

MARINA MERLO SAMPAIO DE CAMPOS

**Ecofisiologia do uso de nitrogênio em espécies
arbóreas da Floresta Ombrófila Densa das
Terras Baixas, Ubatuba, SP.**

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

SÃO PAULO

2009

MARINA MERLO SAMPAIO DE CAMPOS

**Ecofisiologia do uso de nitrogênio em espécies
arbóreas da Floresta Ombrófila Densa das
Terras Baixas, Ubatuba, SP.**

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

ORIENTADOR: DR. MARCOS PEREIRA MARINHO AIDAR

*Dedico esse trabalho ao meu avô, Paulino
Merlo pelo apoio incondicional, carinho,
amor e por me mostrar sempre o lado
bom e alegre da vida.*

O SONHO

Sonhe com aquilo que você quiser.

Seja o que você quer ser,

porque você possui apenas uma vida

e nela só se tem uma chance

de fazer aquilo que quer.

Tenha felicidade bastante para fazê-la doce.

Dificuldades para fazê-la forte.

Tristeza para fazê-la humana.

E esperança suficiente para fazê-la feliz.

As pessoas mais felizes não têm as melhores coisas.

Elas sabem fazer o melhor das oportunidades que aparecem em seus caminhos.

A felicidade aparece para aqueles que choram.

Para aqueles que se machucam.

Para aqueles que buscam e tentam sempre.

E para aqueles que reconhecem a importância das pessoas que passam por suas vidas.

Clarice Lispector

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais que sempre estiveram do meu lado. Obrigado pela força, pela compreensão, pelos ensinamentos e principalmente pelo amor acima de tudo. Sem a ajuda e o apoio de vocês seria impossível trilhar esse caminho.

Ao meu orientador Marcos Pereira Marinho Aidar por ter me acolhido, pela confiança, credibilidade e paciência.

A toda galera que me ajudou no campo, faça chuva ou faça sol: Bruno, Sabrina, Giseli, Gian e Ewerton. Ao Fabio e ao Ataliba pela coleta de alto, e principalmente ao Pezão responsável por praticamente todos os ramos coletados, obrigada pelo esforço, otimismo e alegria.

Ao meu grande amigo Olidan pela ajuda na realização e compreensão das análises estatísticas, pelo companheirismo, pelas ótimas conversas e discussões.

Ao Professor Dr. Marco Tiné pela grande ajuda no laboratório, com os protocolos, aparelhos e imprevistos.

A Fe Macedo pela amizade, otimismo, carinho e ajuda no laboratório, principalmente com o HPLC. Admiro muito sua competência e dedicação.

Ao instituto de Botânica de São Paulo e ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade e formação acadêmica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Projeto Biota – Gradiente Funcional (Temático nº 03/12595-7) pelo apoio logístico e financeiro concedido para a elaboração desta pesquisa.

Aos funcionários do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Picinguaba por permitirem a realização deste trabalho.

A todos os amigos do laboratório de Fisiologia: Vázinha, Paola, Kely, Ju, Vã (vulgo Máxima), Ferdz, Maria, Rossana, Rob, Cris, Tate, Fabinho, Glauco, etc. Obrigado pela alegria, atenção, disposição e ajuda.

Aos Amigos do índice: Dr. Cláudio Barbedo, Carol, João, Marcio, Lamarca, Debi, Cibele, etc. Obrigado por terem me acolhido na grande família de vocês, pela amizade, pelas risadas, pelos conselhos e principalmente pelos almoços deliciosos.

Aos grandes amigos da vida por estarem sempre comigo fazendo com que tudo seja tudo mais alegre: Carla, Marta, Rafa, Fê Faria, Ana Barbs, Marrie, Fê (Barata), Carmen, Rô, Fê K., Carina, Rafael, Lucy, Chu, Ju, etc. Amo muito todos vocês!!!

A todos os Pesquisadores do Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de plantas do Instituto de Botânica pela competência e exemplo profissional.

Aos funcionários no Instituto de Botânica: Mari, Ana, Cida, Dona Helena, Marcinha, Antônio e Ruth pela ajuda dispensada.

A todos os meus familiares principalmente minha avó e minha irmã pelo incentivo constante e convivência maravilhosa.

E finalmente ao Ju, meu grande amor e parceiro pelo companheirismo, apoio, carinho, atenção, ajuda e paciência. Muito bom ter você comigo!

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para meu crescimento e realização deste trabalho, muito obrigado!

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| Resumo | I |
| Abstract | II |
| 1. Introdução | |
| 1.1. Mata Atlântica e sucessão florestal | 1 |
| 1.2. Importância e ciclo do nitrogênio | 2 |
| 1.3. Metabolismo e transporte de nitrogênio nas plantas | 5 |
| 1.4. Relações entre nitrogênio e comunidades vegetais | 9 |
| 2. Justificativa | 11 |
| 3. Objetivos | 12 |
| 4. Material e Métodos | |
| 4.1. Área de estudo | 13 |
| 4.2. Clima: temperatura média e balanço hídrico | 15 |
| 4.3. Redefinição do sistema de classificação da vegetação | 15 |
| 4.4. Análise da disponibilidade de nitrogênio mineral <i>in situ</i> | 16 |
| 4.5. Ocorrência de simbiose radicular | 16 |
| 4.6. Seleção e categorização sucessional ecológica das espécies | 17 |
| 4.7. Atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase <i>in vivo</i> | 20 |
| 4.8. Conteúdo de nitrato foliar | 20 |
| 4.9. Determinação da razão isotópica do N estável e determinação da razão C/N em amostras de folhas | 20 |
| 4.10. Coleta e análise de fluído do xilema | 20 |
| 4.11. Análise estatística | 21 |
| 4.12. Dados complementares | |
| 4.12.1. Características físicas e químicas do solo | 22 |
| 4.12.2. Conteúdo e razão isotópica do N e C no solo | 23 |

| | |
|--|----|
| 5. Resultados | |
| 5.1. Análise da disponibilidade de nitrogênio mineral <i>in situ</i> | 25 |
| 5.2. Ocorrência de simbiose radicular | 25 |
| 5.3. Seleção e categorização sucessional ecológica das espécies | 26 |
| 5.4. Caracterização do uso de nitrogênio pelas espécies arbóreas selecionadas | 28 |
| 5.5. Caracterização do uso de nitrogênio pelas espécies arbóreas selecionadas agrupadas em classes sucessionais | |
| 5.5.1. <i>Atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase in vivo</i> | 54 |
| 5.5.2. <i>Conteúdo de nitrato foliar</i> | 55 |
| 5.5.3. <i>Conteúdo de nitrato no fluído do xilema</i> | 56 |
| 5.5.4. <i>Determinação da razão isotópica do N estável e determinação da razão C/N em amostras de folhas</i> | 57 |
| 5.5.5. <i>Determinação do conteúdo de aminoácidos e amidas em amostras de seiva do xilema</i> | 60 |
| 5.6. Análise multivariada | 68 |
| 6. Discussão | 80 |
| 7. Conclusão | 90 |
| 8. Referências Bibliográficas | 91 |

RESUMO

O nitrogênio é amplamente reconhecido como um fator chave no funcionamento dos ecossistemas terrestres determinando o desempenho das plantas e a distribuição das espécies. Estudos ecofisiológicos sobre o uso de nitrogênio em plantas arbóreas tropicais apontam que grupos funcionais na sucessão secundária têm preferências diferenciadas quanto ao uso das fontes disponíveis no solo. Assim, o objetivo desse trabalho foi verificar o uso de nitrogênio (transporte, estocagem e assimilação) no verão e no inverno em 33 espécies arbóreas na Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e relacioná-lo com suas classes sucessionais (pioneira, secundária inicial e secundária tardia), contribuindo para uma melhor compreensão do funcionamento do ecossistema e de componentes do ciclo do nitrogênio na Mata Atlântica no Estado de São Paulo. Para isso foram avaliados os seguintes parâmetros: disponibilidade de NH_4^+ e NO_3^- no solo, ocorrência de simbiose radicular por fungo micorrízico arbuscular FMA, redução de NO_3^- , determinação da razão isotópica do N estável e da razão C/N em amostras de folhas; e determinação do conteúdo de NO_3^- , de aminoácidos e amidas na seiva do xilema. Os resultados mostram uma maior disponibilidade do nitrogênio mineral no solo no inverno, sendo a concentração amônio maior que a de nitrato. A colonização radicular foi alta nas duas estações, com a presença de vesículas, hifas e arbúsculos. A espécie pioneira apresentou os valores mais altos de atividade da enzima nitrato redutase (ANR) e de conteúdo de NO_3^- nas folhas, alta %N foliar e baixa razão C/N foliar, transportando nitrogênio na seiva do xilema principalmente através de NO_3^- e glutamina, com uma grande variação nos valores dos parâmetros analisados entre as estações. As espécies secundárias tardias apresentaram uma baixa ANR e um baixo conteúdo de NO_3^- na folha em relação à espécie pioneira, a razão C/N foliar foi a mais alta e na seiva do xilema predominaram os aminoácidos asparagina e arginina no inverno, e asparagina e glutamina no verão. Já as espécies secundárias iniciais têm características intermediárias em relação à espécie pioneira e às espécies tardias para a maioria dos parâmetros avaliados, com predomínio na seiva do xilema de glutamina e pequena variação entre as estações. Quanto ao $\delta^{15}\text{N}$ foliar, com exceção das leguminosas, todas as espécies (independente da classe sucessional e da estação) apresentam valores muito semelhantes ($\approx 3\text{‰}$ em média). Os resultados mostraram que as espécies respondem à sazonalidade apesar da pequena variação das condições climáticas e da disponibilidade de nitrogênio mineral no solo entre os períodos de coleta e evidenciam a existência de três classes sucessionais com um *continuum* de características de uso de nitrogênio.

