, sendo o fator temperatura o principal atuante nesse processo.

Abstract

Nitrogen (N) is essential in the composition of important biomolecules plant metabolism, and a key element for regulation, production and organization of plant populations. Its availability in the environment is determined by biotic conditions (the existence of plants, microorganisms), and mainly by climatic factors. The study in altitudinal gradient have been recognized as an important tool to explore and quantify the influence of environmental conditions on ecosystem processes, because it interferes directly in the structure, productivity, nutriente cycling, nutrient limitation, and species diversity. At this rate, this study aims to characterize the availability of nitrogen in the soil along an altitudinal gradient of the Atlantic, in two seasons: summer and winter. Soil samples (0-5cm) and litter were collected in summer and winter (wet and dry season) in the the State Park of Campos do Jordão (Ombrophylous Mixed Forest, OMF 1600m) and the Serra do Mar State Park in two altitudes (Ombrophylous Dense Montane Forest, ODMF 900m and Ombrophylous Dense Lowlands Forest, ODLF 100m), for analysis of litter accumulation on the ground, stock of nitrogen and carbon in leaf litter, and soil, nitrogen mineralization and nitrification and content amino acids. The availability of mineral nitrogen *in situ* was analyzed using ion exchange resin. The study showed a higher litter accumulation in OMF (1600m). The carbon stock showed the same pattern of litter in the seasons, with better results in winter and an altitudinal pattern in summer. The mineralization also showed higher values in winter, but nitrification had its maximum in summer, with significant differences between OMF (1600m) and ODLF (100m). Soil nitrogen stock was higher in OMF 1600m, when compared to other areas. The results showed an increased amount of ammonia available on the ground in the altitudes. It was possible to demonstrate the accumulation of amino acids in winter. The availability of nitrogen in the soil showed differences between the altitudes and seasons, due to ecological, physiological characteristics and especially climate of each area, with the temperature factor the key player in this process.

1. Introdução

1.1 Mata Atlântica

A Mata Atlântica é considerada um dos principais biomas do mundo por apresentar um complexo conjunto de ecossistemas, com importância significativa em termos de biodiversidade e endemismo (Joly *et al.* 1999). Sua área estendia-se por toda a costa brasileira, desde o Cabo de São Roque no Rio Grande do Norte, até o município de Osório no Rio Grande do Sul, mas devido aos sucessivos ciclos de exploração econômica e expansão da população humana, a maior parte de sua área sofreu uma intensa devastação, restando apenas 8,5% (área > 100 ha) da sua vegetação original (Myers *et al.* 2000, Galindo-Leal & Câmara 2005).

Esse bioma possui diferentes tipos de paisagens devido a uma variedade de fatores climáticos, edáficos e orográficos (Gentry 1988). Dentre essas fisionomias podemos destacar; as Florestas Ombrófilas (Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Aberta) e estacionais (Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual), além de outras tipologias vegetacionais como manguezais, restingas e campos de altitude (Veloso *et al.* 1991, Joly *et al.* 1999, Oliveira-Filho & Fontes 2000).

Entre as formações florestais montanas no Estado de São Paulo destaca-se a Floresta Ombrófila Mista, conhecida como “mata-de-araucária” ou “pinheiral”, localizada em uma região preservada de Campos do Jordão, em uma altitude de mais de 1500m (IBGE 2012). Essa fisionomia é caracterizada pela monodominância de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae) constituindo uma formação e organização única na paisagem (Longhi 1980, Veloso *et al.* 1991). Florestas monodominantes tropicais apresentam um padrão estrutural anômalo, com uma única espécie respondendo por mais de 50% do total de árvores ou da área basal, biomassa ou cobertura do dossel (Hart *et al.* 1989 *apud* Valeriano 2010).

Além da Araucária, merecem destaque as espécies *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. (pinheirinho) e várias angiospermas, inclusive o *Drimys brasiliensis* Miers (Winteraceae) e *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae). Dentre as famílias encontradas podemos citar Celastraceae, Clethraceae, Fabaceae, Icacinaceae, Styracaceae, Verbenaceae e Vochysiaceae, Cyatheaceae, Meliaceae, Rubiaceae e Sapindaceae, com maior riqueza no estrato inferior e superior para a família Myrtaceae e Lauraceae. Essas duas últimas famílias são características de Florestas Montanas, Submontanas e Florestas Mistas (Souza 2008).

A Floresta Ombrófila Densa é uma fitofisionomia diretamente relacionada com fatores climáticos tropicais, com elevadas temperaturas (médias de 25°C) e de alta precipitação durante o

ano, o que determina um ambiente praticamente sem período seco (Veloso *et al.* 1991). É caracterizada pela presença de árvores de médio a grande porte, além de lianas e epífitas em grande número (Souza 2013). Os remanescentes dessa formação florestal estão localizadas principalmente na costa do Estado de São Paulo, com destaque para a grande área de conservação na Serra do Mar (Joly *et al.* 2008).

As fisionomias presentes na Floresta Ombrófila Densa estão relacionadas essencialmente com a hierarquia topográfica, que reflete tipos vegetacionais variados e uma diversidade funcional, em resposta a características ambientais particulares como as faixas altimétricas e latitudinais. Dessa forma podemos subdividir a Floresta Ombrófila Densa em: 1) Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas – 5 a 50 m de altitude sobre o solo de restinga; 2) Floresta Ombrófila Densa Submontana – no sopé da Serra do Mar, com altitude variando entre 50 e 500m; 3) Floresta Ombrófila Densa Montana – 500 a 1.200m; 4) Floresta Ombrófila Densa Altimontana – no topo da Serra do Mar acima dos limites estabelecidos para a formação Montana onde a vegetação deixa de ser praticamente arbórea para o estabelecimento dos campos de altitude (Veloso *et al.* 1991).

De acordo com estudos fitossociológicos realizados em Floresta Ombrófila Densa, por Medeiros (2009) e Marchiori (2012) e também confirmada por outros autores como Guilherme *et al.* (2004), Gomes *et al.* (2005), Catharino *et al.* (2006) e Campos *et al.* (2011) os principais gêneros encontrados de ampla ocorrência na Mata Atlântica são: *Eugenia*, *Miconia*, *Ocotea*, *Myrcia*, *Mollinedia*, *Inga*, *Solanum*, *Tibouchina* e *Psychotria*. Entre as famílias com maior expressividade em florestas de terras baixas e florestas montanas podemos destacar: Fabaceae, Lauraceae, Myrtaceae, Rubiaceae, Melastomataceae e Euphorbiaceae.

Os estudos da distribuição atual das formações florestais atlânticas baseiam-se principalmente nas variações geoclimáticas que ocorreram a milhões de anos permitindo o aparecimento e distribuição de espécies. Devido às condições climáticas, as florestas tropicais tiveram períodos de retração e expansão do seu domínio, com a fragmentação de espécies de comunidades de animais e plantas alterando a distribuição de forma individual (Salgado-Labouriau 1997, Haffer & Prance 2002, Caldeira 2003).

A altitude das áreas de floresta da Serra do Mar e Campos do Jordão, é um fator que interfere diretamente na estrutura, produtividade, ciclagem e limitação de nutrientes do ecossistema (Villela 2012). A maioria dos estudos tem demonstrado que o aumento da altitude sugere um decréscimo da riqueza específica e redução do porte dos vegetais, (Blum 2006), baixa produtividade líquida, produção de material orgânico, decomposição e concentração de

nitrogênio no solo, devido principalmente a diferenças na temperatura (Tabarelli & Mantovani 1999). Estudos em gradiente ambiental tem sido reconhecidos como uma ferramenta importante para explorar e quantificar a influência das condições ambientais nos processos do ecossistema, e de fornecer informações sobre a sensibilidade do ecossistema sobre a temperatura (Malhi *et al.* 2010, Salinas *et al.* 2010).

Considerando a evolução da Mata Atlântica, e o desenvolvimento das espécies vegetais em variados ecossistemas, é inegável o papel dos fatores climáticos como temperatura e precipitação na sua dinâmica de funcionamento. Existem poucos estudos (Grubb 1977, Tanner 1977, Tanner 1985) que relacionam diferentes tipos vegetacionais, condições edáficas e variação altitudinal, abrindo caminho para novas investigações.

1.2 Solo

O solo pode ser definido como um meio complexo e heterogêneo, resultante da ação dos fatores de formação, como clima, relevo e organismos sobre o material de origem, durante certo período de tempo (Lepsch 2010). As inúmeras combinações de intensidade desses fatores condicionam a formação de uma variabilidade de tipos de solos, com composição e interação com o ambiente diferenciados (Bertoni & Lombardi 1990, Romeiro 2004, Oliveira 2005). Essa camada superficial contém partículas de rochas em diferentes estágios de intemperização, água, substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em diferentes estágios de decomposição.

As características do solo em uma determinada área, pode variar ao longo de pequenas distâncias, sendo o fator topográfico um dos principais determinantes nesse aspecto, gerando diferenças em termos de recursos como radiação solar direta, água e nutrientes, e influenciando na dinâmica do ecossistema com relação à vegetação, sustentabilidade agrícola, erosão, e biodiversidade (Silva 1995).

No Brasil, cada solo possui propriedades físicas, químicas e morfológicas específicas, mas o conjunto apresenta certos atributos em comum, como, por exemplo, a composição mineralógica simples (quartzo, caulinita, oxí-hidróxidos de ferro e de alumínio), grande espessura e horizontes com cores predominantemente amarelas ou vermelhas (Shinzato *et al.* 2010, Raij 2011). Devido ao longo tempo de formação de solos, os solos tropicais são empobrecidos pela falta de elementos mais solúveis. São solos com baixa fertilidade em relação aos de clima temperado, ricos em argilominerais capazes de reter os elementos químicos necessários ao metabolismo vegetal (Embrapa 2006, Fairchild *et al.* 2008).

De acordo com Martins (2010), os solos de cotas altimétricas mais elevadas entre 720 e 1600m, em área de Floresta Ombrófila Densa apresentam como características solos rasos, antigos geologicamente, bem drenados, baixo pH, alta concentração de fósforo em comparação com cotas altimétricas inferiores e alta saturação de alumínio e óxidos, os quais limitam a atividade da microbiota do solo. Apesar da baixa fertilidade dos solos, os ecossistemas tropicais são caracterizados pela sua grande exuberância em termos de diversidade e endemismo, devido à elevada eficiência na reciclagem de nutrientes (Ferreira *et al.* 2006, Silva *et al.* 2007). Nesse ambiente, atuam mecanismos diferenciados de economia de nutrientes entre as espécies, um considerável efeito da constante deposição e decomposição de detritos orgânicos sobre o solo, a respiração de raízes e dos microorganismos do solo, além da capacidade de realizar associações simbióticas, principalmente com micorrizas (Resende & Rezende 2002, Miranda *et al.* 2007).

1.3 Serapilheira e Matéria Orgânica no Solo

Em ecossistemas florestais, a produção de serapilheira compreende a deposição e acúmulo no solo de resíduos vegetais, representado por restos de folhas, cascas, ramos, troncos, estruturas reprodutivas (flores, inflorescências, frutos e sementes) e outros fragmentos vegetais não identificáveis (Araújo 2002). A decomposição desse material fornece os nutrientes essenciais para o metabolismo de plantas, e organismos associados ao ambiente (Vitousek 1984).

O acúmulo e regulação da taxa de decomposição da serapilheira no solo podem variar em função de diversos fatores, como latitude, altitude, evapotranspiração, tipo do solo, idade, estrutura, composição florística da paisagem, e principalmente as variações de temperatura e precipitação, que possuem ação direta na regulação da atividade dos microorganismos (Pillon *et al.* 2002, Cantarella 2007). Pringle (1997) ressalta que as condições de clima quente e úmido dos trópicos são ideais nesse processo, pois há uma rápida liberação dos nutrientes para o solo contribuindo com o retorno e a manutenção do ciclo de nutrientes na floresta. Diversos autores estudaram as condições climáticas como principal causa da produção e acúmulo de serapilheira em diversos tipos de ecossistema (Backes *et al.* 2005, Pinto & Marques 2003, Prescott *et al.* 2004, Schumacher *et al.* 2004, Costa *et al.* 2005, Pires *et al.* 2006, Vidal *et al.* 2007, Zhou *et al.* 2007, Pinto *et al.* 2009, Chave *et al.* 2010).

O termo matéria orgânica refere-se ao material orgânico em diferentes estágios de decomposição, e todos os organismos vivos (Machado 2001, Guerra *et al.* 2008). A matéria orgânica viva é representada pelas raízes (5-10%), fauna do solo (15-30%) e microorganismos (60-80%). A matéria orgânica não vivente é representada em sua maioria pelo húmus, como

compostos orgânicos (carboidratos, lignina, lipídios, proteínas, etc) e substâncias provenientes dos componentes químicos das plantas (Mclaren & Cameron 1996, Cantarella 2007, Camargo *et al* 2008, Raij 2011).

A matéria orgânica do solo (MOS) possui diferentes funções, onde a importância de cada uma varia com o tipo de solo, clima e uso da terra. Em geral, a função mais importante é a reserva de nitrogênio e carbono, constituindo-se assim num componente fundamental do potencial produtivo dos solos (Mello *et al.* 1983, Silva & Mendonça 2007, Teixeira *et al.* 2009). A MOS é composta de aproximadamente 50% de carbono orgânico, e suas formas no solo está relacionado com sua interação com a biosfera, pois a maior parte do C contido no solo é proveniente do processo de fotossíntese, e também de componentes estruturais da planta como celulose e lignina (Cantarella 2007, Mclaren & Cameron 1996, Bayer & Mielniczuk 2008).

Vieira *et al.* (2011) em estudo em um gradiente altitudinal na Serra do Mar, relacionaram o fator temperatura do solo com estoque de carbono e nitrogênio, e encontraram maior acúmulo desses elementos com o aumento da altitude. Essa condição está relacionada principalmente a diferenças de temperatura e precipitação (Schuur *et al.* 2001, Villela *et al.* 2012), e outros fatores como tipo de topografia (Yierner *et al.* 2006), qualidade da serapilheira (Manzoni *et al.* 2010) e características do solo (Telles *et al.* 2003, Simas *et al.* 2005).

1.4 Disponibilidade de Nitrogênio no Solo

O nitrogênio (N) ocupa posição de destaque entre os elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, fazendo parte da composição de importante biomoléculas, tais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, aminoácidos, proteínas e inúmeras enzimas. Além disso, é necessário em diversas reações químicas, principalmente no processo de fotossíntese, que influencia diretamente a produtividade vegetal (Bredemeier & Mundstock 2000, Cantarella 2007, Camargo *et al.* 2008).

A distribuição do nitrogênio na Terra difere quanto ao tipo de reservatório e quantidade acumulada. Cerca de 98% desse elemento químico está presente na litosfera, em rochas e minerais, mas possui baixa contribuição no ciclo do nitrogênio. Na atmosfera corresponde a 78 % do ar seco, e encontra-se disponível na forma molecular (N₂) (Haynes 1986, Raven 2007). Apesar da sua elevada quantidade no ar atmosférico, o nitrogênio não pode ser assimilado pelas plantas devido a sua configuração, formada por uma forte tripla ligação, sendo apenas utilizado diretamente por bactérias do solo que possuem a capacidade de quebrar tal ligação. Na biosfera,

95% do N são encontrados na matéria orgânica do solo, e apenas 4% nos seres vivos (Vitousek *et al.* 1997, Alfaia 2006).

A entrada de N no ecossistema pode ocorrer via deposição atmosférica, precipitação, e fixação biológica de N₂, realizada por bactérias de vida livre ou associada a plantas leguminosas, capazes de converter o nitrogênio molecular em formas biologicamente ativas (Black 2002). Em contrapartida durante todo o ciclo do nitrogênio podem ocorrer perdas via lixiviação, volatilização ou desnitrificação (Vitousek & Sanford 1986). No solo o material em decomposição é a principal via de disposição desse elemento no ambiente. Sua forma orgânica é transformada sob a ação de uma diversidade de organismos decompositores, para formas de N inorgânicas prontamente assimiláveis para os organismos (Raij 1991, Sodek 2008).

Os processos de transformação da matéria orgânica resultam em uma série de substâncias importantes, dentre elas podemos citar os aminoácidos. A despolimerização de proteínas e peptídeos (proteólise) realizada pelos microorganismos é a forma mais relevante pelo qual os aminoácidos livres são produzidos (Kielland 1995, Lipson & Nasholm 2001). A maioria dos aminoácidos também pode ser derivada de peptídios, mucopeptídios e ácido teóico da célula microbiana, especificadamente da parede celular (Raab *et al.* 1999, Lipson & Näsholm 2001). Sua presença no solo é o resultado do equilíbrio entre os processos produtivos obtidos através da proteólise, a disponibilidade e qualidade do substrato e os processos de assimilação pela biota. Além da associação aos colóides do solo, sob a influência de variações de umidade e temperatura (Schimel & Bennett 2004, Berthrong & Finzi 2006).

Pesquisas recentes trouxeram um novo paradigma a respeito dos compostos orgânicos do solo e sua relação com a comunidade vegetal (Zhang *et al.* 2002, Rothstein 2009). Ao contrário do que se pensava, as plantas possuem capacidade de absorver moléculas de estrutura complexa, como os aminoácidos (Farrell *et al.* 2011). Esses compostos nitrogenados são de fácil assimilação para as plantas, pois estão prontamente disponíveis no solo, diferente dos compostos inorgânicos (NH₄⁺ e NO₃⁻) que apesar de serem compostos de preferência para a produtividade vegetal, são alvo de intensa competição entre os microorganismos, que também utilizam essas formas de nitrogênio em seu metabolismo e composição celular (Nordin *et al.* 2001, Nasholm *et al.* 2009).

Uma variedade de transportadores de aminoácidos tem sido identificada nas raízes de algumas plantas, como por exemplo, a espécie *Arabidopsis thaliana* (Fischer *et al.* 1998), demonstrando que as plantas contêm o maquinário necessário para o transporte de aminoácidos a partir do solo em suas raízes. Existem evidências de que plantas com associação com fungos (micorrizas), tem capacidade de absorver proteínas diretamente do solo, o que também ocorre

com espécies sem associação (Jones *et al.* 2005). Estudos com *Arabidopsis* mostraram alta capacidade dessa espécie em utilizar o nitrogênio inorgânico, mas apesar da sua eficiência, os orgânicos não são a principal fonte de nitrogênio, mas funciona como composto complementar para o seu desenvolvimento (Paungfoo *et al.* 2008).

Assim como há necessidade de se investigar as diferentes formas de nitrogênio utilizadas pelas plantas, devido a sua relação direta em termos de produtividade agrícola, e dinâmica nos ecossistemas naturais, é essencial que se tenha compreensão dos processos que envolvem as formas orgânicas de N (aminoácidos) no solo, para assim poder estabelecer conclusões mais efetivas a cerca de sua mobilização no ambiente e absorção pelas plantas. Existe uma gama variada de estudos relacionados à disponibilidade de orgânicos no solo e sua variação de acordo com tipo de ecossistema, como suas características edáficas, climáticas vegetacionais, sendo a maioria deles realizados em ecossistema boreal, (Nasholm *et al.* 1998, Nordin *et al.* 2001, McFarland *et al.* 2002) temperado (Barracough 1997, Jones *et al.* 2004), e em ambiente ártico (Jones & Kielland 2002) e alpino (Raab *et al.* 1999, Lipson *et al.* 1999), sendo poucas as pesquisas feitas em florestal tropical e em gradiente altitudinal (Werdin-Pfisterer *et al.* 2009, Warren & Taranto 2010).

Para que o nitrogênio possa circular no ambiente, e ser incorporado pelas plantas, os orgânicos presentes no solo (proteínas, aminoácidos, ácidos nucléicos e nucleotídeos) são submetidos ao processo chamado de mineralização, onde o nitrogênio orgânico será transformado em nitrogênio mineral (amônio e nitrato) (Cantarella 2007, Bezerra 2009). A primeira etapa consiste na quebra desses compostos, que passam por uma série de transformações em forma de moléculas mais simples, até ser transformado em amônio, processo chamado de amonificação. Esse processo é regulado pela atividade de bactérias aeróbias facultativas e algumas anaeróbias, fungos e actinomicetos (Black 2002, Raven 2007) (Figura 1).

A nitrificação é a transformação do amônio em nitrato, e ocorre em duas fases. A primeira o amônio é transformado a nitrito (NO_2^-), e na segunda etapa o nitrito é transformado em nitrato (NO_3^-). É um processo realizado por bactérias autotróficas obrigatórias conhecidas por alterar o estado de oxidação dos compostos de N (Haynes 1986). A imobilização de nitrogênio é um processo que ocorre em paralelo com a mineralização, porém no sentido inverso, ou seja, os microorganismos utilizam o nitrogênio mineral, e o transforma em nitrogênio orgânico para seu próprio metabolismo (Figura 1) (Cantarella 2007).

