**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura**

Ciclagem de carbono e nitrogênio no solo sob restinga do Estado de São Paulo

Diego Queiroz Alegria de Almeida

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Ecologia Aplicada

**Piracicaba
2012**

Diego Queiroz Alegria de Almeida
Engenheiro Agrônomo

Ciclagem de carbono e nitrogênio no solo sob restinga do Estado de São Paulo

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 5890 de 2010

Orientadora:
Prof^a. Dra. **MARISA DE CÁSSIA PICCOLO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Ecologia Aplicada

**Piracicaba
2012**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Almeida, Diego Queiroz Alegria de

Ciclagem de carbono e nitrogênio no solo sob restinga do Estado de São Paulo /
Diego Queiroz Alegria de Almeida. - - versão revisada de acordo com a resolução
CoPGr 5890 de 2010. - - Piracicaba, 2012.
93 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro
de Energia Nuclear na Agricultura, 2012.

1. Carbono 2. Mata Atlântica 3. Nitrogênio 4. Restinga 5. Solos I. Título

CDD 631.4
A447c

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais, Roberto e Ana, por tudo que fizeram e ainda fazem pela minha vida.

À Tássia, a mulher que sempre me apoiou e batalhou por nosso amor.

Á Awdrey, minha irmã, que sempre ficou orgulhosa por minhas conquistas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que sempre me incentivaram, oferecendo ajuda, suporte, carinho nos momentos difíceis e alegres e sendo os pilares para todas minhas conquistas obtidas até hoje;

À Professora Dra. Marisa de Cássia Piccolo pela grande oportunidade, orientação, aprendizado, paciência, confiança e apoio para a realização deste trabalho, mesmo no momento em que tive que ficar distante em corpo presente;

Ao co-orientador Professor Dr. Plínio Barbosa de Camargo pelo apoio, aprendizado, orientação, amizade e também pelo incentivo em cursar o mestrado, em momento que eu precisava de auxílio nesta etapa para vida;

Ao Dr. José Carlos Casagrande pelo acolhimento no projeto o qual coordena e também pelos momentos especiais em nossas coletas;

À Tássia, meu amor, pela sua constante presença, carinho, cobrança nos momentos certos, preocupação, compreensão na distância que nos separa há um bom tempo e dando todo suporte para que este projeto se concluísse;

À minha irmã pelo pequeno “empurrãozinho” para que concluísse mais esta etapa da minha vida;

À CAPES pela bolsa de mestrado;

Ao CNPq e ao Coordenador do Projeto pelo apoio financeiro ao projeto;

Um agradecimento especial a Stefanie Rigigo e, principalmente, Lucas Camargo e Guilherme Furlan por me ajudarem a preparar uma boa parte de minhas amostras, sendo que sem eles este projeto estaria ainda em fase analítica;

À Toninha pela sempre prontidão e disponibilidade em analisar minhas “intermináveis” amostras;

Aos “irmãos” da República Bóia Fria, no qual morei e vivi uma das melhores fases da minha vida, tendo me incentivando e vibrando com minhas conquistas;

Aos “irmãos” Firula (Lucas Amaral) e Sorgo (Fernando Guerra), que com nossos churrascos na sacada e companheirismo fizeram de Piracicaba um momento importante em minha vida;

Aos amigos do Laboratório de Ecologia Isotópica e Laboratório de Ciclagem de Nutrientes CENA/USP (Urso, Denise, Tatiana, Daniel, Jadson, Edmar, Rodrigo, Susian, entre outros) pelos momentos de descontração e nossos jogos de vôlei;

À ESALQ/USP e CENA/USP pela oportunidade oferecida;

À Mara Casarin (secretária PPGI) no qual sempre estive presente e de ótima vontade nas minhas intermináveis dúvidas que tinha com relação às questões burocráticas;

À todos os amigos do CENA e ESALQ que fiz durante o ano de vivência em Piracicaba (Diogo, Nei, Rodrigo, Caio, Robson, Maísa, Angélica)... peço desculpas aos que não citei, mas que sempre serão lembrados;

À Syngenta Seeds Ltda pela oportunidade de emprego, especialmente ao Ademir Capelaro e Eduardo Morini, que tiveram a confiança e deram minha primeira grande oportunidade de emprego;

Ao Dr. Gustavo Biudes, por ter me auxiliado na estatística deste projeto;

À Piracicaba que desde os primeiros dias me acolheu e conquistou;

À todos que me ajudaram diretamente e indiretamente para realização deste trabalho;

À Deus que me guiou e continua guiando nesta jornada da vida, sempre me dando clareza nos momentos difíceis e respostas nos momentos em que tudo estava difícil, o lado bom sempre se mostrava na hora certa.

MUITO OBRIGADO A TODOS!

“Life is like riding a bicycle. To keep your balance you must keep moving”

Albert Einstein

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
2 OBJETIVO.....	17
3 HIPÓTESE.....	19
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1 Mata Atlântica	21
4.2 Floresta Baixa e Alta de Restinga, Escrube, Duna e Ante-Duna.....	22
4.2.1 Geomorfologia da Restinga.....	24
4.3 Ciclagem de nutrientes em sistemas naturais.....	25
4.4 Matéria orgânica do solo em sistemas naturais	27
4.5 Carbono e $\delta^{13}\text{C}$ nos solos	28
4.6 Nitrogênio e $\delta^{15}\text{N}$ nos solos sob sistema natural	31
5 MATERIAL E MÉTODOS	35
5.1 Descrição da área de estudo.....	35
5.1.1 Local de estudo	36
5.2 Coleta e preparo de amostras de solo	40
5.3 Análises dos teores e variação isotópica de C e N ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) do solo	42
5.4 Determinação da densidade e dos estoques de C e N do solo.....	44
5.5 Análise físico-química de solo	44
5.6 Análise estatística dos dados	45
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
6.1 Fertilidade no solo	47
6.2 Concentração de C no solo.....	53
6.3 Concentração de N no solo.....	58
6.4 Valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos solos.....	62
6.5 Valores de $\delta^{15}\text{N}$ dos solos.....	68
6.6. Estoque de C e N no solo.....	73
7 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	81

RESUMO

Ciclagem de Carbono e Nitrogênio no solo sob Restinga do Estado de São Paulo

A Mata Atlântica é a segunda maior floresta brasileira, restando apenas 7,6% de sua extensão original. Porém, ainda são observadas manchas da floresta na Serra do Mar e na Serra da Mantiqueira, no sudeste do Brasil, sendo a Restinga o bioma mais susceptível a degradação. O objetivo principal desse trabalho foi estudar a ciclagem do carbono e do nitrogênio em solos arenosos sob diferentes vegetações (Ante-Duna, Duna Escrube e Restinga) do Litoral Norte e Sul do Estado de São Paulo. Foram analisadas amostras de solos nas seguintes áreas: Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo de Picinguaba, Parque Estadual da Ilha Anchieta, Estação Ecológica Juréia-Itatins, Vila de Pedrinhas no município de Ilha Comprida e Parque Estadual da Ilha do Cardoso. Foram coletadas 5 amostras de solo (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm de profundidade) em cada local. Os resultados obtidos mostraram que os solos sob esses diferentes tipos de vegetações, apresentaram teores de carbono e nitrogênio muito baixo em comparação a solos sob outras vegetações da Mata Atlântica. As vegetações de Restinga (Alta e Baixa) foram as que apresentaram os maiores teores de carbono, principalmente a Restinga Alta na Ilha Anchieta, que obteve valores de $43,07 \text{ g.kg}^{-1}$ em superfície enquanto que os solos sob vegetação de Duna apresentaram os menores teores. Os teores de nitrogênio encontrados seguiram a mesma tendência do carbono, sendo que as vegetações de Restinga apresentaram os maiores resultados. A matéria orgânica dos solos das áreas estudadas foram predominantemente formadas por plantas do ciclo fotossintético C3, com valores que variaram de -29,0 a -27,7 ‰. A matéria orgânica no solo sob vegetação de Duna tem influência de plantas C4 por terem apresentado valores de aproximadamente -22 ‰. Os valores isotópicos de ^{15}N demonstraram que os solos possuem grande limitação com relação ao nitrogênio e indicaram que o ciclo deste nutriente é extremamente fechado em todas as áreas e sob todas as vegetações. A variabilidade espacial entre os locais e as diferentes vegetações tiveram influência direta nos teores e estoques dos elementos estudados.

Palavras-chave: Carbono; Nitrogênio; Solos; Restinga; Mata Atlântica

ABSTRACT

Carbon and nitrogen cycling in soil under Restinga of São Paulo State

The Atlantic Forest is the second largest Brazilian forest, now having only 7.6% of its original size. The remaining spots are found in Serra do Mar and Serra da Mantiqueira, in southeastern Brazil, the restinga biome is the most susceptible to degradation. The main objective of this work was to study the cycle of carbon and nitrogen in sandy soils under different types of vegetation (ante-dune, dune, scrub and restinga) of the North and South Coast of São Paulo State. Soil samples were analyzed from the following areas: Parque Estadual da – Núcleo de Picinguaba, Parque Estadual da Ilha Anchieta, Juréia-Itatins, Vila de Pedrinhas in the municipality of Ilha Comprida and Parque Estadual da Ilha do Cardoso. Five soil samples were collected (0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm deep) at each site. The results showed that soils under these different types of vegetation contain very low levels of carbon and nitrogen comparing to soil under other types of vegetation in the Atlantic Forest. The restinga types of vegetation (high and low) were the ones with the highest levels of carbon, especially in high restinga on the Ancheita Island, reaching values of 43.07 g.kg⁻¹ on the surface while soil under dune vegetation had the lowest levels. The levels of nitrogen followed the same trend of carbon, with the restinga vegetation having the highest results. The organic matter in the studied soils was predominantly composed of C3 photosynthetic cycle plants, with values $\delta^{13}\text{C}$ ranging from -29.0 to -27.7‰. The organic matter under in the soil under dune vegetation in influenced by C4 plants having values of about -22‰. The $\delta^{15}\text{N}$ isotope values show that the soils have significant limitation regarding nitrogen cycle and indicate that this nutrient is extremely limited in all areas and under all types of vegetation. The spatial variability between different places and different types of vegetation had a direct influence on the levels and quantities of studied elements.

Keywords: Carbon; Nitrogen; Soils; Restinga; Atlantic Forest

1 INTRODUÇÃO

A Floresta Atlântica é um dos biomas brasileiros mais degradados. A história da degradação deste bioma começou no início da colonização do país pelos portugueses, com a exploração da floresta para a retirada do pau-brasil, cuja finalidade era produzir corantes para a produção de tecidos em Portugal. A exploração da madeira começou principalmente no litoral do Brasil, onde era obtida mais facilmente devido à sua localização e facilidade de acesso e retirada da madeira, iniciando-se, portanto, a partir dessa época, a degradação da Restinga

Atualmente, a Restinga vem sendo degradada pela decorrente expansão das cidades e pressão imobiliária, por essas áreas apresentarem elevado potencial econômico para ocupação com residências ou turismo, uma vez que estas áreas praticamente não são utilizadas ou recuperadas para fins agrícolas. Os solos destas áreas são geralmente arenosos, sendo necessária a produção e manutenção da matéria orgânica para a sustentabilidade do sistema. Embora diversos autores prefiram utilizar o termo Restinga somente no sentido geomorfológico, outros denominam as formações vegetais que se desenvolvem na região costeira, principalmente em substrato arenoso, como vegetação e/ou floresta de Restinga (SATO, 2007). Os diferentes tipos de vegetação que ocorrem na Restinga brasileira variam desde formações herbáceas, passando por formações arbustivas, abertas ou fechadas, chegando à floresta cujo dossel varia em altura e que geralmente não ultrapassa os 20 m (SILVA, 2007). Nas áreas onde a Restinga ocorre, normalmente há uma evolução da vegetação, com a presença de outras espécies, e variação na densidade e tamanho das plantas. Esta evolução da vegetação nessas áreas a partir do litoral ocorre pela formação de Ante-Dunas, Dunas e Escrubes até o estabelecimento de Floresta Baixa e Alta de Restinga.

Nas áreas onde está presente a vegetação de Floresta Baixa de Restinga, o substrato do solo é arenoso e seco, com raízes superficiais. A serapilheira produzida na Floresta Baixa forma uma fina camada, com grande quantidade de folhas não decompostas, podendo ocorrer acúmulo em alguns locais. Na Floresta Alta de Restinga, o substrato encontrado é arenoso, podendo haver deposição de argila de origem continental, ocorrendo inundações ocasionais em determinados pontos, com uma espessa camada de húmus e serapilheira variável de acordo com a época do ano (SATO, 2007).

Nas últimas três décadas, diversos estudos foram e são conduzidos nas Florestas Atlânticas, sendo em sua grande maioria sobre a diversidade da flora e da fauna (LEITÃO FILHO, 1993; MORELLATO et al, 2000; OLIVEIRA FILHO et al, 2000; TOREZAN, 1995). A fim de colocar a conservação, manejo e recuperação da Mata Atlântica em uma base científica forte, diversas pesquisas estão sendo realizadas com o intuito de conhecer os mecanismos que regulam a biodiversidade, bem como os processos que controlam a estrutura e funcionamento dessas florestas (VIEIRA et al, 2008).

Atualmente, já se encontram literaturas que apresentam informações sobre a diversidade da flora das vegetações de Restinga e diversidade das espécies vegetais (ASSIS, 1999; MARTINS et al, 2008; SONEHARA, 2005). Há, também, estudos sobre a caracterização isotópica da flora da vegetação de Restinga (DUARTE et al., 2005). Também se encontram literaturas sobre os solos sob Restinga; porém, com ênfase em classificação e fertilidade (GOMES, 2005; GOMES et al., 2007), todavia pesquisas sobre a ciclagem do carbono (C), nitrogênio (N) e quantificação do $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ são escassos e insuficientes para melhor compreender a dinâmica da ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta.

O projeto inicialmente tinha como objetivo realizar a ciclagem do C e N, porém foi realizada uma caracterização desses elementos químicos no solo, portanto esta dissertação teve como finalidade a quantificação dos elementos nos solos sob restinga do Estado de São Paulo.

2 OBJETIVO

O objetivo principal deste estudo foi estudar a ciclagem de C e N no solo, nas áreas de Ante-Duna, Duna, Escrube e Florestal Alta e Floresta Baixa do Litoral Norte e Sul do Estado de São Paulo.

Para atingir o objetivo proposto, foram realizadas as seguintes ações:

- 1) Determinação dos teores totais e estoques de carbono e nitrogênio do solo;
- 2) Quantificação das concentrações isotópicas de C e N ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) do solo e;
- 3) Avaliação dos atributos físicos e químicos do solo.

3 HIPÓTESE

- O solo sob a Floresta Alta de Restinga apresentará concentrações de C e N mais elevadas no solo, devido à presença de uma espessa camada de serapilheira, em relação à evolução, Duna, Escrube e Floresta Baixa de Restinga;

- As inundações na Floresta Baixa de Restinga inibem a mineralização da matéria orgânica e conseqüentemente não ocorrem as reações de nitrificação e desnitrificação do nitrogênio no solo; desta maneira, o $\delta^{15}\text{N}$ do solo será mais empobrecido em relação à Restinga Alta.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Mata Atlântica

No Brasil, atualmente, restam aproximadamente 7,9% da cobertura original da Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2009), sendo que cerca de 36% dos remanescentes encontram-se sob áreas protegidas na forma de reserva ecológica pelo governo, e também como áreas de preservação ambiental, observando-se também nestas áreas ações antrópicas em seus limites com outras áreas. O resultado da interferência do homem, de maneira geral, resulta em desmatamento, uso do solo para agricultura, extrativismo seletivo, caça e introdução de pastoreio (MITTERMEIER et al., 1999). Antes da colonização européia, a Mata Atlântica cobria desde o Cabo de São Roque, no Estado do Rio Grande do Norte, até o Município de Osório, no Rio Grande do Sul. Portanto, após os 500 anos de fragmentação e degradação desta floresta, as áreas mais íngremes perto da Costa do Atlântico são, principalmente, as áreas desta floresta que permaneceram relativamente intactas, por causa da dificuldade de implantação de sistemas agrícolas (VIEIRA, 2008).

A Mata Atlântica é considerada um complexo vegetacional que ocorre paralelamente à costa brasileira numa faixa de 4.000 km de extensão, cobrindo aproximadamente 1,2 milhões de km² (MYERS et al., 2000). Essa grande amplitude geográfica e climática resulta em uma enorme diversidade de ecossistemas muito complexos (IVANAUSKAS et al., 2000; MANTOVANI, 1992). A Mata Atlântica é um mosaico de ecossistemas que pertence ao Domínio Atlântico (JOLY et al. 1999). É predominantemente uma Floresta Tropical Densa que inclui as áreas de Restinga, Terras Baixas, Floretas Submontanas e Montanas. A degradação acelerada que vem ocorrendo neste ecossistema, principalmente em decorrência da atividade antrópica, gera a necessidade de se desenvolver programas de conservação e recuperação ambiental. Para tanto, deve ser conhecida a dinâmica das interações solo/vegetação nesses ecossistemas (BORÉM et al., 2002).

4.2 Floresta Baixa e Alta de Restinga, Escrube, Duna e Ante-Duna

A faixa litorânea onde está presente a Mata Atlântica é a área mais frágil e susceptível às perturbações antrópicas, devido principalmente ao assentamento de infra-estrutura urbana (ARAÚJO et al., 1987, SILVA, 1999). Toda a faixa litorânea da Mata Atlântica é comumente chamada de vegetação de Restinga, sendo incluídas as seguintes comunidades: Ante-Dunas, Dunas, cordões arenosos, depressões, margens de lagoas e até manguezais (LACERDA et al., 2000). Segundo Suguio et al. (2003), a denominação de Restinga é o termo empregado para designar os depósitos marinhos litorâneos e depósitos de material continental cuja idade geralmente não ultrapassa 5100 anos, também denominada de planície litorânea.