Palavras-chave: sucessão ecológica, nitrogênio, nitrato, amônia, aminoácidos, Parque Estadual da Serra do Mar.

ABSTRACT

Nitrogen is widely recognized as a key factor in ecosystem functioning, determining plant performance and species distribution to a great extent. Ecophysiological studies about nitrogen use in tropical trees species show that secondary succession functional groups have different preferences regarding the use of different nitrogen sources in the soil. The purpose of this study was to evaluate the nitrogen use (transport, storage and assimilation) in summer and winter in 33 tree species in the lowland tropical rain forest and to relate it to their successional classes (pioneer, early secondary and late secondary), contributing to a better understanding of the functioning of ecosystems and components of the nitrogen cycle in the Atlantic Forest in São Paulo state. For this purpose the following parameters were evaluated: NH_4^+ and NO_3^- soil availability, occurrence of root symbiosis by arbuscular mycorrhizal (AM) fungi, nitrate reductase activity (NRA), NO_3^- content, determination of the isotopic ratio of stable N and C/N ratio in leaves samples; and NO_3^- content, amino acids and amides in the xylem sap. The results show a greater availability of mineral nitrogen in the soil in winter, with a greater concentration of ammonium than nitrate. The root colonization was high in both seasons, with the presence of vesicles, hyphal and arbuscules. The pioneer species presented the highest leaf NRA and NO_3^- content values, high %N and low leaf C/N ratio transporting the nitrogen in the xylem sap mainly through nitrate and asparagine, with a wide variation in the values of the analyzed parameters between seasons. Late successional species presented a low NRA and low leaf NO_3^- content compared to pioneer species, the leaf C/N ratio was the highest and the amino acids predominant in the xylem sap were asparagine and arginine in winter, and asparagine and glutamine in summer. Early successional species presented intermediate values when compared with pioneer and late species for most of the parameters measured, with predominance in the xylem sap of glutamine and little variation between seasons. As to leaf $\delta^{15}\text{N}$, except for legumes, all species (regardless of successional class and season) were very similar (≈ 3 ‰ on average). The results showed that, despite the small change in weather conditions and availability of soil mineral nitrogen between seasons, the species have a seasonal response and show the existence of three successional classes with a continuum of nitrogen use characteristics.

Keywords: ecological succession, nitrogen, nitrate, ammonia, amino acids, Parque Estadual da Serra do Mar.

1. Introdução

1.1. Mata Atlântica e sucessão florestal

A Mata Atlântica representa a segunda maior área de floresta tropical úmida da América do Sul (Oliveira-Filho & Fontes 2000). Sua área original abrangia cerca de 12% do território brasileiro, se estendendo por quase toda a faixa litorânea do país, desde o Cabo de São Roque, no Estado do Rio Grande do Norte, até o município de Osório, no Rio Grande do Sul (SOS Mata Atlântica 2006).

Em pouco mais de 500 anos, cerca de 93% da sua área foi desmatada (SOS Mata Atlântica 2006), mas apesar da intensa destruição a Mata Atlântica continua sendo uma das florestas mais ricas em biodiversidade do planeta, detendo recordes de riqueza de espécies e endemismo em vários grupos de plantas e animais, sendo considerada portanto um “hotspot” para a conservação a biodiversidade (Myers *et al.* 2000).

O Estado de São Paulo apresentava mais de 82% de sua área coberta pela Mata Atlântica, e hoje seus remanescentes restringem-se a apenas 12,3% de sua área original (SOS Mata Atlântica 2006), distribuídos em fragmentos de diversos tamanhos, formas, estádios de sucessão e situação de conservação. As manchas disjuntas da floresta, atualmente, existem em locais de topografia muito acidentada, desfavorável para o desenvolvimento de atividades agrícolas (Leitão-Filho 1987).

O Domínio da Mata Atlântica inclui um complexo de ecossistemas composto pelas Florestas Ombrófilas Densa e Mista (Floresta de Araucária), Florestas Sazonais Decidual e Semi-decidual, Mangues e Restingas (Joly *et al.* 1999). Nas últimas décadas, houve um aumento expressivo no número de trabalhos florísticos e fitossociológicos nestas diferentes formações (Silva & Leitão-Filho 1982, Leitão-Filho *et al.* 1993, Mantovani 1993, Melo & Mantovani 1994, Cesar & Monteiro 1995, Tabarelli & Mantovani 1999, Iza 2002, Mantovani *et al.* 2005, Oliveira *et al.* 2006).

Sanchez (2001) estudando a composição florística e a estrutura da comunidade arbórea num gradiente altitudinal da Mata Atlântica no Estado de São Paulo (Parque Estadual da Serra do Mar), verificou que ambas variam com a altitude permitindo o reconhecimento de diferentes comunidades no gradiente, coincidindo com as delimitações altitudinais da Floresta Ombrófila Densa proposta no sistema de classificação da vegetação de Veloso *et al.* (1991): 1) Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas – 5 a 50 m de altitude sobre o solo de restinga; 2) Floresta Ombrófila Densa Submontana – no sopé da Serra do Mar, com altitude variando entre 50 e 500 m; 3) Floresta Ombrófila Densa Montana – 500 a 1.200 m; 4) Floresta Ombrófila densa Altimontana – no topo da Serra do Mar, acima dos limites estabelecidos para

a formação Montana, onde a vegetação praticamente deixa de ser arbórea, pois predominam os campos de altitude.

Nas florestas tropicais, como no caso da Floresta Ombrófila Densa Atlântica o ciclo de regeneração baseado na abertura de clareiras naturais (por quedas de galhos, de árvores e/ou deslizamentos) e sua subsequente recolonização por espécies (cicatrização), é um importante componente da dinâmica interna. Esse processo é determinante para a composição específica e estrutura fisionômica e fitossociológica das comunidades vegetais, uma vez que essa heterogeneidade espacial interna de condições ambientais interfere no estabelecimento e desenvolvimento das plantas, criando na floresta um mosaico de diferentes estádios sucessionais, com composição, estrutura e microclimas específicos (Godoy 2007).

Muitos estudos têm reconhecido que as espécies florestais podem ser agrupadas em guildas ou grupos funcionais de acordo com suas características relacionadas às suas estratégias de regeneração (germinação e estabelecimento), de estratificação, de dispersão, de reprodução ou desenvolvimento (porte, tempo de vida, densidade da madeira). Entre os grupos mais reconhecidos estão os das espécies pioneiras, secundárias iniciais ou tardias, os das espécies de subosque ou dossel, os das espécies anemocóricas ou zoocóricas (dispersão por vento ou animais), anemófilas ou ornitófilas (polinização por vento ou pássaros) e perenes ou decíduas (Whitmore 1989, Tabarelli *et al.* 1994, Gandolfi *et al.* 1995).

No presente trabalho foram estudadas as espécies com diferentes estratégias de regeneração, ou seja, espécies pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias, que ocorrem sucessivamente nas diferentes fases, ou estádios sucessionais, do desenvolvimento da floresta.

Recentemente, vários autores têm apontado para a ocorrência de um *continuum* de estratégias (Gandolfi *et al.* 1995, Whitmore 1996, Gandolfi 2000), porém há uma carência de informações ecofisiológicas que permitam uma divisão confiável de muitas populações nos diferentes grupos ecológicos. Ainda existe muita divergência na classificação ecológica de muitas espécies florestais e a maioria das divisões propostas até hoje está baseada principalmente no conhecimento empírico dos autores (Lima 2005).

1.2. Importância e ciclo do nitrogênio

O N é amplamente reconhecido como um fator chave no funcionamento dos ecossistemas terrestres determinando o desempenho das plantas e a distribuição das espécies (Schimann 2008) sendo fundamental nos processos ecológicos, tais como produtividade e ciclagem de carbono e nutrientes no solo (Vitousek *et al.* 2002).

O ciclo biogeoquímico do N no ecossistema pode ser dividido em duas partes: interno

que consiste nos processos que convertem o N de uma forma química para outra e/ou o transferem entre os diferentes compartimentos de um ecossistema, e externo que inclui os processos que adicionam ou removem N do ecossistema (Figura 1).

O reservatório primário do nitrogênio são as rochas primárias, esse compartimento contém 98% do N existente no planeta (Werner *et al.* 2001). Na forma gasosa ocorre em concentração de 78% na atmosfera terrestre em forma diatômica (N₂) não combinada. Na biosfera, encontra-se em 96% do total de N orgânico terrestre na matéria orgânica morta e apenas 4% nos organismos vivos. O N da matéria viva encontra-se predominantemente nas plantas (94%), achando-se os 6% restantes nos seres vivos: 4% na microbiota e 2% nos animais (Moreira & Siqueira 2006).

A entrada de N nos ecossistemas terrestres pode ocorrer por deposição seca, deposição úmida ou fixação, pequenas quantidades de N podem ser fixadas por relâmpagos ou por máquinas de combustão, mas a maior parte é por fixação biológica (Vitousek *et al.* 2002). Somente alguns poucos microrganismos (simbiontes e de vida livre) são capazes de fixar o gás N₂ em compostos inorgânicos, os quais podem ser usados por plantas na síntese de aminoácidos e outros compostos nitrogenados (Raven *et al.* 1996).