As principais fontes de saída de N no ambiente são: os processos erosivos, volatilização do amônio do solo, lixiviação do nitrito e do nitrato, desnitrificação, e absorção pelas plantas. A

desnitrificação é a principal via de perda desse elemento no solo, onde o N na forma de nitrato (NO_3^-) é reduzido para óxido nitroso (N_2O), e nitrogênio gasoso (N_2). Esse processo é realizado por bactérias *Pseudomonas* *Paracoccus denitrificans* e as bactérias autotróficas *Thiobacillus denitrificans* (Raven 2007, Groppo 2010).

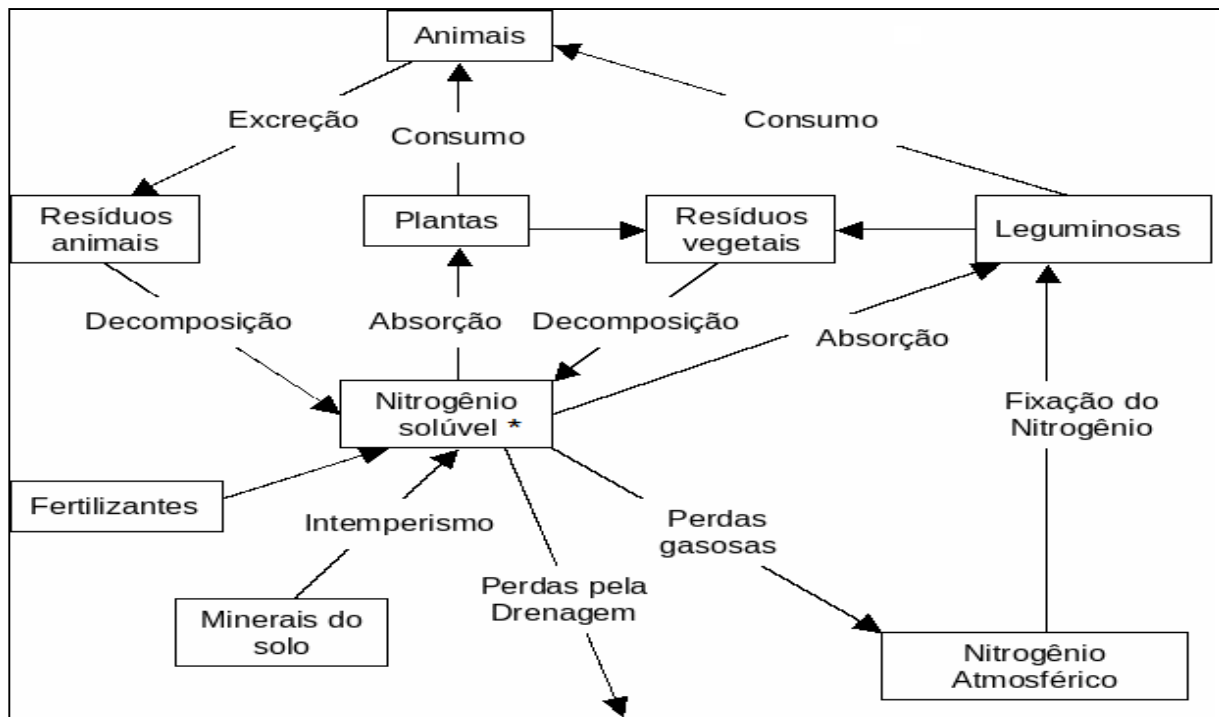


Figura 1: Ciclo do Nitrogênio. Adaptada de Hodgson (1991).

A taxa de mineralização de nitrogênio é dependente do tipo vegetacional, da produção e qualidade da matéria orgânica, fatores edáficos e principalmente o clima. As variações de temperatura e precipitação controlam a atividade biológica dos microorganismos no processo de transformação do nitrogênio, e disponibilidade de formas minerais no solo (Malavolta & Kliemann 1985, Camargo *et al.* 2008). De acordo com diversos estudos (Dessureault-Rompré *et al.* 2010, Tian *et al.* 2010, Zhao *et al.* 2010, Wang *et al.* 2010, Guntiñas *et al.* 2012, Schütt *et al.* 2014), a temperatura e a umidade são fatores essenciais para a ocorrência do processo de mineralização.

Estudos em floresta tropical na Costa Rica, mostraram diferenças nas frações de nitrogênio com a altitude, com a predominância de amônio em solos de floresta montana e nitrato em floresta de terras baixas (Marrs *et al.* 1988). No Brasil, estudos no gradiente altitudinal da Serra do Mar mostrou resultados semelhantes, com a predominância de solos mais ricos em N em altitudes mais elevadas. Segundo Martins (2010), os fatores que explicam esses resultados ainda

são desconhecidos, mas é possível dizer que a topografia, microclima e vegetação são definidores dessa condição no ambiente.

O entendimento das formas de nitrogênio disponível no solo em um gradiente altitudinal pode fornecer informações importantes sobre a interação desse elemento com o ambiente e sua relação com os vegetais. Sua disponibilidade está diretamente relacionada com fatores como, a estrutura e dinâmica da floresta em termos fitossociológicos, o tipo de solo, e principalmente as variações de temperatura e precipitação que são os principais reguladores da dinâmica de N no ambiente (Grubb 1977).

2. Justificativa

A necessidade para a realização de um estudo que envolvesse o nitrogênio no solo, teve início com o desenvolvimento de teses e dissertações que tratam do uso do nitrogênio em espécies arbóreas em diversas fisionomias da Mata Atlântica, como a Floresta Ombrófila Densa (Montana, Submontana e Terras Baixas), além da Floresta de Restinga e da Floresta Estacional Semidecidual (Pereira-Silva 2008, Campos 2009, Marchiori 2012, Silva 2012). Como esses estudos eram apenas baseados na fitofisionomia de cada região, havia pouca informação sobre o comportamento do nitrogênio no solo, principalmente em áreas com diferentes regimes de temperatura e precipitação, visto que a disponibilidade desse elemento no solo é regulada por esses fatores.

Todos esses trabalhos realizados na Mata Atlântica, estão diretamente ligados a pesquisas feitas inicialmente por Aïdar *et al.* (2003) em espécies arbóreas sob solos calcáreos da M.A, sendo este o precursor para a criação do projeto “*Ecofisiologia do uso do nitrogênio em árvores da Mata Atlântica, São Paulo*”, que propõem um modelo de sucessão baseado no uso de nitrogênio. Nesse modelo foi observado que as características do metabolismo de nitrogênio (N) de espécies arbóreas tropicais tem relação com a classificação das espécies em grupos ecológicos de sucessão (iniciais, intermediárias e tardias).

Muitos estudos são realizados no intuito de quantificar a disponibilidade de nutrientes, mas em geral, poucos efetivamente objetivam identificar quais são os fatores que contribuem para tal, realizando quase em sua totalidade abordagens superficiais. Assim mesmo com décadas de pesquisa ainda sabe-se pouco sobre as interações e seu grau de importância nestes processos (Castro 2014).

Devido esta lacuna de conhecimento, torna-se necessário a realização de estudos mais profundos relacionados à disponibilidade de nutrientes em ecossistemas naturais. Nesse contexto, realiza-se a seguinte hipótese: “O gradiente altitudinal e a variação na estação do ano na Floresta Ombrófila pode influenciar a disponibilidade de nitrogênio no solo?”.

Dessa forma, essa dissertação é um complemento para o entendimento da dinâmica de nitrogênio em algumas fisionomias da Mata Atlântica, visto que o solo é a principal meio de transformação e produção de nitrogênio assimilável para as plantas.

3. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi caracterizar a disponibilidade de nitrogênio no solo em um gradiente altitudinal da Mata Atlântica em São Paulo, em duas estações do ano, verão e inverno.

3.1 Objetivos Específicos

- Avaliar a quantidade de nitrogênio inorgânico no solo em um gradiente altitudinal durante o verão e inverno.
- Determinar o conteúdo de aminoácidos no gradiente altitudinal durante o verão e inverno.
- Quantificar a quantidade de serapilheira no gradiente altitudinal durante o verão e inverno.
- Determinar o estoque e o teor de carbono e nitrogênio no solo e serapilheira ao longo do gradiente altitudinal durante o verão e inverno.

3.2 Material e Método

3.3 Descrição da Área de Estudo

O estudo foi realizado em três áreas de conservação de domínio da Mata Atlântica, abrangendo uma vertente da Serra da Mantiqueira (Parque Estadual de Campos do Jordão) e duas vertentes da Serra do Mar (Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Picinguaba e Santa Virgínia (Figura 2). As três áreas se diferenciam quanto ao tipo de solo, clima e vegetação.

A Serra da Mantiqueira forma um divisor de águas entre as bacias do Rio Grande em Minas Gerais, e a do Rio Paraíba do Sul, em São Paulo e Rio de Janeiro. No planalto da Serra da Mantiqueira, vertente voltada para a Bacia do Rio Grande, está situado o Parque Estadual de Campos do Jordão (PECJ) no município de Campos do Jordão (Meirelles 2009).

O Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) abrange a divisa do estado de São Paulo com o Rio de Janeiro até Itariri, no sul do Estado. Em decorrência de sua grande extensão (área de 315.000 ha) foi subdividido em 8 núcleos que são bases instaladas em áreas de domínio do Estado (Instituto Florestal 2010).

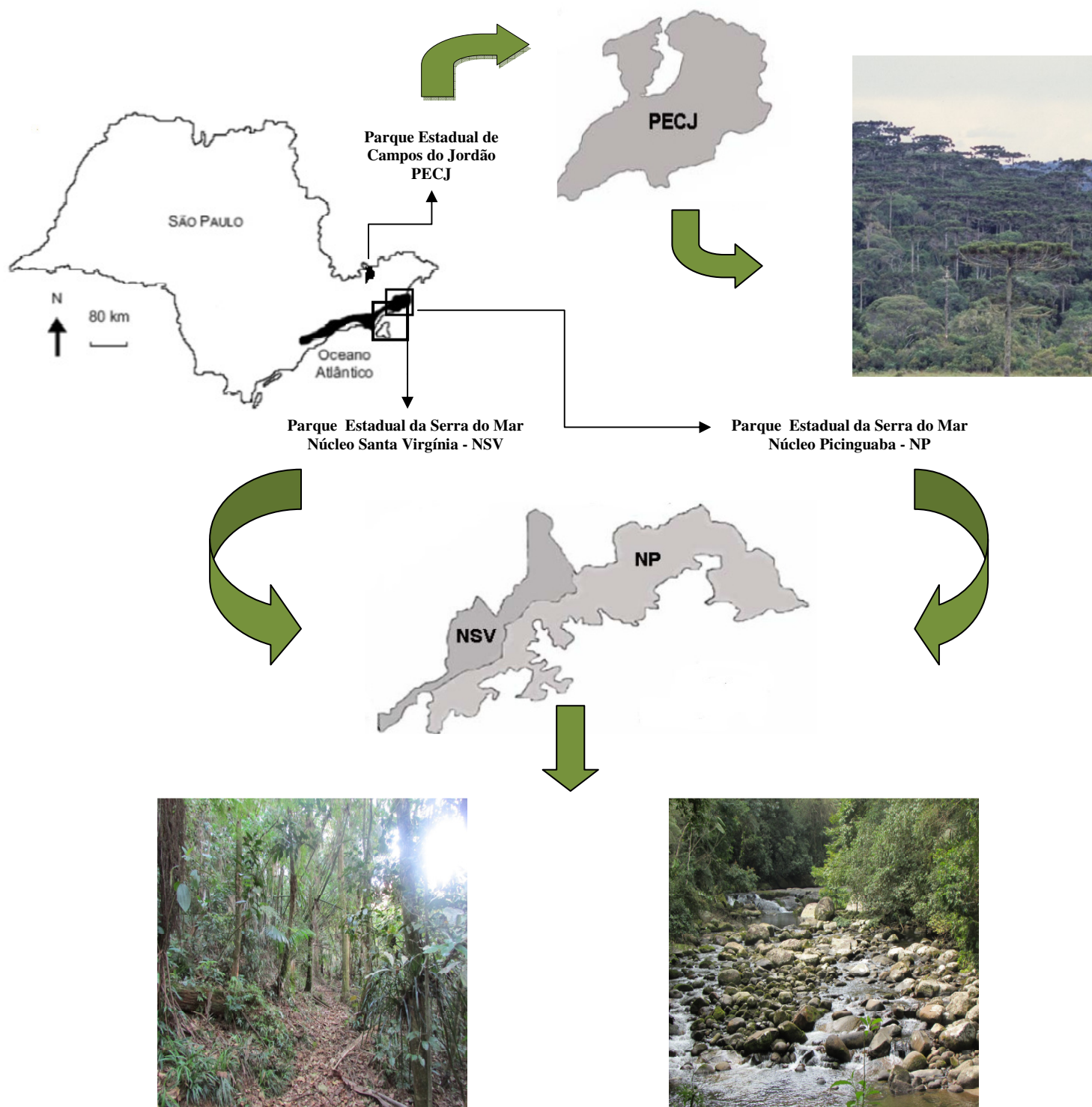


Figura 2: Esquema da localização geográfica das áreas de estudo na Serra da Mantiqueira (Parque Estadual de Campos do Jordão - PECJ), e Serra do Mar (Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Santa Virgínia – NSV e Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Picinguaba NP).

3.3.1 Parque Estadual de Campos do Jordão

O Parque Estadual de Campos do Jordão (PECJ) (22°30' a 22°41'S e 45°27' a 45°31'W) está localizado ao nordeste do Estado de São Paulo, e seu planalto é caracterizado por fortes declividades atingindo altitudes entre 1.000 e 2.000 metros (Modenesi 1988). O Parque foi criado pela desapropriação de várias glebas, a partir do início da década de 1940, perfazendo um total de 8.200 ha (Seibert *et al.* 1975).

Em relação à vegetação, pode-se observar a presença de três regiões florísticas: a Mata de *Araucaria-Podocarpus*, Campos do Brasil Central, e Mata Latifoliada da Encosta Atlântica. A Mata de *Araucaria-Podocarpus* recobre as maiores extensões dentro do Parque, sendo caracterizada pela grande densidade de *Podocarpus lambertii* Klotz. e de *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) concentrada em vales com maior grau de umidade e solos mais protegidos (Seibert 1975). Segundo Veloso *et al.* (1991), a vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Mista (Figura 3). O clima local foi classificado como subtropical de altitude, mesotérmico e úmido, sem estiagem, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C, e inverno em torno de 0°C, sem estação seca, e com geadas frequentes no inverno.

3.3.2 Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Santa Virgínia

O Núcleo Santa Virgínia (23°17' a 23°24'S e 45°03' a 45°11'W) abrange os municípios paulistas de São Luiz do Paraitinga, Natividade da Serra, Cunha e Ubatuba (Instituto Florestal 2010). Possui área de 5000 ha, em altitudes que variam entre 850 a 1.100 m (Figura 3), e faz parte da unidade de conservação do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) (Instituto Florestal 2010).

O relevo apresenta-se fortemente escarpado, com vales e vertentes retilíneas (Villani 1998). A vegetação que recobre o núcleo é classificada por Veloso *et al.* (1991) como Floresta Ombrófila Densa Montana (Figura 3). Tabarelli *et al.* (1994) relataram que em decorrência da ocupação fundiária e passado de exploração madeireira, na década de 60, a floresta atualmente apresenta-se como um mosaico vegetacional apresentando floresta com diferentes estádios sucessionais (primária e secundária), pastagens e plantios de *Eucalyptus spp.* O clima regional pode ser classificado como clima tropical temperado, apresentando verões mais chuvosos e quentes do que os meses de inverno.

3.3.3 Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Picinguaba

A planície costeira de Picinguaba situa-se no município de Ubatuba, no litoral norte de São Paulo, (23° 31' a 23°34'S a 45° 02' a 45° 05'W) e faz parte da unidade de conservação do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM). O Núcleo abriga o único trecho do PESM que atinge o nível do mar, sendo assim a única região do parque onde os ambientes costeiros estão protegidos. Essa região caracteriza-se pela ocorrência de pequenas baías e praias estreitas intercaladas pelo avanço da Serra do Mar, e com altitudes que variam do nível do mar a 1670m (Assis 1999, Canela 2002).

A vegetação consiste de mosaicos como mangue próximo ao estuário do rio Picinguaba, floresta densa (Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas – Figura 3) e áreas de capoeira. Essas diversificações se relacionam as variações fisiográficas, edáficas e de drenagem de planície. O clima regional é do tipo tropical úmido, apresenta temperatura mínima de 18°C e máxima de 30,3°C, índice pluviométrico médio anual acima de 2200 mm, não havendo estação com déficit hídrico (Garcia 1992).



Figura 3: Perfil esquemático de Floresta Ombrófila. Adaptado de Veloso *et al.* (1991).

3.4 Dados Complementares

Dados complementares referentes às características químicas e físicas do solo na área do Parque Estadual da Serra do Mar foram consultados na Tese de doutorado de Susian Martins, intitulada “*Caracterização dos solos e serapilheira ao longo do gradiente altitudinal da Mata Atlântica, estado de São Paulo*”(Martins 2010). Na área do Parque Estadual de Campos do Jordao as informações foram obtidas na Dissertação de Mestrado de Anely de Oliveira Merlim, intitulada “*Macrofauna edáfica em ecossistemas preservados e degradados de araucária no parque estadual de Campos do Jordão, SP*”(Merlim 2005).

3.5 Amostragem de Solo

No Parque Estadual de Campos do Jordão as amostras de solo foram coletadas próximo das margens do rio Galharada (1000 a 2000m), em Floresta Ombrófila Mista (FOM 1600m).

No Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Santa Virgínia, o solo foi coletado em Floresta Ombrófila Densa Montana (FODM 900m), em parcela próxima à torre de fluxo micrometeorológica do IAG-USP (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas).

No Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Picinguaba as amostras de solo foram coletadas na parcela da trilha do Corisco, localizada na Casa da Farinha, próximo ao núcleo Picinguaba, em área de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas (FOTB 100m).

As parcelas para coleta do material já estavam dispostas no local, devido ao contínuo número de projetos e estudos na região. A amostragem foi feita em uma área de 1ha, sendo que a cada 5 metros uma amostra de serapilheira era coletada, e no mesmo local o solo era retirado, totalizando 20 amostras por área ($n=20$). As coletas foram realizadas em duas estações do ano verão e inverno; em agosto de 2013 (inverno) e janeiro de 2014 (verão).

3.6 Amostragem de Serapilheira Acumulada

A serapilheira foi coletada com o auxílio de um quadrado de madeira de 25x 25 cm ($0,0625 \text{ m}^2$), e acondicionada em sacos plásticos devidamente etiquetados. No laboratório as amostras foram secas, colocadas estufa a 60°C e seu peso seco determinado em balança analítica.

3.7 Preparo das Amostras de Solo

As amostras (n=20) para as análises do estoque de carbono e nitrogênio foram secas em estufa com ventilação forçada de ar, sob temperatura máxima de 40°C. Depois de secas, foram destorroadas manualmente, e em seguida, passadas em peneiras com malha de 2 mm de abertura (diâmetro), moídas com o auxílio de almofariz e pistilo e armazenadas em sacos plásticos para análise no laboratório de Biogeoquímica Ambiental no Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA - Campus “Luiz de Queiroz”.

3.8 Preparo das Amostras de Serapilheira

As amostras (n=20) de serapilheira para análise do estoque de carbono e nitrogênio foram secas ao ar, moídas em moinho de bola de marca Retsch mm40, e armazenadas em sacos plásticos para análise no laboratório de Biogeoquímica Ambiental no Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA - Campus “Luiz de Queiroz”.

3.9 Estoque de Carbono e Nitrogênio na Serapilheira e no Solo

Os estoques de C e N (Mg ha^{-1}) do solo (n=20), foram calculados em função do teor do elemento do solo (%), da densidade global do solo (g cm^{-3}) e da espessura da camada amostrada (cm). Na serapilheira o estoque foi feito em função da área do quadrante da matéria seca e dos teores dos elementos na serapilheira.

A densidade do solo para os cálculos do teor e estoque de carbono e nitrogênio foi realizada pelo método da pipeta descrito pela Embrapa (1997).

Os teores de carbono e nitrogênio foram realizados por combustão a seco através de analisador elementar da marca Leco (TruSpec CN LECO® 2006, St. Joseph, EUA) no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA Campus “Luiz de Queiroz”.