Além dos diversos biomas componentes da zona costeira brasileira como a Mata Atlântica e os Manguezais, as Restingas vêm recebendo impactos devido às atividades de especulação imobiliária e expansão urbana, onde se observa o desmatamento acelerado e a retirada de areia para construção, levando ao decréscimo da biodiversidade dos recursos destes ecossistemas, que são fundamentais para o desenvolvimento social e cultural das comunidades estabelecidas nestas regiões (BECCATO, 2004; FONSECA-KRUEL et al., 2004).

Restinga é um termo muito usado na literatura brasileira tanto para designar um tipo de vegetação costeira, quanto para referir-se às áreas de depósito arenoso de origem marinha. O uso desse termo seja no sentido ecológico, botânico ou geomorfológico, deve-se exatamente à estreita relação que esta vegetação tem com o solo (REIS-DUARTE, 2004). Este termo é encontrado na literatura desde 1785, sendo utilizado por geólogos, historiadores, botânicos ou ecólogos, designando elementos diferentes da vegetação (SUGUIO et al., 1984). Sugiyama (1998) apresentou uma revisão sobre a utilização do termo Restinga no sentido botânico, considerando “vegetação de Restinga” o conjunto de comunidades vegetais fisionomicamente distintas, sob influência marinha e flúvio-marinha, distribuídas em mosaico e que ocorrem em áreas com grande diversidade ecológica. Essa vegetação pode alcançar as primeiras elevações da Serra do Mar (RIZZINI, 1979) e é classificada como uma vegetação de primeira ocupação de caráter edáfico com influência marinha, pois é designada como um conjunto de ecossistemas que mantém estreita relação com o oceano, tanto na sua origem como nos processos nele atuantes (SILVA, 1998; VELOSO et al., 1991).

Na faixa litorânea onde está localizada a Mata Atlântica e, principalmente, a vegetação de Restinga, é possível diferenciar geomorfologicamente as áreas onde estão presentes os

cordões arenosos (Ante-Duna, Duna, Escrube, Floresta Baixa e Alta de restinga), onde as Florestas de Restinga juntamente com as Dunas ocupam cerca de 5000 km do litoral brasileiro, correspondendo a cerca de 79% do total (ARAUJO et al., 1987), demonstrando que é uma área bem representativa. Cada definição geomorfológica utilizada nos cordões arenosos (Ante-Duna, Duna, Escrube e Restinga) possui uma vegetação típica em cada uma delas.

De acordo com Rizzini (1997), a vegetação de Ante-Duna é classificada como um trecho intermediário entre o limite da maré alta e Dunas, no qual se destacam espécies halófitas e rastejantes.

A vegetação das Dunas geralmente é situada entre a vegetação de Ante-Duna e Escrube. Por serem áreas em contínua modificação pela ação dos ventos, chuvas e ondas, caracterizam-se como vegetação em constante e rápido dinamismo, mantendo-se sempre como vegetação pioneira de primeira ocupação. Os ambientes são altamente diversificados e variáveis, em função da interação de diferentes aspectos geomorfológicos, climáticos e biológicos. As plantas com estolões e rizomas formam touceiras e raramente algum arbusto (CORDAZOO et al, 2006). O solo das Dunas são arenosos e secos, sofrendo ação dos ventos, remodelando-o constantemente; porém, pode receber *sprays* marinhos proveniente das ondas, mas raramente se torna úmido.

Segundo resolução nº417/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Escrube possui uma vegetação arbustiva, com ramos predominantemente retorcidos, formando moitas, intercaladas com espaços abertos ou em aglomerados contínuos com plantas de até 3m de altura. Poucas plantas epífitas representadas por líquens, samambaias, bromélias e orquídeas. Trepadeiras ocorrem com mais abundância e diversidade e o estrato herbáceo também é frequente. O solo é arenoso de origem marinha e seco, podendo acumular água da chuva em determinadas épocas do ano. Possui uma camada fina de serapilheira mais concentrada nas proximidades dos arbustos e plantas herbáceas (BRASIL, 2009).

A vegetação de Restinga é encontrada sobre formações arenosas e as árvores nessa fitofisionomia abrangem de 4 a 15 m de altura, dependendo das características do substrato que está inserida (SILVA, 1998). Dependendo das características fisionômicas podem ser classificados como Floresta Baixa e Alta de Restinga. A Floresta Baixa de Restinga apresenta árvores com porte médio não ultrapassando 6 m, tendo vegetação rasteira um pouco mais

densa por causa da maior incidência de luminosidade, o que permite um maior desenvolvimento das plantas. A Floresta Alta apresenta árvores com maior porte (8 a 13 m) não ultrapassando os 15 m de altura e não apresentando vegetação rasteira muito densa, devido à menor incidência de luminosidade no solo.

4.2.1 Geomorfologia da Restinga

Os solos sob florestas, especialmente sob vegetação de Restinga, são naturalmente pobres por não possuírem entrada externa de nutrientes, sendo que a granulometria interfere diretamente na ciclagem dos nutrientes como C, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), entre outros (MARTINS, 2010; ZINN et al., 2005).

Assis (1999) verificou que a Restinga é um ambiente em que as condições geomorfológicas são muito variáveis, influenciadas pelas ações marinhas e pelos ventos constantes, com uma vegetação também diversificada. Os fatores que determinam as variações florísticas e estruturais, que favorecem a formação de um mosaico de vegetações sob as planícies costeiras, são os diferentes níveis de nutrientes presentes no solo, o regime hídrico, a topografia e as condições ambientais das planícies arenosas, assim como fatores de caráter sucessional, que propiciam a formação de muitos ambientes e, conseqüentemente, a existência de uma flora rica e variada (MANTOVANI, 1992).

Os solos são basicamente muito lixiviados, ácidos e pobres em nutrientes. A maior parte de nutrientes na planície costeira está na camada superficial do solo, havendo uma camada orgânica pouco profunda e uma trama de sistemas subterrâneos que reabsorve rapidamente os minerais provenientes da decomposição orgânica (MANTOVANI, 1992). Um estudo realizado em solos, sob vegetação de Restinga na Ilha do Cardoso (São Paulo), mostrou que os estes são hidromórficos, arenosos, muito ácidos, com teores variáveis de matéria orgânica, sendo a podzolização o principal processo pedogenético presente (GOMES, 2005). Segundo Araujo et al (1987), os solos de Restinga são muito pobres em nutrientes, considerando-se como principal fonte de nutrientes o *spray* marinho.

Os Espodossolos e Neossolos Quartzarênicos são as principais classes de solos sob Restinga; são arenosos, quimicamente pobres e têm sua formação a partir de sedimentos fluvio-marinhos datados do período quartenário, sendo os Neossolos Quartzarênicos muitas vezes constituídos de areias esbranquiçadas de deposição eólica (GOMES, 2005; OLIVEIRA,

2007). Os Espodossolos são solos minerais, com seqüência de horizontes A-E-Bh e/ou Bs ou Bhs-C sendo, em sua maioria, arenosos. Considerando a composição química dos solos, estes são ácidos e muito pobres, com a soma de bases raramente ultrapassando $1 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, mesmo na camada superficial. As Areias Quartzosas Marinhas (Neossolos Quartzarênicos) são solos minerais com seqüência de horizontes A-C, sendo a principal diferença a ausência de horizontes espódicos (OLIVEIRA, 2007).

Os solos apresentam uma situação diferenciada pela topografia e textura, relevo plano, elevada infiltração, baixo teor de argila (normalmente de 1 a 5%) e sujeitos à intensa lixiviação pela baixa capacidade de retenção de cátions (CTC) (CASAGRANDE, 2003), além de baixa saturação por bases (SB) e baixa concentração de nutrientes, como por exemplo: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Enxofre (S) entre outros, essenciais para o desenvolvimento das plantas (GOMES, 2005; MARTINS 2010).

4.3 Ciclagem de nutrientes em sistemas naturais

Os estudos da ciclagem de nutrientes minerais nos ecossistemas naturais são de extrema importância para o conhecimento da estrutura e do funcionamento destes, fornecendo informações básicas para o planejamento de alternativas para o seu desenvolvimento (HERRERA et al, 1981).

A ciclagem consiste na devolução dos nutrientes ao solo através da circulação de matéria orgânica, que é representada pela deposição da serapilheira, galhos, troncos e pela morte de raízes (VOGT et al., 1986). Outro modo que ocorre a transferência de nutrientes da vegetação para o solo é através da água proveniente da precipitação interna da floresta e do escoamento pelos troncos (ARCOVA et al., 1987). A serapilheira é a principal via de transferência dos principais elementos (C, N, fósforo (P) e Ca) para o desenvolvimento e manutenção das florestas (COLE et al., 1980). De uma maneira geral, a entrada e saída dos nutrientes apresentam 2 ciclos distintos em ecossistema florestal. Os dois ciclos são: (I) ciclo geoquímico ou aberto, que envolve a transferência de elementos dentro e/ou fora do ecossistema; e (II) ciclo fechado, que envolve somente a transferência de elementos dentro do ecossistema, não recebendo nenhum aporte que não seja proveniente do local onde está situado o ecossistema. As entradas no ecossistema são devidas aos nutrientes do ar, às precipitações, à intemperização das rochas, à fixação biológica do nitrogênio e também à fertilização artificial; por outro lado, as saídas são representadas pelas perdas como erosão,

percolação, volatilização, e pela remoção de nutrientes por meio da exploração florestal (PRITTCHE, 1986).

Muitos são os fatores que levam a variações na ciclagem de nutrientes em ecossistemas naturais, sendo a fertilidade do solo e a disponibilidade de água fatores determinantes para a disponibilidade de nutrientes (BUSTAMANTE et al., 2004). Os nutrientes passam pelo sistema solo-planta-serapilheira em combinação com grandes quantidades de carbono fixado via fotossíntese. Apesar dos sumidouros relativos de carbono e nutrientes diferirem entre os ecossistemas, a demanda relativa, tanto por carbono assim como por nutrientes sobre a produção de biomassa, reflete no conteúdo de nutrientes do tecido em questão, ou seja, na razão carbono/nutriente (NARDOTTO, 2005). A ciclagem constitui-se em uma das principais funções que regula o funcionamento e o desenvolvimento dos ecossistemas. De um modo geral, a ciclagem de nutrientes inclui: (I) as entradas e saídas do sistema – como, por exemplo, os nutrientes que entram no sistema através da deposição seca e úmida, fixação biológica, intemperização de rochas e podem ser perdidos através das águas dos rios, lixiviação e formas gasosas; (II) a transferência de nutrientes entre planta e solo, incluindo sua absorção pelas plantas e depois seu retorno para o solo, via deposição de serapilheira, lixiviação, decomposição de raízes e aporte de indivíduos mortos e; (III) redistribuição interna de nutrientes móveis através do floema (retranslocação) (ATTIWIILL et al., 1993).

A quantidade e qualidade de nutrientes fornecidos ao solo, pela deposição da serapilheira, são variáveis, sendo dependente, principalmente, das espécies que compõem a formação florestal e da disponibilidade de nutrientes no solo. A vegetação ocorre naturalmente em um local e se adaptada aos suprimentos nutricionais existentes no solo, apresentando uma eficiência de uso, para cada nutriente sendo em grande ou pequena concentração no solo (CUEVAS et al., 1986). Segundo Vitousek (1982), a eficiência com que uma floresta utiliza os nutrientes é definida como a quantidade de matéria orgânica perdida das plantas ou permanentemente estocada dentro delas, por unidade de nutriente perdido ou permanentemente estocado.

O processo de ciclagem de nutrientes é realizado através do ciclo geoquímico, biogeoquímico e bioquímico (GAMA-RODRIGUES, 2004). O ciclo bioquímico envolve a translocação de nutrientes de tecidos mais velhos das plantas, uma vez que estes não são mais fotossinteticamente ativos para os tecidos mais novos da planta que está em pleno

crecimento, com exceção do cálcio. O ciclo biogeoquímico começa através do processo de absorção e acumulação dos nutrientes na biomassa, onde estes são acumulados em regiões distintas da planta e são renovados através das raízes. Há também incorporação dos nutrientes no solo, através da decomposição e lixiviação proveniente da serapilheira acumulada sobre o solo, sendo que o processo finalizado pela reabsorção dos nutrientes pela planta. Há diversos ciclos biogeoquímicos presentes na natureza, sendo os mais importantes os ciclos do Nitrogênio (N), Enxofre (S), Fósforo (P), Carbono (C) e Oxigênio (O) (BOEGER et al., 2005; GAMA-RODRIGUES; 2004).

Não é somente o tipo de solo e sua granulometria que interfere na ciclagem de nutrientes. A razão C:N da serapilheira é considerada um fator nutricional da serapilheira, onde valores acima de 25 indicam que o material apresenta uma baixa proporção de N, limitando o processo de decomposição (LUIZÃO et al., 2004). O material vegetal com maior concentração de celulose, hemicelulose e lignina, assim como as condições climáticas (temperatura e precipitação) dos locais também contribuem na ciclagem (MARTINS, 2010; TERROR et al., 2011).

4.4 Matéria orgânica do solo em sistemas naturais

A MOS é considerada fundamental para a sustentabilidade dos solos altamente intemperizados, pois está associada tanto às características químicas como físicas (JIMENEZ et al., 2006; LARDY et al., 2002). Devido à grande importância da MOS, esta é uma boa indicadora quando se comparam diferentes manejos. Como a MOS é composta essencialmente de C e existe uma relação direta entre C do solo e MOS, é conveniente utilizar esse elemento como indicador do solo por ser também de fácil detecção (MIRANDA, 2007).

A MOS é composta por aproximadamente 50% de carbono orgânico (SZAKÁCS, 2007). Desta maneira, o C do solo pode ser considerado indicador da matéria orgânica presente, sendo esta composta por material heterogêneo constituído, principalmente, por carbono e nitrogênio acumulado pela biomassa e detritos orgânicos (troncos, folhas, frutos, raízes, entre outros). Em um ecossistema em equilíbrio, a MOS encontra-se em níveis relativamente estáveis, onde as taxas de deposição são equivalentes às de decomposição (SILVEIRA et al., 2007).

A MOS é importante nos processos de formação do solo: formação do perfil, formação da estrutura, assim como no desenvolvimento da fertilidade do solo, já que através da

mineralização da MOS os nutrientes tornam-se disponíveis às plantas. Nas últimas décadas, o papel da MOS vem sendo enfatizado, também, como fonte de CO₂ quando ela é oxidada ao converter florestas e pastagens naturais em áreas cultivadas e como sequestradora das crescentes quantidade de CO₂ geradas pelas atividades humanas (BALESDENT et al., 2000). É conhecida a relação entre a dinâmica que existe da MO com a textura e estrutura do solo, principalmente a fração argila, onde estas regulam a mineralização e a armazenagem do C no solo (MARTINS, 2010; TELLES, 2002) De maneira geral, a contribuição relativa de cada fração na quantidade do C e N mineralizado é extremamente dependente da granulometria, onde em solos arenosos, a fração da MO é a principal fonte de C e N mineralizável. (VIDELA, 2004).

Gomes et al (2007), em estudo realizado em solos sob Restinga na Ilha do Cardoso (Cananéia-São Paulo), observaram que os teores de carbono foram elevados em superfície, havendo redução em profundidade. Nas camadas superficiais (0-5cm) foi obtida relação C/N média de 17, sendo que em profundidade foram encontrados valores de relação C/N de mais de 50, significando que ocorre uma grande redução dos teores de nitrogênio em profundidade.

A mesma tendência foi encontrada em solos arenosos do Núcleo Picinguaba (Ubatuba-São Paulo), onde em superfícies (0-5 cm) foram encontrados a razão C/N baixa e com um aumento em profundidade. Em solos sob Mata Atlântica, porém, em uma fitofisionomia diferente e solos com uma textura mais argilosa ($\pm 50\%$), a relação C/N é inferior ao longo do perfil, o que sugere que nesses ambientes a fração argila tende a fixar mais o N, além da maior disponibilidade deste nutriente nesses ambientes (BALBINOT, 2009; MARTINS, 2010).

4.5 Carbono e $\delta^{13}\text{C}$ nos solos

O C é fundamental para praticamente todos os processos biogeoquímicos da natureza. Como a MOS atua bioquimicamente na relação solo-planta, resultando em diferenciações fundamentais nos ecossistemas, o estudo do C nos solos é importante para a compreensão das diferenças existentes nos diferentes ambientes (MANFRINATO, 2002).

Há uma grande variação entre os valores obtidos de C em diversos estudos realizados nas mais diferentes florestas tropicais no Brasil. Os teores de C para Floresta Atlântica no Paraná variaram de 35,8 g kg⁻¹ na superfície do solo (0-5 cm) até 16,7 g kg⁻¹ na camada de 10-

20 cm (BALBINOT, 2009), enquanto que Manfrinato (2002) obteve teores de $36,7 \text{ g kg}^{-1}$ no solo (0-10 cm). Valores semelhantes foram encontrados nos quais a variação dos teores de C foi de $45,9$ até $91,5 \text{ g kg}^{-1}$; porém, essa variação é decorrente das diferentes altitudes onde a pesquisa foi realizada. Foram observados teores que variaram de 15 a 30 g kg^{-1} em superfície para os solos sob Restinga (MARTINS, 2010; VIDOTTO, 2008). O C tende a decrescer com o aumento da profundidade, conforme mostraram diversos estudos realizados que analisaram o C tanto em solos da Floresta Atlântica como em solos sob Floresta Amazônica (BALBINOT, 2009; CERRI et al., 2004; FREITAS et al., 2001; MARTINS, 2010; TELLES, 2002; VIDOTTO et al, 2007).

A técnica de utilização de isótopos é uma metodologia que permite obter a diferenciação da MOS procedente de plantas do ciclo fotossintético C3 das plantas C4 (SMITH et al., 1971; WILCKE et al., 2004).

Estudos sobre a dinâmica de nutrientes e MOS, com isótopos de C como indicadores, têm sido empregados com sucesso no mundo todo, gerando informações sobre as mudanças da vegetação.