Na matéria orgânica do solo o N está na forma de proteínas, aminoácidos, ácidos nucléicos e nucleotídeos. Essas substâncias são quebradas em compostos simples por bactérias saprófitas e fungos do solo que os incorporam, o excesso é liberado em forma de amônia (amonificação). A amônia ou íons amônio no solo podem ficar adsorvidos nos minerais de argila do solo ou ser oxidados a nitrito que então é oxidado a nitrato (nitrificação) por bactérias quimiossintetizantes (Nitrosomonas e Nitrobacter, respectivamente) (Raven *et al.* 1996). A atividade microbiana da mineralização pode ser influenciada principalmente pela quantidade de água (Brady 1989) e pelo pH do solo (Malavolta & Kliemann 1985).

A principal fonte de saída de N de um ecossistema é a remoção de plantas, ele também pode ser perdido quando a camada superficial do solo é levada pela erosão, quando a cobertura vegetal é destruída pelo fogo, pela volatilização do amônio do solo ($\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_3$), pela lixiviação do nitrito e do nitrato e pela redução do nitrato por vários microrganismos do solo a formas voláteis de nitrogênio (N₂ e N₂O) que retornam à atmosfera (desnitrificação) (Raven *et al.* 1996).

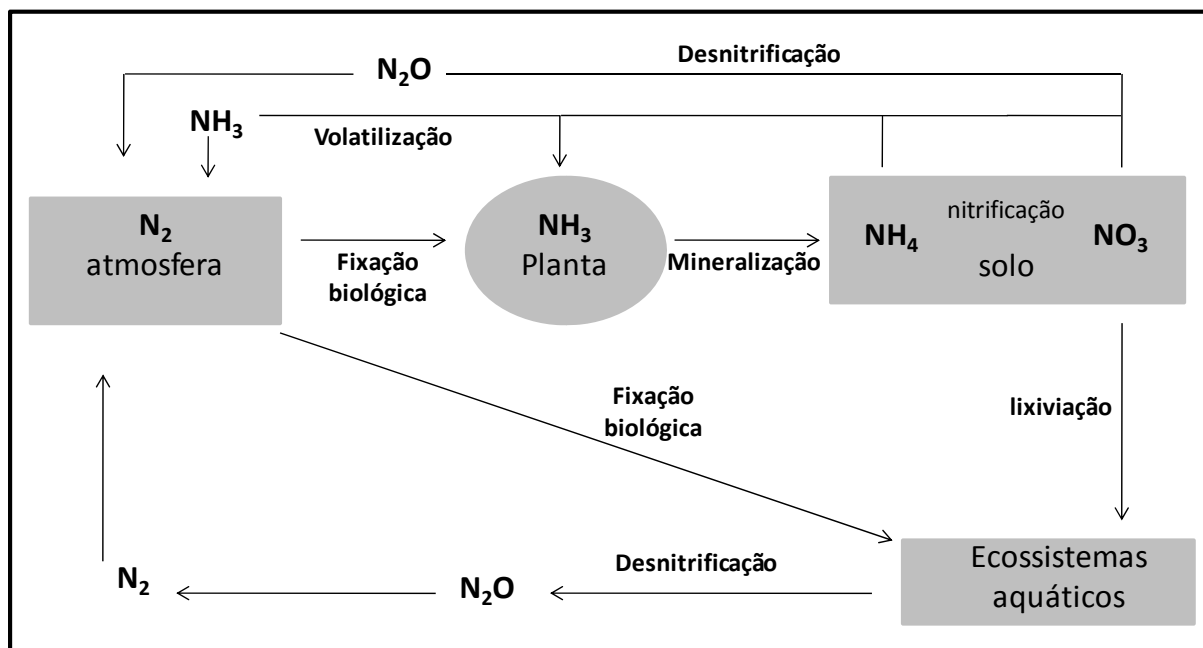


Figura 1: Ciclo do Nitrogênio (adaptado de Nardoto e Martinelli, comunicação pessoal)

Ometto *et al.* (2006) indicam que a fixação biológica de N não parece ser uma estratégia utilizada em florestas tropicais, quando avaliada através da assinatura isotópica das espécies vegetais. A abundância natural do isótopo estável ^{15}N nos solos e nas plantas tem sido sugerida como uma eficiente e não invasiva ferramenta para acessar e monitorar a dinâmica do nitrogênio nos ecossistemas, uma vez que processos como a mineralização, a nitrificação, a desnitrificação e a volatilização de amônia discriminam contra o ^{15}N (Kahmen *et al.* 2008), e os valores de ^{15}N foliar refletem o ^{15}N da fonte específica de nitrogênio na planta (nitrato ou amônio) podendo revelar informações do padrão de absorção de nitrogênio pela planta (Houlton *et al.* 2007).

Entretanto, segundo Kreibich *et al.* (2006) a proporção de N derivado da atmosfera pode atingir até 66% do total do N presente em espécies da floresta de várzea na Amazônia, e Galloway *et al.* (2008) indicam que a maior parte do nitrogênio fixado nos ecossistemas terrestres ocorre nas regiões tropicais. Apesar da capacidade de fixação biológica de N nos trópicos ser considerável e a presença de espécies leguminosas ser notável pouco se conhece sobre seu potencial de fixação simbiótica (Cleveland *et al.* 1999).

Muitos estudos indicam que as florestas tropicais são relativamente ricas em nitrogênio (Galloway *et al.* 2008), principalmente quando comparadas às florestas temperadas, e nelas uma grande quantidade de N circula anualmente (Martinelli *et al.* 1999; Houlton *et al.* 2008), sendo as taxas de mineralização, emissões de gases e as perdas por lixiviação geralmente altas (Vitousek & Sanford 1986).

Nos trópicos, a exceção para esta generalização são as florestas com solos arenosos e as florestas montanhosas que são relativamente empobrecidas em N (Cuevas & Medina 1986). Quando o N se encontra em excesso seu ciclo tende a ser mais aberto (Martinelli *et al.* 1999) e a sua perda ocorre predominantemente através da emissão de gases, ao passo que as perdas de N de ecossistemas com baixo teor deste nutriente ocorrem predominantemente na forma de nitrogênio orgânico dissolvido (Matson *et al.* 1999).

Knops *et al.* (2002) indicam que a composição de espécies de uma formação vegetal têm grande impacto sobre a ciclagem de N no solo, através da quantidade e qualidade da serapilheira; da interferência nos processos de entrada e saída de N do ecossistema (deposição atmosférica, perda induzida pelo fogo, lixiviação e fixação); e da composição da comunidade microbiana do solo, principalmente através de relações simbióticas.

A presença da associação simbiótica além de favorecer o estabelecimento, sobrevivência e crescimento da planta hospedeira devido ao incremento da absorção de água e nutrientes minerais, também contribui para uma ciclagem mais eficiente, configurando um importante mecanismo de conservação de nutrientes (Redhead 1980, Janos 1984).

O fungo micorrízico arbuscular é frequentemente encontrado em associação com espécies nativas em ecossistemas naturais e é de muito interesse para a ecologia florestal devido a sua potencial influência no processo ecossistêmico e seu papel na determinação da diversidade vegetal nas comunidades naturais (Sanders *et al.* 1996, Heijden *et al.* 1998). Apesar disso na Mata Atlântica onde o solo normalmente é arenoso, ácido e muito pobre, os estudos sobre colonização e diversidade de fungos micorrízicos ainda são limitados (Santos 2001).

Aidar *et al.* (2004) em um estudo no Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira (PETAR) realizado em três áreas justapostas correspondentes a diferentes idades de abandono após cultivo de subsistência sobre um solo calcário: Fase Inicial com 15 anos; Fase Intermediária com 25 anos e Fase Tardia com mais de 36 anos sem corte raso, indicam que a ocorrência de colonização por micorriza nas raízes das espécies arbóreas decresce ao longo da sucessão e é inversamente proporcional à fertilidade do solo.

1.3. Metabolismo e transporte de nitrogênio nas plantas

O N é quantitativamente o nutriente mais importante para o crescimento e a produtividade das plantas, sendo constituinte de biomoléculas essenciais como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e enzimas (Harper 1994). Assim, elas apresentam diversas e complexas formas de aquisição, assimilação e uso de N (Rentsch *et al.* 2007).

Este nutriente está disponível para plantas superiores terrestres em diferentes formas,

que incluem principalmente o N mineral (NO_3^- e NH_4^+) e N_2 molecular (fixação simbiótica), mas também óxidos de nitrogênio (NO_x) e NH_4^+ voláteis e N orgânico (aminoácidos e peptídeos).

O nitrato é considerado a principal fonte de N mineral assimilado pelas raízes das plantas superiores, mas há evidências de que o amônio pode ser predominante em muitas situações (Stewart *et al.* 1993; Nardoto & Bustamante 2003). Muitos trabalhos têm demonstrado que N orgânico também é uma fonte importante para comunidades de plantas em uma grande amplitude climática e edáfica (Schmidt *et al.* 1998).

A absorção do nitrato pelas raízes ocorre de forma ativa por simporte, uma pequena parte desse íon permanece no citoplasma, constituindo um “pool metabólico”, enquanto que a maior parte ou é transportada para o vacúolo, formando um “pool de armazenamento”, ou é exportado para outros locais na planta para ser assimilado (Bonato *et al.* 1998). Já a absorção de amônio do solo pelas raízes das plantas ocorre de forma passiva por difusão, quando as concentrações externas desse íon são altas, e de forma ativa através de transportadores, quando as concentrações externas são baixas (Willians & Miller 2001).