3.10 Mineralização e Nitrificação de Nitrogênio no Solo

Para as análises da taxa líquida de mineralização e nitrificação as amostras de solo de profundidade entre 0 e 5 cm (n=20) ainda úmidas, foram triadas em peneira de 2mm para retirada de restos de raiz e folha. As concentrações de amônio e nitrato foram determinadas em extratos de solo obtidos através da extração de 10g de solo em 50 ml de KCl (2mol L^{-1}), e realizadas em duas etapas; no momento da coleta (inicial) e após período de incubação (no escuro) de 7 dias

(final) em temperatura de 26°C (Picollo *et al.* 1994).

Os extratos foram filtrados após período de repouso de 24 horas, utilizando bomba a vácuo, e congelados até o momento da análise. A determinação do nitrato foi feita de acordo com Cataldo *et al.* (1975) e o conteúdo de amônio segundo o método colorimétrico descrito em McCullough (1967) em espectrofotômetro UV –Visível BEL Photonics sp 1105.

As taxas de mineralização e nitrificação foram calculadas como a diferença entre as concentrações de N inorgânico nas amostras incubadas (T7) e amostras iniciais (T0), (Parron 2004) da seguinte maneira:

$$\text{N mineralizado } (\mu\text{g N g}^{-1}) = (\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-) \text{ T7} - (\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-) \text{ T0}$$

$$\text{Nitrificação } (\mu\text{g N g}^{-1}) = (\text{N-NO}_3^-) \text{ T7} - (\text{N-NO}_3^-) \text{ T0}$$

3.11 Nitrogênio Mineral *in situ*

Foram utilizados sacos de nylon, contendo 5g de resina de troca catiônica mista (Dowex® MR-3, Sigma) para quantificar a disponibilidade de nitrogênio *in situ*. Para isso, 10 conjuntos com 3 sacos de nylon foram enterrados a 5 cm de solo, e distribuídos na parcela a uma distância de 10 metros, durante 5 dias na estação seca e chuvosa, de acordo com Aidar *et al.* (2003).

Depois de retiradas do solo, as resinas foram congeladas até análise do conteúdo de nitrato e amônio. Em laboratório a resina de troca iônica foi eluída em 25 ml de KCl 2N por quatro horas, sob agitação. O conteúdo de nitrato em solução foi obtido através do método nitração pelo ácido salicílico, determinado de acordo com Cataldo *et al.* (1975) e o conteúdo de amônio segundo o método colorimétrico descrito em McCullough (1967).

3.12 Aminoácidos no Solo

O conteúdo de aminoácidos foi obtido utilizando-se a Cromatografia Líquida de Ultra Eficiência – UPLC (Waters Acquity UPLC® system - Waters, Milford, MA, USA - com detector de fluorescência). Um total de 10 gramas de solo foi diluído em 50 ml de KCl 2N. Após a diluição, procedeu-se o preparo agitando as amostras durante 1 hora, para então serem filtradas e congeladas para posterior análise. No momento do ensaio para avaliação dos resultados, as amostras foram descongeladas e centrifugadas por 10 minutos a 8 rpm. A derivatização foi feita seguindo o protocolo do kit AccQ-Tag de derivatização da Waters modificado. Em um vial foi adicionado 120 uL tampão borato, 40 uL de amostra e 40 uL de 6 aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate (AQC), agitados por 10 segundos em vortex e colocados em

banho-maria a 55°C por 10 minutos.

A separação foi realizada com a coluna AccQ.Tag Ultra Column C18 (2,1X100 mm 1,7 um), a 60 °C com os seguintes eluentes: A- AccQ.Tag Ultra Eluent A (10% em água), B- AccQ.Tag Ultra Eluent B (100%), em fluxo de 0,6 mL/minuto. O gradiente entre os dois eluentes ocorreu por dez minutos da seguinte forma: t=0 minutos, 99,9% A e 0,1% B; t=0,54 minutos, 99,9% A e 0,1% B; t=5,74 minutos, 90,9% A e 9,1%B; t=7,74 minutos, 78,8% A e 21,2% B; t=8,05 minutos, 10% A e 90% B; t=8,64 minutos, 10% A e 90% B; t=8,73 minutos, 99,9% A e 0,1% B; t=9,50 minutos, 99,9% A e 0,1% B. e os aminoácidos foram detectados no UV em absorbância em comprimento de onda de excitação de 260 nm. Após cada injeção a coluna era lavada com 200 uL de acetonitrila 95% em água e posteriormente com 600 uL acetonitrila 5% em água.

Para a determinação da concentração de cada aminoácido, foi preparado padrões com concentração de 0,5 a 50 pmol dos seguintes aminoácidos, além da amônia (NH₃): Ala- Alanina, Arg- Arginina, Asn- Asparagina, Asp- Aspartato, Cit- Citrulina, Cys- Cisteína, Gly- Glicina, Glu- Glutamato, Gln- Glutamina, H-Pro- Hidroxiprolina, His- Histidina, Ile- Ileucina, Leu- Leucina, Lys- Lisina, Met- Metionina, Orn- Ornitina, Phe- Fenilalanina, Pro- Prolina, Ser- Serina, Tyr- Tirosina, Thr- Treonina, Trp- Triptofano, Val- Valina. Os dados serão apresentados em nmol/ml N e porcentagem do total de aminoácidos.

4. Análises Estatísticas

4.1 Análise Estatística Descritiva

As análises descritivas para os dados quantitativos com distribuição normal, foram realizadas apresentando as médias acompanhadas dos respectivos desvios padrão (DP). Os dados quantitativos sem distribuição normal, foram expressos através das medianas acompanhadas dos respectivos intervalos interquantil IQ (25-75%).

Os pressupostos da distribuição normal em cada grupo e a homogeneidade das variâncias entre os grupos foram avaliados, respectivamente, com o teste de Shapiro-Wilk e com o teste de Levene.

4.2 Análise Estatística Inferencial

As variáveis foram analisadas com o teste ANOVA de dois fatores (GRUPO E TEMPO) com medidas repetidas para 1 fator (TEMPO). Quando foi necessário realizar comparações múltiplas de médias, utilizou-se do teste de Bonferroni.

Para as variáveis que não apresentaram distribuição normal, foi utilizado o teste de Kruskal Wallis (FATOR GRUPO) e quando foi necessário realizar comparações múltiplas, foi utilizado o teste de Dunn. Para comparação entre grupos (FATOR TEMPO), foi utilizado o teste de Wilcoxon.

Foi considerado probabilidade de erro do tipo I (α) de 0,05 em todas as análises inferenciais.

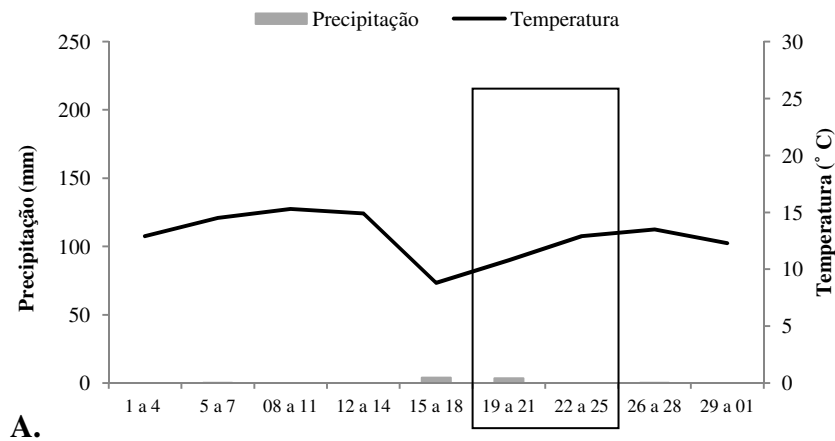
As análises estatísticas descritivas e inferenciais foram executadas com o software SPSS versão 21 (SPSS 21.0 for Windows).

5. Resultados e Discussão

5.1 Condições climáticas: Temperatura e Precipitação

5.1.1 Parque Estadual de Campos do Jordão

A média de temperatura no período de coleta no inverno (20 a 25 de agosto) foi de 12°C, com precipitação de 3,5mm (Figura 4.A), e no verão (20 a 25 de janeiro) 19°C e 35mm (Figura 4.B). Durante todo o período do inverno (ano de 2013) a temperatura foi de 13°C com precipitação total de 115mm, e no verão (ano de 2014) 18°C, com 228mm de chuva (Figura 5).



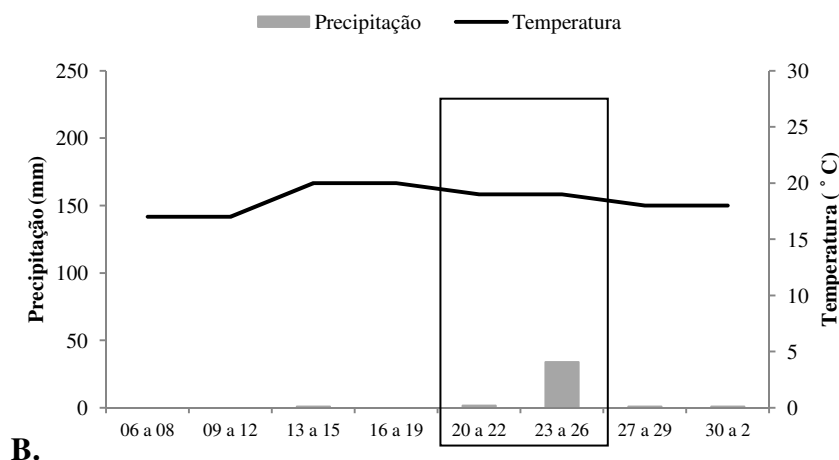


Figura 4: A. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 01 de agosto a 01 de setembro de 2013, em Campos do Jordão, SP. B. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 06 de janeiro a 02 de fevereiro de 2014, em Campos do Jordão, SP. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Em destaque período de coleta de dados. Fonte: CIIAGRO on line 2014.

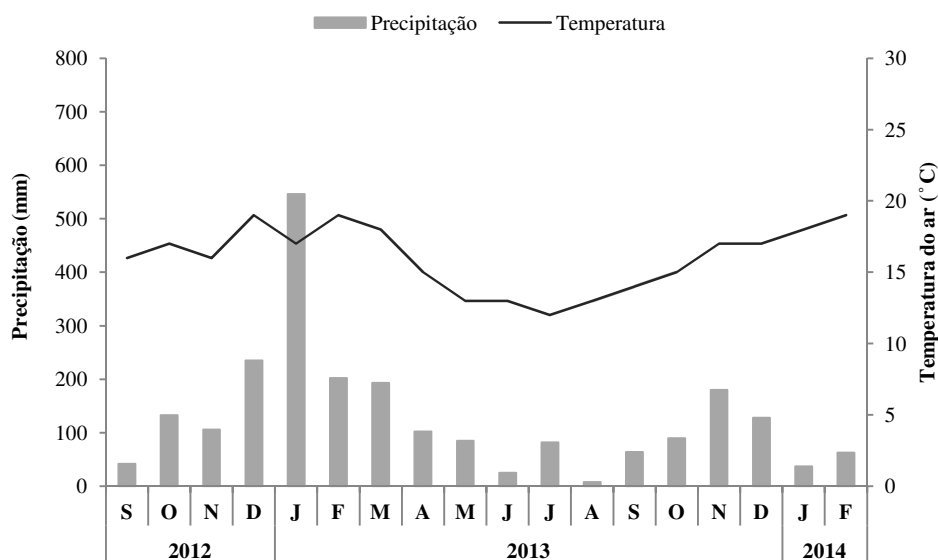


Figura 5: Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) mensal de setembro de 2012 a fevereiro de 2014 em Campos do Jordão – SP. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Fonte: CIIAGRO on line 2014.

5.1.2 Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Santa Virgínia

A média de temperatura no período de coleta no inverno (20 a 25 de agosto) foi de 14,5°C, com precipitação de 1mm (Figura 6.A), e no verão (20 a 25 de janeiro) 20°C e 6,0mm (Figura 6.B). Durante todo o período do inverno (ano de 2013) a temperatura foi de 14°C com precipitação total de 169mm, e no verão (ano de 2014) 19°C, com 866mm de chuva (Figura 7).

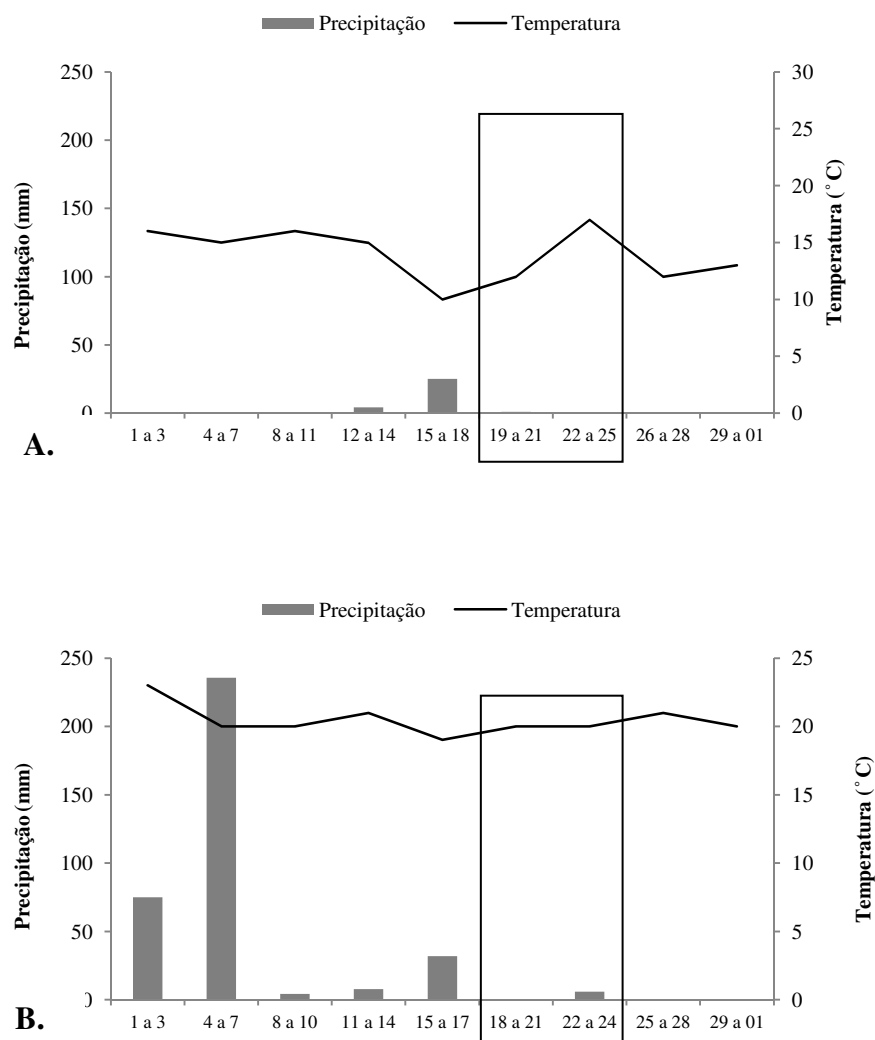


Figura 6: A. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 01 de agosto a 01 de setembro de 2013, na microbacia Ribeirão Casa de Pedra, Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar - SP. B. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 01 de janeiro a 01 de fevereiro de 2014, na microbacia Ribeirão Casa de Pedra, Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar - SP. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Em destaque período de coleta de dados. Fonte: Laboratório de Ciências Atmosféricas, IAG/USP.

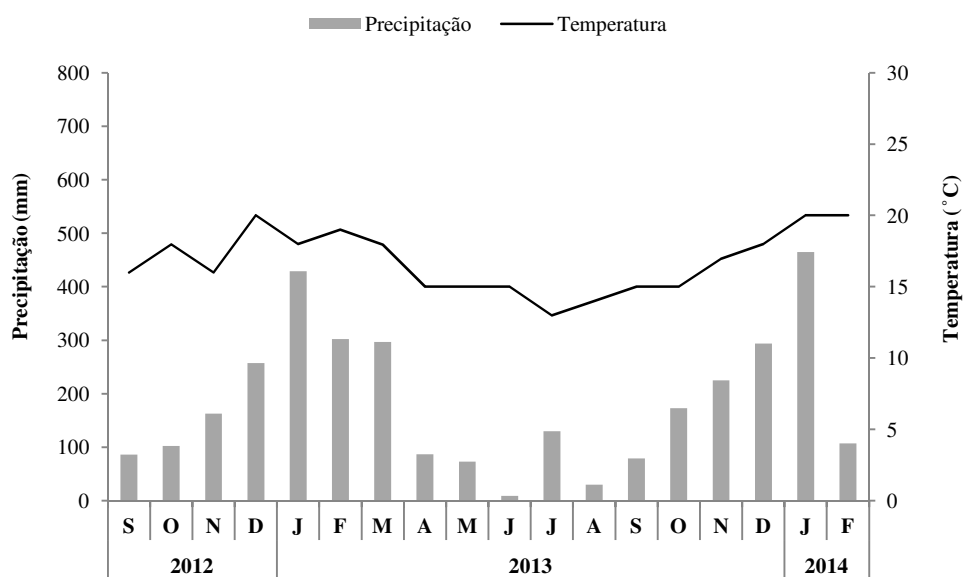
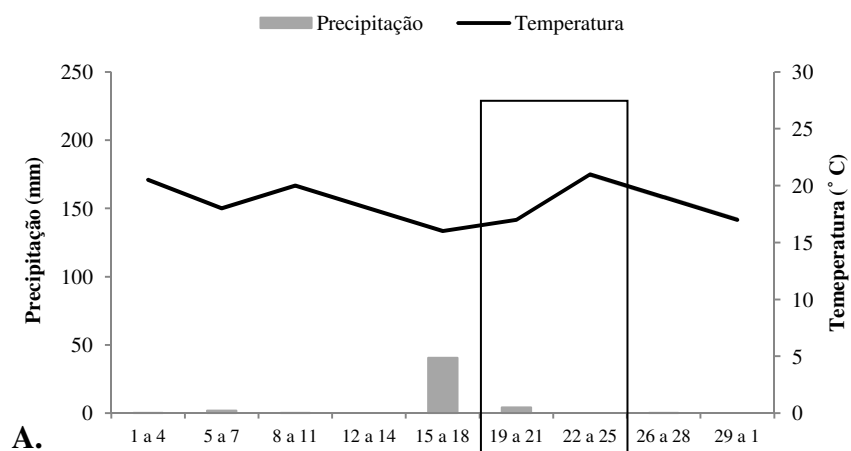


Figura 7: Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) mensal de setembro de 2012 a fevereiro de 2014 na microbacia Ribeirão Casa de Pedra, Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar - SP. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Fonte: Laboratório de Ciências Atmosféricas, IAG/USP.

5.1.3 Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Picinguaba

A média de temperatura no período de coleta no inverno (20 a 25 de agosto) foi de 19°C, com precipitação de 4mm (Figura 8.A). Em janeiro (verão), foi observada temperatura média de 26°C e precipitação de 0mm (Figura 8.B). Durante todo o período do inverno (ano de 2013) a temperatura foi de 19°C com precipitação total de 314mm, e no verão (2014) 25°C com 670mm de chuva (Figura 9).



A.

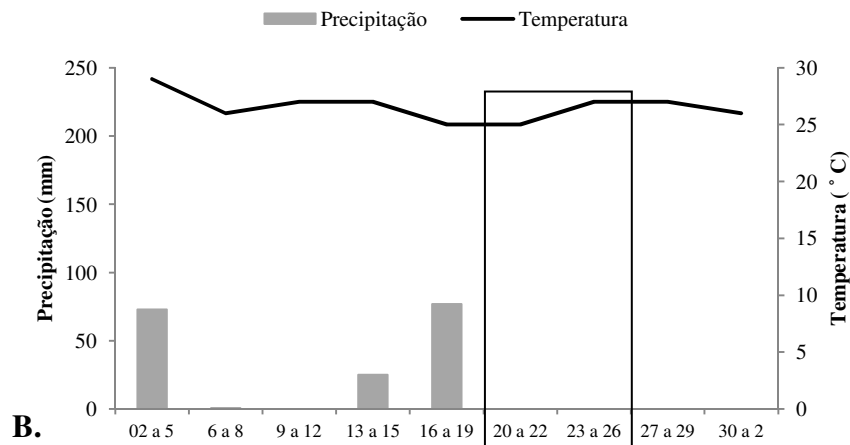


Figura 8: A. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 01 de agosto a 01 de setembro de 2013, em Ubatuba, próximo ao núcleo Picinguaba, Parque Estadual da Serra do Mar, SP. B. Dados de precipitação (mm) e temperatura média (°C) durante o período de 02 de janeiro a 02 de fevereiro de 2014, em Ubatuba, próximo ao núcleo Picinguaba, no Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Em destaque período de coleta de dados. Fonte: CIIAGRO on line 2014.