Diversos estudos feitos nas mais diversas regiões do Brasil foram realizados com a utilização do ^{13}C , onde foram observadas e documentadas as mudanças que ocorreram na vegetação (substituição da floresta nativa por pastagem, substituição de floresta nativa por cultivos agrícolas, abandono de pastagens e áreas agrícolas para recomposição das florestas e recuperação das florestas) e também para a compreensão, entendimento e funcionamento de ecossistemas naturais (BALBINOT, 2009; CERRI et al., 2004; MARTINELLI et al., 1991; MARTINS, 2010; MIRANDA, 2007; OMETTO et al., 2006; VIDOTTO, 2008). Em ecossistemas naturais, a fonte de C orgânico tem predominância de uma origem: a vegetação nativa que apresenta, em sua grande maioria, plantas do ciclo fotossintético C3 (MELLO, 2003). A cada transformação química, física e biológica que passa a matéria orgânica, ocorre uma discriminação entre seus isótopos, possibilitando sua utilização como traçadores naturais. A variação isotópica na razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ é útil na determinação do tipo de vegetação do local estudado. Isso porque as plantas são bem caracterizadas isotopicamente, de acordo com a via fotossintética de assimilação de C (C_3 , C_4 e CAM) (FARQUHAR et al., 1989).

O carbono possui naturalmente dois isótopos estáveis, o ^{13}C e o ^{12}C . Aproximadamente 98,9% de todo o carbono presente na natureza apresenta-se sob a forma de

^{12}C , e somente 1,1% na forma de ^{13}C . A razão entre esses dois isótopos ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) em materiais naturais varia muito pouco em torno de seus valores médios, como resultado do fracionamento isotópico durante processos físicos, biológicos e químicos. A variação isotópica existente nas plantas e na matéria orgânica é, relativamente, pequena, onde apresenta materiais mais enriquecidos (valores mais altos de ^{13}C) diferindo dos menos enriquecidos, ou mais empobrecidos (valores mais baixos de ^{13}C), em aproximadamente 2% ou 20 partes por mil (‰) (BOUTTON, 1996).

As plantas discriminam o $^{13}\text{CO}_2$ durante a fotossíntese, como resultado das propriedades bioquímicas das enzimas fixadoras de carbono primário e das limitações para a difusão do CO_2 na folha. Essa discriminação está relacionada ao tipo de ciclo fotossintético (FARQUHAR et al., 1989; VOGEL, 1980). A composição dos isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$ ou $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) das espécies de plantas do ciclo fotossintético C_3 (árvores e plantas leguminosas) varia entre -22,0 e -32,0‰ (com média de -27,0‰); já as espécies do tipo C_4 (maioria das gramíneas) apresentam os valores de $\delta^{13}\text{C}$ que variam entre -9,0 e -17,0‰ (com média de -12,0‰). Assim, plantas do tipo C_3 e C_4 possuem valores de $\delta^{13}\text{C}$ que diferem aproximadamente 15‰ entre si. Plantas CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*) apresentam valores intermediários entre plantas C_3 e das C_4 (GRIFFITHS et al., 1986); porém, existem plantas CAM que podem ser consideradas facultativas, ou seja, o valor isotópico do C, dependendo das condições ambientes (restrição ou não de água, por exemplo), pode apresentar valores mais próximas de C_3 ou de plantas C_4 (MARDEGAN et al., 2011). A MOS, presente na superfície do solo, reflete o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da vegetação existente (BALESDENT et al., 2000). Algumas frações da MOS são resistentes à decomposição, fazendo com que os solos retenham informações das formações vegetais anteriores, sendo que estas informações combinadas com informações de C marcado de outras camadas de solo podem ser usadas para inferir sobre a estrutura da vegetação passada (FREITAS et al., 2001; PESSENDA et al., 1996).

Martins (2010) observou em solos sob Mata Atlântica nativa que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variaram, aproximadamente, entre -28,0‰ na superfície (0-5 cm) e -26,5‰ em profundidade (75-100 cm). Esse aumento do $\delta^{13}\text{C}$ em profundidade aconteceu devido ao fracionamento que ocorre durante a decomposição da matéria orgânica ao longo do perfil do solo (MARTINELLI et al., 1996) e também proveniente da movimentação da matéria orgânica mais velha no perfil do solo. Nardoto (2005), comparando Floresta Amazônica e Cerrado,

verificou que os perfis de solos de todas as áreas estudadas apresentaram, em geral, um progressivo enriquecimento em ^{13}C com a profundidade, sendo que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para os solos sob a floresta Amazônica variaram entre $-28,4$ e $-26,0\text{‰}$ com um progressivo enriquecimento ao longo do perfil. Os solos sob Cerrado foram consistentemente mais enriquecidos em ^{13}C do que o de floresta. Em solos sob floresta temperada, foi observado que o $\delta^{13}\text{C}$ das folhas foi de, aproximadamente, -28‰ (STEINMANN et al., 2004) e que o $\delta^{13}\text{C}$ de solos minerais variou pouco, tanto em superfície ($-25,2\text{‰}$) como em profundidade ($-23,6\text{‰}$, camada de 10-20 cm), refletindo os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da vegetação que compõe o sistema (NADELHOFFER et al., 1983). Valores de $\delta^{13}\text{C}$ sob solos florestais tendem a se tornar mais enriquecido com o aumento da profundidade (TRUMBORE et al., 1995), estabilizando entre -25 a -24‰ . Para a Mata Atlântica, os valores são de aproximadamente de -28 a -26‰ em solos no estado do Paraná (BALBINOT, 2009; MANFRINATO, 2002); já em solos sob vegetação de Restinga em Ubatuba-SP (MARTINS, 2010), os valores foram de -28‰ em superfície (0-5 cm) ocorrendo um enriquecimento isotópico com valor de -25‰ em profundidade (100 cm). Em solos sob Restinga na Ilha do Cardoso, (VIDOTTO, 2008) encontrou valores semelhantes para o $\delta^{13}\text{C}$, de aproximadamente $-29,5\text{‰}$ na superfície do solo (5 cm).

O enriquecimento da MOS com a profundidade no perfil do solo, pode ser explicado por: alteração na composição isotópica da vegetação com o tempo, como consequência de variações recentes no conteúdo de ^{13}C no CO_2 atmosférico; possível decomposição diferencial dos componentes bioquímicos das plantas, os quais são isotopicamente heterogêneos e; um fracionamento isotópico durante a mineralização da MOS. Este enriquecimento sendo sempre menor que $4,0\text{‰}$ não é alto o suficiente para mascarar a diferença de 15‰ entre a serapilheira de plantas C_3 e C_4 (BOUTTON, 1996; BOUTTON et al., 1998; DESJARDINS et al., 1996; FREITAS et al., 2001; PESSENDA et al., 2001).

4.6 Nitrogênio e ^{15}N nos solos sob sistema natural

O nitrogênio é o componente mais abundante na atmosfera, encontrando-se em uma forma combinada (N_2) que as plantas não são capazes de utilizar. Nos sistemas terrestres é o componente químico mais limitante para o crescimento vegetal (VITOUSEK et al., 1997). Mesmo sendo o elemento mais abundante na atmosfera, hidrosfera e biosfera terrestre, é o nutriente menos prontamente disponível à biota; 99% do nitrogênio não estão disponíveis para 99% dos seres vivos (GALLOWAY et al., 2003).

Aproximadamente 78% do total do ar atmosférico são constituídos por nitrogênio. Nesse reservatório, esse elemento encontra-se no estado inerte, que é o estado molecular (N_2), não biologicamente disponível, devido à sua forte tripla ligação. O N_2 deve ser transformado às formas biologicamente assimiláveis (nitrogênio reativo) para que se torne disponível aos seres vivos. (BEZERRA, 2009).

Quase todo N do solo provém da atmosfera; porém, o mesmo está como gás inerte que deve combinar-se com outros elementos antes que as plantas possam usá-lo. No solo existe grande número de processos que resultam em transformações das formas orgânicas em inorgânicas e vice-versa, e que podem ocasionar em ganhos ou perdas do sistema como um todo (RAIJ, 1991).

O ciclo do nitrogênio (N) está intimamente relacionado ao ciclo do C e é determinante nos fatores que regulam sua reciclagem entre a vegetação e o solo (NEFF et al., 2002). Aproximadamente 95% do N do solo encontram-se ligados a MOS (SILVA et al., 2007).

As florestas temperadas, normalmente, apresentam maiores teores de N em comparação as florestas tropicais (MARTINELLI et al., 1999).

Alta disponibilidade de N presente nas folhas, e com o grande volume de serapilheira produzida e depositada sobre o solo, alinhado com as altas taxas de decomposição que a matéria orgânica sofre em florestas tropicais por causa do clima, faz com que essas florestas apresentem um ciclo do N mais aberto, onde as regiões tropicais são mais propícias às perdas de N, gerando uma grande produção de N_2O (CHRISTENSEN et al., 2003; MARTINELLI et al., 1999).

As concentrações de N ao longo do perfil foram estudadas por diversos autores em diferentes florestas do Brasil. Para a Floresta Amazônica na região de Santarém, Nardoto (2005) encontrou valores que variaram de 1,2 a 4,1 $g\ kg^{-1}$ na camada superficial (0-5 cm). Para a Floresta Atlântica no estado do Paraná, foram encontrados valores em superfície de, aproximadamente, 2,8 $g\ kg^{-1}$ e houve uma redução de, aproximadamente, 1,6 $g\ kg^{-1}$ até a camada de 10-20 cm de profundidade (BALBINOT, 2009). Martins (2010), também em estudo realizado na Floresta Atlântica, porém, analisando o gradiente altitudinal na região de Ubatuba-SP, encontrou valores de N em superfície de, aproximadamente, 6,8 $g\ kg^{-1}$ na floresta localizada a 1000 m de altitude até o valor de 1,8 $g\ kg^{-1}$ na floresta de Restinga. Em

todas as áreas estudadas por esses autores, houve a tendência de decréscimo na concentração do N ao longo da profundidade.

É possível efetuar a comparação do balanço das entradas e saídas de N dentro de um ecossistema através da utilização do isótopo estável do N, que é expresso como $\delta^{15}\text{N}$ onde essa ferramenta fornece medidas integradas da dinâmica do N ao longo do tempo (HANDLEY et al., 1992; HOGBERG, 1997; NADELHOFFER et al., 1994). O padrão utilizado para medir a relação entre os isótopos pesado e leve é o N_2 atmosférico (LAJTHA, K.; MARSHALL, 1994).

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ em folhas e matéria orgânica do solo são significativamente maiores nas florestas tropicais em comparação às florestas temperadas, assim, as florestas tropicais apresentam um ciclo do nitrogênio mais aberto, com grandes perdas de N. Isso representa que estas florestas apresentam um excesso desse nutriente (MARTINELLI et al., 1999).

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ da MOS normalmente aumenta com a profundidade, onde a variação é bem marcante nos solos tropicais, sendo possível encontrar diferenças de 8‰ entre os valores presentes na camada superficial em relação às camadas mais profundas. As grandes variações do $\delta^{15}\text{N}$ ocorrem, principalmente, nas camadas superficiais do solo, por causa da grande atividade de decomposição da matéria orgânica e reações de transformação de N no solo (amonificação, nitrificação, desnitrificação). Um dado interessante é que até o presente momento, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ medidos em solos tropicais foram exclusivamente maiores que 0‰ (PICCOLO et al., 1994a; PICCOLO et al., 1994b, PICCOLO et al., 1996; MARTINELLI et al., 2009).

Martinelli et al (1999) encontraram valores de $\delta^{15}\text{N}$ em folhas e solos de florestas tropicais superiores aos encontrados em florestas amazônicas, exemplificando a diferença em ambientais naturais de ciclos mais fechados dos mais abertos. O $\delta^{15}\text{N}$ também é utilizado para comparar a ciclagem aberta ou fechada em florestas tropicais. Na Floresta Amazônica, na Região de Manaus, foram observados valores de 3‰ em uma floresta de baixio e, aproximadamente, 9 ‰ em um platô, indicando que um local apresenta um ciclo do N mais fechado em comparação ao outro (NARDOTO, 2005). A mesma comparação pôde ser observada por Martins (2010) em solos sob Floresta Atlântica no Estado de São Paulo, que obteve valores em superfície de 4,6 ‰ na Floresta Ombrófila Densa Montana (1000 m) até valores de 2,0‰ na Floresta de Restinga. Os motivos para a diferença no valor do isótopo

variam desde a baixa disponibilidade natural deste nutriente no solo, como a diferença na granulometria dos solos estudados até as condições de precipitação entre as áreas de estudo.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição da área de estudo

Considerando o litoral Norte (Núcleo Picinguaba e Ilha Anchieta) e Sul (Juréia, Ilha Comprida e Ilha do Cardoso), os processos geológicos sucedidos no passado conferem ao litoral paulista características distintas nestes dois compartimentos sob o ponto de vista morfológico. Devido à diferença de resistência das rochas às erosões ocasionadas pelas diversas transgressões e regressões marinhas, a encosta da serra no Vale do Ribeira recuou, formando uma extensa planície ao sul, enquanto que ao norte a serra permanece mais próxima ao mar. Além disso, os processos de deposição sedimentar que formaram a planície de Cananéia e Iguape ocorreram em período mais recente. (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998).

O Litoral Norte do Estado de São Paulo caracteriza-se por apresentar uma área plana relativamente estreita, onde se intercalam inúmeras praias entre esporões rochosos, que avançam para o mar e onde se destaca a Ilha de São Sebastião com 336 km² e uma altitude máxima de 1375 m. Compreende a região de Ubatuba desde a Praia do Camburi do Norte (ao norte), Caraguatatuba, São Sebastião (Praia de Boracéia), até Bertioga. As encostas da Serra do Mar acompanham todo o litoral paulista, possibilitando o surgimento de centenas de praias ricas em manguezais e Restingas (AB'SABER, 2001).

A Baixada Santista e o Litoral Sul do Estado de São Paulo são dominados por praias longas e estuários de médio porte, estes com predomínio de manguezais em seu entorno. Está localizada ao sul do Trópico de Capricórnio, abrangendo os municípios de Bertioga, Guarujá, Santos, São Vicente, Cubatão, Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe. Constitui uma unidade bem definida na área central do litoral paulista unindo as duas subregiões, Litoral Norte e Litoral Sul.

No âmbito de padronização e otimização, neste projeto passou-se a adotar as seguintes denominações para os diferentes locais como: Núcleo Picinguaba (NPi), Ilha Anchieta (IAN), Ilha do Cardoso (ICd), Ilha Comprida (IComp) e Juréia (Jur); como para as diferentes vegetações com: Restinga Alta (RA), Restinga Transição (RT), Restinga Baixa (RB), Escrube (Esc) e Duna (Dun).

5.1.1 Local de estudo

Este trabalho foi realizado em cinco áreas do litoral paulista (Figura 1 e Figura 2):

- Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo de Picinguaba, município de Ubatuba (23°15' e 23°55' S / 44°45' e 44°55' O), apresentando temperatura média anual de 22°C e precipitação média anual de 2.644 mm;
- Parque Estadual da Ilha Anchieta, município de Ubatuba (23°27' S / 45°02' O), apresentando temperatura média anual que varia de 4 a 33 °C e com precipitação média anual de 1.685 mm;
- Estação Ecológica Juréia-Itatins e Estação Ecológica dos Chauás, município de Iguape (24°45' S / 47°40' O), com temperatura média anual de 25 °C;
- Vila de Pedrinhas no município de Ilha Comprida, (24°91' S / 47°80' O), apresentando temperatura média anual de 24 °C e precipitação média anual de 1.611 mm;
- Parque Estadual da Ilha do Cardoso, Restinga do Pereirinha, município de Cananéia (25°03'05" e 25°18'18" S / 47°53'48" e 48° 05'42" O, apresentando temperatura média anual de 21,7 °C e precipitação média anual de 2.350 mm.

Figura 1 - Localização das áreas de estudo no Litoral Norte do Estado de São Paulo (adaptação da imagem de satélite, p.31, Conhecer para Conservar: as Unidades de Conservação do Estado de São Paulo, 1999)

Figura 2 - Localização das áreas de estudo no Litoral Sul do Estado de São Paulo (adaptação da imagem de satélite, p.30, Conhecer para Conservar: as Unidades de Conservação do Estado de São Paulo, 1999)

Os solos predominantes nas áreas de estudos foram o Neossolo Quartzarênico e o Espodossolo.

Os Neossolos Quartzarênicos ou também conhecido como Areias Quartzosas são solos que possuem sequencia de horizontes A-C, sem que haja contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até possuir contato lítico. Estes tipos de solo são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, catedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (que são menos resistentes ao intemperismo) (EMBRAPA, 1999).

Já os Espodossolos são solos constituídos por material mineral com horizonte B espódico, onde este horizonte mineral subsuperficial apresenta acumulação iluvial de matéria orgânica e compostos de alumínio, com presença ou não de ferro iluvial. Estes solos apresentam profundidade variável, tem predominância arenosa, sendo menos comumente textura média e raramente argilosa. São extremamente pobres em nutrientes, moderada ou fortemente ácidos, com baixa saturação por bases podendo ocorrer altos teores de alumínio extraível. (EMBRAPA, 1999).

Figura 3 – Área de estudo localizada na Ilha do Cardoso, vegetação de Restinga Alta (A) e Restinga Baixa (B)

Figura 4 – Área de estudo localizada no Núcleo Picinguaba, vegetação de Restinga Alta (A) e Restinga Baixa (B)
(Fonte: CASAGRANDE,2010)

Figura 5 – Área de Estudo localizada em Ilha Comprida, vegetação de Restinga Alta (A) e Restinga Baixa (B)
Fonte: CASAGRANDE, 2010)

Figura 6 – Área de Estudo localizada na Ilha Anchieta, vegetação de Restinga Alta (A) e Restinga Baixa (B)
Fonte: CASAGRANDE, 2010)

Figura 7 – Área de Estudo localizada na Juréia, vegetação de Restinga Alta (B) e Restinga Baixa (B)
Fonte: CASAGRANDE, 2010

5.2 Coleta e preparo de amostras de solo

Nas amostras de solo foram realizadas a determinação dos teores totais de C e N e seus respectivos isótopos ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) nas 5 áreas de estudo. Em cada local e cada vegetação foram realizadas 5 tradagens nas camadas 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-40 e 40-60 cm para coleta de amostras deformadas. Não houve um espaçamento determinado para coleta das amostras, pois foram selecionados pontos amostrais ao acaso e o espaçamento entre esses pontos variou de acordo com o tamanho das áreas de estudo e também limitações encontradas como, por exemplo, mudança brusca na paisagem, proximidade de rios ou depressões e/ou elevações expressivas, que poderiam afetar os resultados analíticos.