O nitrato pode ser reduzido nas folhas ou nas raízes, o primeiro passo da assimilação do nitrato na planta é catalizado pela enzima nitrato redutase localizada no citoplasma, esta enzima tem NAD(P)H como doador específico de elétrons e é composta por três regiões envolvidas na transferência de elétrons do NAD(P)H para o nitrato que é reduzido a nitrito. Nas folhas o nitrito entra no cloroplasto onde a enzima nitrito redutase cataliza sua redução à amônia, esta enzima tem ferredoxina como co-fator e, portanto, os elétrons são fornecidos por reações fotoquímicas. Nos tecidos não verdes como a raiz o nitrito é reduzido nos plastídeos, neste caso a energia é gerada no citosol, através do ciclo das pentoses e da glicólise, e nas mitocôndrias pelo ciclo do ácido tricarboxílico (Oaks & Hirel 1985).

A redução completa do nitrato a amônio requer oito elétrons, sendo seu processo de assimilação mais eficiente na folha. Onde o poder redutor pra a redução do nitrato e os seis elétrons utilizados na redução do nitriro podem ser fornecidos diretamente pelas reações fotoquímicas, sem competição com a fixação do gás carbônico. Isso é possível sob alta intensidade luminosa quando ha excesso de energia fotoquímica e a assimilação do carbono satura facilmente (Sodek 2004).

A nitrato redutase é considerada uma enzima chave na regulação do metabolismo de nitrogênio por ser a primeira e principal porta de entrada de nitrogênio na planta (Pursino *et al.* 1994). Sua atividade tem dois principais pontos de regulação: a transcrição que leva algumas horas e é responsável por mudanças diárias na atividade com a maior atividade durante as primeiras horas do dia, e a pós-tradução, que é um processo muito mais rápido, ocorre por

mecanismo de fosforilação e desfosforilação da enzima e leva alguns minutos, sendo importante para desativar a enzima quando a planta passa da luz para o escuro evitando o acúmulo de nitrito na falta de ferroxina (Sodek 2004).

O principal fator que influencia a síntese da enzima nitrato redutase é o nitrato que, quando presente, induz a síntese *de novo* da enzima. Já a atividade da enzima é influenciada pela luz, efeito que pode ser direto, ativando a enzima, ou indireto, através do processo da fotossíntese, fornecendo energia para a assimilação do nitrato, pelo molibdênio (co-fator da enzima), que quando deficiente reduz a sua atividade, assim como pela concentração de amônio e de aminoácidos (produtos da assimilação de nitrogênio) (Smirnoff *et al.* 1984).

O amônio é tóxico para as plantas e por isso precisa ser assimilado rapidamente evitando seu acúmulo nos tecidos. A enzima responsável por isso é a glutamina sintetase (GS) que funciona mesmo em baixas concentrações de amônio, catalisando a união deste com glutamato para formar glutamina. A eficiência desse processo é muito maior que a taxa de produção de amônio pela redução do nitrato e/ou pelo processo de fotorespiração, mantendo o NH_4^+ em concentrações baixas nos tecidos vegetais. A síntese de glutamato pode ser mediada pelas enzimas amidatransferase de glutamina: 2-oxoglutarato (GOGAT) ou pela glutamato desidrogenase (GDH). A reação catalisada pela GOGAT necessita de dois elétrons fornecidos pela ferredoxina (no cloroplasto) ou NADH (em tecidos não verdes) (Sodek 2004). O sistema GS-GOGAT é dominante para a síntese de glutamato em plantas superiores enquanto a GDH está provavelmente envolvida na sua oxidação (Oaks, 1994).

Nem toda glutamina formada via GS segue pela GOGAT, ela pode ser exportada como composto de transporte de nitrogênio ou ser transformada em asparagina e transportada nesta forma. Assim o sistema GS-GOGAT tem duas finalidades: produção de aminoácidos para a síntese de proteínas no próprio tecido (suprindo a demanda local) e produção de glutamato e aspartato para a formação de amidas que são transportadas para outros tecidos (drenos) (Sodek 2004) (Figura 2).

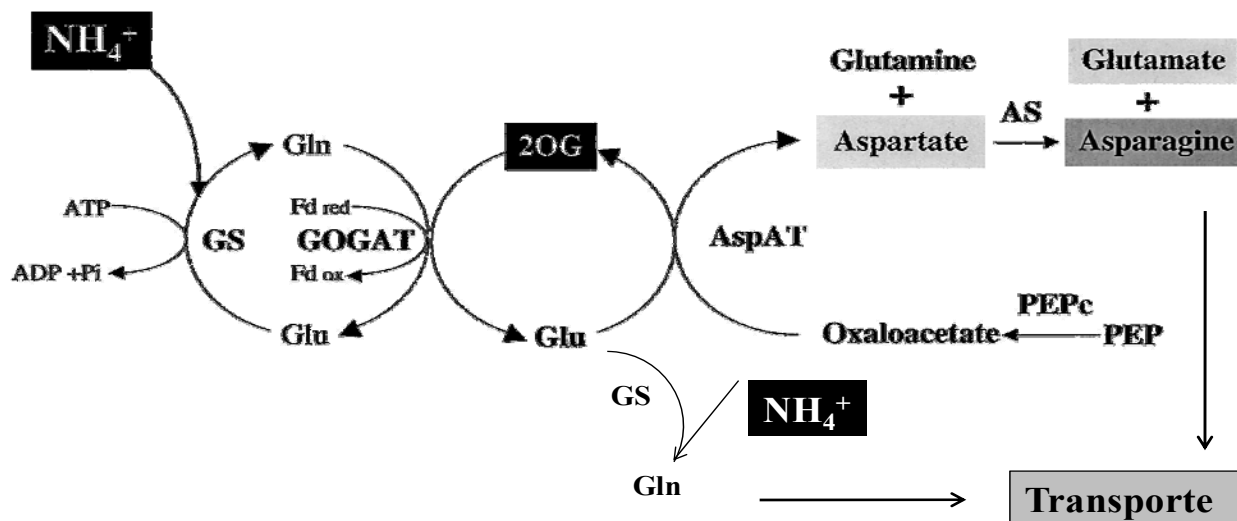


Figura 2: Esquema simplificado mostrando a assimilação de amônio pela via GS/GOGAT (adaptado de Hodges 2002).

Assim a exigência energética da assimilação do N varia em função da fonte de nitrogênio disponível para a planta. O baixo custo energético na assimilação do amônio pode ser importante para o crescimento de uma planta em ambiente onde luz e água são fatores limitantes (Stewart *et al.* 1988). O metabolismo do nitrato consome 23% de toda a energia produzida na raiz, enquanto que o amônio exige 14% dessa energia pelo fato de não precisar ser reduzido e ser incorporado diretamente em aminoácidos (Bredemeier & Mundstock 2000).

O transporte de N na planta envolve compostos específicos e característicos da espécie, da estação e da forma de nitrogênio nutricional (Parsons & Sunley 2000). Os aminoácidos formados podem ser exportados através do xilema (principalmente em raízes) e floema (folhas), o nitrato não é translocado via floema, portanto sua presença no xilema é indicativa de absorção radicular (Martins 2007).

A análise de compostos nitrogenados na seiva do xilema pode indicar como a planta está transportando o N assimilado e as mudanças sazonais causadas por diferenças na intensidade de absorção e atividade metabólica das raízes ao longo do ano (Fischer *et al.* 1998).

No geral predominam no xilema os produtos primários da assimilação do N as amidas glutamina e asparagina e os aminoácidos ácidos glutamato e aspartato (Martins 2007). Alguns compostos nitrogenados transportados nas plantas como ureídeos, alantoína, ácido alantóico são produtos característicos da fixação simbiótica de nitrogênio, sendo comuns em espécies leguminosas tropicais (Schmidt & Stewart 1998; Aidar *et al.* 2003).

O N transportado pelo xilema pode não ser exclusivamente de origem radicular, pois reservas de nitrogênio podem ser remobilizadas (Moreno & Garcia-Martinez, 1983). Em

contraste com plantas anuais, as plantas perenes herbáceas ou lenhosas podem remobilizar N estocado durante o outono e inverno na forma de proteínas e aminoácidos de reserva nos ramos para suportar o crescimento de novas folhas na primavera, antes ou ao mesmo tempo em que há assimilação *de novo* de N pela raiz (Frak *et al.* 2002).

O acúmulo de arginina como fonte de N é comum em muitas espécies de plantas, podendo constituir cerca de 40% do nitrogênio em sementes protéicas e cerca de 50% do pool livre total de nitrogênio em árvores frutíferas (Micallef & Shelp 1989). A arginina possui uma baixa razão C/N (=1,5), sendo um eficiente composto de reserva e de transporte de N. Schmidt & Stewart (1998) sugerem que a significância da arginina como constituinte da seiva do xilema compreende N transportado e remobilizado dos sítios de estocagem na planta.

A remobilização e retranslocação de nutrientes de folhas e tecidos senescentes para outros órgãos em crescimento ou de armazenamento são importantes estratégias na redução da perda de nutrientes, elevando a eficiência no uso do mesmo na planta (Vitousek 1984), porém o conhecimento sobre a remobilização de nitrogênio nas espécies nativas brasileiras ainda é muito incipiente, havendo pouca informação disponível (Nardoto *et al.* 2006).

1.4. Relações entre nitrogênio e comunidades vegetais

Estudos em ecossistemas neotropicais mostram que as plantas diferem quanto ao requerimento e à habilidade de utilizar as fontes orgânicas e inorgânicas de N disponíveis no ambiente, o que permite a organização das espécies em tipos funcionais e famílias botânicas relacionadas ao uso de nitrogênio (Pereira-Silva 2008).