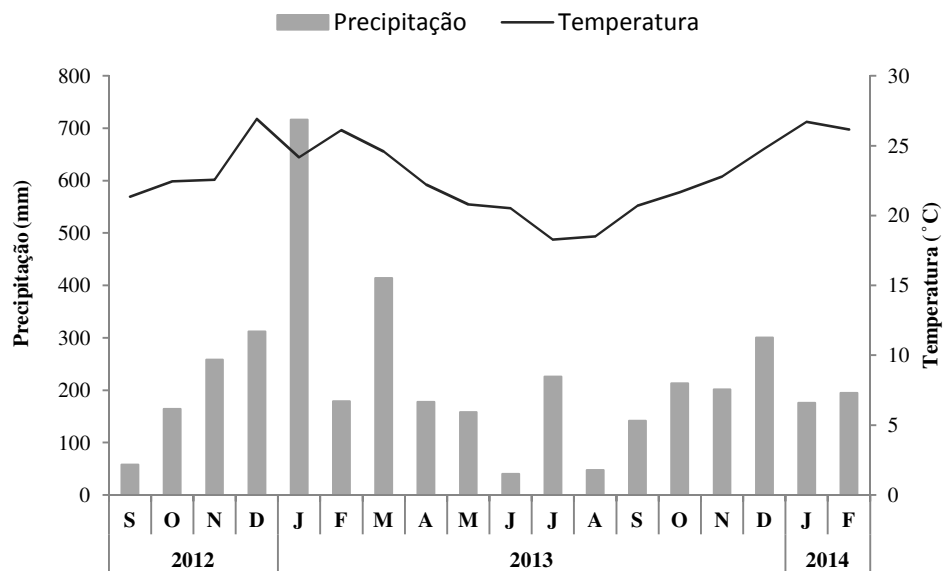


Figura 9: Precipitação (mm) e temperatura do ar (°C) mensal de setembro de 2012 a fevereiro de 2014 em Ubatuba, próximo ao núcleo Picinguaba, Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Barras cinza indicam dados de precipitação e linha preta dados de temperatura do ar. Fonte: CIIAGRO on line 2014.

5.2 Teor de umidade do solo

A umidade foi realizada de acordo com o método de umidade atual proposto pela Embrapa (1997), sendo um dado complementar para as análises. Os resultados apresentaram um gradiente altitudinal, com os maiores valores à 1600m, decrescendo a 100m. Entre as estações a porcentagem foi superior no verão para FOM 1600m e FODM 900m, e no inverno para FOTB 100m (Tabela 1).

Tabela 1: Teor de umidade (%) dos solos de Campos do Jordão (FOM 1600m), Núcleo Santa Virgínia (FODM 900m), e Núcleo Picinguaba (FOTB 100m).

Teor de umidade do solo (%)		
	Profundidade 0-5cm	
	Verão	Inverno
Campos do Jordão (1600m)	99%	82%
Santa Virgínia (900m)	53%	49%
Picinguaba (100m)	23%	28%

5.3 Serapilheira Acumulada

O acúmulo de serapilheira apresentou diferenças de distribuição entre as estações nas altitudes, com valores elevados no inverno, FOM 1600m (inverno $16,3 \pm 6,0 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $12,4 \pm 4,7 \text{ Mg/ha}^{-1}$) ($p=0,022$), FODM 900m (inverno $16,8 \pm 4,8 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $10 \pm 3,1 \text{ Mg/ha}^{-1}$) ($p<0,001$) e FOTB 100m (inverno $16,3 \pm 8,4 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $7,8 \pm 2,8 \text{ Mg/ha}^{-1}$) ($p<0,001$) (Figura 10). Não ocorreram diferenças significativas no inverno ($p=0,973$), mas as áreas diferiram no verão ($p<0,001$) (Figura 10). No verão a quantidade de serapilheira acumulada foi maior em altas altitudes (1600m), decrescendo a 100m, com significância entre FOM 1600m ($12,4 \pm 4,7 \text{ Mg/ha}^{-1}$) e FOTB 100m ($7,8 \pm 2,8 \text{ Mg/ha}^{-1}$) ($p<0,001$).

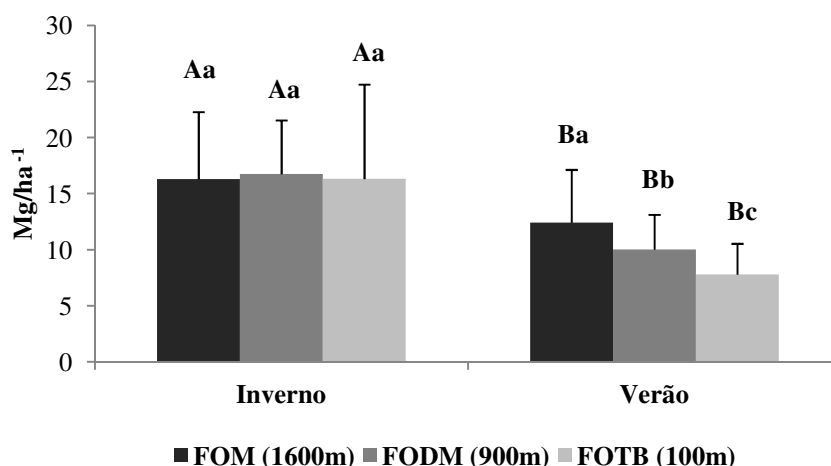


Figura 10: Acúmulo de serapilheira (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

Vários fatores bióticos e abióticos afetam a produção e o estoque de serapilheira, tais como: tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura, luz, relevo, estágio sucessional, disponibilidade hídrica, características do solo e etc. Dependendo das características de cada ecossistema, determinado fator pode prevalecer sobre os demais (Figueiredo *et al.* 2003). Diversos autores relacionam o fator período seco e úmido como a principal causa do estoque e produção de serapilheira em floresta tropical (Backes *et al.* 2005, Pinto & Marques 2003, Schumacher *et al.* 2004, Costa *et al.* 2005, Pires *et al.* 2006, Vidal *et al.* 2007, Pinto *et al.* 2008). Alguns ambientes possuem períodos secos e úmidos muito bem definidos, que caracterizam a estação do inverno e verão, respectivamente, influenciando diretamente a queda das folhas.

Em estudo realizado por Pinto & Marques (2003) em ecossistema de Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, foi encontrado maior produção de serapilheira nos meses de primavera e verão, período de maior precipitação e temperatura. Em Floresta Mista Backes *et al.* (2005) e Schumacher *et al.* (2004) encontraram situações similares, já Fernandes & Backes (1998) demonstraram aspecto um tanto diferenciado, com maior deposição ocorrendo mais tarde, entre o verão e o outono. A diferença entre verão e inverno na deposição de serapilheira para este estudo (Figura 10) apresentou resultado similar a Borém & Ramos (2002) em trecho de Mata Atlântica no Rio de Janeiro, com maior acúmulo de material orgânico no período seco (inverno), assim como Pinto *et al.* (2009) em Floresta Estacional Semidecidual.

Para alguns ecossistemas, o máximo de queda de folhas na estação seca está aparentemente relacionado à época de maior restrição hídrica às plantas, para as florestas mais

secas (florestas estacionais), entretanto, em florestas úmidas sempre verdes a maior queda de serapilheira acontece no período mais chuvoso, certamente influenciada pela intensidade das chuvas e ventos, (Portela & Santos 2007). Os resultados mostraram uma situação oposta, com maior deposição no inverno (Figura 10), período com menor quantidade de chuvas em todas as áreas (Figuras 5, 7 e 9). Como a vegetação da Floresta Ombrófila aparentemente não experimenta condição de déficit hídrico, e apresenta característica “sempre úmida”, o estoque de serapilheira nesses ecossistemas deve estar condicionada a outros fatores, como a ocorrência de dias mais curtos, com menor disponibilidade de luz (Pagano & Durigan 2000; Taiz & Zeiger 2004) e baixas temperaturas durante o inverno (Larcher 2000; Pinto *et al.* 2008). O situação sempre úmida também pode ser confirmada pelos dados de umidade do solo (Tabela 1). Apesar do inverno ter apresentado valores baixos de precipitação, e o ambiente aparentar sazonalidade, a Floresta Ombrófila não apresenta um solo totalmente seco.

Martins (2010) estudando o solo de um gradiente altitudinal da Mata Atlântica, obteve resultados inferiores, mas com o mesmo padrão altitudinal de acúmulo. De acordo com o autor, em baixas altitudes, a temperatura e alta umidade são situações favoráveis para a decomposição do resíduo vegetal, diminuindo o acúmulo de serapilheira sobre o solo. Em contrapartida em altas altitudes, as condições climáticas são opostas, com médias de temperatura e precipitação mais baixa, tornando mais lento o processo de decomposição (Malhi *et al.* 2010). A intensa precipitação torna os solos anaeróbios, dificultando a transformação dos resíduos vegetais por parte dos microorganismos, além das menores perdas por evapotranspiração nas folhas devido a altitude, obstáculo complementar para a decomposição da matéria orgânica via serapilheira, (Sousa Neto 2008) afirmação que poderia explicar o maior acúmulo de serapilheira no inverno, em FOM há 1600m e as diferenças entre verão e inverno em todas as altitudes.

Assim como o clima é o principal regulador dos processo envolvendo a decomposição da serapilheira (He *et al.* 2010), os componentes do material vegetal, como teores de lignina, polifenóis, celulose, carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, e as relações C/N, C/P, C/P lignina e lignina/N (Ge *et al.* 2013) podem influenciar no acúmulo de serapilheira. Altos teores de lignina, polifenóis e celulose estão relacionados com a baixa taxa de decomposição, menor liberação e elevado acúmulo de serapilheira (Swift *et al.* 1979, Monteiro & Gama-Rodrigues 2004). A presença dessas frações orgânicas conferiria resistência ao material vegetal, dificultando a penetração de organismos decompositores por meio da parede celular contribuindo para a baixa velocidade de decomposição (Shaw *et al.* 1991, Costa *et al.* 2005). As áreas de estudo apresentam diferenças na sua fitofisionomia, principalmente em altitude de 1600m, classificada como

Floresta Mista com predominância da espécie Araucária. É possível que essa fitofisionomia, os componentes foliares sejam mais resistentes a ação dos microorganismos, e que a baixa temperatura no inverno impeça a rápida decomposição e disponibilidade de nutrientes.

Em estudos realizados por Hilli *et al.* (2010) a alta precipitação foi a principal causa para a maior decomposição de alguns componentes, como por exemplo a celulose, mas também contribuiu para uma menor decomposição de lignina e seus constituintes. He *et al.* (2010) não encontraram diferenças na decomposição de serapilheira com o aumento da temperatura em Florestas Montanas na China, e atribuíram o fato a maturidade da estrutura e composição dos microorganismos decompositores, que possuem alta capacidade de regulação, a um aumento da temperatura.

Tuomela *et al.* (2000) e Karhu *et al.* (2010) constataram o oposto, a elevação da temperatura possibilitou maior transformação da matéria orgânica, com maior ação dos fungos a altas temperaturas na degradação de compostos de lignina. A temperatura pode ser uma variável atuante nos resultados apresentados, pois diferencia as estações do inverno e verão, e as altitudes do estudo. Além disso, funciona como um regulador da atividade da microbiota do solo, acelerando os processos de decomposição, quando a temperatura é elevada.

Dessa forma, as diferenças de acúmulo de serapilheira no gradiente altitudinal do estudo podem estar vinculadas, por uma combinação de fatores, como a composição foliar, e a atividade dos microorganismos, e regulada principalmente pela temperatura e precipitação singular de cada altitudes e as estações do ano, verão e inverno.

5.4 Estoque de Carbono e Nitrogênio na Serapilheira

O estoque de carbono apresentou diferenças nas altitudes entre as estações apenas em FODM e FOTB, com resultados mais elevados no inverno, FOM 1600m (inverno $7,2 \pm 2,5$ Mg/ha⁻¹, verão $6,0 \pm 2,3$ Mg/ha⁻¹) ($p=0,077$), FODM 900m (inverno $7,0 \pm 2,2$ Mg/ha⁻¹ verão $4,5 \pm 1,4$ Mg/ha⁻¹) ($p=0,001$) e FOTB 100m (inverno $6,8 \pm 3,4$ Mg/ha⁻¹, verão $3,7 \pm 1,3$ Mg/ha⁻¹) ($p<0,001$) (Figura 11). O valor do estoque de carbono não diferiu entre as áreas de estudo no inverno ($p=0,873$), mas no verão, aumentou progressivamente com a altitude ($p=0,001$) (Figura 11), com diferenças significativas entre FOM 1600m e FODM 900m ($p=0,039$), e FOTB 100m ($p<0,001$).

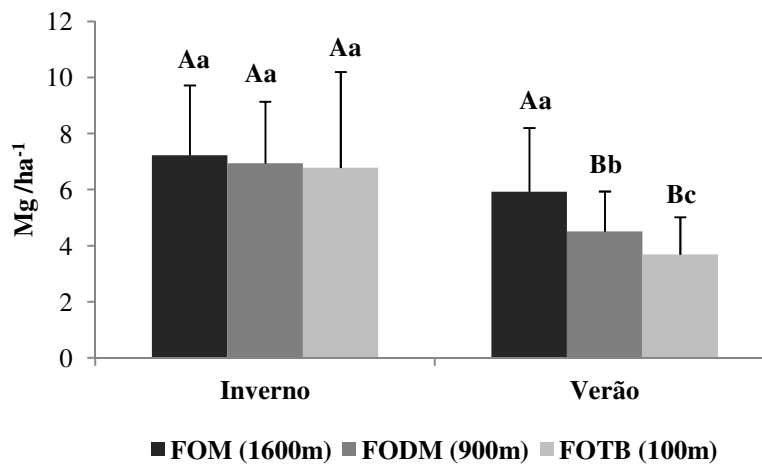


Figura 11: Estoque de carbono na serapilheira (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

O estoque de nitrogênio diferiu entre as estações nas altitudes, apresentando os maiores valores no inverno, FOM 1600m (inverno $0,3 \pm 0,1 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $0,2 \pm 0,08 \text{ Mg/ha}^{-1}$) ($p=0,002$), FODM 900m (inverno $0,3 \pm 0,1 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $0,2 \pm 0,07 \text{ Mg/ha}^{-1}$) ($p<0,001$) e FOTB (inverno $0,3 \pm 0,15 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $0,15 \pm 0,06 \text{ Mg/ha}^{-1}$) ($p<0,001$) (Figura 12). Não houve diferenças significativas entre as áreas tanto no inverno ($p=0,424$), como no verão ($p=0,480$) (Figura12).

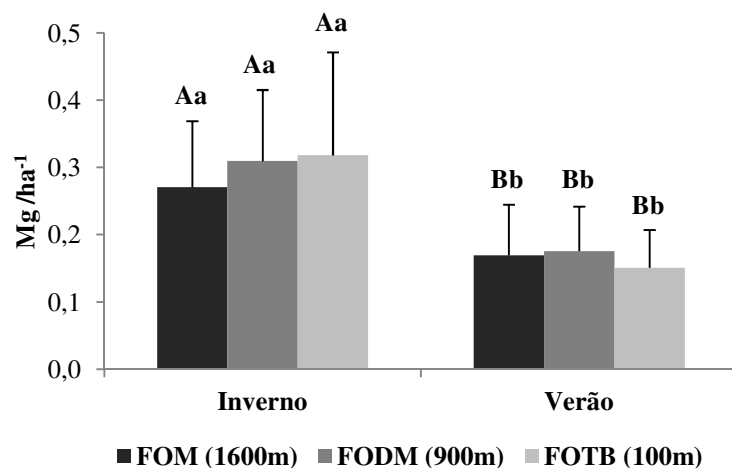


Figura 12: Estoque de nitrogênio na serapilheira (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

Os resultados apresentaram valores superiores aqueles realizados por Martins (2010) em gradiente da Mata Atlântica, na mesma área de estudo deste trabalho, com estoque de C de $1,6 \pm 0,4 \text{ Mg/ha}^{-1}$ em Floresta de Terras Baixas e de $2,0 \pm 0,4 \text{ Mg/ha}^{-1}$ para Floresta Montana, e N $0,07 \pm 0,01 \text{ Mg/ha}^{-1}$ em floresta à 100m de altitude e $0,07 \pm 0,02 \text{ Mg/ha}^{-1}$ para floresta à 900m, e não obteve variação significativa entre as altitudes da Serra do Mar. Em contrapartida, Vieira *et al.* (2011), estudando o gradiente altitudinal da Serra do Mar, obteve uma variação no estoque, com um aumento de carbono e nitrogênio com a altitude: FODM (900m) > FOTB (100m), associada a diferenças na temperatura do solo. Quanto maior a altitude, menor a temperatura do solo e maior o acúmulo de carbono e nitrogênio na matéria orgânica. Como não foi possível medir a temperatura do solo nas áreas de estudo deste trabalho, é possível que esse parâmetro seja variável no gradiente, sendo um fator de influência nos resultados apresentados.

Em estudos realizados por Ruthner & Sevegnani (2010) em Floresta Submontana e Terras Baixas de Blumenau foi encontrado valores de $4,20 \text{ Mg/ha}^{-1}$ e $3,85 \text{ Mg/ha}^{-1}$, respectivamente, mostrando similaridade resultados com os resultados deste estudo. Caldeira *et al.* (2008) em estudo na Floresta Ombrófila Densa de Blumenau-SC obteve valores de carbono na serapilheira de 1,55, 1,51 e $1,26 \text{ Mg/ha}^{-1}$ respectivamente. Caldeira (2003) em Floresta Ombrófila Mista no Paraná, com valor de carbono de $3,0 \text{ Mg/ha}^{-1}$. Os resultados de C no solo, seguem o mesmo padrão de acúmulo daquele observado na serapilheira (Figura 10), evidenciando a relação entre a serapilheira acumulada e a quantidade de carbono nas folhas.

A relação C/N, mostrou diferença entre as estações, com aumento no verão em cada área altitude, FOM 1600m (inverno $26,9 \pm 2,5$, verão $36,6 \pm 6,9$) ($p < 0,001$), FODM 900m (inverno $22,9 \pm 3,6$, verão $26,3 \pm 4,4$) ($p = 0,008$), FOTB (inverno $21,7 \pm 3,9$, verão $24,8 \pm 3,1$) ($p < 0,016$) (Figura 13). As áreas diferem entre si tanto no verão como no inverno ($p < 0,001$) (Figura 13) com valores significativos entre FOM 1600m e FODM ($p = 0,001$) e FOTB ($p < 0,001$).

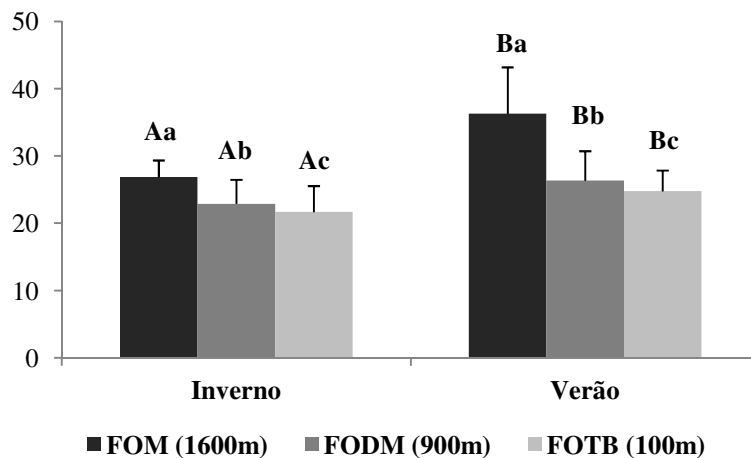


Figura 13: Relação C/N na serapilheira no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

Os resultados apresentaram nas duas estações do ano, um padrão relacionado ao gradiente altitudinal, ou seja, quanto maior a altitude, maior a relação C/N (Figura 13). Soethe *et al.* (2008) estudando um gradiente altitudinal no Equador, também obtiveram elevada relação C/N em altas altitudes com valores de $23 \pm 1,2$ à 1900m, $38,2 \pm 3,8$ à 2400m e $44,7 \pm 1,1$ à 3000m. A decomposição de resíduos por microrganismos depende da quantidade de N no substrato, ou seja, se há pouco N no material orgânico, os microrganismos precisam imobilizar o N contido no solo (Cantarella 2007). Para que isso não ocorra a relação C/N precisa estar entre 25 a 30, fato observado apenas em Floresta à 100m e 900m. As folhas de altas altitudes podem apresentar composição foliar mais complexa, com predomínio do carbono na constituição dos tecidos, principalmente devido as condições adversas de frio e geadas dessa região.