Foram abertas 3 trincheiras na Restinga Alta, na Restinga Baixa, na Restinga de Transição e no Escrube, em cada localidade, com o intuito de coletar amostras de solos e densidade, enquanto que na Duna foram coletadas com o auxílio do trado para coleta de densidade, sendo que todas as amostras indeformadas foram utilizadas para determinação da densidade global (d_g) do solo. Os resultados de densidade foram utilizados para a realização dos cálculos dos estoques de C e N total do solo.

A determinação da densidade do solo foi realizada em amostra indeformada, coletada através de anel de aço inox com diâmetro e altura de 5 cm, nas profundidades 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; 20-40 e 40-60 cm.

Figura 8 - Coleta das amostras deformadas de solos para análises químicas, físicas e isotópicas

Figura 9 - Coleta de amostras indeformadas para estimativas das densidades dos solos

As amostras de solos foram coletadas em duas épocas do ano. Para o Núcleo Picinguaba e Ilha do Cardoso as amostras foram coletas em julho de 2009, enquanto que na

Juréia, Ilha Anchieta e Ilha Comprida as amostras foram coletas entre os meses de janeiro e fevereiro de 2010.

As amostras coletadas foram secas ao ar, onde foram separadas dos materiais vegetais e pedras, homogeneizadas através do quarteador de Jones, moídas, passadas em peneiras de 2 mm para análises químicas e granulométricas. Para a análise isotópica foi feita a retirada manual das raízes, carvões e passada em peneira de 60 mesh (0,250 mm) (SCHUMACHER et al., 1990; TELLES, 2002).

5.3 Análises dos teores e variação isotópica de C e N ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) do solo

A relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ e os conteúdos de carbono e nitrogênio totais foram determinados a partir de uma sub-amostra de aproximadamente 20 a 50 g. Para a Restinga Alta e Restinga Baixa foram pesadas 40-50 mg para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, 50-60 mg para as profundidades 10-15 e 15-20 cm e 100-120 mg para as profundidades 20-40 e 40-60 cm. Para a vegetação de Duna e Escrube foram pesadas 120 mg somente nas camadas de 0-5, 5-10- 10-15 e 15-20 cm de profundidades, sendo que todas as amostras foram acondicionadas em cápsulas de estanho para leitura em analisador elementar da marca Carlo Erba acoplado a espectrometro de massa da marca Finnigan MAT. O gás proveniente de combustão foi purificado numa coluna de cromatografia gasosa e introduzido diretamente em um espectrômetro de massas – para razões isotópicas - no laboratório de Ecologia Isotópica (Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP), onde forneceu os conteúdos de carbono e nitrogênio totais e a relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ($\delta^{15}\text{N}$).

Os teores de C e N são expressos em % e a relação $\delta^{13}\text{C}$ ou $\delta^{15}\text{N}$ representadas pela notação por mil (‰) em relação ao padrão internacional, através da equação (1):

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) \text{ ou } \delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left[\left(\frac{R \text{ amostra}}{R \text{ padrão}} \right) - 1 \right] \cdot 1000 \quad (1)$$

Onde:

R amostra = relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ da amostra;

R padrão = relação $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ do padrão.

Para o $\delta^{13}\text{C}$ o padrão utilizado é o PDB enquanto que para o $\delta^{15}\text{N}$ o padrão utilizado é o N atmosférico.

Com os valores de $\delta^{13}\text{C}$ da MOS é possível calcular a porcentagem de carbono oriundo de plantas de ciclo fotossintético C3, doravante denominado CC3, e o carbono oriundo de plantas CAM, doravante denominado CCAM, através do seguinte modelo de mistura:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}} = (\delta^{13}\text{C}_{\text{C4}} \cdot x) + [\delta^{13}\text{C}_{\text{C3}} \cdot (1 - x)] \quad (2)$$

Onde:

$\delta^{13}\text{C}_{\text{solo}}$ = o $\delta^{13}\text{C}$ do solo amostrado;

$\delta^{13}\text{C}_{\text{CAM}}$ = adotando que o valor do $\delta^{13}\text{C}$ de plantas CAM é igual à -22,00‰;

x = a porcentagem de C proveniente de plantas CAM;

$\delta^{13}\text{C}_{\text{C3}}$ = adotando que o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da vegetação analisada de Duna de Ilha Comprida, onde o valor é igual à -30,29‰;

(1 - x) = a porcentagem de C proveniente de plantas C3.

As diferentes massas utilizadas para análise das amostras de solos foram obtidas após alguns testes realizados, onde foram testadas diferentes massas para as profundidades analisadas para cada vegetação específica, sendo que foi realizado este teste pelo fato de que a concentração de matéria orgânica no solo reduzia-se muito nas camadas mais profundas e também pelo motivo dos solos estudados serem muito arenosos e com baixas concentrações de C e N.

A princípio, este projeto tinha como um dos objetivos de analisar os teores de C, N e seus isótopos na vegetação de Ante-Duna; porém, após alguns testes realizados no espectrômetro de massa, foram pesadas as massas máximas (120 mg de amostra de solo), e realizadas as análises dessas amostras, mas devido aos baixos teores de C e N (abaixo do limite de detecção do equipamento), não houve a produção de gás suficiente para uma análise com qualidade analítica.

5.4 Determinação da densidade e dos estoques de C e N do solo

A densidade aparente do solo foi determinada pelo método do cilindro volumétrico, descrito por Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1979), utilizando-se cilindros de aço inox com volume interno de 100 cm³.

Os estoques de C e N (Mg ha⁻¹) do solo foram calculados em função do teor total do elemento do solo (%), da densidade global do solo (g cm⁻³) e da espessura da camada amostrada (cm). Os estoques das camadas amostradas foram calculados através da equação (2):

$$Es = [n] \cdot Ds \cdot E \quad (2)$$

Onde:

Es = estoque (Mg.ha⁻¹) na camada;

[n] = é a concentração do elemento na camada (%);

Ds = densidade aparente da camada (g cm⁻³);

E = espessura da camada (cm).

5.5 Análise físico-química de solo

As análises das características físico-químicas das amostras de solo coletadas nas áreas de estudos foram realizadas pelo Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) da Universidade Federal de São Carlos, Campus Araras (CCA/UFSCar).

O procedimento fora conduzido de acordo com os métodos descritos por Camargo et al (1986), cujos pontos principais são apresentados a seguir: pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ usando relação solo-solução de 1:2,5; Al trocável por meio de extração com solução de KCl 1N e titulação com NaOH 0,05 mol L⁻¹, em presença de azul bromotimol; acidez potencial através do pH SMP; K, Na, Ca e Mg com extração dos elementos com resina trocadora de íons e leitura no espectrofotômetro de absorção atômica (Ca e Mg) e fotômetro de chama (K e Na); P através da extração dos teores disponíveis de P pela resina trocadora de íons e quantificação por colorimetria; S através da turbidimetria (BaCl₂ em pó).

A análise granulométrica foi realizada pelo método do hidrômetro, tendo como princípio a Lei de Stokes sobre a sedimentação de partículas, utilizando-se uma solução de hexametáfosfato de sódio, tamponada com carbonato de sódio para dispersão total das partículas (EMBRAPA, 1979).

A partir das análises anteriores foram calculados: Soma de bases (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Saturação por bases (V%) e Saturação por alumínio (m%).

5.6 Análise estatística dos dados

Os resultados foram submetidos à análise estatística descritiva com o propósito de conhecer as diferenças significativas entre as diferentes localidades e entre as diferentes vegetações de uma mesma área de estudo, pelo procedimento ANOVA. As médias comparadas pelo Teste T ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$), para caracterizar as diferenças entre as mesmas. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa SISVAR.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Fertilidade no solo

Para todas as áreas o pH (tabela 1) encontrado indica que estes solos são extremamente ácidos, exceto no solo sob vegetação de Escrube e Duna na Juréia. O pH ácido em solos sob vegetação natural em Restinga também foram encontrados por outros autores como Coelho et al (2010), Gomes (2005) e Martins (2010).

N a Tabela 1 estão apresentados os resultados de M.O., pH, Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), granulometria do solo e densidade.

Tabela 1 - Valores de pH em CaCl₂, matéria orgânica (M.O.), saturação de bases (SB), textura e densidade no perfil do solo (0-20 cm), nas áreas estudadas (continua)

Local	Vegetação	Profundidade Cm	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	SB ----- mmol _c dm ⁻³ -----	CTC	Argila ----- % -----	Areia	Silte	Densidade -- g cm ⁻³ --
Núcleo Picinguaba	Restinga Alta	0-5	44,40	3,66	4,52	123,52	2	96	2	0,79
		5-10	35,80	3,84	3,18	97,38	2	95	3	0,93
		10-15	18,00	4,12	2,94	45,34	2	96	2	1,07
		15-20	15,40	4,18	2,12	45,32	1	97	2	1,14
	Restinga Baixa	0-5	35,20	3,82	27,78	101,78	3	95	2	0,95
		5-10	25,20	3,62	15,48	76,28	3	96	1	1,06
		10-15	11,00	3,76	8,66	45,06	2	96	2	1,07
		15-20	7,80	3,88	8,82	36,62	1	97	2	1,19
	Restinga Alta	0-5	49,20	3,20	4,20	116,00	2	96	3	0,80
		5-10	48,60	3,28	3,08	114,28	1	95	2	1,01
		10-15	40,20	3,34	2,94	96,54	2	95	3	1,07
		15-20	34,20	3,32	2,58	77,58	1	96	2	1,20
	Restinga Transição	0-5	89,20	2,92	6,58	262,78	*	*	*	0,92
		5-10	65,00	3,02	4,80	208,40	*	*	*	1,10
		10-15	48,40	3,08	4,42	144,02	*	*	*	1,32
		15-20	35,80	3,12	3,92	110,52	*	*	*	1,38
Ilha Anchieta	Restinga Baixa	0-5	61,00	3,14	10,62	187,62	3	95	2	0,86
		5-10	48,00	3,22	6,26	135,06	2	97	1	0,92
		10-15	32,20	3,30	4,56	80,56	2	96	2	0,97
		15-20	24,00	3,34	3,44	56,04	2	96	2	1,08

Tabela 1 - Valores de pH em CaCl₂, matéria orgânica (M.O.), saturação de bases (SB), textura e densidade no perfil do solo (0-20 cm), nas áreas estudadas (continuação)

Local	Vegetação	Profundidade	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	SB ----- mmol _c dm ⁻³ -----	CTC	Argila ----- % -----	Areia	Silte	Densidade -- g cm ⁻³ --
Ilha do Cardoso	Restinga Alta	0-5	47,40	3,36	6,48	60,68	1	90	9	0,61
		5-10	39,00	3,40	4,14	44,14	2	91	7	0,88
		10-15	26,20	3,38	3,20	29,20	2	90	8	1,15
		15-20	16,40	3,50	2,70	21,90	2	92	6	1,33
	Restinga Transição	0-5	52,60	3,36	8,14	108,94	*	*	*	0,70
		5-10	33,80	3,32	3,64	56,24	*	*	*	0,94
		10-15	20,00	3,38	2,16	29,56	*	*	*	1,19
		15-20	13,40	3,50	2,10	23,30	*	*	*	1,32
	Restinga Baixa	0-5	29,60	3,16	29,60	3,16	2	90	8	0,99
		5-10	22,40	3,20	2,56	61,96	2	91	7	1,55
		10-15	16,80	3,30	3,54	42,54	1	91	8	1,66
		15-20	12,20	3,34	2,70	36,10	1	94	5	1,75
	Duna	0-5	11,20	3,84	3,62	20,82	1	98	1	1,03
		5-10	9,40	3,84	2,72	21,12	-	99	1	1,02
		10-15	7,00	4,04	4,50	21,50	1	99	-	1,04
		15-20	4,60	4,08	2,30	17,90	1	98	1	1,15

Tabela 1 - Valores de pH em CaCl_2 , Matéria Orgânica (M.O.) em g dm^{-3} , Saturação de Bases (SB) em $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, textura (%) e Densidade em g cm^{-3} no perfil do solo (0-20 cm) nas áreas estudadas (continuação)

Local	Vegetação	Profundidade	M.O. g dm^{-3}	pH CaCl_2	SB ----- $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----	CTC	Argila ----- % -----	Areia ----- % -----	Silte ----- % -----	Densidade -- g cm^{-3} --
Jureia	Restinga Alta	0-5	16,40	3,30	3,70	41,50	1	92	7	0,99
		5-10	13,60	3,32	3,06	38,46	2	90	8	1,10
		10-15	12,40	3,34	2,50	37,70	2	91	7	1,12
		15-20	10,80	3,40	2,76	31,96	1	90	9	1,13
	Restinga Baixa	0-5	23,60	3,26	3,98	52,58	2	94	4	1,06
		5-10	17,20	3,24	3,22	40,02	1	96	3	1,18
		10-15	12,80	3,32	2,60	31,80	2	94	4	1,18
		15-20	10,40	3,38	2,40	24,20	1	96	3	1,25
	Escrube	0-5	1,40	6,02	11,76	21,36	-	97	1	1,45
		5-10	1,00	5,78	9,90	19,90	1	98	1	1,54
		10-15	1,00	5,94	10,10	19,30	1	97	2	1,46
		15-20	1,00	6,20	10,30	19,30	2	97	1	1,40
	Duna	0-5	1,00	6,46	10,96	19,56	1	99	-	1,35
		5-10	1,00	6,46	11,48	19,88	-	99	1	1,44
		10-15	1,00	6,34	11,90	20,70	1	98	1	1,39
		15-20	1,00	6,30	12,36	20,76	1	99	-	1,35

Tabela 1 - Valores de pH em CaCl₂, matéria orgânica (M.O.), saturação de bases (SB), textura e densidade no perfil do solo (0-20 cm), nas áreas estudadas (conclusão)

Local	Vegetação	Profundidade	M.O. g dm ⁻³	pH CaCl ₂	SB ----- mmol _c dm ⁻³ -----	CTC	Argila ----- % -----	Areia	Silte	Densidade -- g cm ⁻³ --
Ilha Comprida	Restinga Alta	0-5	29,40	3,16	11,60	76,40	2	97	1	0,99
		5-10	30,20	3,22	6,20	75,40	2	96	2	1,08
		10-15	27,00	3,24	8,36	64,16	2	96	2	1,19
		15-20	21,80	3,22	7,74	66,54	1	98	1	1,15
	Restinga Baixa	0-5	30,80	3,64	10,34	60,54	2	96	2	0,94
		5-10	26,60	3,56	7,43	56,23	2	97	1	1,07
		10-15	20,40	3,60	6,04	43,64	1	97	2	1,11
		15-20	13,80	3,58	4,56	32,76	1	98	1	1,19
	Duna	0-5	10,60	4,66	11,12	25,52	1	98	1	1,31
		5-10	9,40	4,44	10,04	24,84	-	99	1	1,30
		10-15	6,20	4,42	7,62	22,02	1	99	-	1,36
		15-20	3,80	4,44	8,74	22,14	1	98	1	1,42

* Não quantificados. Fonte: Projeto CNPq (Processo n°: 577129/2008-2).

A textura dos solos sob vegetação de Restinga, Duna e Escrube não apresentou variação com a sua localização, encontrando-se solos com altos teores de areia, sendo que em todas as áreas o valor mínimo no teor de areia encontrado foi de 90%. A textura do solo apresenta uma relação direta com a proteção física e química da MOS, assim a sua determinação torna-se importante para verificação de homogeneidade entre as vegetações e áreas de estudo. A pequena diferença encontrada na porcentagem de argila entre os solos sob as vegetações nos locais estudados indica que não é a argila que influencia significativamente na dinâmica da MOS nos solos analisados.

A densidade dos solos aumentou em profundidade para as todas as áreas e vegetações estudadas (0-20 cm). Na camada superficial do solo (0-5 cm), o maior valor de densidade encontrado foi nas vegetações de Duna e Escrube.

A CTC e a SB em todos os locais tiveram uma grande amplitude em relação às vegetações analisadas e em cada local. Os valores obtidos da SB são semelhantes aos encontrados por Sato (2007) em Restinga Alta e Restinga Baixa em diversos locais do Estado de São Paulo. A Restinga Baixa do Núcleo Picinguaba (Ubatuba-SP) foi o local que apresentou o maior SB em comparação a todos os locais, enquanto que os solos sob vegetação de Duna da Ilha do Cardoso foi o local que apresentou os menores resultados.

Com relação à CTC, em todos os locais os solos sob vegetação de Restinga Alta foi a que apresentou os maiores resultados; porém, os solos sob vegetação de Duna continuaram a apresentar os menores valores. A mesma tendência foi observada por Sato (2007) com relação à CTC, onde em média os solos sob a vegetação de Restinga Alta apresentou os maiores valores; porém, o contrário para a SB foi observado pelo mesmo autor, onde os solos sob a vegetação de Restinga Baixa apresentou valores superiores em comparação os solos sob a vegetação de Restinga Alta.

De modo geral, os valores observados indicam que os solos são pobres de nutrientes, principalmente, por causa da granulometria, onde a CTC e SB estão intimamente relacionadas com os teores de argila (baixos valores para todos os locais) e MO.

6.2 Concentração de C no solo

Os valores de C no solo apresentaram uma maior concentração na camada superficial (5 cm), diminuindo em profundidade. Isto aconteceu por que é nesta camada que ocorre a deposição da serapilheira e conseqüentemente maior acúmulo de matéria orgânica.