Muitos estudos têm relacionado as características de aquisição e uso de N em plantas com sua classe sucessional (Stewart & Hegarty 1988, Freedman *et al.* 1991, Pate, *et al.* 1993, Stewart *et al.* 1993, Aidar *et al.* 2003, Pereira-Silva 2008).

As características ecofisiológicas das espécies se alteram de acordo com os diferentes estádios de sucessão e com a duração do período de vida das espécies e essas alterações podem ser indicadas pelo metabolismo primário de N (Taiz & Zeiger 2002).

Pate *et al.* (1993) e Stewart *et al.* (1993) evidenciaram diferenças entre grupos de espécies em relação ao metabolismo de N. As espécies apresentaram diferenças principalmente em relação a habilidade de utilizar nitrato (atividade da enzima nitrato redutase) nas folhas e nas raízes, capacidade de armazenar nitrato, quantidade e variedade de aminoácidos transportados via xilema e proporção de N presente na forma de nitrato no xilema. As espécies pioneiras estudadas (dicotiledôneas herbáceas) têm como principal fonte de N o nitrato, as espécies arbóreas fixadoras têm como principal fonte o N₂, as espécies arbóreas não fixadoras têm outra fonte não identificada e as espécies monocotiledôneas têm

como fonte de N o nitrato e outra fonte também não identificada.

Aidar *et al.* (2003) indicam que as espécies arbóreas que ocorrem ao longo da sucessão florestal em Mata Atlântica sobre solo eutrófico, apresentam um contínuo de estratégias do uso de N: as espécies iniciais na sucessão (espécies pioneiras) utilizam principalmente nitrato, são responsivas ao incremento na disponibilidade de N na estação úmida e apresentam concentrações relativamente altas de N na folha; as espécies mais avançadas na sucessão (espécies secundárias tardias) utilizam a reciclagem interna de N como estratégia principal, sendo menos responsivas ao aumento de sua disponibilidade no solo e apresentando menores concentrações de N nos tecidos; as espécies intermediárias na sucessão (secundárias iniciais) apresentam comportamento menos uniforme, com um sub-grupo apresentando comportamento similar aos das espécies iniciais, incluindo as famílias Fabaceae e Lauraceae, e outro sub-grupo apresentando comportamento similar aos das espécies tardias, incluindo as famílias Myrtaceae, Melastomataceae, Proteaceae e Myrsinaceae (Figura 3).

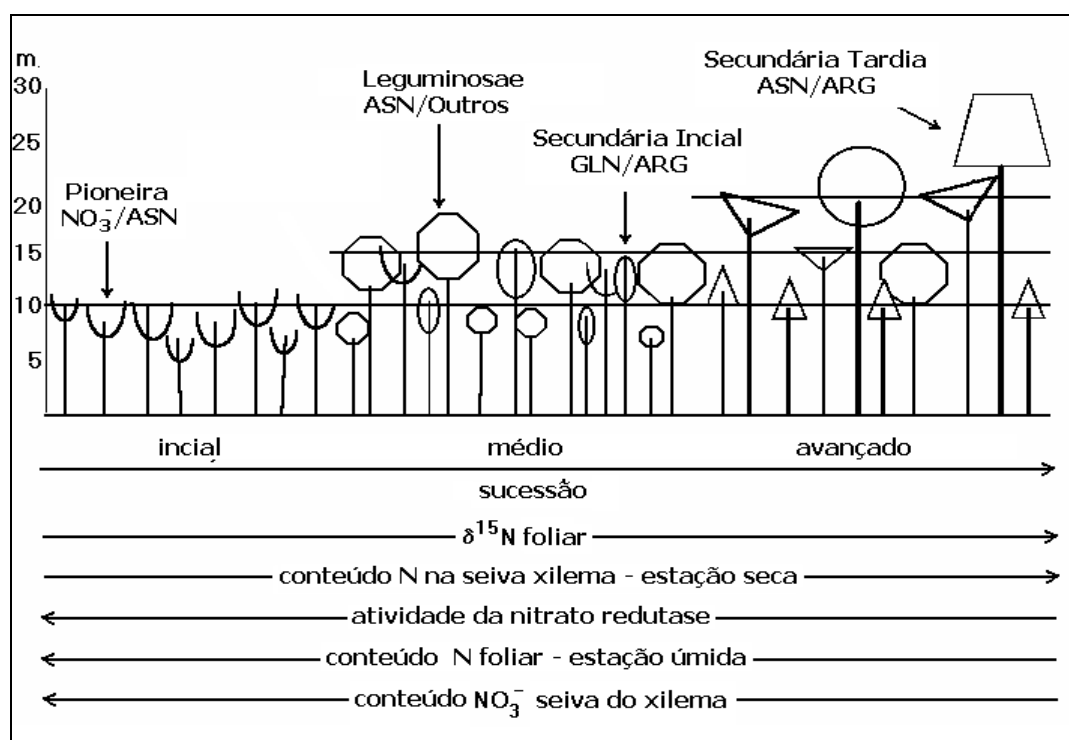


Figura 3: Diagrama conceitual da sucessão florestal mostrando as diferentes estratégias de uso de N (Aidar *et al.* 2003).

Um estudo na Floresta Ombrófila Densa Baixo Montana no Parque Estadual de Carlos Botelho, no Sul do estado de São Paulo realizado por Pereira-Silva (2008) sobre solo ácido e distrófico, indica que as espécies pioneiras utilizam principalmente nitrato como fonte de N e as espécies mais tardias na sucessão utilizam a reciclagem interna como principal fonte desse

elemento para o crescimento, corroborando o proposto por Aidar *et al.* (2003).

2. Justificativa

Apesar da importância da Mata Atlântica para a conservação da biodiversidade, o conhecimento disponível sobre as formações florestais remanescentes do estado de São Paulo ainda não nos permite ultrapassar as suposições sobre os mecanismos reguladores da biodiversidade nesses fragmentos, nem entender como as alterações recentes interferiram nos processos de estruturação e funcionamento dessas florestas (Naeem 2003).

Muitos autores indicam que as taxas de entrada de N nos ecossistemas terrestres decorrente das atividades humanas vêm aumentando muito nos últimos anos e que esse aumento pode resultar em sérios impactos. Vitousek *et al.* (1997) apontam que florestas e áreas úmidas variam significativamente em relação à suas capacidades de retenção de N, e que o estado atual do conhecimento na área é ainda muito restrito.

Segundo Galloway *et al.* (2008) as regiões tropicais vão receber os aumentos mais dramáticos de nitrogênio reativo nas próximas décadas e as entradas desse nitrogênio são conhecidas por levar à perda de biodiversidade em ecossistemas de alta latitude. Phoenix *et al.* (2006) indicam que a deposição de N nos “hotspots” de Mata Atlântica pode atingir valores acima daqueles considerados críticos, levando espécies adaptadas à baixa disponibilidade de N à exclusão competitiva.

Desse modo é essencial uma melhor compreensão dos processos e mecanismos de utilização de N nas espécies da Mata Atlântica, através do estudo da relação entre o suprimento de nitrogênio, associações microbianas, mecanismos fisiológicos e ecológicos que regulam o crescimento da planta e a composição de espécies das comunidades vegetais (Nordin 1998), sendo o armazenamento, a capacidade de assimilação e o transporte, consideradas características fundamentais para um melhor entendimento dos processos de utilização de N em plantas.

Cabe ressaltar que este projeto é parte integrante do Projeto Temático Biota/FAPESP “Composição florística, estrutura e funcionamento da Floresta Ombrófila Densa dos Núcleos Picinguaba e Santa Virgínia do Parque Estadual da Serra do Mar, São Paulo, Brasil” (Processo nº 03/12595-7), que tem como objetivo principal: Compreender melhor o funcionamento da Floresta Ombrófila Densa Atlântica, no que tange ao ciclo de vida das espécies arbóreas e ao ciclo biogeoquímico do nitrogênio e do carbono, a partir da integração dos dados obtidos ao nível de indivíduos, espécies, grupos funcionais e fitofisionomias.

3. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo central a caracterização ecofisiológica da utilização de nitrogênio das espécies arbóreas dominantes na Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas no Núcleo Picinguaba do Parque Estadual da Serra do Mar, Ubatuba, SP.

Os objetivos específicos são:

- a) Determinar as principais características de uso de nitrogênio (aquisição, transporte, estocagem e remobilização) nas espécies arbóreas selecionadas ao longo do ciclo sazonal.
- b) Relacionar as características de uso de nitrogênio com as classes sucessionais das espécies arbóreas selecionadas.

4. Material e Métodos

4.1. Área de estudo

Situado no município de Ubatuba, os 47.500 ha do Núcleo Picinguaba é a porção do Parque Estadual da Serra do Mar que atinge a orla marinha. O Núcleo é um ponto ecologicamente importante, por unir o Parque Estadual da Serra do Mar com o Parque Nacional da Bocaina e a Área de Proteção Ambiental - APA do Cairuçu (RJ), formando uma grande área de conservação (118.000 ha contínuos). Além do valioso patrimônio genético nativo que abriga, o Núcleo tem um grande potencial para educação ambiental e turismo ecológico, por localizar-se numa das áreas turísticas mais importantes do estado de São Paulo (Sanchez *et al.* 1999).

O relevo da região é dominado pela Planície Costeira, morros isolados e serras alongadas, atingindo no seu limite interior a Serrania Costeira. As altitudes no Núcleo Picinguaba variam do nível do mar a 1.340 metros. O clima regional é tropical úmido, sem estação seca com uma precipitação média anual superior a 2.200 mm. Nos meses mais secos, junho a agosto, a precipitação média é superior a 80 mm (Campos, 2008).