5.5 Nitrogênio Mineral *in situ*

Os resultados de resina estão apresentados em mediana e intervalo interquartil, pois os dados não apresentaram distribuição normal. A quantificação de amônio (NH_4^+) mostrou diferença significativa apenas em FOM 1600m ($p=0,005$) entre as estações (Figura 14). Entre as áreas FOM 1600m difere significativamente de FODM 900m ($p=0,019$) e FOTB 100m ($p<0,001$). No inverno a quantidade de amônio não apresentou um padrão altitudinal de distribuição, ao contrário do verão com maiores medianas em 1600m, decrescendo com a altitude; FOM 1600m inverno $0,8 (0,5-1,0) \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ e verão $4,4 (3,7 - 6) \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$,

FODM 900m inverno 1,3 (0,9-2,4) $\mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e verão 1,6 (1,2-2,2) $\mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, FOTB 100m inverno 0,9 (0,6 -1,3) $\mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e verão 0,5 (0,3 - 0,7) (Figura 15).

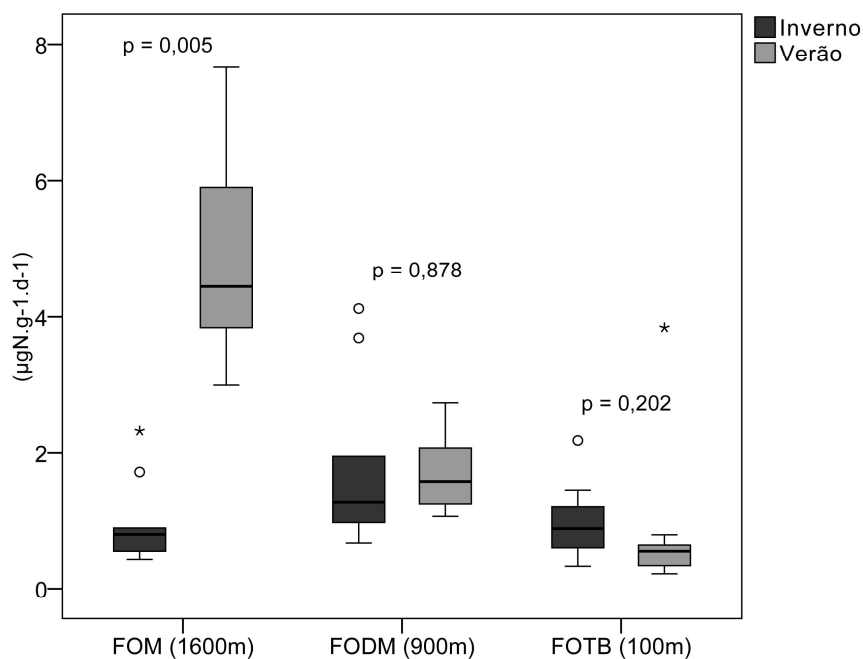


Figura 14: Concentração de amônio ($\mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) no conteúdo edáfico avaliado através de resina de troca iônica mista em cada área de estudo no verão e inverno. Os valores representam a mediana e intervalo interquartil IQ (25% -75%).

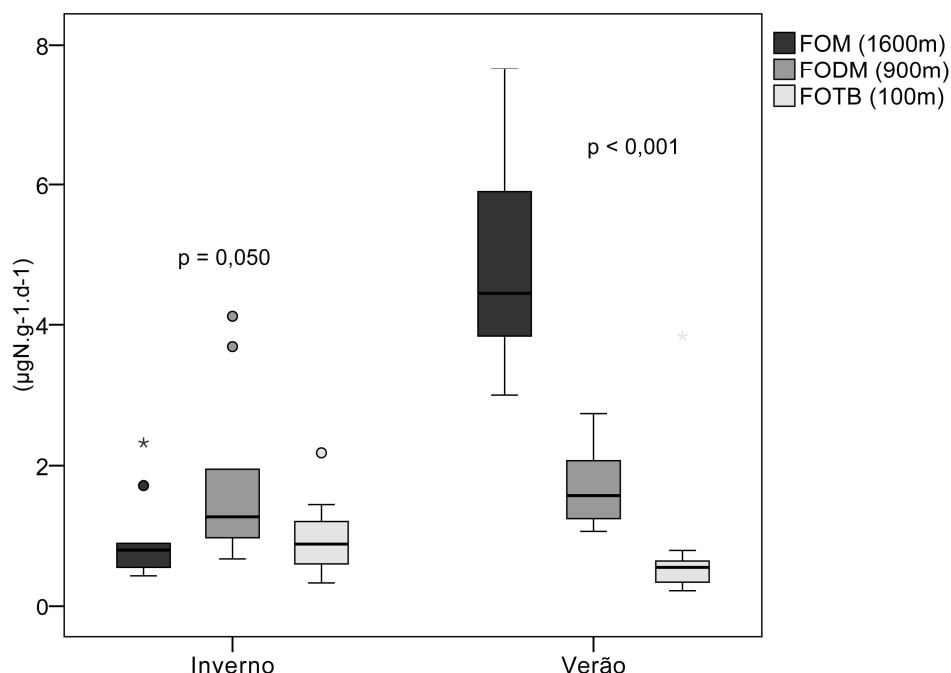


Figura15: Concentração de amônio ($\mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) no conteúdo edáfico avaliado através de resina de troca iônica mista entre as áreas de estudo no verão e inverno. Os valores representam a mediana e intervalo interquartil IQ (25% -75%).

A quantidade de nitrato diferiu entre verão e inverno em cada área em FOM 1600m ($p=0,036$) e FOTB ($p=0,005$) (Figura 16). Entre as áreas, houve diferenças significativas no verão ($p=0,005$) e inverno ($p<0,001$) (Figura 16). A FOM 1600m exibe variabilidade significativa comparada a FODM 900m ($p<0,001$) e FODM ($p=0,003$). No inverno os resultados de nitrato não apresentaram um padrão altitudinal de distribuição, mas no verão há aumento de NO_3^- com a diminuição da altitude; FOM 1600m inverno 0,14 (0,13-0,4) $\mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e verão 0,11 (0,05-0,1) $\mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, FODM 900m inverno 0,2 (0,2-0,3) $\mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e verão 0,2 (0,1-0,3) $\mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, FOTB 100m inverno 0,09 (0,7-0,2) $\mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e verão 0,5 (0,3-0,7) $\mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ (Figura 17).

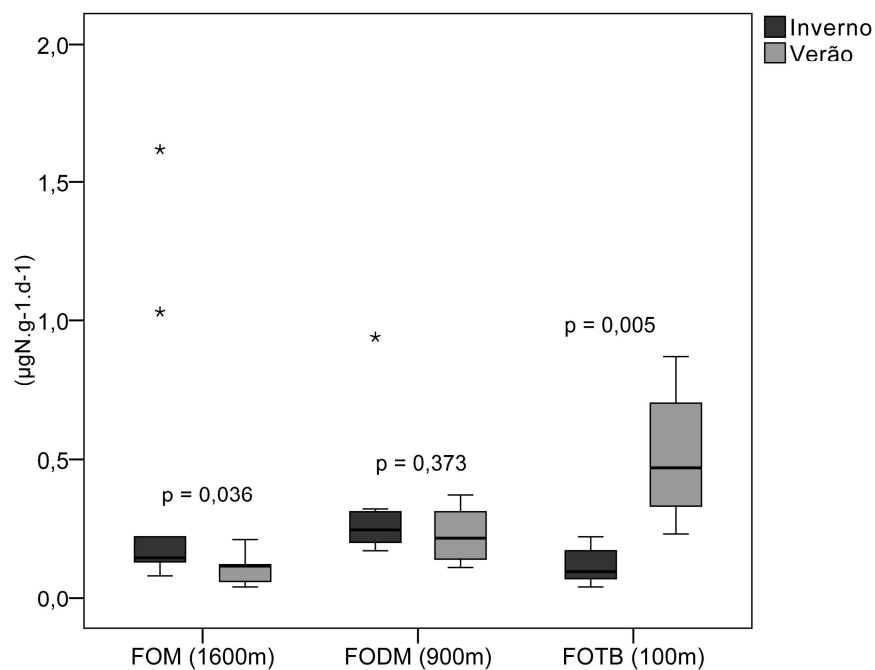


Figura 16: Concentração de nitrato ($\mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) no conteúdo edáfico avaliado através de resina de troca iônica mista em cada área de estudo no verão e no inverno. Os valores representam a mediana e intervalo interquartil IQ (25% -75%).

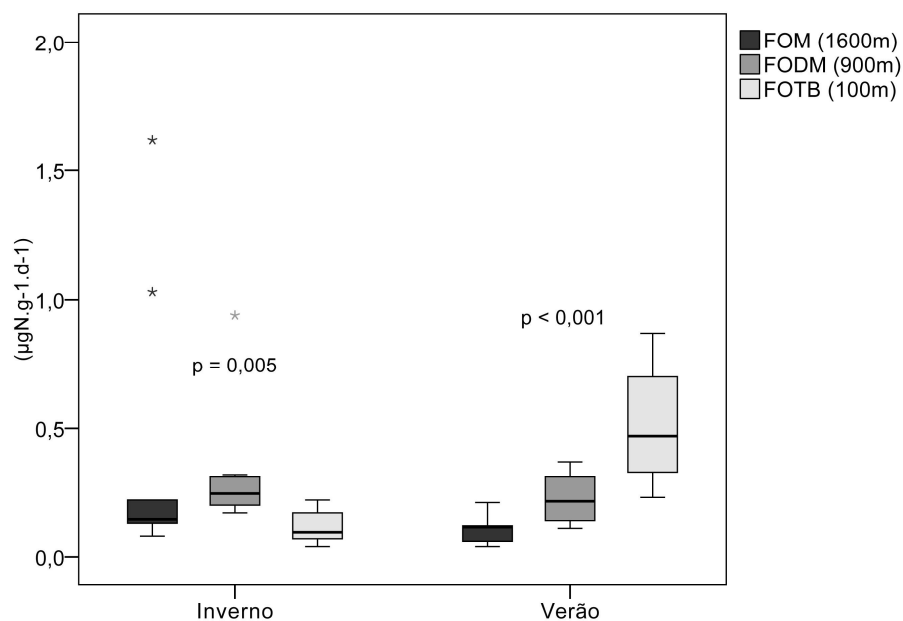


Figura 17: Concentração de nitrato ($\mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$) no conteúdo edáfico avaliado através de resina de troca iônica mista entre as áreas de estudo no verão e no inverno . Os valores representam a mediana e intervalo interquartil IQ (25% -75%).

Analisando os valores tanto para amônio como para nitrato, pode-se supor, que há maior disponibilidade de amônio no solo na maior altitude (1600m), e maior disponibilidade de nitrato em baixas altitudes (100m). Em altitudes elevadas (FOM 1600m), há uma tendência para acúmulo de serapilheira sobre o solo, devido as baixas temperaturas e alta precipitação, dificultando os processos de transformação do N orgânico para formas inorgânicas no solo. Em Terras Baixas, (FOTB 100m) as altas temperaturas promovem ciclagem mais rápida do N no solo, e a nitrificação torna-se evidente nessa altitude.

Aidar *et al.* (2003) também encontraram o mesmo padrão de resposta no Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira/SP, ($1,7 \pm 0,9 \mu\text{g NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ – inverno e $2,7 \pm 1,4 \mu\text{g NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ – verão) e ($0,5 \pm 0,4 \mu\text{g NO}_3^- \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ – inverno e $2,6 \pm 2,6 \mu\text{g NO}_3^- \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ – verão), com diferenças apenas na concentração de nitrato. Campos (2009) verificou maiores concentrações de amônio em Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas em relação ao nitrato ($78,2 \pm 27,1 \mu\text{g NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ – inverno e $68,3 \pm 10,1 \mu\text{g NH}_4^+ \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ – verão) e ($31,9 \pm 14,8 \mu\text{g NO}_3^- \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ – inverno e $26,9 \pm 10,6 \mu\text{g NO}_3^- \text{ g}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ – verão). Silva (2012) em Floresta Submontana constatou similaridade de concentração tanto no verão como no inverno, e Marchiori (2012) em Floresta Montana, indicou resultados superiores no verão em relação ao inverno com predomínio de nitrato no verão.

A predominância de nutrientes na forma de cátions ou ânions no solo, é dependente da sua constituição mineral, ou seja, o solo é formado por partículas de areia silte e argila, que dependendo da região, e do ecossistema de estudo, podem sofrer variações. As argilas são ricas em cargas elétricas negativas que atraem e retêm os cátions, como o cálcio (Ca^{++}), potássio (K^+), sódio (Na^+), etc. e onde permanecem como que armazenados e prontamente disponíveis (Lepsch 2010). Devido à presença de cargas negativas nas argilas do solo, o ânion nitrato (NO_3^-) possui baixa interação química e faz com que este seja lixiviado com facilidade para as camadas mais profundas (Cantarella 2007), o que pode explicar os baixos valores para nitrato encontrados nas três áreas de estudo na camada mais superficial (0-5cm), e elevada quantidade de amônio, (NH_4^+), pois este é um cátion, facilmente adsorvido a argila do solo.

A concentração de nitrato apresenta amplas variações espaciais e sazonais, e é controlada por fatores bióticos e abióticos que muitas vezes resultam na rápida diminuição de seu conteúdo no solo (Crawford & Glass 1998). O excesso de água no solo diminui a sua aeração, isso concomitante com baixo pH dificulta a atividade microbiana no processo de nitrificação (Fredeen *et al* 1991). As três áreas apresentam baixo pH, mas a umidade apresentou diferenças entre as

áreas (Tabela 1), com altos valores em FOM 1600m e baixos a 100m tanto no verão como no inverno, sendo um possível fator de influência para a baixa quantidade de nitrato a 1600m.

O método da resina de troca iônica para verificação dos íons presente no solo, como nitrato e amônio, necessita de uma fase móvel, ou seja, a água desloca os íons do solo para a resina. Portanto se na época de coleta dos dados a precipitação foi reduzida ou nula, os resultados se tornam pouco confiáveis. Essa variável pode ser observada nas figuras 4.A e B, 6.A e B e 8.A e B, para as três áreas de estudo, com predomínio de chuva apenas no verão em Floresta Mista (Campos do Jordão), sendo que nas outras áreas os valores não foram expressivos.

5.6 Mineralização e Nitrificação de Nitrogênio no Solo

A mineralização diferiu em cada altitude entre as estações, com valores superiores no inverno, FOM 1600m (inverno $10,5 \pm 6,1 \mu\text{g N g}^{-1}$, verão $0,9 \pm 3,4 \mu\text{g N g}^{-1}$) ($p < 0,001$), FODM 900m (inverno $11,7 \pm 7,1 \mu\text{g N g}^{-1}$, verão $-8,6 \pm 6,1 \mu\text{g N g}^{-1}$) ($p < 0,001$), FOTB 100m (inverno $17,1 \pm 4,7 \mu\text{g N g}^{-1}$, verão $-17,1 \pm 9,4 \mu\text{g N g}^{-1}$) ($p < 0,001$) (Figura 18). Entre as áreas, houve diferença no inverno ($p = 0,003$) e no verão ($p < 0,001$) (Figura 18).

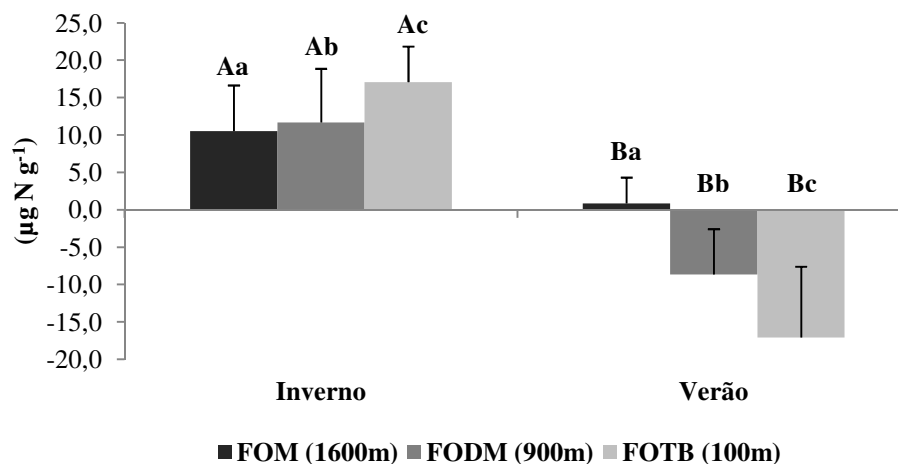


Figura 18: Mineralização de nitrogênio no solo ($\mu\text{g N g}^{-1}$) em profundidade de (0-5cm) durante 7 dias de incubação. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

Para a nitrificação os resultados em cada área estudada foram superiores no verão, sendo FOM 1600m (inverno $-0,3 \pm 0,5 \mu\text{g N g}^{-1}$, verão $-0,04 \pm 0,3 \mu\text{g N g}^{-1}$) ($p=0,054$), FODM 900m (inverno $-0,2 \pm 0,4 \mu\text{g N g}^{-1}$, verão $0,2 \pm 0,5 \mu\text{g N g}^{-1}$) ($p=0,013$) e FOTB (inverno $0,1 \pm 0,3 \mu\text{g N g}^{-1}$, verão $0,3 \pm 0,3 \mu\text{g N g}^{-1}$) ($p=0,11$) (Figura 19). Os valores entre as áreas diferiram tanto no inverno ($p=0,013$), como no verão ($p=0,015$) com valores significativos entre FOM (1600m) e FOTB (100m) ($p=0,012$).

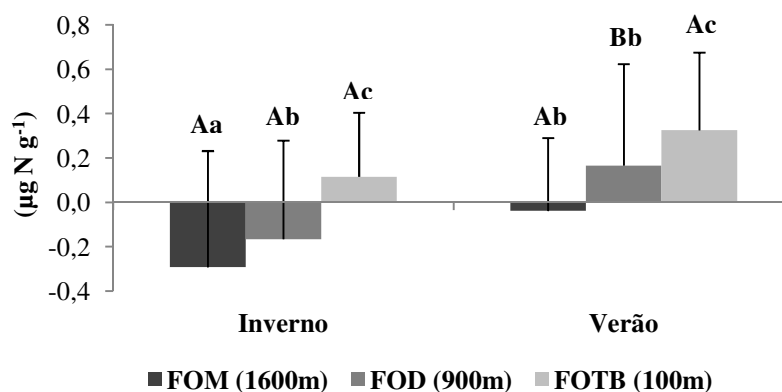


Figura 19: Nitrificação de nitrogênio no solo ($\mu\text{g N g}^{-1}$) em profundidade de (0-5cm) durante 7 dias de incubação. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

As formas inorgânicas de N no solo são controladas por fatores que envolvem as condições edáficas do ecossistema, a qualidade do material orgânico, e principalmente as condições climáticas (Vernimmen *et al.* 2007, Yagi *et al.* 2009, Oliveira *et al.* 2012). A alta mineralização no inverno nas três áreas pode estar relacionada ao acúmulo de matéria orgânica nesse período do ano, bem como a sua qualidade nutricional e orgânica, que difere de uma região para a outra devido a altitude. Durante a mineralização do N-orgânico do solo, os seus distintos componentes são transformados a velocidades variáveis, em N-inorgânico, podendo alguns serem acumulados em função do seu elevado grau de recalcitrância e resistência ao ataque microbiano (Camargo *et al.* 1997). Essa mesma situação foi observada por Monteiro & Gama Rodrigues (2004) em estudo relacionando a atividade microbiana e os ciclos de C e N no solo, afirmando que a qualidade nutricional e orgânica da serapilheira pode influenciar a atividade dos decompositores.

Os valores de mineralização no inverno mostram um gradiente de concentração, decrescendo com o aumento da altitude. Segundo Cantarella (2007) e Guntiñas *et al.* (2012) a

mineralização e nitrificação são sensíveis as taxas de temperatura e precipitação. Considerando esses fatores ambientais, a umidade do solo (Tabela 1) das áreas de estudo foi maior em FOM 1600m, o que pode caracterizar a baixa mineralização no inverno. Maithani *et al.* (1998) estudando a mineralização em floresta subtropical de alta altitude, e sua relação com os fatores do clima, condições edáficas e vegetação obtiveram resultados similares e atribuíram a baixa mineralização a alta umidade do solo, que o torna pobre em oxigênio. As condições anóxicas permitem atividade das bactérias anaeróbias, que apesar de continuar o processo de decomposição da matéria orgânica, acabam por tornar o processo mais lento e incompleto (Cantarella 2007).