Comparando-se as áreas de RA, a que apresentou as maiores concentrações de C em superfície (0-5cm) foi a IAn, com valor de $43,07 \text{ g.kg}^{-1}$ (tabela 2); seguida pelo Npi, que foi igual estatisticamente à Juréia e não diferiu da ICd e IComp. Martins (2010) encontrou um valor de $31,8 \text{ g.kg}^{-1}$ para RA no NPi, semelhante aos valores para a vegetação da RA encontrados neste trabalho.

Em relação aos solos sob a vegetação de RB, o local que apresentou a maior concentração de C em superfície foi IComp; seguida de IAn, que foi igual à Jur que por sua vez foram diferentes para Npi e ICd.

Tabela 2 – Concentração de Carbono no perfil do solo. Os valores representam a média (n=5) $\pm$ desvio padrão (Teste t; $p < 0,05$). Letras minúsculas na coluna referem-se à estatística ao longo do perfil e letras maiúsculas na linha referem-se à estatística de comparação local x vegetação (teste t; $p < 0,05$)

Prof. (cm)		C (g kg ⁻¹)				
Ilha Comprida		RA		RB	Dun	
	0-5	15,85 ±6,59aB		24,90 ±14,107A	4,34 ±2,07aC	
	5-10	12,11 ±1,48a		15,80 ±4,65b	3,17 ±2,05b	
	10-15	10,04 ±3,85a		11,44 ±3,10ab	2,72 ±1,24b	
	15-20	7,89 ±2,25a		6,23 ±3,74c	2,59 ±1,55b	
Ilha do Cardoso		RA	RT	RB	Dun	
	0-5	14,46 ±5,99aB	15,58 ±6,91aA	8,22 ±4,02aC	3,59 ±0,28aD	
	5-10	9,04 ±4,00ab	8,88 ±2,85b	6,41 ±2,57ab	3,60 ±0,40a	
	10-15	4,71 ±2,22ab	4,91 ±1,93c	3,49 ±1,32b	2,94 ±0,77a	
	15-20	3,21 ±2,54b	2,73 ±1,47c	2,76 ±1,09b	2,03 ±0,328	
Jureia		RA		RB	Esc	Dun
	0-5	24,03 ±16,90aA		13,13 ±10,69aB	0,42 ±0,07aC	0,27 ±0,03aC
	5-10	13,08 ±8,57b		10,69 ±4,21ab	0,39 ±0,09a	0,25 ±0,11a
	10-15	12,11 ±688b		6,41 ±4,68bc	0,37 ±0,04a	0,23 ±0,03a
	15-20	9,08 ±3,01b		3,99 ±0,86c	0,52 ±0,65a	0,28 ±0,107
Nucleo Picinguaba		RA		RB		
	0-5	29,09 ±12,64aA		12,32 ±4,13aB		
	5-10	29,08 ±10,37a		8,58 ±1,72ab		
	10-15	17,93 ±7,39b		4,82 ±2,52bc		
	15-20	12,70 ±7,75b		3,08 ±1,47c		
Ilha Anchieta		RA	RT	RB		
	0-5	43,07 ±14,84aA	37,33 ±6,49aA	17,79 ±9,04bcB		
	5-10	29,62 ±8,72b	43,30 ±11,13a	18,81 ±8,74a		
	10-15	22,90 ±5,98ab	37,79 ±11,59a	12,83 ±3,86ab		
	15-20	15,59 ±5,25c	27,86 ±11,58b	6,85 ±1,39d		

* NPi – Núcleo Picinguaba; IAn = Ilha Anchieta; ICd = Ilha do Cardoso; IComp = Ilha Comprida; Jur = Juréia

As diferenças obtidas entre os teores nos solos sob a vegetação de Restinga Alta entre os diferentes locais se deve, provavelmente, a maior densidade vegetal encontrada. Analisando separadamente as áreas de estudo, os locais presentes no Litoral Norte (NPi e IAn) apresentaram os maiores valores em comparação aos locais do Litoral Sul do Estado de São Paulo (ICd, IComp e Jur). Para o NPi e IAn, foram obtidos valores de 43,07 e 29,09 g kg⁻¹, respectivamente, enquanto que para ICd, IComp e Jur foram encontrados valores de 14,46, 15,85 e 24,03 g kg⁻¹, respectivamente (tabela 2).

Analisando-se os resultados médios de C, pode-se observar que entre o gradiente de vegetação, onde o solo sob a vegetação de RA apresenta a maior concentração de C no solo, seguida o solo sob a vegetação de RB e este seguida pela Dun, exceto no solo sob a vegetação de IComp que a RB apresentou teores maior que o solo sob a vegetação de RA. Esta tendência de maiores concentrações para as áreas de vegetações mais densas era esperada, porque a RA é uma vegetação que apresenta normalmente um maior porte arbóreo e uma maior diversidade vegetal; assim, com o aumento da densidade desta vegetação, ocorre uma maior deposição e acúmulo da serapilheira na superfície do solo que reflete nas maiores concentrações do C no solo.

A diferença que ocorre entre os teores de C no solo sob a vegetação de RA entre os locais e também em comparação aos solos sob a vegetação de RB pode ter ocorrido por causa das diferença do período de regeneração da vegetação (tabela 10) que quanto mais tempo a vegetação está em regeneração maior será os seus teores ou então pela possibilidade de ocorrer uma diferença na pluviosidade e/ou precipitação, por menor que seja a diferença esta pode estar diretamente ligada nos resultados.

Pinto (1998) verificou que existe um gradiente crescente relacionado à diversidade na vegetação na Ilha do Cardoso, porém REIS-DUARTE (2004) em levantamentos realizados observou que nos solos sob as vegetações de Restinga Baixa apresenta similaridade nas espécies encontradas, porém é possível a diferença nas espécies existentes nos locais de estudo juntamente com a diferença da densidade da vegetação pode estar intimamente ligada com as diferenças encontradas, assim os solos sob a vegetação de RA apresentaram os maiores resultados comparados com os solos sob a vegetação de RB, exceto na IComp.

A MOS da Dun apresentou as menores concentrações de C tanto ao longo do perfil quanto na superfície, se comparado com outras vegetações. Isto já era esperado porque a vegetação de Dun apresentava uma menor biomassa em sua superfície e, portanto, menor quantidade de material em decomposição e consequentemente menor concentração de C no solo. Esta só foi semelhante ao Esc, encontrada na Jur, onde esta é uma vegetação transitória entre Dun e RB.

Martins (2010), analisando o gradiente altitudinal na Mata Atlântica na região de Ubatuba, encontrou resultados de C na MOS que variavam de $31,8 \text{ g kg}^{-1}$ em áreas de vegetação de Restinga, $45,9 \text{ g kg}^{-1}$ na Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, $58,9 \text{ g kg}^{-1}$ na Floresta Ombrófila Submontana e $91,5 \text{ g kg}^{-1}$ na Floresta Ombrófila Densa Montana, onde

todos esses valores são da camada superficial (0-5 cm), assim como Balbinot (2009) encontrou valores de $35,8 \text{ g kg}^{-1}$ em Floresta Ombrófila Densa Submontana (Antonina-PR). Deste modo, pode-se verificar que mesmo a Restinga apresenta valores inferiores a outras vegetações em estudos realizadas na Mata Atlântica.

Um dos motivos que pode explicar a baixa concentração C no solo das áreas estudadas, comparado com outros estudos realizadas na Mata Atlântica, é o tipo de solo, onde nesta os solos são classificados como Neossolo Quartzarênico para NPi e Espodossolo para as outras áreas (ICd, ICom, Jur e IAn). Todos esses solos possuem teores altos de areia (tabela 1) enquanto que os solos estudados por Martins (2010), como por Balbinot (2009), foram classificados como Cambissolos, que possuem teores de argila que variam de 15 a 32%. Como o C tende a se fixar na fração argila do solo, este pode ser um dos motivos pelo qual a concentração de C no solo foi inferior aos outros estudos na Mata Atlântica. Outro motivo que também contribuiu para que as outras vegetações apresentassem maiores concentrações deste nutriente se deve à maior densidade da vegetação, porque a Floresta Ombrófila Densa apresenta um maior porte arbóreo e também uma maior densidade da vegetação, que reflete na maior deposição de serapilheira, refletindo na concentração do C no solo.

A relação C/N dos solos estudados apresentou, na maioria das vegetações, a mesma tendência da maior relação nas camadas superficiais e ocorrer uma diminuição em profundidade (Figura 10).

Figura 10 - Relação C/N da MOS camada de 0 a 20 cm nas áreas sob diferentes vegetações. Os valores representam a média (n=5). Onde RA = Restinga Alta; RT = Restinga de Transição; RB = Restinga Baixa; Esc = Escrube; Dun = Duna

IAn foi a área que apresentou os maiores valores para a relação C/N, sendo que na RA foram encontrados valores de aproximadamente 30 (0-5cm).

Observa-se na Figura 10 que os solos sob as vegetações de Duna apresentaram a menor relação C/N de todas as áreas estudadas, exceto na Juréia, onde o solos sob o Escrube apresentou a menor relação. Isto ocorre porque a vegetação de Dun caracteriza-se por uma

vegetação rasteira com pouco material em decomposição, onde mesmo os valores de N no solo sendo muito baixos, as concentrações de C no solo são muito baixas também, o que reduz a relação C/N. Na vegetação de Dun na IComp, foram encontrados valores de 15 em superfície; porém, na camada de 5 cm há uma redução na relação que C/N que neste local (Dun na IComp), onde foi encontrado relação C/N abaixo de 10.

6.3 Concentração de N no solo

De uma maneira geral, nos solos de os todos os locais e vegetações estudadas houve decréscimo da concentração de N no perfil do solo devido à maior concentração de MO na camada superficial (0-5 cm).

Analisando o N (g kg^{-1}) para os solos sob a vegetação de RA em todos os locais, pode-se observar que os solos do NPi e IAn a camada até 10 cm é diferente estatisticamente da camada até 20 cm, enquanto que para os solos da ICd, ICom e Jur não houve diferença ao longo do perfil estudado. Para os solos sob a vegetação de RT (ICd e IAn), houve tendência de decréscimo em profundidade, onde a camada superficial (5cm) apresentou os maiores valores.

De todas as vegetações estudadas, os solos sob a vegetação de Dun foi a que apresentou os menores valores de N no solo, sendo que os solos da ICd e Jur não houve diferença entre as camadas estudadas, e no solo da IComp a camada superficial (0-5 cm) apresentou o maior valor em comparação ao longo do perfil. O solo sob a vegetação de Esc, encontrado somente na Jur, não apresentou diferença ao longo de todo o perfil estudado, sendo que os valores variaram de $0,25 \text{ g kg}^{-1}$ na superfície até $0,16 \text{ g kg}^{-1}$ em 15-20 cm (Tabela 3).

Tabela 3 - Concentração de Nitrogênio no perfil do solo. Os valores representam a média (n=5) $\pm$ desvio padrão (Teste t; $p < 0,05$). Letras minúsculas na coluna referem-se à estatística ao longo do perfil e letras maiúsculas na linha referem-se à estatística comparação local x vegetação (Teste t $p < 0,05$)

Prof. (cm)		N (g kg ⁻¹)				
Ilha Comprida		<i>RA</i>		<i>RB</i>	<i>Dun</i>	
	0-5	0,76 ±0,23aB		1,03 ±0,51aA	0,54 ±0,29aB	
	5-10	0,62 ±0,06a		0,70 ±0,15b	0,39 ±0,01b	
	10-15	0,53 ±0,17a		0,52 ±0,10bc	0,34 ±0,13b	
	15-20	0,41 ±0,1a		0,31 ±0,15c	0,36 ±0,07b	
Ilha do Cardoso		<i>RA</i>	<i>RT</i>	<i>RB</i>	<i>Dun</i>	
	0-5	0,64 ±0,17aA	0,67 ±0,28aA	0,38 ±0,17aB	0,41 ±0,02aB	
	5-10	0,46 ±0,15a	0,38 ±0,11b	0,31 ±0,11ab	0,41 ±0,02a	
	10-15	0,36 ±0,11a	0,22 ±0,08bc	0,18 ±0,05b	0,38 ±0,05a	
	15-20	0,31 ±0,15a	0,12 ±0,06c	0,15 ±0,05b	0,33 ±0,01a	
Jureia		<i>RA</i>		<i>RB</i>	<i>Esc</i>	<i>Dun</i>
	0-5	0,90 ±0,40aA		0,61 ±0,43aB	0,25 ±0,01aC	0,03 ±0,05aC
	5-10	0,70 ±0,42a		0,51 ±0,18ab	0,20 ±0,01a	0,03 ±0,01a
	10-15	0,63 ±0,32a		0,33 ±0,22bc	0,16 ±0,11a	0,03 ±0,01a
	15-20	0,50 ±0,16a		0,22 ±0,13c	0,16 ±0,12a	0,05 ±0,01a
Nucleo Picinguaba		<i>RA</i>		<i>RB</i>		
	0-5	1,89 ±0,82aA		0,92 ±0,32aB		
	5-10	1,93 ±0,63a		0,69 ±0,16ab		
	10-15	1,22 ±0,51b		0,41 ±0,21b		
	15-20	0,87 ±0,52b		0,27 ±0,13b		
Ilha Anchieta		<i>RA</i>	<i>RT</i>	<i>RB</i>		
	0-5	1,40 ±0,39aA	1,38 ±0,24aA	0,71 ±0,31aB		
	5-10	0,99 ±0,27ab	1,60 ±0,38a	0,81 ±0,34a		
	10-15	0,82 ±0,20b	1,40 ±0,38a	0,57 ±0,18ab		
	15-20	0,59 ±0,12b	1,05 ±0,39b	0,32 ±0,06b		

* NPi – Núcleo Picinguaba; IAn = Ilha Anchieta; ICd = Ilha do Cardoso; IComp = Ilha Comprida; Jur = Juréia.

Martins (2010), em estudo realizado em Restinga (Núcleo Picinguaba, Ubatuba), encontrou valores na camada superficial (5 cm) de $1,8 \text{ g kg}^{-1}$, sendo muito próximos do valor encontrado neste estudo para o solos sob a vegetação de RA. Neste mesmo estudo, em diferentes vegetações da Mata Atlântica, os teores de N no solo (0-5 cm) variaram de $3,4 \text{ g kg}^{-1}$ (Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas) até $6,8 \text{ g kg}^{-1}$ (Floresta Ombrófila Densa Montana). Os solos para essas fitofisionomais ao longo do gradiente foram classificados como Cambissolos e apresentaram teores de argila muito superiores em comparação aos solos de Restinga.

Os solos do presente estudo foram classificados como Neossolos Quartzarênicos para o NPi e para as outras áreas estudadas foram classificados como Espodossolo. Observa-se que o solo sob a vegetação de Restinga é particular em comparação às outras vegetações encontradas na Mata Atlântica por se desenvolverem em solos pobres naturalmente e com teores baixos de argila.

O gradiente de vegetação por local apresentou diferenças entre os solos sob as restingas. Para todos os locais, a concentração de N no solo na RA foi maior em comparação à RB, exceto na IComp. Isto ocorreu, provavelmente, por que os solos sob a vegetação de RA apresentaram maior concentração de serapilheira sobre o solo. O solo sob a vegetação de Dun apresentou os menores teores de N no solo, devido à menor quantidade de material vegetal em decomposição na superfície do solo, refletindo as baixas concentrações deste nutriente no perfil do solo.

De acordo com os resultados encontrados, pode-se concluir que, com a maior densidade da vegetação, ocorre um aumento na quantidade da matéria orgânica disponível no solo e, conseqüentemente, as maiores concentrações de N. É importante salientar que os solos sob a vegetação de RA apresentaram teores semelhantes estatisticamente com os solos da RT, como no caso da RA da IAn, que apresentou valor de $1,40$ e $1,38 \text{ g kg}^{-1}$ para RT (tabela 4). Com esses resultados estima-se que a RT possui uma densidade vegetacional mais próxima da RA, tanto para IAn como para a ICd, onde foram os únicos locais em que foram amostradas a RT.

Tabela 4 - Concentração de Nitrogênio e Carbono na camada de 5 cm do solo. Os valores representam a média (n=5) $\pm$ desvio padrão. Letras iguais indicam que não existem diferenças significativas entre as áreas estudadas (Teste t, $p < 0,05$)

Local	N	C	C/N
... g kg ⁻¹ ...			
RA			
NPi	1,89 ± 0,82a	29,09 ± 12,64b	15,79 ± 1,12c
IAn	1,40 ± 0,39a	43,07 ± 14,84a	30,85 ± 2,21a
ICd	0,64 ± 0,17b	14,46 ± 5,99c	21,96 ± 2,63b
IComp	0,76 ± 0,23b	15,85 ± 6,59c	20,52 ± 2,68b
Juréia	0,90 ± 0,40b	24,03 ± 16,90bc	19,72 ± 2,05b
RT			
ICd	0,67 ±0,28b	15,58 ±6,91b	23,05 ±1,10b
IAn	1,38 ±0,24a	37,33 ±6,49a	26,98 ±0,32a
RB			
NPi	0,92 ±0,27ab	12,32 ±4,13c	13,23 ±1,12c
IAn	0,71 ±0,31bc	17,79 ±9,04b	25,19 ±2,21a
ICd	0,38 ±0,17d	8,22 ±4,02c	21,02 ±2,63b
IComp	1,03 ±0,51a	24,90 ±14,07a	23,40 ±2,68a
Juréia	0,61 ±0,43cd	13,13 ±10,69bc	20,55 ±2,05b
Dun			
Icd	0,41 ±0,02a	3,59 ±0,28b	8,71 ±0,38b
Icomp	0,54 ±0,29a	4,34 ±2,07a	12,40 ±5,65a
Juréia	0,27 ±0,04b	0,27 ±0,03c	7,32 ±3,34b

* NPi – Núcleo Picinguaba; IAn = Ilha Anchieta; ICd = Ilha do Cardoso; IComp = Ilha Comprida; Jur = Juréia.