A área de estudo selecionada (parcela E, com uma área de 1 hectare) localiza-se a aproximadamente 20 metros da margem direita do Rio da Fazenda, no bairro Fazenda da Caixa, município de Ubatuba, a 23°20'03"S 44°49'56"W, sobre a trilha que sai da Casa de Farinha e vai até Paraty (Figura 4), em cota que varia de 64 a 89m acima do nível do mar e inclinação variando de 2 a 35,4°, representando a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas.

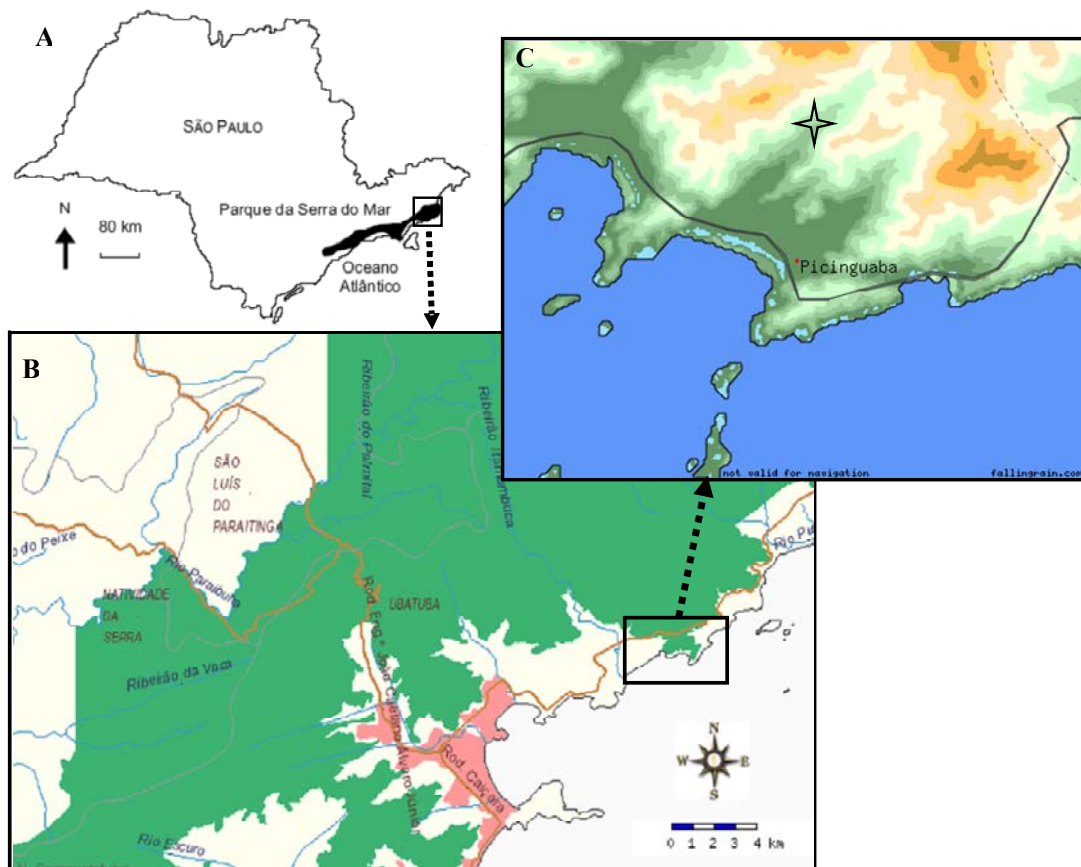


Figura 4: A. Localização da área de estudo no município de Ubatuba, Estado de São Paulo; B. Núcleo Picinguaba, Parque Estadual da Serra do Mar; C. topografia da área da Praia da fazenda onde a estrela indica a localização da área de estudo ($23^{\circ}20'03''S$ $44^{\circ}49'56''W$), parcela E.

4.2. Clima: temperatura média e balanço hídrico

Foram realizadas coletas em duas estações do ano, no inverno (16-20/07/2007) e no verão (23-27/01/2008). As condições climáticas durante os períodos de coleta são apresentadas na figura 5 e indicam uma pequena diferença na precipitação (média de 24,7 mm no inverno e de 29 mm no verão), e no que se refere à ocorrência de déficit hídrico no solo que foram nulos durante os períodos de coleta. A temperatura média varia de 23,4 °C no verão a 19 °C no inverno, com a média das temperaturas mínimas apresentando a maior variação (cerca de 5,5 °C entre o verão e o inverno), já o comprimento do dia em horas varia de 13,47 h dia⁻¹ no verão a 10,55 h dia⁻¹ no inverno, variando em 2,92 h, durante o ano na região.

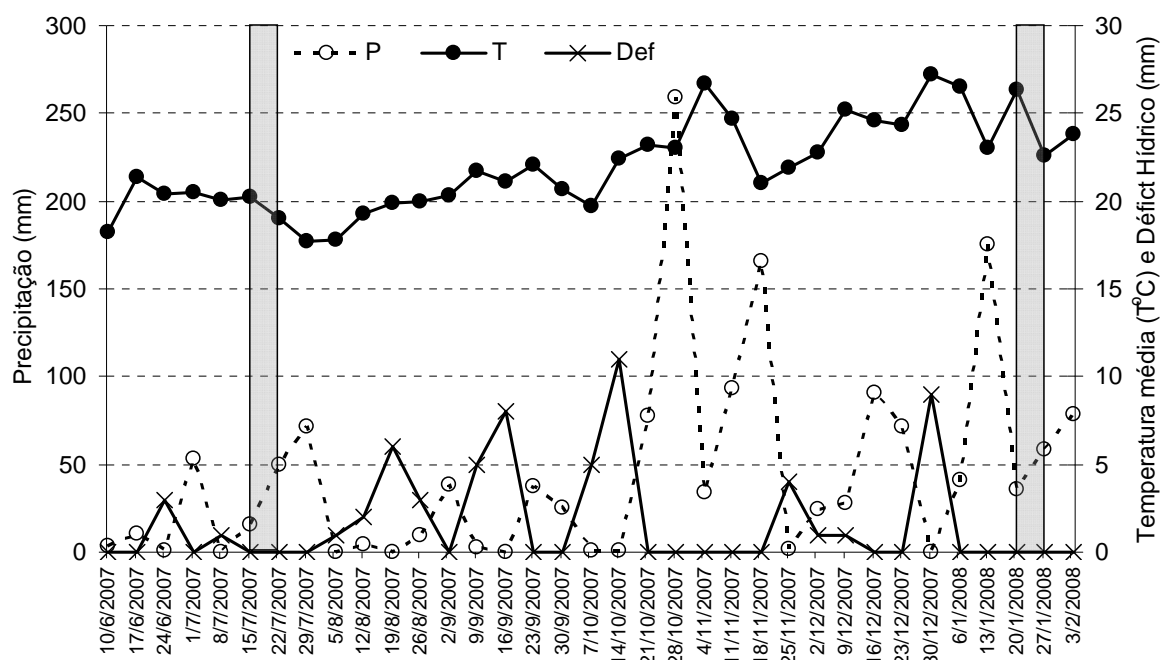


Figura 5: Precipitação, temperatura média e déficit hídrico em Ubatuba no período de coleta (cinza). Estação meteorológica IAC - Ubatuba (23° 25' 0" S, 45° 06' 51.7" W, 66 m).

4.3. Redefinição do sistema de classificação da vegetação

Ao longo das visitas de campo das diversas equipes de pesquisa do projeto Biota Gradiente Funcional foi possível constatar que a floresta que ocorre sobre os solos arenosos da restinga é muito distinta da floresta que ocorre no sopé da serra e na encosta. Esta constatação levou a adoção de uma alteração do Sistema de Classificação proposto por Veloso *et al.* (1991) e no âmbito deste projeto, passou-se a adotar as seguintes denominações (Sousa Neto 2008):

Floresta de Restinga: é a formação florestal que ocorre sobre os cordões arenosos do litoral, em altitudes que variam de 0 a 50 metros, uma variação da Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas de Veloso *et al.* (1991).

Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (FODTB): neste projeto se enquadra nesta categoria a formação florestal que recobre o sopé da Serra do Mar, em altitudes que variam de 50 a 100 metros de altitude, e ocorre sobre solos originários da sedimentação de material oriundo da erosão das áreas mais elevadas da Serra do Mar. Outra peculiaridade desta formação é a presença conspícua de matações rochosos, resultantes do processo de erosão do cristalino, e um grande número de leitos secos de riachos, que se formam em função da dinâmica fluvial de cada área.

Floresta Ombrófila Densa Submontana (FODS): corresponde à formação florestal que recobre as áreas entre 100 e 500 metros de altitude.

Floresta Ombrófila Densa Montana (FODM): segue a classificação clássica de Veloso *et al.* (1991) correspondendo à formação florestal que recobre a Serra do Mar em altitudes que variam de 500 a 1.200 metros.

4.4. Análise da disponibilidade de nitrogênio mineral *in situ*

Foram analisados os valores de disponibilidade de nitrogênio mineral no solo *in situ* durante os períodos de coleta através do uso de sacos de resina de troca iônica mista (Dowex[®] MR-3, Sigma) colocados cinco centímetros abaixo da superfície do solo, em 23 pontos de coleta (Figura 6) por um período de cinco dias, na estação seca (16-20/07/2007) e na estação chuvosa (23-27/01/2008), de acordo com Aidar *et al.* (2003) e Pereira-Silva (2008).