A quantidade de amônio (NH_4^+) foi maior em todas as áreas em relação ao nitrato (NO_3^-), mas de forma isolada, os resultados de nitrificação foram superiores em FOTB 100m (Figura 19). De acordo com Piccolo *et al.* (1994) e Parron (2004), a maioria dos estudos em solos de ecossistemas tropicais registra a alta amonificação e baixa nitrificação. Marrs *et al.* (1988) obteve maior disponibilidade de nitrato em Terras Baixas, quando comparada a quantidade de amônio. A presença de bactérias fixadoras de nitrogênio pode aumentar a disponibilidade de nitrato nessa área, em comparação as outras altitudes. Além disso, as baixas concentrações de nitrato podem indicar que a demanda por essa forma de nitrogênio (pela microbiota do solo e pelas raízes das plantas) foi alta ou que sua produção bruta foi baixa.

A microbiota do solo pode se adaptar as condições de temperatura do ambiente, incluindo modificações em estruturas-chave tais como, membranas e produção de proteínas que protegem a membrana celular (Dessureault-Rompré *et al.* 2010) e ainda podem apresentar habilidades específicas para utilizar os recursos, como especificidade enzimática para degradação de substrato (Schutt *et al.* 2014). Dessa forma, é possível que as características de microbiota e sua atividade celular sejam diferentes em cada altitude, bem como o substrato para decomposição, o que poderia explicar a variabilidade na resposta dos resultados. A temperatura de 26°C pode ser ótima para os decompositores em FOTB, mas em contrapartida, não seria vantagem em altas altitudes (1600m). Apesar de existir um ótimo de temperatura para a mineralização e nitrificação, isso pode variar dependendo do solo e da região. Contudo, seria necessário observar a resposta de cada área em diferentes temperaturas, para afirmar tal proposição.

A baixa mineralização no verão e os valores negativos de nitrificação, também podem estar relacionado a mudanças nas condições metabólicas dos decompositores do solo, referente também aos fatores climáticos. Tian *et al.* (2010), estudando a interação do nitrogênio com o ambiente em função da temperatura e umidade em solos alpinos, observaram valores negativos

para nitrificação e mineralização, afirmando que os resultados são relativos a imobilização, processo o qual, os microorganismos utilizam o N inorgânico do solo, transformando-o em formas orgânicas para o sua utilização. Esse processo pode ser referente a falta de N no sistema, relacionada a alta quantidade de chuvas no verão, que facilitam a perda de N no ambiente (Zhao *et al.* 2010).

Além dos fatores relacionados ao clima, a disponibilidade de nitrogênio inorgânico é influenciado pelas características físicas e químicas do solo. Luizão *et al.* (2004) estudando um gradiente topográfico da Amazônia atribui a baixa nitrificação em solos de vale, a maior quantidade de areia no solo. Na áreas de estudo deste trabalho, valores de areia foram superiores em baixas altitudes, (FOM 46%, FODM 57% e FOTB 60%) e o maior valor em nitrificação. O baixo pH (<4) também é uma característica que pode inibir a nitrificação (Cantarella 2007, Vernimmen *et al.* 2007), porém outros estudos (Vitousek *et al.* 1982, Berg *et al.* 1997) afirmam que o pH não seria impedimento para a nitrificação em solos ácidos, pois há adaptação e mudança dos microorganismos que agiriam em solos nessas condições, com predomínio de fungos nitrificantes (Dalias *et al.* 2002). Todas as áreas de estudo possuem pH ácido (<4) (Merlim 2005, Martins 2010) e isso poderia ser considerado um fator de influência na baixa nitrificação observada nesse estudo, não agindo de forma isolada, mas associada a outros fatores como qualidade da serapilheira, e condições climáticas.

5.7 Estoque de Carbono e Nitrogênio no Solo

O estoque de carbono no solo não teve mudanças significativas do verão para o inverno nas altitudes, FOM ($p=0,233$), FODM ($p=0,714$) e FOTB ($p=0,965$), mas FOM 1600m apresentou elevado estoque nas duas estações, FOM 1600 (inverno $45,6 \pm 16,6 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $50,7 \pm 35,2 \text{ Mg/ha}^{-1}$), FODM 900m (inverno $21,7 \pm 3,6 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $20,2 \pm 3,6 \text{ Mg/ha}^{-1}$) e FOTB 100m (inverno $19,1 \pm 3,5 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $19 \pm 5,0 \text{ Mg/ha}^{-1}$) (Figura 20). Entre as áreas, houve diferença significativa no verão e inverno ($p<0,001$) (Figura 20), com destaque para FOM 1600m, que diferiu significativamente das outras áreas de estudo ($p<0,001$).

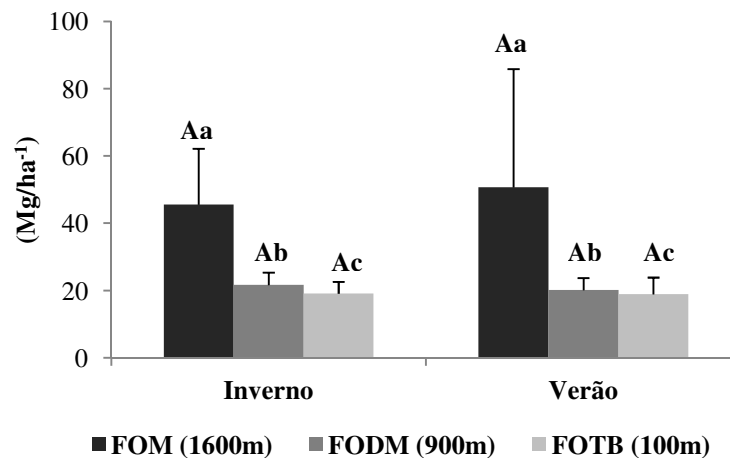


Figura 20: Estoque de carbono no solo (Mg/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

Os valores de estoque carbono no solo (Figura 20), apresentaram um padrão similar como ao observado para o acúmulo de serapilheira (Figura 10), com resultados superiores no verão e inverno para a área de Campos do Jordão (1600m), indicando uma relação entre a matéria orgânica, temperatura, velocidade de decomposição e disponibilidade de nutrientes no solo. Jobbagy & Jackson (2000) estudando diferentes tipos florestais obtiveram um padrão de estoque de carbono nas primeiras camadas de solo, (0-20cm), com diminuição de acúmulo com o aumento da profundidade; devido a elevada quantidade de material orgânico, e atividade metabólica dos microorganismos. A influência do clima sobre o solo e acúmulo de material em decomposição é refletida pelo equilíbrio entre a entrada e perdas de carbono, sendo este caracterizado pelo quociente de temperatura média e precipitação anual. O potencial de armazenagem de carbono é proporcional ao aumento da precipitação, mas inversamente proporcional a temperatura (Carter *et al.* 1997).

Para alguns autores, (Amundson *et al.* 1989, Quilchano *et al.* 1995) a água é um importante modulador de processos a nível ecossistêmico e agente atuante no solo, alterando indiretamente o pH, disponibilidade de nutrientes, luz, oxigênio e intemperismo do solo. Schuur *et al.* (2001) estudando a Floresta Montana no Hawaí, encontraram relação direta entre a quantidade de chuva, e o estoque de carbono. A água proveniente da chuva se acumula no solo, tornando-o pobre em oxigênio e afetando diretamente a atividade dos microorganismos na decomposição da matéria orgânica, o que permite maior acúmulo no solo e menores perdas para a atmosfera. Biasi *et al.* (2008) estudando o carbono nos solos de Tundra e sua relação com a

temperatura, também obtiveram maior taxa de decomposição da serapilheira e maior respiração do solo relacionado com perda de carbono. As baixas temperaturas e elevada precipitação em altas altitudes, podem ser um indicativo da alta taxa de carbono observado tanto no verão, como no inverno, à 1600m. Essa situação pode ser confirmada pelo alto teor de umidade no solo, (Tabela 1), mesmo com menor quantidade de chuva (mm) durante o período de 2 anos, em comparação a FOTB à 100m de altitude.

O estoque de carbono também pode ser influenciado pelas características relacionadas a textura, ou seja, solos com alta porcentagem de argila (argilosos) tem uma tendência a acumular uma quantidade maior de carbono, do que solos que apresentam como principal componente, a areia (Telles *et al.* 2003). Os solos da área de estudo apresentam maior quantidade de argila à 1600m (44%), em relação às outras áreas (900m) 22,3% e 100m (31,5%), sendo uma possível justificativa para os resultados. A correlação entre a argila e o C é baseada na proteção física (adsorção) dos minerais de argila e teores de Fe ao C. A mineralogia do solo, junto às condições climática interfere na permanência do C no solo, pois o intemperismo causado pela chuva pode alterar a sua composição mineralógica transformando os minerais primários em secundários, que são capazes de adsorver de forma mais eficiente o C (Torn *et al.* 1997).

O estoque de nitrogênio também não apresentou diferenças entre as estações em cada área de estudo, FOM ($p=0,473$), FODM ($p=0,761$) e FOTB ($p=0,534$), e assim como o estoque de C, os valores de N para FOM 1600m no verão e inverno foi superior as outras áreas, FOM 1600m (inverno $3,4 \pm 1,7 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $3,6 \pm 2,7 \text{ Mg/ha}^{-1}$), FODM 900m (inverno $1,7 \pm 0,3 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $1,6 \pm 0,2 \text{ Mg/ha}^{-1}$), FOTB 100m (inverno $1,7 \pm 0,3 \text{ Mg/ha}^{-1}$, verão $1,5 \pm 0,3 \text{ Mg/ha}^{-1}$), com diferenças significativas entre as áreas no verão ($p<0,001$) e inverno ($p<0,001$) (Figura 21). O estoque de nitrogênio observado no solo teve o mesmo padrão de concentração do carbono, com valores elevados à 1600m em comparação com as outras altitudes. Rangel & Silva (2007) verificaram comportamento semelhante ao observado neste estudo, constatando tendência de maiores valores de estoques de nitrogênio em áreas com maior estoque de carbono, pois a maior parte do nitrogênio (95%), está presente na matéria orgânica do solo.

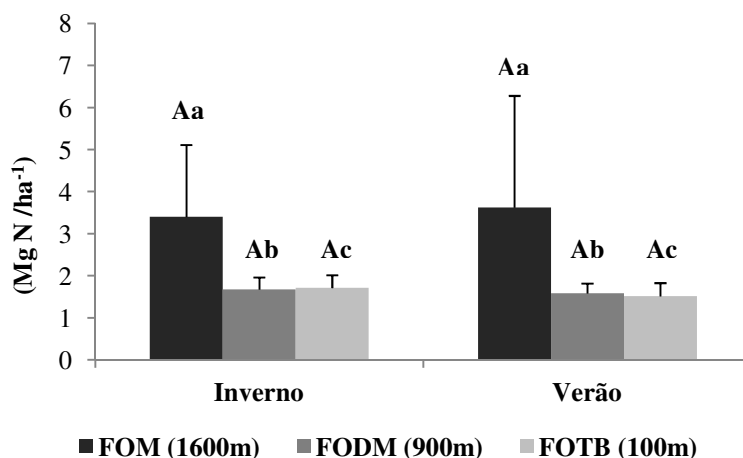


Figura 21: Estoque de nitrogênio no solo (Mg N/ha^{-1}) no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

A relação C/N não teve variabilidade em cada área, entre as estações em FOM 1600m (inverno $14,3 \pm 1,3$, verão $14,6 \pm 1,5$), ($p=0,440$), e FODM 900m (inverno $12,9 \pm 0,4$, verão $12,9 \pm 0,7$) ($p=0,838$), mas em FOTB 100m ($11,2 \pm 0,8$, verão $12,4 \pm 1,2$) ocorreram mudanças do inverno para o verão ($p=0,002$) (Figura 22). Entre as áreas a FOM 1600m apresentou diferenças significativas no inverno com FODM 900m ($p=0,002$) e verão ($p<0,001$), e FOTB no verão e inverno ($p<0,001$). A relação C/N é um parâmetro relacionado a decomposição do material orgânico, ou seja, ela é capaz de aferir se o material será imobilizado ou mineralizado. Segundo Mello *et al.* (1983) se a relação C/N foi maior que 33/1 ocorre a imobilização se menor que 17/1 predomina o processo de mineralização. As áreas de estudo apresentaram uma relação C/N entre 12 e 14, situação próxima a estabilidade do material orgânico, passível de ser mineralizada. (Cantarella 2007). Yiemer *et al.* (2006) estudando solos de diferentes vegetações e topografia observaram uma relação C/N entre 10 e 12, resultado similar a este estudo, com exceção de FOM (1600m). As diferenças observadas em relação aos estoques de C e N podem estar relacionadas ao microclima, e ao tipo de vegetação que regula a qualidade do material vegetal que chega ao solo.

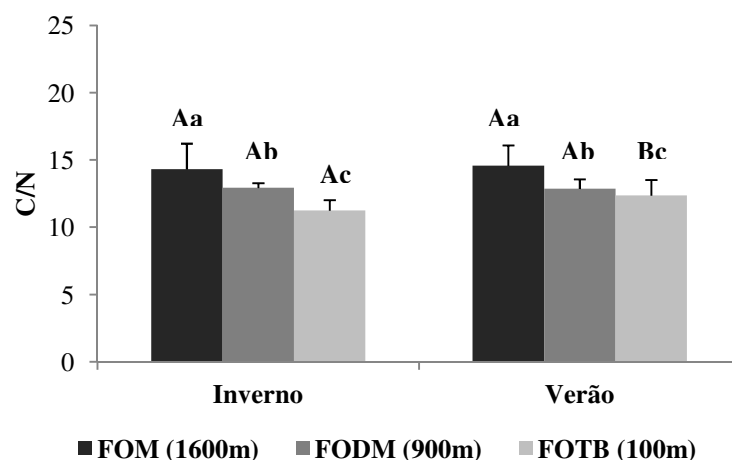


Figura 22: Relação C/N no solo no verão e inverno nas altitudes. Letras maiúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as estações e igual altitude. Letras minúsculas representam a probabilidade (valor de p) entre as três áreas e igual estação do ano. Os valores indicam a média $\pm$ desvio padrão.

5.8 Aminoácidos no Solo

Os aminoácidos no solo diferiram de uma estação para outra em cada área, com os maiores valores observados no verão; FOM 1600m (verão 672 nmol/ml N, inverno 649 nmol/ml N), FODM 900m (verão 762 nmol/ml N, inverno 33 nmol/ml N), FOTB 100m (verão 568 nmol/ml N, inverno 20 nmol/ml N). Entre as áreas, no verão, as Florestas de altas altitudes (FOM 1600m e FODM 900m) apresentaram valores superiores em comparação a Floresta de Terras Baixas (FOTB 100m). No inverno, há uma queda da quantidade de N disponível na forma de aminoácidos em FODM 900m e FOTB 100m, com o predomínio em FOM 1600m (Tabela 2).

No verão os aminoácidos com maior quantidade de N disponível foram: Cisteína (13%), Histidina (11%), Arginina (10%) em FOM 1600m, Arginina (12%), Histidina (9%), Cisteína (7%) em FODM 900m, e Asparagina (49%), Glutamina (17%) e Aspartato (13%) em FOTB 100m. No inverno podemos encontrar o predomínio de Asparagina (65%), Glutamina (14,5%) e Aspartato (14%) em FOM 1600m, Cisteína (10%), Treonina, GABA e Ornitina (7%) em FODM 900m, e Prolina (19%) Arginina, e Valina (9%) em FOTB 100m. (Tabela 2). Os aminoácidos com maior destaque em todas as áreas foram: Cisteína, Aspartato, Asparagina e Glutamato.

Tabela 2: Aminoácidos no solo no verão e inverno em FOM (1600m), FODM (900m) e FOTB (100m). Os aminoácidos estão apresentados em nmol/ml N e porcentagem, sendo: His=Histidina, Asn=Asparagina, Gln=Glutamina, Arg=Arginina Asp=Aspartato, Glu=Glutamato, Thr=Treonina, GABA=Gaba, Pro=Prolina, Orn=Ornitina, Cys=Cisteína, Val=Valina, Outros: HyPro=Hidroxiprolina, Ala=Alanina, Gly=Glicina, Lys=Lisina, Tyr=Tirosina, Met=Metionina, Ile=Isoleucina, Leu=Leucina, Phe=Fenilalanina, Trp=Triptofano

Aminoácidos	Verão						Inverno					
	FOM 1600m		FODM 900m		FOTB 100m		FOM 1600m		FODM 900m		FOTB 100m	
	n mol/ml N	%N	n mol/ml N	%N	n mol/ml N	%N	n mol/ml N	%N	n mol/ml N	%N	n mol/ml N	%N
His	132	11	135	9	5	0	4	0	4	6	1	3
Asn	88	7	87	6	555	49	826	64	4	6	2	4
Gln	90	7	86	6	25	2	13	1	4	5	1	2
Arg	126	10	187	12	16	1	0	0	0	0	3	9
Asp	19	2	39	3	154	14	177	14	2	4	1	4
Glu	24	2	48	3	193	17	188	14	3	4	1	2
Thr	21	2	86	6	4	0	1	0	5	7	1	1
GABA	18	1	37	2	7	1	3	0	5	7	2	5
Pro	21	2	43	3	0	0	5	0	2	3	8	19
Orn	78	6	92	6	38	3	0	0	5	7	3	8
Cys	161	13	103	7	21	2	6	0	7	10	3	8
Val	42	3	48	3	10	1	6	0	2	4	3	9
Outros	423	35	619	41	111	10	70	5	30	34	12	28
Total	1221		1254		1135		1299		66		40	

A análise dos aminoácidos no solo indicou resultados superiores no verão em altas altitudes (1600m e 900m), e uma diferença significativa no inverno entre FOM 1600m. O mesmo padrão de resposta foi observado por Nordin *et al.* (2001), em floresta boreal ao longo de uma gradiente altitudinal. De acordo com Tanner *et al.* (1998), florestas de altas altitudes possuem baixa quantidade de nutrientes, e deficiência de N quando comparada a Floresta de Terras Baixas. Considerando a baixa quantidade de nutrientes em florestas montanas, as formas orgânicas de nitrogênio como os aminoácidos, tornam-se predominantes nesse tipo de ecossistema (Farrell *et al.* 2011).

Apesar da limitação em termos de nutrientes, solos de floresta montana possuem a maior quantidade de matéria orgânica por unidade de área (Tanner *et al.* 1998), principal fonte de orgânicos (aminoácidos) no solo. Há um acúmulo significativo de MO em florestas em altas altitudes (1600m), como já mencionado no item 5.1 dessa dissertação, devido a inúmeros fatores, como as condições climáticas adversas nesse ambiente, que tornam o processo de decomposição

lento, com menor produção das formas assimiláveis de nitrato e amônio pelas plantas (Martins 2010).

Além disso, a instabilidade sazonal dos orgânicos no solo, tem relação direta com a atividade enzimática dos aminoácidos, ou seja, mudanças de temperatura e umidade podem alterar a produção de exoenzimas responsáveis pela despolimerização de proteínas solúveis em peptídios e aminoácidos (Lipson & Nasholm 2001). Em FOM 1600m a temperatura pode chegar a valores inferiores 0 °C, com constantes geadas, e alta umidade. Esse tipo de condição, é propícia para que formas orgânicas de N no solo sejam abundantes, como aquele que ocorre em ambiente boreal (Van Cleve *et al.* 1991).

A mudança substancial da quantidade de aminoácidos do verão para o inverno em FODM 900m e FOTB 100m, pode estar relacionada a época de crescimento dos vegetais, com alta absorção de N para constituição de tecidos e raízes (Zhang *et al.* 2002, Berthrong & Finzi 2006). Além disso, a temperatura nessa época do ano gera condições ideais a atividade metabólica dos microorganismos (Farrell *et al.* 2011). Essa situação é consistente a aquela observada por Lipson & Schimdt (2004) em ambiente alpino, mas oposta a aos estudos de Rothestein (2009) em floresta temperada, que obteve diferenças na quantidade de aminoácidos durante as estações, com diminuição no início da primavera e durante o verão. A drástica mudança na concentração de aa no inverno pode ser um indicativo do esgotamento das formas orgânicas no solo devido a época de crescimento, resultado da transformação para formas inorgânicas assimiláveis, ou mesmo uma absorção direta pelas plantas, associada ou não a endo e ectomicorizas.