Para os diferentes locais pode-se observar que cada vegetação apresentou valores distintos (tabela 4), indicando que cada local apresenta particularidades que podem interferir nos resultados encontrados.

Os solos sob as vegetações de Dun, com relação aos teores de N no solo, apresentaram valores estatisticamente semelhantes na ICd e IComp, onde diferiram em comparação com a Juréia (Tabela 4).

Pelos resultados obtidos para os solos sob RA, o NP_i como a IAN são semelhantes para os teores de N no solo, enquanto que estas duas diferem estatisticamente das outras áreas estudadas. NP_i e IAN apresentaram valores superiores a 1 g kg⁻¹, enquanto que ICd, IComp e Jur apresentaram valores abaixo de 1 g kg⁻¹ (Tabela 4). A mesma tendência não foi observada para a vegetação de RB, uma vez que a maior concentração de N ocorreu na IComp (1,03 g kg⁻¹). A ICd foi o local que apresentou os menores teores de N no solo (0-5 cm) encontrado 0,38 g kg⁻¹).

Devido a textura arenosa dos solos e o menor aporte de fitomassa, ocorre um menor retorno de N ao solo, onde os valores encontrados são baixos quando comparados com outras vegetações da Mata Atlântica (MARTINS, 2010). Balbinot (2009), em um estudo realizado em uma Floresta Ombrófila Densa Submontana (Antonina-PR), encontrou teores médios de N no solo (0-5 cm) de 2,8 g kg⁻¹. A granulometria dos solos como a diferença da vegetação dos estudos citados foram os principais fatores que contribuíram para a diferença de valores encontrados quando comparados com este projeto.

6.4 Valores de $\delta^{13}\text{C}$ dos solos

Observa-se um enriquecimento em profundidade do $\delta^{13}\text{C}$ para todas as áreas e vegetações. Segundo Martinelli et al (2009), o valor do isótopo do C da MOS aumenta de acordo com o aumento da profundidade do solo, onde geralmente o aumento entre a camada superficial e as camadas mais profundas é cerca de 3 a 4‰.

Tabela 5 - Variação do $\delta^{15}\text{C}$ do perfil do solo (n=5). Os valores representam a média (n=5) $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas na coluna referem-se à estatística ao longo do perfil e letras maiúsculas na linha referem-se à estatística em comparação vegetação x local (Teste t p<0,05)

Prof. (cm)		$\delta^{13}\text{C}$ (‰)				
Ilha Comprida		<i>RA</i>		<i>RB</i>	<i>Dun</i>	
	0-5	-28,52 $\pm$ 0,34bB		-28,27 $\pm$ 0,35aB	-27,34 $\pm$ 0,37aA	
	5-10	-28,40 $\pm$ 0,46b		-28,04 $\pm$ 0,44a	-26,64 $\pm$ 0,81a	
	10-15	-27,79 $\pm$ 0,39a		-28,03 $\pm$ 0,42a	-26,17 $\pm$ 0,15a	
	15-20	-27,75 $\pm$ 0,42a		-27,63 $\pm$ 0,33a	-26,08 $\pm$ 0,98a	
Ilha do Cardoso		<i>RA</i>	<i>RT</i>	<i>RB</i>	<i>Dun</i>	
	0-5	-29,01 $\pm$ 0,18cB	-27,86 $\pm$ 0,52bC	-28,11 $\pm$ 0,48bB	-22,27 $\pm$ 1,44aA	
	5-10	-28,78 $\pm$ 0,13bc	-27,60 $\pm$ 0,65ab	-28,22 $\pm$ 0,27ab	-21,84 $\pm$ 1,32a	
	10-15	-28,40 $\pm$ 0,46ab	-27,17 $\pm$ 0,78a	-28,40 $\pm$ 0,28ab	-22,08 $\pm$ 0,62a	
	15-20	-28,06 $\pm$ 0,64a	-27,38 $\pm$ 0,55ab	-28,52 $\pm$ 0,45 ^a	-21,96 $\pm$ 0,32a	
Jureia		<i>RA</i>		<i>RB</i>	<i>Esc</i>	<i>Dun</i>
	0-5	-28,72 $\pm$ 0,33aB		-28,87 $\pm$ 0,56aB	-23,76 $\pm$ 1,51aA	-23,18 $\pm$ 0,83aA
	5-10	-28,37 $\pm$ 0,34a		-28,76 $\pm$ 0,46a	-23,16 $\pm$ 1,16a	-22,07 $\pm$ 1,98a
	10-15	-28,46 $\pm$ 0,25a		-28,55 $\pm$ 0,42a	-23,81 $\pm$ 1,62a	-22,21 $\pm$ 0,74a
	15-20	-28,35 $\pm$ 0,55a		-28,12 $\pm$ 0,41a	-24,10 $\pm$ 1,18a	-23,41 $\pm$ 1,75a
Nucleo Picinguaba		<i>RA</i>		<i>RB</i>		
	0-5	-28,31 $\pm$ 0,25dA		-27,66 $\pm$ 1,11bA		
	5-10	-27,74 $\pm$ 0,33c		-27,04 $\pm$ 0,82a		
	10-15	-27,17 $\pm$ 0,66b		-26,59 $\pm$ 0,86a		
	15-20	-26,67 $\pm$ 0,75a		-26,68 $\pm$ 0,75a		
Ilha Anchieta		<i>RA</i>	<i>RT</i>	<i>RB</i>		
	0-5	-28,67 $\pm$ 0,4aA	-28,40 $\pm$ 0,65aA	-28,52 $\pm$ 0,3aA		
	5-10	-28,38 $\pm$ 0,25a	-28,08 $\pm$ 0,38a	-28,68 $\pm$ 0,36a		
	10-15	-28,47 $\pm$ 0,21a	-27,97 $\pm$ 0,32a	-28,64 $\pm$ 0,48a		
	15-20	-28,22 $\pm$ 0,32a	-27,95 $\pm$ 0,38a	-28,28 $\pm$ 0,63a		

De acordo com os resultados obtidos (figura 11) para os solos sob as vegetações de RA, RT e RB o $\delta^{13}\text{C}$ apresentaram valores que são característicos de plantas do ciclo fotossintético C3. Vidotto (2008), em estudo sobre solos sob vegetação de Restinga na Icd, encontrou valores que variavam de -27,6 a -28,8 ‰, enquanto que Balbinot (2009), para vegetações de Mata Atlântica, encontrou valores que variavam de -31,7 ‰ nas folhas, para plantas da família *Arecaceae*, à -29,1 ‰ para plantas da família *Euphorbiaceae*. Todos os valores encontrados para essas vegetações são características de florestas, e se assemelham com os resultados encontrados neste estudo.

Nos solos sob a vegetação de RA na IComp, ICd e NPi houve diferença estatística entre as camadas, onde na camada de 0-5 cm no solo da RA no Núcleo Picinguaba foram obtidos valores de -28,31‰ até -26,67‰ (tabela 5). A diferença entre as camadas dos solos sob as vegetações de algumas áreas também tiveram algumas diferenças estatísticas significativas, porém mesmo com estas diferenças estatística entre as camadas a MOS é basicamente formada por plantas C3.

Estes valores encontrados para a vegetação de Restinga estão em concordância com outros trabalhos realizados da Mata Atlântica (BALBINOT, 2009; MARTINS, 2010; VIDOTTO, 2008).

Pode ser observado que ocorreu o enriquecimento isotópico em todas as vegetações em todos os locais amostrados (figura 11).

Figura 11 - Variação do $\delta^{13}\text{C}$ das áreas estudadas na camada até 20 cm de profundidade. Os valores representam a média (n=5)

Tabela 6 - Variação do $\delta^{15}\text{N}$ (‰), $\delta^{13}\text{C}$ (‰) na camada de 5 cm do solo (n=5). Os valores representam a média $\pm$ desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as áreas estudadas (Teste t, $p < 0,05$)

Local	$\delta^{15}\text{N}$... ‰ ...	$\delta^{13}\text{C}$... ‰ ...
RA		
NPi	3,00 $\pm$ 0,39ab	-28,31 $\pm$ 0,25a
IAn	4,05 $\pm$ 0,63a	-28,67 $\pm$ 0,4ab
ICd	2,35 $\pm$ 0,98bc	-29,01 $\pm$ 0,18b
IComp	1,45 $\pm$ 0,71c	-28,52 $\pm$ 0,34ab
Jureia	1,60 $\pm$ 0,73c	-28,72 $\pm$ 0,33ab
RT		
ICd	2,83 $\pm$ 1,81a	-28,14 $\pm$ 0,48a
IAn	3,78 $\pm$ 1,16a	-28,52 $\pm$ 0,3a
RB		
NPi	0,64 $\pm$ 0,46b	-27,66 $\pm$ 1,1a
IAn	3,91 $\pm$ 0,69a	-28,40 $\pm$ 0,56cb
ICd	1,82 $\pm$ 0,75a	-27,86 $\pm$ 0,52ab
IComp	-0,55 $\pm$ 0,52b	-28,27 $\pm$ 0,35abc
Jureia	2,82 $\pm$ 1,16a	-28,87 $\pm$ 0,65c
Dun		
Icd	4,20 $\pm$ 1,93a	-22,27 $\pm$ 1,44a
Icomp	-1,23 $\pm$ 0,55c	-27,34 $\pm$ 0,37c
Jureia	1,83 $\pm$ 0,85b	-23,77 $\pm$ 1,51b

O $\delta^{13}\text{C}$ da MOS para a vegetação de Dun (ICd e Jur) apresentaram valores distintos das outras vegetações. Enquanto que na média o valor isotópico encontrado nos solos indicavam predominância de plantas C3 com valor de -28 ‰ em média, nestes 2 locais foram encontrado valores de -22,27 ‰ e -23,77 ‰ (tabela 6) para Dun na Ilha do Cardoso e Juréia, respectivamente.

Como os solos sob vegetação de Dun na Jur apresentam pH que variou de 6,46 em superfície (0-5cm) até 6,30 na camada de 15-20 cm (tabela 1), em comparação as outras áreas

este pH foi mais elevado. O pH desse local foi mais elevado, provavelmente, por causa do carbonato de cálcio proveniente da grande presença de conchas que foi observado. Com esta observação podemos interpretar que as conchas nos solos sob esta vegetação e neste local podem estar influenciando diretamente no valor isotópico, onde em estudos de Hendry (1997) e Calippo (201) os valores isotópicos das conchas podem apresentar valores que variam desde 3,0‰ a -1,4‰, visto que nos solos sob das vegetações de Duna na Jur apresentou sinal médio de -22 ‰ (Tabela 8).

Para verificar se o sinal isotópico está sendo influenciado pelas conchas, deve ser necessário pegar uma amostra de solo, realizar um processo de adição de ácido clorídrico (HCl) para retirada de todo carbono inorgânico da amostra, depois de seca esta amostra deve ser analisada no espectômetro de massa e verifica se houve alteração no valor do C e também de seu isótopo.

Caso haja uma alteração no valor isotópico e este volte apresentar resultados tendendo a plantas C3 pode-se concluir que o C proveniente das conchas está afetando diretamente o sinal isotópico do solo, caso não ocorra mudança significativa do sinal isotópico neste local há a presença de plantas CAM que estarão contribuindo para a MO do solo neste local.

No caso da Dun na ICd não ocorreu a mesma tendência do pH mais básico. Neste local os solos apresentaram pH ácido de aproximadamente 3,85 (tabela 1), porém o sinal isotópico se assemelhou dos solos de Dun da Jur. Isto, possivelmente, ocorre porque neste local as conchas e/ou bivalves apresentam uma composição diferente de carbonato de cálcio, que não tem o efeito para efetuar a elevação do pH. Deve ser realizado o mesmo processo de adição de ácido citado anteriormente e depois análise do solo tratado. Caso o sinal isotópico volta para, aproximadamente, -28 ‰ indica que os restos de conchas estão influenciando o sinal isotópico, caso mantenha o valor este revela que há presença de plantas CAM que ajuda no enriquecimento isotópico. O mesmo processo e interpretação pode ser utilizado para explicar o valor isotópico encontrado nos solos de Esc da Jur.

Gráfico 1 – Contribuição de plantas CAM para a matéria orgânica do solo nas vegetações de Duna da Ilha do Cardoso e da Juréia.

Caso o processo de adição de ácido clorídrico não afeta o valor do isótopo do $\delta^{13}\text{C}$, há presença de plantas CAM que contribuem para a matéria orgânica dos solos sob a vegetação e Dun na ICd e Jur. Com este hipótese pode-se observar que a MOS é composta basicamente por plantas CAM, onde a matéria orgânica nos solos sob Dun da ICd são formados por 96,74% de plantas CAM enquanto que na Jur a MOS composta por CAM é de 78,65% (gráfico 1).

Os resultados para o isótopo sugerem 2 alternativas, que nas Dun da ICd e Jur o isótopo é afetado pelas conchas disponíveis nesses locais ou pela presença de plantas CAM. O processo de adição de HCl será realizado a posterior em análises complementares a este projeto.

6.5 Valores de $\delta^{15}\text{N}$ dos solos

Ao longo do perfil ocorreu um enriquecimento do $\delta^{15}\text{N}$ em profundidade para todas as áreas estudadas. O enriquecimento do ^{15}N em profundidade ocorre porque na camada superficial há maior concentração e adição de MO das plantas e normalmente o sinal

isotópico do $\delta^{15}\text{N}$ é menor do que encontrado na MOS, com os processos de reações do N, que seria a transformação do N orgânico para o N mineral, assim, com as reações de mineralização, nitrificação, desnitrificação e volatilização ocorre o enriquecimento do ^{15}N , como a MO mais velha migra para as camadas mais profundas, aumenta a proporção de formas inorgânicas que são mais enriquecidas isotopicamente (BALBINOT, 2009; MARTINELLI et al., 2009; MARTINS, 2010).

Tabela 7 - Variação do $\delta^{15}\text{N}$ do perfil do solo (n=5). Os valores representam a média (n=5) $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas na coluna referem-se à estatística ao longo do perfil e letras maiúsculas na linha referem-se à estatística em comparação vegetação x local (Teste t $p < 0,05$)

Prof. (cm)		$\delta^{15}\text{N}$ (‰)				
Ilha Comprida		<i>RA</i>		<i>RB</i>	<i>Dun</i>	
	0-5	1,45 ±0,71acA		-0,55 ±0,52bB	-1,23 ±0,55bB	
	5-10	2,09 ±0,68bc		0,14 ±0,31b	0,59 ±1,73ab	
	10-15	2,98 ±0,98ab		0,58 ±0,24b	1,36 ±1,64ab	
	15-20	3,69 ±1,84a		2,74 ±1,02a	1,80 ±2,26a	
Ilha do Cardoso		<i>RA</i>	<i>RT</i>	<i>RB</i>	<i>Dun</i>	
	0-5	2,35 ±0,98cB	2,83 ±1,81cB	1,82 ±0,75bC	4,20 ±1,93bA	
	5-10	3,80 ±0,67b	4,07 ±1,95b	3,10 ±0,28ab	5,62 ±1,44a	
	10-15	5,79 ±0,96a	6,05 ±1,34a	4,26 ±0,63a	5,98 ±0,67a	
	15-20	5,17 ±0,84a	6,18 ±0,97a	4,64 ±0,86a	5,74 ±0,6a	
Juréia		<i>RA</i>		<i>RB</i>	<i>Esc</i>	<i>Dun</i>
	0-5	1,60 ±0,73bB		2,82 ±1,98cAB	3,89 ±1,89aA	1,83 ±0,85aB
	5-10	2,80 ±0,81ab		3,06 ±1,58bc	4,22 ±1,12a	2,41 ±0,93a
	10-15	3,10 ±0,81a		4,27 ±1,47ab	4,44 ±0,96a	2,88 ±0,38a
	15-20	3,50 ±0,86a		5,26 ±1,2a	4,69 ±1,02a	3,40 ±2,09a
Núcleo Picinguaba		<i>RA</i>		<i>RB</i>		
	0-5	3,00 ±0,39aA		0,64 ±0,46cB		
	5-10	3,56 ±0,61c		1,58 ±0,43bc		
	10-15	4,46 ±0,70b		2,55 ±0,42ab		
	15-20	5,52 ±1,01a		3,13 ±0,51a		
Ilha Anchieta		<i>RA</i>	<i>RT</i>	<i>RB</i>		
	0-5	4,05 ±0,63bA	3,78 ±1,16bA	3,91 ±0,69aA		
	5-10	4,51 ±0,44ab	4,44 ±0,5ab	3,97 ±0,99a		
	10-15	4,84 ±0,49ab	4,84 ±0,29ab	4,14 ±1,01a		
	15-20	5,41 ±0,85a	5,45 ±0,67a	4,57 ±1,29a		

Observa-se que os resultados encontrados em superfície são baixos, sendo que a variação foi de -1,23 a 4,05‰ (tabela 7). Com os baixos teores de N já encontrados e citados anteriormente, e com os baixos teores de ^{15}N pode-se deduzir que os solos possuem limitação com relação ao N no solo e os valores isotópicos encontrados indicam que o ciclo do N é extremamente fechado, complementando a limitação do N para todas as vegetações estudadas.

Martins (2010), em estudo nos solos de Restinga encontrou os valores mais baixos de $\delta^{15}\text{N}$ entre os solos das diferentes vegetações estudadas da Mata Atlântica, sendo que nesta vegetação foi encontrado valores de aproximadamente 2,0‰ em superfície (5 cm).. Valores semelhantes foram encontrados por Duarte et al (2005), em análise de folhas de plantas de Restinga (Arrial do Cabo-RJ) de aproximadamente 1,6‰. A análise de serapilheira da RA para o NPi encontrou valores de 0,71‰ (tabela 8), sendo que em todos os locais os valores de $\delta^{15}\text{N}$ da serapilheira são menores em relação aos encontrados nos solos. Normalmente há uma diferença do valor isotópico do solo em relação à serapilheira, conforme obtido neste projeto.

Analisando as vegetações por local, em todos os locais os solos sob a vegetação de RA apresentou valores mais elevados os solos sob vegetação de RB, conforme pode ser observado na NPi que o solos sob a RA teve valor de 3‰ enquanto que o solos sob a RB teve valor de 0,64‰.