Para isso, foram utilizados 23 conjuntos de três sacos de nylon de 5x5cm, cada um contendo 5g de resina de troca iônica MR-3. Ao final do período de cinco dias esses sacos foram retirados do solo e resfriados para posterior análise. Em laboratório, a resina de troca iônica foi eluída em 100 ml de KCL 2N por quatro horas sob agitação. O conteúdo de nitrato em solução foi determinado de acordo com Cataldo *et al.* (1975) e o conteúdo de amônio segundo o método colorimétrico descrito em McCullough (1967).

4.5. Ocorrência de simbiose radicular

A ocorrência de simbiose radicular foi avaliada a partir de amostras coletadas com o auxílio de um coletor de solo em profundidade de 10 cm e volume de 10 cm³ nos mesmos 23 pontos onde foram analisados os valores de disponibilidade de nitrogênio mineral no solo *in situ* (Figura 6). A ocorrência de micorriza arbuscular foi avaliada segundo metodologia descrita em Aidar *et al.* (2004) e em colaboração com a Dra. Rosilaine Carrenho

(Departamento de Biologia, Universidade Estadual de Maringá, PR) em raízes com diâmetro maiores que 2 mm presentes nas amostras de solo coletados nas duas estações do ano: as raízes foram clarificadas em 10% KOH e HCl 1%, sendo coloridas com 0.05% “tryptan blue” e a frequência de colonização foi contabilizada pela contagem de interseções em lâmina com grade de 1 cm.

4.6. Seleção e categorização sucessional ecológica das espécies

As espécies na área de estudo foram selecionadas segundo sua importância na estruturação da formação vegetal embasada nos parâmetros fitossociológicos (Índice de Valor de Importância – IVI e Dominância Relativa – DoR). O levantamento fitossociológico foi realizado previamente por Campos (2008), integrante da equipe do projeto temático Biotá Gradiente Funcional citado acima. Foram selecionadas também espécies consideradas como de referência pelos seguintes aspectos: espécies já conhecidas anteriormente; espécies indicadoras de ambientes ou estratégias (tal como espécies pioneiras), espécies de famílias importantes; e espécies adequadas para comparação com outras áreas de estudo.

Após a escolha das espécies estas foram agrupadas em quatro categorias sucessionais de acordo com Gandolfi et al. (1995) e Gandolfi (2000). Na definição das categorias utilizadas foram empregados os seguintes conceitos:

- **Pioneiras:** As espécies pioneiras são mais dependentes de luz em processos como germinação, crescimento, desenvolvimento e sobrevivência, do que espécies das demais categorias. Seus indivíduos tendem a ocorrer preferencialmente em clareiras, bordas da floresta e em lugares abertos fora da floresta, sendo pouco frequentes no sub-bosque.
- **Secundárias iniciais:** As espécies secundárias iniciais apresentam uma dependência intermediária da luz em processos como germinação, crescimento, desenvolvimento e sobrevivência. Essas espécies podem se desenvolver nas bordas ou no interior das clareiras, nas bordas de uma floresta e no sub-bosque. No sub-bosque elas tendem a ocorrer em áreas menos sombreadas, estando ausentes (na maioria das vezes) em áreas de sombra muito densa. Muitas podem apresentar grande longevidade, compondo o dossel sobre antigas clareiras, total ou parcialmente preenchidas.
- **Secundárias tardias:** As espécies tardias são menos dependentes de luz em processos como germinação, crescimento, desenvolvimento e sobrevivência, do que espécies das

demais categorias. Tendem a apresentar uma maior ocorrência, abundancia e permanência no sub-bosque, inclusive em locais de sombra densa. Podem eventualmente sobreviver em clareiras abertas ou em preenchimento. Dentro desse grupo podem se encontrar dois comportamentos distintos, espécies típicas do sub-dossel (que permanecem toda sua vida no sub dossel) ou espécies típicas do dossel (que crescem no sub-bosque, mas que podem alcançar e compor o dossel ou a condição emergente).

- **Não caracterizadas:** Espécies que não puderam ser enquadradas nas categorias anteriores, pela falta de informação sobre a espécie ou por ocorrerem em densidade baixa ou de forma dispersa, não permitindo o estabelecimento pela observação de um padrão definido de ocorrência na floresta.

O método de classificação se baseou em evidências do comportamento das espécies que foram obtidas a partir de diferentes fontes bibliográficas, onde se procurou reunir informações sobre as condições de germinação, sobrevivência de plântulas, taxas fotossintéticas, densidade da madeira e crescimento em altura. Após consulta bibliográfica foi feito uma interpretação dos dados disponíveis para cada espécie, agrupando assim as espécies nas diferentes categorias sucessionais propostas. Em alguns casos, devido às divergências existentes entre os diferentes autores, optou-se por utilizar as informações, mas não a classificação por eles atribuída às espécies (Tabela 1).

Tabela 1: Espécies amostradas, suas respectivas famílias, o grupo sucessional: pioneira (Pi), secundária inicial (Si) e secundária tardia (St) e as fontes bibliográficas que auxiliaram nesta classificação.

| Espécie | Família APG | Grupo | Referência |
|--|----------------|-------|--|
| <i>Cecropia glaziovii</i> | Urticaceae | Pi | Iza (2002), Souza <i>et al.</i> (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2004), Mantovani <i>et al.</i> (2005), Pereira-Silva (2008) |
| <i>Pourouma guianensis</i> | Urticaceae | Si | Rolim <i>et al.</i> (1999) |
| <i>Schefflera calva</i> | Araliaceae | Si | Iza (2002), Silva <i>et al.</i> (2003), Hirata (2006) |
| <i>Syagrus pseudococcus</i> | Arecaceae | Si | Lima & Soares (2003) |
| <i>Cordia sellowiana</i> | Boraginaceae | Si | Rolim <i>et al.</i> (1999), Aidar <i>et al.</i> (2003), Hirata (2006) |
| <i>Alchornea triplinervia</i> | Euphorbiaceae | Si | Rolim <i>et al.</i> (1999), Iza (2002), Oliveira (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2004), Mantovani <i>et al.</i> (2005), Hirata (2006) |
| <i>Hyeronima alchorneoides</i> | Euphorbiaceae | Si | Oliveira (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2004), Mantovani <i>et al.</i> (2005), Pereira-Silva (2008) |
| <i>Inga edulis</i> | Fabaceae | Si | Aidar <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2004), |
| <i>Inga striata</i> | Fabaceae | Si | Rolim <i>et al.</i> (1999) |
| <i>Sorocea bonplandii</i> | Moraceae | Si | Iza (2002), Silva <i>et al.</i> (2003), Peixoto <i>et al.</i> (2004), Silva <i>et al.</i> (2004), Mantovani <i>et al.</i> (2005), Hirata (2006) |
| <i>Campomanesia guaviroba</i> | Myrtaceae | Si/St | Rolim <i>et al.</i> (1999), Oliveira (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Mantovani <i>et al.</i> (2005), Hirata (2006), Pereira-Silva (2008) |
| <i>Eugenia oblongata</i> | Myrtaceae | Si | Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Eugenia prasina</i> | Myrtaceae | Si | Oliveira (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Guapira opposita</i> | Nyctaginaceae | Si | Rolim <i>et al.</i> (1999), Oliveira (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2004), Mantovani <i>et al.</i> (2005) Pereira-Silva (2008) |
| <i>Euterpe edulis</i> | Arecaceae | St | Oliveira (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Lima & Soares (2003), Silva <i>et al.</i> (2004), Hirata (2006), Pereira-Silva (2008) |
| <i>Maytenus sp3</i> | Celastraceae | St | Rolim <i>et al.</i> (1999), Silva <i>et al.</i> (2003), Peixoto <i>et al.</i> (2004) |
| <i>Garcinia gardneriana</i> | Clusiaceae | St | Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Sloanea guianensis</i> | Elaeocarpaceae | St | Iza (2002), Mantovani <i>et al.</i> (2005), Hirata (2006), Pereira-Silva (2008) |
| <i>Hymenea courbaril</i> | Fabaceae | St | Aidar <i>et al.</i> (2003), Martins (2007), Pereira-Silva (2008) |
| <i>Mirocarpus frondosus</i> | Fabaceae | St | Rolim <i>et al.</i> (1999), Aidar <i>et al.</i> (2003) |
| <i>Sclerolobium denudatum</i> | Fabaceae | St | Silva <i>et al.</i> (2004), Hirata (2006) |
| <i>Swartzia simplex var. grandiflora</i> | Fabaceae | St | Aidar <i>et al.</i> (2003) |
| <i>Cryptocarya saligna</i> | Lauraceae | St | Mantovani <i>et al.</i> (2005), Pereira-Silva (2008) |
| <i>Ocotea dispersa</i> | Lauraceae | St | Iza (2002), Silva <i>et al.</i> (2003) |
| <i>Cariniana estrelensis</i> | Lecythidaceae | St | Iza (2002), Silva <i>et al.</i> (2003), Aidar <i>et al.</i> (2003), Peixoto <i>et al.</i> (2004), Silva <i>et al.</i> (2004), Hirata (2006), Pereira-Silva (2008) |
| <i>Mollinedia schottiana</i> | Monimiaceae | St | Oliveira (2002), Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Brosimum lactescens</i> | Moraceae | St | Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Virola bicuhyba</i> | Myristicaceae | St | Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Myrcia spectabilis</i> | Myrtaceae | St | Iza (2002), Oliveira (2002), Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Bathysa mendoncae</i> | Rubiaceae | St | Aidar <i>et al.</i> (2003), Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Rustia formosa</i> | Rubiaceae | St | Oliveira (2002) |
| <i>Chrysophyllum flexuosum</i> | Sapotaceae | St | Oliveira (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Silva <i>et al.</i> (2004), Mantovani <i>et al.</i> (2005) |
| <i>Ecclinusa ramiflora</i> | Sapotaceae | St | Rolim <i>et al.</i> (1999), Oliveira (2002), Aidar <i>et al.</i> (2003), Hirata (2006) |

4.7. Atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase *in vivo*

A coleta de material foliar foi realizada pela manhã (das 8:00 às 12:00), sendo amostrados de dois a três ramos da copa por indivíduo selecionado. Folhas totalmente expandidas foram retiradas dos ramos e mantidas resfriadas até posterior análise no laboratório de campo (período na tarde). As folhas foram cortadas em pequenas partes, pesadas (0,1g de peso fresco) transferidas para tubos de ensaio com solução de incubação contendo tampão fosfato (K_2HPO_4 0,1 M, 100 mM KNO_3) e 1-propanol 1% (v/v) onde foram mantidas por uma hora a 30°C, após esse período um ml desta solução foi transferido para tubos de ensaio contendo 1 ml de ácido sulfanílico (1%) onde posteriormente foi acrescentado 1 ml de corante (NED) de acordo com Stewart *et al.* (1986).