Além dos fatores citados, os altos valores de aminoácidos no verão em comparação ao inverno pode estar associado aos processos de transformação do nitrogênio orgânico em formas inorgânicas assimiláveis pelas plantas (nitrato e amônio). A mineralização no inverno (Figura 18) apresentou valores negativos para amônio no verão. Dessa forma, podemos supor que os microorganismos podem ter convertido parte do nitrogênio presente no solo em formas inorgânicas para sua assimilação, principalmente em FODM 900m e FOTB 100m, o que explicaria o predomínio dos aa no verão.

Existe ainda uma tendência de que os aminoácidos (aa) possam interagir com os minerais do solo, particularmente minerais em frações de argila devido a sua configuração química. Os aminoácidos são compostos que apresentam um grupo amina (- NH₂) ligada a um grupo carboxila, além de um radical -R, que vai ser responsável pela diferenciação entre os diversos tipos de aminoácidos existentes. De acordo com a natureza do radical -R, esses compostos podem ser classificados em neutros (glicina, serina, treonina e leucina), ácidos (aspartato, glutamato,

asparagina e glutamina) e básicos (arginina, histidina). Pesquisas indicam que os aminoácidos neutros estão associados com minerais ricos em silício e aminoácidos ácidos com minerais ricos em alumínio (Schnitzer & Kodama 1992). Dessa forma, podemos supor que a presença dos tipos de aminoácidos esteja relacionado a capacidade de retenção de cada solo e seus fatores de formação, mas ainda não é claro a composição dos aminoácidos ao longo de gradientes, associado ao tipo de solo.

Apesar da diversidade de aminoácidos apresentados em todas as áreas, os aa ácidos (asparagina, glutamato e aspartato) e os aminoácidos básicos (arginina e histidina) foram predominantes de forma geral no estudo, e existem alguns aminoácidos que podem ser um indicativo das características ecológicas da floresta. As formas de aa no solo podem ser uma forma de entender a estrutura da floresta, e seu estado de conservação. De acordo com Werdin-Pfisterer *et al.* (2009) a composição do conjunto de aminoácidos do solo pode variar de acordo com o estágio sucessional. Aminoácidos com estrutura molecular simples (glicina, glutamina e aspartato) prevalece nos primeiros estágios sucessionais, com matéria orgânica quimicamente mais simples. Aminoácidos com estrutura molecular elaborada (arginina, histidina, fenilalanina) são encontrados em florestas com estágio sucessional avançado, com os componentes do material orgânico organizados de forma complexa, e de alta recalcitrância. Stevenson (1982) sugere que a alta atividade microbiana em ambientes mais quentes reflete alta conversão do material orgânico em aminoácidos (aa), com predomínio de aminoácidos básicos. Swoden *et al.* (1977) encontraram maior presença de aminoácidos ácidos em ambientes tropicais.

As características do solo, como o baixo pH, pode ser uma evidência do aumento da produção de aminoácidos (Näsholm *et al.* 2009), fator predominante em todas as áreas de estudo cujo pH<4. Foi observado uma elevada quantidade de raízes na área de FOM 1600m, na coleta de serapilheira, que pode ser um indicativo da alta quantidade de glutamato, aminoácido relacionado a lise e exsudação das raízes (Ruess 2006) e também fortemente encontrado na composição da parede celular dos microorganismos (Yu *et al.* 2002). Kielland (1995) também encontrou diferenças sazonais na distribuição dos aminoácidos, com predomínio de glicina, aspartato, asparagina, glutamina e arginina, resultado similar ao apresentado no gradiente altitudinal desse estudo.

6. Conclusão

O estoque de serapilheira mostrou um maior acúmulo no inverno, com destaque para FOM 1600m, que mostrou valores elevados no verão e inverno. O estoque de carbono e nitrogênio, acompanha as mesmas tendências de acúmulo observado na serapilheira, evidenciando novamente valores significativos em altitude de 1600m, principalmente em se tratando dos estoques no solo. O nitrogênio mineral *in situ* mostrou uma maior disponibilidade de amônio em altitudes elevadas e maior disponibilidade de nitrato a 100m, ambas no verão. A mineralização e nitrificação apresentou valores expressivos na altitude de 100m, com alta mineralização no inverno e nitrificação no verão. Os aminoácidos também apresentaram a disparidade verão e inverno, com alta disponibilidade no verão e baixa no inverno.

Todos os resultados mostraram que a disponibilidade de nitrogênio no solo difere entre as altitudes devido a diferenças nas qualidade da serapilheira, características químicas e físicas do solo, e principalmente o fator temperatura. Além disso as estações do ano verão e inverno possuem uma disparidade nessa variável, e é possível que ocorra uma mudança na disponibilidade de nitrogênio ao longo do ano, sendo ainda mais evidente quando observado em um gradiente altitudinal, onde as características referentes a temperatura, precipitação, fitofisionomia, aspectos físicos e químicos do solo, componentes da folha e etc, são singulares e distintos.

É possível afirmar que os aminoácidos estão disponíveis no solo, e que de acordo com a literatura podem ser assimilados diretamente pelas plantas. Ainda são necessários estudos detalhados sobre a dinâmica de nutrientes no solo, principalmente aqueles envolvendo o ciclo do nitrogênio em gradiente altitudinal, devido a riqueza e disparidade de características observadas e para se entender e explorar as influências das condições ambientais nos processos do ecossistema.

7. Referências Bibliográficas

- Aidar, M.P.M., Schmidt, S., Moss, G., Stewart, G.R., Joly, C. A.** 2003. Nitrogen use strategies of Neotropical rainforest trees in threatened Atlantic Forest. *Plant Cell and Environment*, 26(3): 389-399.
- Alfaia, S. S.** 2006. Caracterização e distribuição das formas do nitrogênio orgânico em três solos da Amazônia Central. *Acta Amazonica*, 36(2):135-140.
- Amundson, R. G, Chadwick , O, Sowers, J. M.** 1989. A comparison of soil climate and biological activity along an elevation gradient in the eastern Mojave Desert. *Oecologia*, 80(3): 395-400
- Araujo, R.S.** 2002. Chuva de sementes e deposição de serapilheira em três sistema de revegetação de área degradadas na reserva biológica de poço das antas, Silva Jardim, RJ. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Assis, M.A.** 1999. Florística e Caracterização das Comunidades Vegetais da Planície Costeira de Picinguaba, Ubatuba-SP. Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, Campinas.
- Backes, A., Prates, F.L., Viola, M.G.** 2005. Produção de serapilheira em floresta ombrófila mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19(1): 155-160.
- Barraclough, D.** 1997. The direct or MIT route for nitrogen immobilization: a N-15 mirror image study with leucine and glycine. *Soil Biology and Biochemistry*, 29(1): 101–108.
- Bayer, C., Mielniczuk, J.** 2008. Dinâmica e Função da Matéria Orgânica. *In*: Santos, G.A., ed. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. PortoAlegre, Metrópole, p. 19-26.
- Berg, M.P., Verhoef, H.A., Bolger, T., Anderson, J.M., Beese, F., Couteaux, M.M., Ineson, P., McCarthy, F., Palka, L., Raubuch, M., Splatt, P., Willison, T.** 1997. Effects of air-pollutant-temperature interactions on mineral-N dynamics and cation leaching in replicate forest soil transplantation experiments. *Biogeochemistry*, 39: 295-326.

- Berthrong, S.T, Finzi, A.C.** 2006. Amino acid cycling in three cold-temperate forests of the northeastern USA. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(5): 861-869.
- Bertoni, J., Lombardi, F.N.** 1990. *Conservação do Solo*. Cone, São Paulo.
- Bezerra, M.O.** 2009. Dinâmica de nitrogênio no solo e sua implicação na qualidade da água em uma bacia hidrográfica com diferentes tipos de uso de solo com ênfase no papel da floresta ripária. Dissertação de Mestrado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, São Paulo, Piracicaba.
- Biasi, C., Meyer, H., Rusalimova, O., Hämmerle, R., Kaiser, C., Baranyi, C., Daims, H., Lashchinsky, N., Barsukov, R., Richter, A.** 2008. Initial effects of experimental warming on carbon exchange rates, plant growth and microbial dynamics of a lichen-rich dwarf shrub tundra in Siberia. *Plant and Soil*, 307(1-2): 191-205.
- Black, J.G.** 2002. *Microbiologia Fundamentos e Perspectivas*. 4a ed. São Paulo: Guanabara Koogan, p. 829.
- Blum, C.T.** 2006. A Floresta Ombrófila Densa na Serra da Prata, Parque Nacional Saint-Hilaire/Lange, PR – Caracterização florística, fitossociológica e ambiental de um gradiente altitudinal. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Paraná.
- Borém, R.A.T., Ramos, D.P.** 2002. Variação estacional etopográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de mata atlântica. *Revista Cerne*, 8(2): 42-59.
- Bredemeier, C., Mundstock, C. M.** 2000. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, 30(2): 365-372.
- Bruijnzeel, L.A., Waterloo, J.M., Proctor, J., Kuiters, A.T., Kotterink, B.** 1993. Hydrological observations in montane rain forests on Gunung Silam, Sabah, Malaysia, with special reference to the "Massenerhebungseffekt". *Journal of Ecology*, 81(1): 145-167.
- Caldeira, M.V.W., Vitorino, M.D., Schaadt, S.S., Moraes, E., Balbinot, R.** 2008. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 29(1): 53-68.

- Caldeira, M.V.W.** 2003. Determinação de Biomassa e Nutrientes Em Uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Camargo, F.D.O., Gianello, C., Vidor, C.** 1997. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21: 575-579.
- Camargo, F.A.O., Gianello, C., Tedesco, M.J., Vidor, C.** 2008. Nitrogênio Orgânico Do Solo. In: Santos, G.A., Silva, L.S., Canellas, L.P., Camargo, F.A.O. (eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p. 87-100.
- Campos, M.M.S.** 2009. Ecofisiologia do uso de nitrogênio em espécies arbóreas da floresta ombrófila densa das terras baixas, Ubatuba, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica, São Paulo.
- Campos, M.C.R., Tamashiro, J.Y., Assis, M.A., Joly, C.A.** 2011. Florística e fitossociologia do componente arbóreo da transição Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas - Floresta Ombrófila Densa Submontana do Núcleo Picinguaba/PESM, Ubatuba, sudeste do Brasil. *Biota Neotropica*, 11(2)
- Cantarella, H.** 2007. Nitrogênio. In: Novais, R.F., Alvarez, V., H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, p.375-470.
- Canela, M.B.F.** 2002. Ecologia da polinização de duas espécies de bromélia de Mata Atlântica no Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E., Youngs, V.L.** 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 6: 71-80.
- Catharino, E.L.M., Bernacci, L.C., Franco, G.A.D.C., Durigan, G., Metzger, J.P.** 2006. Aspectos da composição e diversidade do componente arbóreo das florestas da Reserva Florestal do Morro Grande, Cotia, SP. *Biota Neotropica* 6(2). Disponível em:

<http://www.biotaneotropica.org.br/v6n2/pt/abstract?article+bn00306022006>. Acesso: 05/07/2014.

- Carter, M. R., Angers, D. A., Gregorich, E. G., & Bolinder, M. A.** 1997. Organic carbon and nitrogen stocks and storage profiles in cool, humid soils of eastern Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 77(2), 205-210.
- Castro, K.C.** 2014. Serapilheira e estoque de carbono ao longo de um gradiente altitudinal na floresta ombrófila densa, no Parque nacional do Caparaó, ES. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo.
- Chave, J., Navarrete, D., Almeida, S., Alvarez, E., Aragão, L.E., Bonal, D., Chatelet, P., Silva-Espejos, J.E., Goret, J.Y., Von Hildebrand, P., Jiménez, E., Patiaño, S., Peñuela, M.C., Philips, O.L., Stevenson, P., Malhi, Y.** 2010. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. *Biogeosciences*, 7(1): 43-55.
- CIIAGRO online** 2014. Centro integrado de informações agrometeorológicas. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/>. Acesso: 10 de julho de 2014.
- Costa, G.S., Gama-Rodrigues, A.C.D., Cunha, G.D.M.** 2005. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. *Revista Árvore*, 29(4): 563-570.
- Crawford, N.M., Glass, A.D.M.** 1998. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends in Plant Science*, 3(10): 389-395.
- Dalias, P., Anderson, J. M., Bottner, P., Coûteaux, M. M.** 2002. Temperature responses of net nitrogen mineralization and nitrification in conifer forest soils incubated under standard laboratory conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(5): 691-701.
- Dessureault-Rompré, J., Zebbarth, B. J., Georgallas, A., Burton, D. L., Grant, C. A., Drury, C. F.** 2010. Temperature dependence of soil nitrogen mineralization rate: Comparison of mathematical models, reference temperatures and origin of the soils. *Geoderma*, 157(3): 97-108.
- Embrapa - Empresa Brasileira de Agropecuária.** 1997. Centro Nacional de Pesquisas do Solo.

Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Embrapa, CNCS.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 286p.

Fairchild, T., Taioli, F., Teixeira, W., Toledo, C. 2008. Decifrando a terra. São Paulo: Mundogeo, p.557.

Farrell, M., Hill, P.W., Farrar, J., Bardgett, R.D., Jones, D.L. 2011. Seasonal variation in soluble soil carbon and nitrogen across a grassland productivity gradient. *Soil Biology & Biochemistry*, 43: 835–844.

Fernandes, A.V., Backes, A. 1998. Produtividade primária em floresta com *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul. *Iheringia, Série Botânica*, 51(1): 63-78.

Ferreira, S. J. F., Luizão, F. J., Miranda, S.A.F., da Silva, M.S.R., Vital, A.R.T. 2006. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração de madeira. *Acta Amazônia. Manaus*, 36(1): 59-68.

Figueiredo Filho, A., Moraes, G. F., Schaaf, L. B., de Figueiredo, D. J. 2003. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no sul do estado do Paraná. *Ciência Florestal*, 13(1): 11-18.

Fischer, W-F., Andre, B., Rentsch, D., Krolkiewicz, S., Tegeder, M., Breitreutz, K., Frommer, W.B. 1998. Amino acid transport in plants. *Trends Plant Science*, 3: 188–195.

Fredeen, A.L., Griffin, K., Field, C.B. 1991. Effects of light quantity and quality and soil nitrogen status on nitrate reductase activity in rainforest species of the genus *Piper*. *Oecologia* 86:441-446.

Galindo, L., Câmara, I.G. 2005. Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas. Fundação SOS Mata Atlântica, Conservation International, São Paulo.

Ge, X., Zeng, L., Xiao, W., Huang, Z., Geng, X., Tan, B. 2013. Effect of litter substrate quality and soil nutrients on forest litter decomposition: A review. *Acta Ecologica Sinica*, 33(2): 102-108.

- Gentry, A.** 1988. Changes in plant community diversity and floristic composition on environmental and geographical gradients. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 75: 1-34.
- Gomes, E.P.C, Fisch, T.V, Mantovani, W.** 2005. Estrutura e composição do componente arbóreo na Reserva Ecológica do Trabiju, Pindamonhangaba, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19(3): 451-464.
- Gropp, J.D.** 2010. Caracterização hidrológica e dinâmica de nitrogênio em uma microbacia com cobertura florestal (Mata Atlântica), no Parque Estadual da Serra do Mar. Tese Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, São Paulo, Piracicaba.
- Grubb, P.J.** 1977. Control of forest growth and distribution on wet tropical mountains, with special reference to mineral nutrition. *Annual Review of Ecological Systems*, 8: 83-107.
- Guerra, J.C.M, Santos, G.A, Silva, L.S, Camargo, F.A.O.** 2008 Macromoléculas e substâncias húmicas. In: Santos, G.A., ed. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais*. 2.ed. PortoAlegre, Metrópole, p.19-26.
- Guilherme, F.A.G., Morellato, L.P.C., Assis, M.A.** 2004. Horizontal and vertical tree community structure in a lowland Atlantic Rain Forest, Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 27: 725-737.
- Gutiérrez, M. E., Leirós, M. C., Trasar-Cepeda, C., Gil-Sotres, F.** 2012. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: a laboratory study. *European Journal of Soil Biology*, 48: 73-80.
- Haffer, J., Prance, G.T.** 2002. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozóico sobre a teoria dos refúgios da diferenciação biótica. *Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo*, 16(4): 175 -206.
- Haynes, R. J.** 1986. Mineral nitrogen in the plant-soil system. (Physiological Ecology. A Series of Monographs, Texts, and Treatises). Orland: Academic Press, p.483.

- He, X., Lin, Y., Han, G., Guo, P., Tian, X.** 2010. The effect of temperature on decomposition of leaf litter from two tropical forests by a microcosm experiment. *European Journal of Soil Biology*, 46(3): 200-207.
- Hilli, S., Stark, S., Derome, J.** 2010. Litter decomposition rates in relation to litter stocks in boreal coniferous forests along climatic and soil fertility gradients. *Applied Soil Ecology*, 46(2): 200-208.
- Hodgson, J.** 1991. *Grazing Managment: Science into Practice*. Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, UK. 203 pp
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).** 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira*, 2 ed. Rio de Janeiro: 271p.
- Instituto Florestal.** 2010. Unidades de Conservação do Estado de São Paulo. Disponível em: http://www.iflorestal.sp.gov.br/unidades_conservacao/index.asp. Acesso em 15 de julho de 2014.
- Jobbagy, E.G., Jackson, R.B.** 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10(2): 423-436.
- Joly, C.A., Aidar, M.P.M., Klink, C.A., McGrath, D.G., Moreira, A. G, Moutinho, P., Nepstad, D.C., Oliveira, A. A., Pott, A., Rodal, M.J.N., Sampaio, E.V.S.B.** 1999. Evolution of the Brazilian phytogeography classification systems: implications for biodiversity conservation. *Ciência e Cultura*, 51(5/6): 331-348.
- Joly, C.A.; Martinelli, L.A., Alves, L.F., Vieira, S.A., Tamashiro, J.Y., Aidar, M.P.M., Camargo, P.B., Assis, M.A., Bernacci, L.C. & Durigan, G.** 2008. As Parcelas Permanentes do Projeto Temático Biota Gradiente Funcional: Composição Florística, Estrutura e Funcionamento da Floresta Ombrófila Densa dos Núcleos Picinguaba e Santa Virgínia do Parque Estadual da Serra do Mar, Estado de São Paulo, Brasil. In Sanquetta, C.R. (ed.) *Experiências de Monitoramento no Bioma Mata Atlântica com Uso de Parcelas Permanentes*: p.109-148.

- Jones, D.L., Kielland, K.** 2002. Soil amino acid turnover dominates the nitrogen flux in permafrost-dominated taiga forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(2): 209–219.
- Jones, D.L., Shannon, D., Murphy, D.V., Farrar, J.F.** 2004. Role of dissolved organic nitrogen (DON) in soil N cycling in grassland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(5): 749–756.
- Jones, D.L., Healey, J.R., Willett, V.B., Farrar, J.F., Hodge, A.** 2005. Dissolved organic nitrogen uptake by plants — an important N uptake pathway? *Soil Biology and Biochemistry*, 37(3): 413–423.
- Karhu, K., Fritze, H., Tuomi, M., Vanhala, P., Spetz, P., Kitunen, V., Liski, J.** 2010. Temperature sensitivity of organic matter decomposition in two boreal forest soil profiles. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(1): 72–82.
- Kielland, K.** 1995. Landscape patterns of free amino acids in arctic tundra soils. *Biogeochemistry* 31(2): 85–98.
- Larcher, W.** 2000. *Ecofisiologia vegetal*. 1ed. Rima, São Paulo.
- Lepsch, I.F.** 2010. *Formação e Conservação dos Solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 216p.
- Lipson, D.A., Nasholm, T.** 2001. The unexpected versatility of plants: Organic-nitrogen use and availability in terrestrial ecosystems. *Oecologia*, 128(3): 305–316.
- Lipson, D.A., Schmidt, S.K., Monson, R.K.** 1999. Links between microbial population dynamics and nitrogen availability in an alpine ecosystem. *Ecology*, 80(5): 1623–1631.
- Lipson, D.A., Schmidt, S.K.** 2004. Seasonal changes in an alpine soil bacterial community in the Colorado Rocky Mountains. *Applied and Environmental Microbiology* 70: 2867– 2879.
- Longhi, S.J.** 1980. Estrutura de uma Floresta Natural de *Araucária angustifolia* (Bert.) Ktze , no sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Paraná.
- Luizão, R.C., Luizão, F.J., Paiva, R.Q., Monteiro, T.F., Sousa, L.S., Kruijt, B.** 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10(5): 592–600.