Na ICd, o solos sob a vegetação de Dun foi a que apresentou os valores de ^{15}N (4,2‰), seguida da RT que é igual estatisticamente da RA e estas diferem da RB. O solo sob a vegetação de RB apresentou em média os menos valores do $\delta^{15}\text{N}$ porque esses locais são mais propensos a alagamentos sazonais no período de chuva. Isso facilita o encharcamento desses solos, pois a saturação dos solos com água inibe as reações de mineralização, nitrificação e desnitrificação, deixando os solos menos empobrecidos isotopicamente. Outro fator que contribui também é que o solo está refletindo o sinal isotópico da vegetação.

Os solos sob as vegetações de RB e Dun (Ilha Comprida) apresentaram valores negativos em superfícies, o que contradiz Martinelli et al (2009), que não havia encontrado valores negativos de $\delta^{15}\text{N}$ para solos tropicais. Martins (2010), estudando a serapilheira da vegetação de Restinga no Npi, encontrou valores negativos de $\delta^{15}\text{N}$, por este ser um ambiente limitado de N. Em revisão de trabalhos realizado por Martinelli et al (2009) para espécies da Mata Atlântica Estacionária e Mata Atlântica Densa, os valores mínimos foliares encontrados foram de -1,29 e -0,63‰ (tabela 8), o que ajuda a explicar sinal isotópico negativo encontrado

na RB. Valores negativos para os solos sob a vegetação de Dun também foram obtidos por Russow et al (2004) na camada superficial (5 cm).

Realizando a comparação do gradiente de vegetação por cada local, para os solos sob a vegetação de RA na IAn foi a que apresentou os maiores valores sendo igual estatisticamente com o NPi, indicando que nesses 2 locais ocorre o ciclo mais aberto de N se comparado as outras áreas. As duas áreas que foram amostrados os solos sob a RT foram encontrados valores iguais aos das RA

O solo que apresentou os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ foi sob a vegetação de RB, onde mesmo apresentando uma vegetação mais desenvolvida em comparação com o solos sob a vegetação de Dun, apresenta o ciclo de N mais fechado.

Diferentemente dito por Ometto et al (2006) que um ciclo aberto de N pode conduzir à valores elevados de $\delta^{15}\text{N}$ apesar de um número significativo de leguminosas na vegetação, neste estudo foi encontrado o oposto, onde a presença de leguminosas nessas vegetações influenciou o valor o isótopo no solo, deixando o sinal isotópico em superfície em algumas áreas próximas de 0. A contribuição da serapilheira influenciou no valor isotópico do ^{15}N no solo, principalmente no solo sob a vegetação de Dun na IComp, onde o ^{15}N na serapilheira da Dun foi de -4,94‰.

Tabela 8 – Teores médios de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ em amostras de folhas e de serapilheira sobre o solo das áreas e vegetações amostradas. Os valores representam a média (n=3)

		<i>15N</i>			<i>13C</i>		
		 ‰					
Núcleo Picinguaba	RA		RB		RA	RB	
	0,71		-5,43		-30,57	-31,31	
Ilha do Cardoso	*RA	RT	RB		*RA	RT	RB
	-2,87	-2,27	-4,85		-29,78	-32,59	-30,15
Ilha Comprida	RA		RB	Dun	RA	RB	Dun
	-1,97		-3,89	-4,97	-30,95	-30,96	-30,29
Ilha Anchieta	*RA	*RT	*RB		*RA	*RT	*RB
	0,05	-2,45	-1,41		-32,71	-32,11	-32,50

* Referente às amostras de folhas

6.6 Estoque de C e N no solo

O gráfico 2 apresenta o estoque acumulado ao longo do perfil (camada de 20 cm) de C e N para todas as áreas estudadas.

Gráfico 2 - Estoque acumulado de C no solo (0-20 cm) sob diferentes tipos de vegetação, nos locais estudados. Os valores representam a média (n=5). Letras iguais indicam não ter diferenças significativas entre as áreas estudadas (Teste t, $p < 0,05$)

O solo sob a vegetação de RA foi a que apresentou os maiores valores do estoque acumulado de C (0 - 20 cm). No NPi e IAn ,foram observados valores que variavam de, aproximadamente, 70 a 65 Mg.ha⁻¹, respectivamente. O local que apresentou os menores valores foi a ICd, que foi a área que apresentou os menor valores de C e isso se repetiu para o estoque. Os valores encontrados para o solo sob essa vegetação no NPi e IAn apresentaram valores semelhantes aos encontrados por Martins (2010) em Restinga, sendo que os valores obtidos são bem diferentes dos obtidos em solos sob outras vegetações da Mata Atlântica, onde os fatores que influenciaram essa diferença foi a baixa densidade e biodiversidade da

vegetação de Restinga em comparação com as outras vegetações e também a mineralogia dos solos (MARTINS, 2010).

Para os solos sob a vegetação de RB, as áreas de ICd, IAn e IComp são semelhantes, sendo que esta última também é semelhante aos valores encontrados na Jur e o Npi foi a área mais contrastante onde apresentou os menores resultados.

De todas as áreas estudadas, os solos sob vegetação de Dun, por possuir os menores valores de C e menor densidade vegetal, apresentou os menores valores do estoque de C ao longo do perfil, principalmente na Jur, que teve valores abaixo de $2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ C}$ (Tabela 10) em todo o perfil analisado, devido à pobreza dos teores de C nestas vegetações e em todas as áreas.

Tabela 9 – Estoque de Carbono no solo sob as diferentes vegetações. Os valores representam a média (n=5)

	Profundidade (cm)	Estoque C (Mg ha ⁻¹)				
Ilha Comprida		<i>RA</i>		<i>RB</i>	<i>Dun</i>	
	0-5	7,99		11,81	5,24	
	5-10	6,52		8,43	5,60	
	10-15	5,94		6,43	7,69	
	15-20	4,52		3,69	9,56	
Ilha do Cardoso		<i>RA</i>	<i>RT</i>	<i>RB</i>	<i>Dun</i>	
	0-5	4,11	14,69	8,56	1,85	
	5-10	3,61	13,79	14,23	3,69	
	10-15	2,54	14,02	10,65	5,20	
	15-20	2,04	10,25	6,01	6,37	
Jureia		<i>RA</i>		<i>RB</i>	<i>Esc</i>	<i>Dun</i>
	0-5	12,25		6,63	0,30	0,18
	5-10	7,15		6,28	0,30	0,33
	10-15	6,82		3,71	0,27	0,49
	15-20	5,10		2,50	0,36	0,68
Nucleo Picinguaba		<i>RA</i>		<i>RB</i>		
	0-5	10,74		5,36		
	5-10	12,26		4,54		
	10-15	11,93		3,20		
	15-20	37,63		2,33		
Ilha Anchieta		<i>RA</i>	<i>RT</i>	<i>RB</i>		
	0-5	15,21	18,08	8,26		
	5-10	19,98	14,89	10,87		
	10-15	17,98	12,36	8,45		
	15-20	14,62	9,43	4,73		

Nos solos sob todas as vegetações e em todos os locais há uma redução dos estoques por camada, exceto solos sob vegetação de RB na ICd e IAn, que houve um aumento de 8,56 Mg.ha⁻¹ a 14,23 Mg.ha⁻¹ e 8,26 Mg.ha⁻¹ a 10,87 Mg.ha⁻¹ (Tabela 10), respectivamente; porém houve diminuição do estoque das camadas seguintes.

Pode-se observar que os dados do estoque de C sob os solos sob a vegetação de RT na ICd e IAn apresentaram resultados superiores aos comparados com os solos sob a vegetação

de RA nestas localidades (gráfico 2). Isso ocorre porque a vegetação de Restinga de Transição se comporta como uma vegetação de Restinga Alta, que acaba refletindo nos resultados encontrados nos solos.

Tabela 10 – Tempo de regeneração de algumas áreas estudadas (Adaptado de SATO, 2007).

Local	Vegetação	Regeneração natural
		em anos
Núcleo Picinguaba	RA	50
	RB	20
Ilha Anchieta	RA	45-70
	RB	35
Ilha do Cardoso	RA	*
	RB	*
		*
Ilha Comprida	RA	*
	RB	35
Juréia	RA	45
	RB	45

* Histórico não obtido

Possivelmente o tempo de regeneração das vegetações interferem diretamente nos resultados obtidos. Quanto maior o tempo que a vegetação está em processo de regeneração natural, maiores são os teores e estoques de C nos solos. No solo sob vegetação de RA no Npi e na IAn onde o tempo de regeneração da vegetação é superior (tabela 10) apresentaram os maiores estoques.

Gráfico 3 - Estoque acumulado de N no solo na camada de 0-20 cm para todas as vegetações ao longo dos locais estudados. Os valores representam a média (n=5). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as áreas estudadas (Teste t, p<0,05)

O estoque acumulado de N no perfil seguiu a mesma tendência do estoque de C, onde o solo sob a vegetação de RA apresentou os maiores valores, sendo que no solo sob esta vegetação no NPi foi a área que apresentou diferença estatística para as outras, enquanto que os solos sob a vegetação de Dun foi a vegetação com os menores valores sendo que a Jur foi a que apresentou o menor estoque de N, repetindo o que ocorreu com o estoque de C.

Para o solos sob a vegetação de RA, tanto o estoque de C como o de N tiveram a mesma tendência de que os locais com as maiores concentrações desses nutrientes foram os mesmos locais que apresentaram os maiores estoques em superfície (5 cm).

Tabela 11 - Estoque de N no solo sob diferentes vegetações. Os valores representam a média (n=5)

	Prof. (cm)	Estoque N (Mg ha ⁻¹)			
		RA		RB	Dun
Ilha Comprida	0-5	0,38		0,49	0,35
	5-10	0,33		0,38	0,61
	10-15	0,31		0,29	0,84
	15-20	0,23		0,18	1,10
Ilha do Cardoso		RA	RT	RB	Dun
	0-5	0,19	0,48	0,35	0,21
	5-10	0,19	0,47	0,61	0,43
	10-15	0,20	0,50	0,48	0,62
Jureia	15-20	0,20	0,39	0,28	0,82
		RA		RB	Esc
	0-5	0,45		0,31	0,18
	5-10	0,38		0,30	0,19
Nucleo Picinguaba	10-15	0,36		0,19	0,11
	15-20	0,28		0,14	0,11
		RA		RB	
	0-5	0,72		0,41	
Ilha Anchieta	5-10	0,84		0,37	
	10-15	0,81		0,27	
	15-20	2,56		0,21	
		RA	RT	RB	
Ilha Anchieta	0-5	0,56	0,60	0,33	
	5-10	0,74	0,50	0,46	
	10-15	0,67	0,44	0,38	
	15-20	0,55	0,36	0,22	

O mesmo não ocorreu para o solos sob a vegetação de RB, enquanto que nos outros locais não foram iguais a sequencia do maior para o menor estoque. Um possível motivo da diferença dos maiores locais com estoque com relação à concentração dos nutrientes ocorreu por causa da diferença de densidade dentre as áreas estudadas.

No mesmo caso do estoque de C nos solos, o período de regeneração da vegetação pode estar diretamente ligado nas diferenças dos solos sob vegetação de RA em comparação com os solos sob a vegetação de RB na IAn e no NPi.

7 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados no presente estudo comprovaram as hipóteses iniciais do trabalho;

Mesmo não sendo realizado o estudo de biomassa nos solos pode-se concluir que os solos sob Restinga Alta (especialmente na Ilha Anchieta), com um porte arbóreo mais alto e denso, apresentaram os maiores teores de carbono e nitrogênio no solo e nos solos sob Duna os menores teores, em relação às vegetações estudadas;

Nos solos sob Restingas (Alta, Transição e Baixa), os valores isotópicos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) foram de plantas do ciclo fotossintético C_3 , enquanto que nas Dunas o sinal isotópico apresentou 2 hipóteses, que o sinal isotópico é afetado pela presença de conchas sobre o solo nesses locais ou indicou a predominância de plantas CAM associados a plantas de ciclos C_3 . Os baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ nos solos indicaram que o ciclo do nitrogênio é no sistema solo-vegetação;

O tempo de regeneração das vegetações nas Florestas de Restinga Alta e Restinga Baixa interfere diretamente nos teores e concentrações dos elementos estudados;

É possível que variabilidade espacial os locais, mesmo que pequena esta variabilidade, interfere diretamente nos teores e concentrações dos elementos estudados, devido à variabilidade e densidade de espécies vegetais presentes e por aspectos climáticos como temperatura e precipitação em cada local.

Este projeto sugere que é importante realizar um estudo mais abrangente nas Florestas de Restinga para se compreender o funcionamento da ciclagem de nutrientes neste bioma através da quantificação de biomassa, entradas e saídas de fluxos de gases e fatores complementares relativos ao sistema solo.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A.N. O suporte geocológico das florestas beiradeiras (ciliares). In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H. de F. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Edusp, 2001. cap. 1 p. 15-26.
- ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C.D.R. Origem e Evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo,, v.28, p.135-150, 1998
- ARAÚJO, D.S.D.; LACERDA, L.D. A natureza das restingas. **Ciência Hoje**, São Paulo, v.6, p.42-48, 1987.
- ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Fluxo de nutrientes através da precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha – SP. **Boletim Técnico IF**, São Paulo, v.41, n.1, p.37-58, mar, 1987.
- ASSIS, M.A. **Florística e caracterização das comunidades vegetais da planície costeira de Picinguaba, Ubatuba, SP**. 1999. 255p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- ATTIWILL, P.M.; ADAMS, M.A. Nutrient cycling in forests. **New Phytologist**, Cambridge, v. 124, n. 4, p. 561-582, Aug. 1993.
- BALBINOT, R. **Carbono, Nitrogênio e razões isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no solo e vegetação de estágios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa Submontana**. 2009. 103p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research, Amsterdam**, v.53, p.215-230, 2000.
- BECCATO, M.A.B. **Elaboração participativa de uma proposta de reestruturação do sistema de tratamento de esgoto da Comunidade de Maruja – Parque Estadual da Ilha do Cardoso/SP**. 2004. 229p. Tese (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

BEZERRA, M.O. **Dinâmica do nitrogênio no solo e sua implicação na qualidade da água em uma bacia hidrográfica com diferentes tipos de uso do solo com ênfase no papel da floresta ripária**. 2009. 129p. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BRASIL. Resolução n.417/2009, de 23 de novembro de 2009. Dispõe sobre parâmetros básicos para definição de vegetação primária e dos estágios sucessionais secundários da vegetação de restinga na Mata Atlântica e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=617>. Acesso em: 07 out. 2011.

BOREM, R.A.T.; RAMOS, D.P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. **CERNE**, Lavras, v.8, n.2, p.42-59, 2002.

BOEGER, M.R.T.; WISNIEWSKI, C.; REIASSMANN, C.B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, Porto Alegre, v. 19, p.167-181, 2005.

BOUTTON, T.W. Stable carbon isotope ratios of soils organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S.I. (Ed.). **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 47-82.

BOUTTON, T.W.; ARCHER, S.R.; MIDWOOD, A.J.; ZITZER, S.F.; BOL, R. $\delta^{13}\text{C}$ values of soil organic matter and their use in documenting vegetation change in a subtropical savannah ecosystem. **Geoderma**, Amsterdam, v. 82, p. 5-41, 1998.

BUSTAMANTE, M.M.C.; MARTINELLI, L.A.; SILVA, D.A.; CAMARGO, P.B.; KLINK, C.A.; DOMINGUES, T.F.; SANTOS, R.V. N-15 natural abundance in Woody plantas and soils of central Brazilian savannas (cerrado). **Ecological Applications**, Washington, v. 14, n. 4, p. S200-S213, 2004.

CALIPPO, F.R. **Sociedade sambaquieiro, comunidades marítimas**. 2010. 311 p. Tese (Doutorado em Arqueologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos de Instituto Agronômico de Campinas, **Boletim Técnico** 106, Instituto Agronômico de Campinas, p.94, 1986.

CASAGRANDE, J.C. Considerações sobre Recuperação da fertilidade do solo para áreas degradadas. In: A SEMINÁRIO TEMÁTICO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2003. São Paulo, SP, **Anais...**São Paulo, 2003. p.92-93. (Monografia)

CERRI, C.E.P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.L.; MELILLOS, J.M; CERRI, C.C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p.815-832, 2004.

CHRISTENSEN, T.R.; KELLER, M. Element interactions and trace gas Exchange. In: MELILLO, J.; Field, C.B.; MOLDAN, B. (Ed.) **Interactions of the major biogeochemical cycles: global change human impacts**. Washington: Island Press, 2003. p. 247-258. (Scope, 60).

COELHO, M.R.; VIDAL-TORRADO, P.; PEREZ, L.O.; MARTINS, V.M.; VAZQUEZ, F.M. Química e gênese de solos desenvolvidos sobre solo de Restinga no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Campinas, v. 34, p. 1951-1964, 2010.

CORDAZZO, C.V.; PAIVA, J.B.; SEELIGER, U. **Plantas das dunas da costa sudoeste atlântica**. Guia Ilustrado. Pelotas, RS :USEB., 2006. 107 p. (Coleção Manuais de Campo)

COLE, D.W.; RAPP, M. Elemental cycling in forested ecosystems. In: REICHLE, D.E.(Ed) **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge:Cambridge University Press, 1980. p.341-409.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within amazonian Forest ecosystems. In: nutrient flux in fine litter fall and efficiency, of nutrient utilization. *Decologia*, Berlin, v. 68, p. 446-472, 1986.

DESJARDINS, T.; FILHO, A.C.; MARIOTTI, A.; CHAUVEL, A.; GIRARDIN, C. Changes of the forest-savanna boundary in Brazilian Amazonia during the Holocene as revealed by soil organic carbon isotope ratios. **Oecologia**, Berlin, v. 108, p. 749-756, 1996.

DUARTE, H.M.; GEBLER, A.; SCARANO, F.R.; FRANCO, A.C.; MATTOS, E.A.; NAHM, M.; RENNENBERG, H.; RODRIGUES, P.J.F.P.; ZALUAR, H.L.T.; LUTTGE, E. Ecophysiology of six selected shrub species in different plant communities at the periphery of the Atlantic Forest of SE-BRAZIL. *Flora*, London, v. 200, p.456-476, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1979.p212

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.
- FARQUHAR, G.D.; EHLERINGER, J.R.; HUBIK, K.T. Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 40, p. 503-537, 1989.
- FONSECA-KUEL, V.S. DA; PEIXOTO, A.L. Etnobotânica na reserva extrativista marinha de Arraial do Cabo, RJ, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, Porto Alegre, v.18, n.1, p.177-190, 2004.
- FRAZÃO, L.A. **Conversão do Cerrado em pastagem e sistemas agrícolas: efeitos na dinâmica da matéria orgânica do solo**. 2007. 119 p. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Meio Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- FREITAS, H.A.; PESSENDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; BOULET. Late Quaternary vegetation dynamics in the Southern Amazon Basin inferred from carbon isotopes in soil organic matter. **Quaternary Research**, San Diego, v.55, p. 39-46, 2001.
- GALLOWAY, J.N.; ABER, J.D.; ERISMAN, J.W.; SEITZINGER, S.P.; HOWARTH, R.W.; COWLING, E.B.; COSBY, B.J. The nitrogen cascade. **BioScience**, Washington, v. 53, n. 4, p. 341-356, 2003.
- GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. In: MULLER, M.W.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BRANDÃO, I.C.S.F.L.; SERODIO, M.H.C.F. (Ed.). **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: Sustento da vida e sustento de vida**. Ilheus: SBSAF, CEPLAC, UENF, 2004. p. 64-84.
- GOMES, F.H. **Gênese e classificação de solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso – SP**. 2005. 107 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- GOMES, F.H.; VIDAL-TORREDO, P.; MACIAS, F.; GHERARDI, B.; PEREZ, X.L.O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). I – Caracterização e Classificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 1563-1580, 2007.

GRIFFITHS, H.; LITTGE, L.E.; STIMMEL, K.H.; CROOK, C.E.; GRIFFITHS, N.M.; SMITH, J.A.C. Comparative ecophysiology of CAM and C3 bromeliads. III. Environmental influences on CO₂ assimilation and transpiration. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.9, p.385-393, 1986.

HANDLEY, L.L.; RAVEN, J.A. The use of natural abundance of nitrogen isotopes in plant physiology and ecology. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 15, n. 9, p. 965-985, Dec. 1992.

HERRERA, R.; JORDAN, C.F.; MEDINA, E.; KLINGE, H. How human activities disturb the nutrient cycles of a tropical rain Forest Amazonia. **Ambio**, Stockholm, v.10, n. 2/3, p.109-114, 1981.

HENDRY, J.P.; KALIN, R.M. Are oxygen and carbon isotopes of mollusk shell reliable palaeosalinity indicators in marginal marina environment? A case study from the middle Jurassic of England. **Journal of the Geological Society**, London, v.154, n.2, p.321-333, 1997.

HOGBERG, P. N-15 natural abundance in soil-plant systems. **New Phytologist**, New York, v. 137, n 2., p. 179-203, 1997. (Tansley review, 95)

IVANAUSKAS, N.M.; MONTEIRO, R.; RODRIGUES, R.R. Similaridade florística entre áreas de floresta Atlântica no Estado de São Paulo. **Brazilian Journal of Ecology**, Rio Claro, v.1/2, p. 71-81, 2000.

JIMENEZ, J.J.; LAL, R.; LEBLAC, H.A.; RUSSO, R.O. Soil organic carbon pool under native tree plantations in the Caribbean lowlands of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v.241, p.134-144, 2006.

JOLY, C.A. Ecotones at the river basin scale global land/water interactions. In: JENSEN, A. (Ed.) ECOTONES REGIONAL WORKSHOP, 1992. Australia. **Proceedings...** Australia: UNESCO Ecotones Research Project, 1994. p. 40-66.

JOLY, C.A.; AIDAR, M.P.N.; KLING, 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. Evolutions of the Brazilian phytogeography classification systems: implication for biodiversity conservation. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 51, n. 5/6, p.331-348, 1999.

LACERDA, L.D.; ESTEVES, F.A. Restinga brasileiras: Quinze anos de estudos. Pp. III – VII. In: ESTEVES, F.A.; LACERDA, L.D. (Ed.). **Ecologia de restingas e Lagoas Costeiras**. Rio de Janeiro: Nupem / UFRJ., 2000. 394p.

LAJTHA, K.; MARSHALL, J.D. Sources of variation in the stable isotopic composition of plants. In: LAJTHA, K. MICHENER, R.H. (Ed.). **Stable isotopes in ecology and environmental science**. London: Blackwell Scientific Publication, 1994. p.1-21.

LARDY, L.C.; BROSSARD, M.; ASSAD, M.L.L.; LAURENT, J.Y. Carbon and phosphorus stocks of clayey ferralsols in cerrado native and agroecosystems, Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.92, n.203, p.147-158, Nov, 2002.

LEITÃO FILHO, H.F. 1993. **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. São Paulo;Campinas: Ed. UNESP:UNICAMP, 1993.p184

LUIZAO, R.C.C.; LUIZAO, F.; PAIVA, R.Q.; MONTEIRO, T.F.; SOUSA, L.S.; KRUIJT, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in central Amazonian forest. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, p. 592-600, 2004.

MANFRINATO, W.A. **Estoques de carbono no solo em uma cronosequência de floresta-pastagem em Guaraqueçaba (PR)**. 2002. 90 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MANTOVANI, W. A vegetação sobre a restinga Caraguatatuba, SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSENCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto Florestal, 1992. v. 4 p. 139-144.

MANTOVANI, W. Dinâmica da floresta pluvial atlântica. In: SIMPOSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 4., 1988. Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 1998. v. 2 p. 1-20.

MARDEGAN, S.F.; NARDOTO, G.B.; HIGUCHI, N.; REINERT, F.; MARTINELLI, L.A. Variation in nitrogen use strategies and photosynthetic pathways among vascular epiphytes in the Brazilian Central Amazon. **Revista Brasileira Botânica**, São Paulo, v.34, n.1, p.21-30, jan.-mar., 2011.

MARTINELLI, L.A.; DEVOL, A.H.; VICTORIA, R.L. Stable Carbon Isotopo Variation in C3 and C4 plants along the Amazon river. **Nature**, London, v.353, p.57-59, 1991.

MARTINELLI, L.A.; PESSEDA, L.C.R.; ESPINOZA, E.; CAMARGO, P.B.; TELLES, E.C.; CERRI, C.C.; VICTORIA, R.L.; ARAVENA, R.; RICHEY, J.; TRUMBOR, S.E. Carbon-13 Depth variation in soil of Brazil and relations with climate changes during the quaternary. **Oecologia**, Berlin, v.106, p.376-381, 1996.

MARTINELLI, L.A.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; BERNARDES, M.; FERRAZ, E.S.; MORAES, J.M.; BALLESTER, M.V.V. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba river, Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 110, p. 67-79, 1999.

MARTINELLI, L.A. OMETTO, J.B.H.B.; FERRAS, E.S.; VICTORIA, R.L; BARBOSA, P.B.; MOREIRA, M.Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo:Ed. Oficina de Textos, 2009.p144.

MARTINS, S.C. **Caracterização dos solos e serapilheira ao longo do gradiente altitudinal da Mata Atlântica, Estado de São Paulo**. 2010. 155 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MARTINS, S.E.; ROSSI, L.; SAMPAIO, P.S.P.; MAGENTA, M.A.G. Caracterização florística de comunidades vegetais de resting em Bertioiga, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, Porto Alegre, v.22 ,n.1, p. 249-274, 2008.

MELLO, A.W.F. **Avaliação do Estoque e composição isotópica do carbono do solo no Acre**. 2007. 74p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MIRANDA, E.J. **Efeito temporal da cultura da soja nos atributos físico-químicos do solo no Estado do Mato Grosso**. 2007. 86p. Dissertação (Mestrado Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MITTERMEIER, R.A., MYERS, N.; GIL, P.R.; MITTERMEIER, C.G. **Hotspots**. Cemex, Mexico City, Mexico, 1999.p189

MORELLATO, L.P.C.; HADDAD, C.F.B. Introduction: Brazilian Atlantic forest. **Biotropica**, Washington, v. 32, n. 4b, p. 786-792, 2000.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-858, 2000.

NALDELHOFFER, K.J.; ABER, J.D.; MELILLO, J.M. Leaf-litter production and soil organic matter dynamics along a nitrogen-availability gradient in sothern Wisconsin (USA). **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.13, p. 12-21, 1983.

NARDOTO, G.B. **Abundância natural de ^{15}N na Amazônia e Cerrado – implicações para ciclagem de nitrogênio**. 2005. 100p. Tese (Doutorado Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NEFF, J.C.; TOWNSEND, A.R.; GLEIXNERK, G.; LEHMAN, S.J.; TURNBULL, J.; BOWMAN, W.D. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. **Nature**, London, v. 419, p. 915-917, 2002.

OLIVEIRA FILHO, A.; FONTES, M.A. 2000. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in south-eastern Brazil, and the influence of climate. **Biotropica**, Washington, v. 32,n.4b, p. 792-810, 2000.

OLIVEIRA, A.P. de, **Pedogênese de espodosolos em ambientes da formação barreira e de resting do Sul da Bahia**. 2007. 102 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

OMETTO, J.P.H.B.; EHRLINGER, J.R.; DOMINGUES, T.F.; BERRY, J.A.; ISHIDA, F.Y.; MAZZI, E.; HIGUCHI, N.; FLANAGAN, L.B.; NARDOTO, G.B.; MARTINELLI, L.A. The stable carbon and nitrogen isotopic composition of vegetation in tropical forests of the Amazon region, Brazil. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 79, p. 251-274, 2006.

PESSANDA, L.C.R.; ARAVENA, R.; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E.; TOMAZZELO, M. The use of carbon isotopes (C-13 , C-14) in soil to evaluate vegetation changes during the Holocene in central Brazil. **Radiocarbon**, New Haven, v.38, n.2, p.191-201, 1996.

PESSENDA, L.C.R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; ROSOLEN, V.; GOUVEIA, S.E.M.; RIBEIRO, A.S.; LAMOTTE, M. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a Forest-savanna transition zone, Brazilian Amazon region. **The Holocene**, Thousand Oaks, v.11, n.2, p. 250-254, 2001.

PICCOLO, M.C.; NEILL, C.; CERRI, C.C. Natural abundance of ^{15}N in soil along Forest-to-pasture chronosequences in the western Brazilian Amazon Basin. **Oecologia**, Berlin, v.99, p.112-117, 1994a.

PICCOLO, M.C.; NEILL, C.; CERRI, C.C. Net nitrogen mineralization and net nitrification along a tropical forest-to-pasture chronosequence. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.162, p.61-70, 1994b.

PICCOLO, M.C.; NEILL, C.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C.; STEUDLER, P.A. ^{15}N natural abundance in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon Basin. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.182, p.249-258, 1996.

PINTO, M.M. **Fitossociologia e influência de fatores edáficos na estrutura da vegetação em áreas de mata atlântica na Ilha do Cardoso, Cananéia, SP**. 1998. 112p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 1998.

PRITTCHE, W.L. **Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento**. México:Limusa, 1986. 634 p.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fostafito; Agronômica Ceres, 1991.p343.

REIS-DUARTE, R.M. **Estrutura da Floresta de Restinga do Parque Estadual da Ilha Anchieta (SP)**: Bases para promover o enriquecimento com espécies arbóreas nativas em solos alterados. 2004. 230 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2004.

RIZZINI, C.T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. HUICITEC/EDUSP, São Paulo. v 2. 1979.p.747.

RIZZINI, C.T. Tratado de fitogeografia do Brasil. Aspectos sociológicos e florísticos. São Paulo, 747 p. Em: **Estação Ecológica Juréia-Itatins: ambiente físico, flora e fauna**. São Paulo, 1997.p747.

RUSSOW, R.; VESTE, M.; LITTMANN, T. Usin the natural ^{15}N abundance to assess the mais nitrogen inputs into the sand dune área of the North-western negec desert (Israel). **Isotopes in Environmental and Heal Studies**, London, v.40, n.1, p.57-67, 2004.

SATO, C.A. **Caracterização da fertilidade do solo e da composição mineral de espécies arbóreas de restinga do litoral paulista**. 2007. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Rio Claro, 2007.

SILVA, S.M. **As formações vegetais da planície litorânea da Ilha do Mel, Paraná, Brasil: Composição florística e principais características estruturais**. 1998. 262 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SCHUMACHER, B.A.; SHINES, K.C.; BURTON, J.V.; PAPP, M.L. Comparison of three methods for soil homogenization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, n.4, p.1187-1190, 1990.

SILVA, S.M. Diagnósticos das restingas no Brasil. Disponível em: http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round7/round7/guias_r7/PERFURACAO_R7/refere/Restingas.pdf. Acesso em: 04 abril 2011.

SILVA, S.M. Diagnóstico das restingas do Brasil. In: WORKSHOP AVALIAÇÃO E AÇÕES PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE DA ZONA COSTEIRA, **Ilheus. Fundação Bio Rio (Ed.)**. <http://www.bdt.org>.1999.p230.

SILVA, R.C.; PEREIRA, J.M.; ARAÚJO, Q.R.; PIRES, A.J.V.; DEL REI, A.J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 101-107, 2007.

SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. **Microbiologia do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. 312 p.

SOS MATA ATLÂNTICA/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPECIAIS - INPE. **Atlas dos remanescentes florestais da mata atlântica período 2005-2008**. São Paulo, 2009. 156p.

SMITH, B.N.; EPSTEIN, S. 2 Categories of C-13/C-12 ratios for higher plants. **Plant Physiology**, Rockville, v.47, n.3, p.380-384, 1971.

STEINMANN, K.; SIEGWOLF, R.T.W.; SAURER, M.; KORNER, C. Carbon fluxes to the soil a mature temperate Forest assessed by ^{13}C isotope tracing. **Oecologia**, Berlin, v.141, p.489-501, 2004.

SUGIYAMA, M. Estudo de florestas de restinga da Ilha do Cardoso, Cananéia, São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto de Botânica**, v.1, p.119-159, 1998.

SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. Planícies de Cordões Litorâneos Quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. Im: **RESTINGAS: ORIGEM, ESTRUTURA, PROCESSOS**, 1984, Niterói. **Resumos...** Niterói, 1984. p. 15-26,

SUGUIO, P.E.; TATUMI, S.H., KOWATA, E.A., MUNITA, C.S., PAIXA, R.P. Upper Pleistocene deposits of the Comprida Island (São Paulo State) dated by thermoluminescence method. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, Rio de Janeiro, v.75, p.91-96, 2003.

SZAKACS, G.G.J. **Estoques e agredados do solo cultivado com cana-de-açúcar**: efeito da palhada e do clima no centro-sul do Brasil. 2007. 105p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

TELLES, E.C.C. **Dinâmica de carbono no solo influenciada pela textura, drenagem, mineralogia e carvões em florestas primárias na região centro-oriental da Amazônia**, 2002. 114p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

TERROR, V.L.; SOUSA, H.C.; KOZOVITS, A.R. Produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira foliar em uma floresta paludosa de altitude. **Acta Botânica Brasileira**, Porto Alegre, v.15, p.113-121, 2011.

TOREZAN, J.M.D. **Estudo da sucessão secundária, na floresta ombrófila densa submontana, em áreas anteriormente cultivadas pelo sistema de "coivara", em Iporanga - S.P.** 1995. 350p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

TRUMBORE, S.E.; DAVIDSON, E.A.; CAMARGO, P.B.; NEPSTAD, D.C.; MARTINALLI, L.A. Below-ground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v.9, p.515-528, 1995.

VELOSO, H.P.; FILHO, A.L.R.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124p.

VIDELA, C.C. **Mineralização bruta do nitrogênio em um Molisol do sudeste da província de Buenos Aires (Argentina)**. 2004. 124p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

VIDOTTO, E. **Reconstrução paleoambiental (vegetação e clima) no Parque Estadual da Ilha do Cardoso – SP durante o Quaternário tardio**. 2008. 210p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

VIDOTTO, E.; PESSENDA, L.C.R.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H.F.; BENDASSOLLI, J.A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. **Acta Amazônica**, Manaus, v.37, n.3, p.385-400, 2007.

VIEIRA, S.A.; ALVES, L.F.; AIDAR, M.; ARAUJO, L.S.; BAKER, T.; BATISTA, J.L.F.; CAMPOS, M.C.; CAMARGO, P.B.; CHAVE, J.; DELITTI, W.B.C.; HIGUCHI, N.; HONORIO, E.; JOLY, C.A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L.A.; MATTOS, E.A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F.A.M.; SHIMABUKURO, M.T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S.E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica** Campinas, v. 8, n. 2, p. 21-29 jun. 2008.

VITOUSEK, P.M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency. **American Naturalist**, Chicago, v.119, n.º.4, 1982.

VITOUSEK, P.M.; HOWARTH, R.W.; LIKENS, G.E.; MATSON, P.A.; SCHINDLER, D.; SCHLESINGER, W.H.; TILMAN, G.D. Human alteration of the global nitrogen cycle: Causes and consequences. **Issues in Ecology**, Washington, v. 1, p. 1-17, 1997.

VOGEL, J.C. **Fractionation of the carbon isotopes during photosynthesis**. New York: Springer-Verlag, 1980. 29 p.

VOGT, K.A.; GRIER, C.C.; VOGT, D.J. Production, turnover, and nutrient dynamics of above and belowground detritus of world forest. *Advances in ecological research*. V.15, p. 303-77, 1986. WILCKE, W.; LILLENFELD, J. Soil carbon-13 natural abundance under native and managed vegetation in Brazil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.68, n.3, p.827-832, 2004.

ZINN, YL.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soil. **Geoderma**, Amsterdam, v.127, p.168-173, 2005.