- Machado, P.L.O.A.** 2001. Manejo da matéria orgânica de solos tropicais. Rio de Janeiro: Embrapa, 25p.
- Maithani, K., Arunachalam, A., Tripathi, R.S., Pandey, H.N.** 1998. Nitrogen mineralization as influenced by climate, soil and vegetation in a subtropical humid forest in northeast India. *Forest Ecology and Management*, 109(1): 91-101.
- Malavolta, E., Kliemann, H.J.** 1985. Desordens nutricionais no cerrado. Piracicaba: Potafos. 136p.
- Malhi, Y., M. Silman, N. Salinas, M. Bush, P. Meir, S., Saatchi.** 2010. Introduction: elevation gradients in the tropics: laboratories for ecosystem ecology and global change research. *Global Change Biology*, 16(12): 3171–3175.
- Manzoni, S., Trofymow J.A., Jackson R.B., Porporato A.** 2010. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in decomposing litter. *Ecological Monographs*, 80(1): 89–106.
- Marchiori, N.M.** 2012. Aspectos funcionais da Floresta Ombrófila Densa Montana, PESH: Estrutura, biomassa aérea, uso de nitrogênio e fotossíntese. Dissertação de Mestrado. Universidade de Campinas, São Paulo, Campinas.
- Marrs, R. H., Proctor, J., Heaney, A., Mountford, M. D.** 1988. Changes in soil nitrogen-mineralization and nitrification along an altitudinal transect in tropical rain forest in Costa Rica. *The Journal of Ecology*, 76(2): 466-482.
- Martins, S.C.** 2010. Caracterização dos solos e serapilheira ao longo do gradiente altitudinal da Mata Atlântica, Estado de São Paulo. Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- McCullough, H.** 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta*, 17: 297-304.
- McFarland, J.W., Ruess, R.W., Kielland, K., Doyle, A.P.** 2002. Cycling dynamics of NH_4C and amino acid nitrogen in soils of a deciduous boreal forest ecosystem. *Ecosystems*, 5(8): 775–788.

- Mclaren, R.G., Cameron, K.C.** 1996. Soil Science – Sustainable production and environmental. 2th ed. (Melbourne Oxford New York): Oxford University Press, 324p.
- Medeiros, M.C.M.P.** 2009. Caracterização fitofisionômica e estrutural de áreas de Floresta Ombrófila Densa Montana do Parque Estadual da Serra do Mar, SP, Brasil. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica IBT/SMA, São Paulo.
- Meireles, L.D.** 2009. Estudos florísticos, fitossociológicos e fitogeográficos em formações vegetacionais altimontanas da Serra da Mantiqueira Meridional, sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, Universidade de Campinas, São Paulo, Campinas.
- Mello, F.A.F., Sobrinho, M.O.C.B., Arzolla, R., Silveira, R.I., Netto, A.C., Kiehl, J.** 1983. Fertilidade do Solo. Editora Nobel S.A, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- Merlim, A.O.** 2005. Macrofauna edáfica aem ecossistemas preservados e degradados de araucária no parque estadual de Campos do Jordão, SP. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, Campus “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- Miranda, C.C., Canellas, L.P., Trindade, M.N.** 2007 Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 31(5): 905-916.
- Modenesi, M.C.** 1988. Significado dos depósitos correlativos quaternários em Campos do Jordão – São Paulo: Implicações paleoclimáticas e paleoecológicas. Instituto Geológico, São Paulo, 7: 1-155.
- Monteiro, M.T., Gama-Rodrigues, E.F.** 2004. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28(5): 819-826.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Fonseca, G.A.B., Kent, J.** 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature, 403: 852-858.
- Näsholm, T., Kielland, K., Ganeteg, U.** 2009. Uptake of organic nitrogen by plants. New Phytologist, 182(1): 31-48.

- Näsholm, T., Ekblad, A., Nordin, A., Giesler, R., Hogberg, M., Hogberg, P.** 1998. Boreal forest plants take up organic nitrogen. *Nature*, 392: 914–916.
- Nordin, A., Hogberg, P., Nasholm, T.** 2001. Soil nitrogen form and plant nitrogen uptake along a boreal forest productivity gradient. *Oecologia*, 129(1): 125–132.
- Oliveira, B., Aguiar, A.L., Menezes, A.M., C., R., Simões, Nicolau, R.A., Silva, B.F., Rodrigues, C.L.S.** 2012. Parâmetros indicadores do potencial de mineralização do nitrogênio de compostos orgânicos. *Idesia (Arica)*, 30(1): 65-73.
- Oliveira, J.B.** 2005. *Pedologia Aplicada*. FEALQ, São Paulo.
- Oliveira-Filho, A.T., Fontes, M.A.L.** 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil, and the influence of climate. *Biotropica*, 32(4b): 793- 810.
- Pagano, S.N., Durigan, G.** 2000. Aspectos da ciclagem de nutrientes em Matas Ciliares do oeste do Estado de São Paulo, Brasil. Pp. 109-123. In: *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo, Editora USP/FAPESP.
- Parron, L.M.** 2004. Aspectos da ciclagem de nutrientes em função do gradiente topográfico, em uma mata de galeria no distrito federal. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, Distrito Federal.
- Paungfoo, L.C, Lonhienne, T.G.A., Rentsch, D., Robinson, N., Christie, M., Webb, R.I., Gamage, H.K., Carrol, B.J., Schenk, P.M., Schmidt, S.** 2008. Plants can use protein as nitrogen source without assistance from other organisms. *Natural Academy Science USA*, 105(11): 4524 – 4529.
- Pendry, C.A., Proctor, J.** 1996. The causes of altitudinal zonation of rain forests on Bukit Belalong Brunei. *Journal of Ecology*, 84(3): 407-418.
- Pereira-Silva, E.F.L.** 2008. Estratégias ecofisiológicas no uso de nitrogênio em espécies arbóreas de floresta ombrófila densa submontana e estacional semidecidual, SP. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

- Piccolo, M.C., Neill, C., Cerri, C.C.** 1994. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. *Plant and Soil*, 162(1): 61-70.
- Pillon, C.N, Mielniczuk, J., Neto, L.M.** 2002. Dinâmica da matéria orgânica no ambiente. Documentos 105. Embrapa, Rio Grande do Sul, Pelotas.
- Pinto, C. B., Marques, R.** 2003. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. *Floresta*, 33(3): 257-264.
- Pinto, S.I.C., Martins, S.V., de Barros, N.F., Carlos, H., Dias, T.** 2008. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional semidecidual na reserva florestal Mata do Paraíso em Viçosa, MG, Brasil. *Revista Árvore*, 33(4): 653-663.
- Pires, L.A., Britez, R.D., Martel, G., Pagano, S.N.** 2006. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 20(1): 173-184.
- Portela, R.C.Q., Santos, F.A.M.** 2007. Produção e espessura da serapilheira na borda e interior de fragmentos florestais de Mata Atlântica de diferentes tamanhos. *Brazilian Journal of Botany*, 30(2): 271-280.
- Prescott, C.E., Blevins, L.L., Staley, C.** 2004. Litter decomposition in British Columbia forests: controlling factors and influences of forestry activities. *BC J. Ecosyst. Manage*, 5(2): 44-57.
- Pringle, L.** 1997. *Ecologia: a ciência da sobrevivência*. Rio de Janeiro: biblioteca do exército. 52p. *Quaternary Research*, 39: 90-98.
- Quilchano, C., Egido, J.A., Gonzalez, M.I.** 1995. Climate sequence of soils developed on granites in the Sierra de Gata, Salamanca, Spain. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 9(3): 385-397.
- Raab, T.K., Lipson, D.A., Monson, R.K.** 1999. Soil amino acid utilization among species of the Cyperaceae: plant and soil processes. *Ecology*, 80(7): 2408–2419.
- Raich, J.W., Russell, A.E., K. Kitayama, W.J., Parton, Vitousek, P.M.** 2006. Temperature influences carbon accumulation in moist tropical forests. *Ecology*, 87: 76–87.

- Raij, B.V.** 1991. Fertilidade do solo e adubação. Associação Brasileira para a Pesquisa de Potássio e Fósforo. São Paulo (Piracicaba): Agronômica Ceres, 343p.
- Raij, B.V.** 2011. Fertilidade do Solo e Manejo de Nutrientes. IPNI – International Plant Nutrition Institute Brasil. São Paulo, Piracicaba, 420p.
- Rangel, O.J.P., Silva, C.A.** 2007. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(6): 1609-1623.
- Raven, P.** 2007. *Biologia Vegetal*. 7a ed. São Paulo: Guanabara Koogan, 856p.
- Resende, M., Lani, J.L., Rezende, S.B.** 2002 Pedossistemas da Mata Atlântica: Considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. *Revista Árvore*, 26(3): 261-269.
- Romeiro, A. R.** 2004. Avaliação e contabilização de impactos ambientais. São Paulo: Unicamp, 400p.
- Rothstein, D.E.** 2009. Soil amino-acid availability across a temperate-forest fertility gradient. *Biogeochemistry*, 92(3): 201-215.
- Ruess, R.W., Hendrick, R.L., Vogel, J.C., Sveinbjornsson, B.** 2006. The role of fine roots in the functioning of Alaskan boreal forests. *Alaska's Changing Boreal Forest*, 189-210.
- Ruthner, R.R., Sevegnani, L.** 2010. Teores de Carbono Armazenado No Solo e na Serapilheira sob Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Submontana do Vale do Itajaí, SC. Centro de Ciências Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.
- Salgado-Labouriau., M.L.** 1997. Late Quaternary palaeoclimate in the savannas of South America. *Journal of Quaternary Science*, 12: 371-379.
- Salinas, N., Malhi, Y., Meier, P., Silman, M., Roman, R.C., Huaman, J., Salinas, D., Huaman, V., Gibaja, A., Mamani, M.** 2010. The sensitivity of tropical leaf litter decomposition to temperature: results from a large-scale leaf translocation experiment along an elevation gradient in Peruvian forests. *New Phytology*, 189(4): 967–977

- Schimel, J., Bennett, J.** 2004. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. *Ecology*, 85: 591–602.
- Schnitzer M., Kodama H.** 1992. Interaction between organic and inorganic components in particle-size fractions separated from four soils. *Soil Science Society of America Journal*, 56(4): 1099–1105.
- Schumacher, M. V., Brun, E. J., Hernandes, J. I., König, F. G.** 2004. Litterfall in an *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze forest in Pinhal Grande, RS. *Revista Árvore*, 28(1): 29-37.
- Schütt, M., Borken, W., Spott, O., Stange, C.F., Matzner, E.** 2014. Temperature sensitivity of C and N mineralization in temperate forest soils at low temperatures. *Soil Biology and Biochemistry*, 69: 320-327.
- Schuur, E.A., Chadwick, O.A., Matson, P.A.** 2001. Carbon cycling and soil carbon storage in mesic to wet Hawaiian montane forests. *Ecology*, 82(11): 3182-3196.
- Seibert, P., Negreiros, O.C, Bueno, R.A., Emmerich, W., MouraNeto, B.S.F., Guillalmon, J.R., Montagna, R.G., Barreto, R.A.A.,Nogueira, J.C.B., Garrido, M.A de O., Mello Filho, L.E. de, Emmerich, M., Marcondes, M.A.P, Cesar, S.F, Mattos, J.R.de, Oliveira, M.C de, Godoy, A.** 1975. Plano de Manejo do Parque Estadual de Campos do Jordão. Boletim Técnico do Instituto Florestal de São Paulo, p.1-153.
- Shaw, C., Lundkvist., Moldenke, A., Boyle, J.** 1991. The relationships of soil fauna to long-term forest productivity in temperate and boreal ecosystem: processes and research strategies. In: Dick, W., Mess, C. (Ed). Long-term field trials to assess environmental impacts of harvesting. Rona: Forest Research Institute, p.39-77.
- Shinzato, E., Teixeira, W.G., Mendes, A.M.** 2010. Solos. In: Adamy, A. Geodiversidade do Estado de Rondônia. Programa geologia do Brasil. Levantamentos da geodiversidade. Porto Velho.

- Silva, I.R. & Mendonça, E.S.** 2007. Matéria Orgânica Do Solo. In: Novais, R.F., Alvarez V., V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L. (Eds.) Fertilidade Do Solo Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.275-374.
- Silva, J.G.** 2012. Ecofisiologia do uso de nitrogênio em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Densa, Caraguatatuba, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo.
- Silva, L.F.** 1995. Solos Tropicais - Aspectos Pedológicos, Ecológicos e de Manejo. Terra Brasilis, São Paulo.
- Silva, R.C., Pereira, J.M., Araújo, Q.R., Pires, A.J.V., Del Rei, A.J.** 2007. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 31(1):101-107.
- Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes, E.I., Chagas, A.C., Brandão, P.C.** 2005. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. Geoderma, 125(3-4):187-201.
- Sodek, L.** 2008. Metabolismo do nitrogênio. In: G.B. Kerbauy (org.). Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 94-113.
- Soethe, N., Lehmann, J., Engels, C.** 2008. Nutrient availability at different altitudes in a tropical montane forest in Ecuador. Journal of Tropical Ecology, 24(4): 397-406.
- Sousa-Neto, E.R.** 2008. Perdas de nitrogênio pela emissão de óxido nitroso e sua relação com a decomposição da serapilheira e biomassa de raízes na floresta de Mata Atlântica. Dissertação de Mestrado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, São Paulo, Piracicaba.
- Souza, R.P.M.** 2008. Estrutura da comunidade arbórea de trechos de floresta de Araucária no estado de São Paulo, Brasil. Universidade de São Paulo – Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, Piracicaba.
- Souza, A.C.O de.** 2013. Fatores abióticos influenciando a vegetação em Floresta Ombrófila Densa Montana, Parque Estadual da Serra do Mar (Ubatuba, SP). Dissertação de Mestrado, Instituto Agronômico, São Paulo, Campinas.

- Stevenson, F. J.** 1982. Organic forms of soil nitrogen. Disponível em: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/articles/agronomymonogra/nitrogeninagrics/67?show-t-%20%20f=tables&wrapper=no>. Acesso em: 25/07/13.
- Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M.** 1979. The influence of resource quality on decomposition processes. In: *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Berkeley, University of California Press, p.118-166.
- Swoden, F.J., Chen, Y., Schnitzer, M.** 1977. The nitrogen distribution in soils formed under widely differing climatic conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41(10): 1524-1526.
- Tabarelli, M., Mantovani, W.** 1999. A regeneração de uma floresta tropical montana após corte e queima (São Paulo-Brasil). *Revista Brasileira de Biologia*, 59(2): 239-250.
- Tabarelli, M., Villani, J.P., Mantovani, W.** 1994. Estudo comparativo da regeneração de dois trechos de floresta secundária no Núcleo Santa Virgínia, Parque Estadual da Serra do Mar, SP. *Revista do Instituto Florestal*, 6: 1-11.
- Taiz, L., Zeiger, E.** 2004. *Fisiologia Vegetal*. 5ed. Artmed, Porto Alegre.
- Tanner, E.V.J.** 1977. Four montane rainforests of Jamaica: A quantitative characterization of the floristics, the soils and the foliar mineral levels, and a discussion of the interrelations. *Journal of Ecology*, 65(3): 883-918.
- Tanner, E.V.J.** 1981. The decomposition of leaf litter in jamaican montane rain forest. *Journal of Ecology*, 69(1): 263-275.
- Tanner, E.V.J.** 1985. Jamaican montane forests: Nutrient capital and cost of growth. *Journal of Ecology*, 73(2): 553-68.
- Tanner, E.V.J., Vitousek, P.M., Cuevas, E.** 1998. Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth on wet tropical mountains. *Ecology*, Brooklyn, 79(1): 10-22.

- Teixeira, W.G., Kern, D.C., Madari, B.E., Lima, E.N., Woods, W.** 2009. As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso desse conhecimento na criação de novas áreas, Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, 24p.
- Telles, E.D.C.C., Camargo, P.B., Martinelli, L.A., Trumbore, S.E., Costa, E.S., Santos, J., Higuchi, N., Oliveira, R.C.** 2003. Influence of soil texture on carbon dynamics and storage potential in tropical forest soils of Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(2).
- Tian, Y., Ouyang, H., Gao, Q., Xu, X., Song, M., Xu, X.** 2010. Responses of soil nitrogen mineralization to temperature and moisture in alpine ecosystems on the Tibetan Plateau. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 218-224.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., Itävaara, M.** 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*, 72(2): 169-183
- Valeriano, D.D. B.** 2010. Dinâmica da floresta ombrófila mista altomontana, Campos do Jordão, São Paulo. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Van Cleve, K., Chapin III, F.S., Dyrness, C.T., Viereck, L.A.** 1991. Element cycling in taiga forests: state factor control. *Bioscience* 41(2): 78–88.
- Veloso, H.P., Rangel-Filho, A.L.R., Lima, J.C.** 1991. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. IBGE. Rio de Janeiro.
- Vernimmen, R.R.E., Verhoef, H.A., Verstraten, J.M., Bruijnzeel, L.A., Klomp, N.S., Zoomer, H.R., Wartenbergh, P.E.** 2007. Nitrogen mineralization, nitrification and denitrification potential in contrasting lowland rain forest types in Central Kalimantan, Indonesia. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(12): 2992-3003.
- Vidal, M.M., Pivello, V.R., Meirelles, S.T., Metzger, J.P.** 2007. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): Importância da borda e tamanho dos fragmentos. *Revista Brasileira de Botânica*, 30(3): 521-532.
- Vieira, S.A., Alves, L.F., Duarte-Neto, P.J., Martins, S.C., Veiga, L.G., Scaranello, M.A., Picollo, M.C., Camargo, P.B., Carmo, J.B., Sousa Neto, E., Santos, F.A.M., Joly, C.A., Martinelli, L.A.** 2011. Stocks of carbon and nitrogen and partitioning between above- and

belowground pools in the Brazilian Coastal Atlantic Forest elevation range. *Ecology and Evolution*, 1(3): 421-434.

Villani, J.P. 1998. Plano de manejo das unidades de conservação: Parque Estadual da Serra do Mar-Núcleo Santa Virgínia. Plano de Gestão Ambiental-Fase 1. Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.

Villela, D.M., de Mattos, E.A., Pinto, A.S., Vieira, S.A., Martinelli, L.A. 2012. Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. *Brazilian Journal of Biology*, 72(3):633-642.

Vitousek, P.M., Gosz, J.R., Grier, C.C., Melillo, J.M., Reiners, W.A. 1982. A comparative analyses of potential nitrification and nitrate mobility in forest ecosystems. *Ecological Monographs*, 52(2): 155-177.

Vitousek, Peter M. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, 65(1): 285-298.

Vitousek, P.M., Sanford, R.L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 137-167.

Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, D.G. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and Consequences. *Ecological Applications*, 7(3): 737- 750.

Wang, X., Li, X., Hu, Y., Lv, J., Sun, J., Li, Z., Wu, Z. 2010. Effect of temperature and moisture on soil organic carbon mineralization of predominantly permafrost peatland in the Great Hing'an Mountains, Northeastern China. *Journal of Environmental Sciences*, 22(7): 1057-1066.

Warren, C.R., Taranto, M. 2010. Temporal variation in pools of amino acids, inorganic and microbial N in a temperate grassland soil. *Soil Biology & Biochemistry* 42(2): 353-359.

Werdin-Pfisterer, N.R., Kielland, K., Boone, R.D. 2009. Soil amino acid composition across a boreal forest successional sequence. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(6): 1210-1220.

- Yagi, R., Ferreira, M.E., Cruz, M.C.P.D., Barbosa, J.C.** 2009. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(2): 385-394.
- Yimer, F., Ledin, S., Abdelkadir, A.** 2006. Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by topographic aspect and vegetation in the Bale Mountains, Ethiopia. *Geoderma*, 135: 335-344.
- Yu, Z., Zhang, Q., Kraus, T.E.C., Dahlgren, R.A., Anastasio, C., Zasoski, R.J.** 2002. Contribution of amino compounds to dissolved organic nitrogen in forest soils. *Biogeochemistry*, 61(2): 173-198.
- Zhang, Y.Z., Kraus, T.E.C., Dahlgren, R.A., Anastasio, C., Zasoski, R.J.** 2002. Contribution of amino compounds to dissolved organic nitrogen in forest soils. *Biogeochemistry*, 61(2): 173-198.
- Zhao, H., Zhang, X., Xu, S., Zhao, X., Xie, Z., Wang, Q.** 2010. Effect of freezing on soil nitrogen mineralization under different plant communities in a semi-arid area during a non-growing season. *Applied Soil Ecology*, 45(3): 187-192.
- Zhou, G., Guan, L., Wei, X., Zhang, D., Zhang, Q., Yan, J., Wen, D., Liu, J., Huang, Z., Kong, G., Mo, J., Yu, Q.** 2007. Litterfall production along successional and altitudinal gradients of subtropical monsoon evergreen broadleaved forests in Guangdong, China. *Plant Ecology*, 188(1): 77-89.