4.8. Conteúdo de nitrato foliar

Folhas frescas picadas foram pesadas (0,5g de peso fresco) e submetidas à extração por metanol (1:5 w/v) em temperatura ambiente por 24 h, sendo então congeladas para análises posteriores. O conteúdo de nitrato foi determinado de acordo com Cataldo *et al.* (1975) onde alíquotas de 0,2 ml de extrato foram adicionadas a 0,8 ml de solução de ácido salicílico e ácido sulfúrico concentrado. Após 20 minutos, foi acrescido 19,0 ml de hidróxido de sódio 2N, em seguida a mistura aqueceu e adquiriu coloração, após seu resfriamento, foi realizada leitura em espectrofotômetro na absorvância de 410 nm. Os valores obtidos dessa leitura foram convertidos em concentração de nitrato com o auxílio de uma curva de calibração preparada simultaneamente à marcha de análise.

4.9. Determinação da razão isotópica do N estável e determinação da razão C/N em amostras de folhas

A determinação da razão C/N e da abundância natural do isótopo estável ($\delta^{15}N$) foi realizada em amostras de folhas secas a 50° C e moídas através de analisador elementar (Carlo Erba, EA 1110, CHNS, CE Instruments) e espectrometria de massas para razões isotópicas (Delta Plus, ThermoQuest-Finnigan) do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/ESALQ/USP.

4.10. Coleta e análise de fluido do xilema

A coleta de seiva do xilema foi realizada pela manhã através do uso de bomba de vácuo manual nos ramos das plantas coletadas. O material vegetal foi coletado com podão e em alguns casos com o auxílio de escalador. O fluido foi recolhido e congelado para posterior análise. A determinação de nitrato foi realizada segundo Cataldo *et al.* (1975).

As análises de aminoácidos e amidas foram feitas em cromatografia líquida de alta performance (Dionex DX600 AminoPac 10).

4.11. Análise estatística

Foi realizado o teste *t* pareado com o objetivo de verificar as possíveis diferenças entre as estações quanto aos valores médios de colonização radicular total (CRT) e de disponibilidade de NH_4^+ e de NO_3^- *in situ*.

Para comparar o grupo das espécies secundárias iniciais com o das secundárias tardias quanto aos valores das variáveis estudadas nas folhas e na seiva do xilema em cada uma das estações foi realizado o teste *t* para amostras independentes assumindo igualdade de variâncias entre os grupos (verificada com o uso do teste de Levene), com exceção do conteúdo de aminoácidos totais e de asparagina na seiva do xilema no inverno, para os quais se utilizou a versão ajustada para ausência de homogeneidade de variâncias.

Para comparar as médias dos valores apresentados pelo grupo das espécies secundárias iniciais e pelo grupo das secundárias tardias com os valores verificados para a espécie pioneira (*C. glazioui*) foi realizado o teste *t* para uma amostra.

Para verificar a presença de diferenças entre as estações quanto aos valores médios apresentados pelas espécies secundárias iniciais e pelas secundárias tardias para as variáveis citadas acima foi realizado o teste *t* para amostras dependentes (teste *t* pareado).

Para verificar a normalidade da distribuição dos dados para cada grupo foi realizado o teste de Shapiro-Wilk. Para os casos em que se observou ausência de normalidade foram realizadas versões não paramétricas dos testes descritos acima (Mann-Whitney U, para amostras independentes e Wilcoxon, para amostras pareadas). Quando não foram observadas diferenças consideráveis no resultado dos testes, optou-se por omitir os resultados dos testes não paramétricos.

Foi realizada uma análise de ordenação (Análise de Componentes Principais) com o objetivo de explorar a relação entre as espécies e entre os grupos sucessionais ao longo dos gradientes principais. A Análise de Componentes Principais foi conduzida a partir de matriz de correlações de Pearson calculadas para o total de pares de variáveis descritoras dos atributos de cada espécie. Diferenças entre os valores médios das variáveis sintéticas (escores) apresentados pelos grupos sucessionais foram caracterizados pelo uso de teste *t* para amostras independentes e Mann-Whitney U.

As metodologias aplicadas estão descritas em Legendre & Legendre (1998) e Zar (1999). Para todas as análises e confecção de gráficos foram utilizados os softwares Minitab14[®] e SPSS 13[®].

4.12. Dados complementares

Dados complementares referentes ao solo da área foram obtidos a partir do relatório científico da doutoranda Susian Martins, integrante do projeto Biota Gradiente Funcional citado acima, apresentado à Fapesp (processo nº 05/57950-4), as análises foram realizadas no laboratório do CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP).

4.12.1. Características físicas e químicas do solo

Para observação do perfil do solo uma trincheira foi aberta fora da parcela, em oito subparcelas foram feitas análises de porcentagem de argila, areia e silte; e em 16 subparcelas equidistantes (Figura 6), foram quantificados os parâmetros pH (em CaCl₂), H+Al, K, Al, S, P, Ca, Mg, Soma de Bases (SB) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC). As análises foram feitas separadamente para diferentes profundidades, mas neste trabalho foram considerados apenas os valores dos 30 cm superficiais do solo para cada um dos parâmetros, pois esta é a camada onde ocorrem predominantemente as raízes.

O solo da área, do tipo Cambissolo Haplico (IBGE 2007), não possui erosão aparente, é bem drenado e originário de sedimentos arenosos do Holoceno. Em termos de características morfológicas, ele é um solo de textura argilosa, friável, ligeiramente plástico e pegajoso. A análise nos 16 pontos (Tabela 2) mostra que o solo da parcela é muito ácido (com o pH variando de 3,38 a 3,93). O fósforo e o enxofre apresentam as concentrações mais variáveis, com valores que vão de 5,51 a 49,00 mg kg⁻¹ e 6,25 a 58,00 mg kg⁻¹, respectivamente. Os teores de Al trocável foram maiores na superfície, decrescendo em profundidade. Os valores soma de bases (SB) foram muito baixos em todas as profundidades. Com relação aos valores de H+Al, os mesmos apresentam valores extremamente altos. A capacidade de troca catiônica (CTC) apresentou valores altos diminuindo em profundidade, devido aos altos valores de H+Al.

Tabela 2: Valores médios, e desvio padrão para as variáveis de solo. Foram considerados os valores obtidos para os 30 centímetros superficiais de solo em 16 pontos no hectare.

| Parâmetros | Profundidade (cm) | | | |
|----------------------------------|-------------------|----------|---------|---------|
| | 0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 20 | 20 - 30 |
| pH CaCl ₂ | 4 ± 0,3 | 4 ± 0,3 | 4 ± 0,2 | 4 ± 0,2 |
| P (mg Kg ⁻¹) | 18 ± 9 | 13 ± 5 | 13 ± 27 | 3 ± 3 |
| K (mmolc Kg ⁻¹) | 2 ± 0,5 | 1 ± 0,4 | 1 ± 0,5 | 1 ± 0,4 |
| Ca (mmolc Kg ⁻¹) | 6 ± 7 | 3 ± 4 | 3 ± 5 | 2 ± 1 |
| Mg (mmolc Kg ⁻¹) | 4 ± 3 | 2 ± 1 | 1 ± 1 | 1 ± 0,4 |
| Al (mmolc Kg ⁻¹) | 15 ± 5 | 17 ± 6 | 14 ± 4 | 10 ± 3 |
| S (mg Kg ⁻¹) | 22 ± 13 | 24 ± 15 | 36 ± 23 | 53 ± 37 |
| H + Al (mmolc Kg ⁻¹) | 123 ± 48 | 122 ± 56 | 93 ± 35 | 71 ± 37 |
| SB (mmolc Kg ⁻¹) | 11 ± 8 | 6 ± 5 | 5 ± 6 | 3 ± 1 |
| CTC (mmolc Kg ⁻¹) | 134 ± 48 | 128 ± 56 | 98 ± 37 | 75 ± 37 |
| areia (%) | 72 ± 9 | 66 ± 10 | 63 ± 12 | 64 ± 12 |
| argila (%) | 22 ± 8 | 26 ± 9 | 30 ± 12 | 29 ± 11 |
| silte (%) | 6 ± 2 | 8 ± 3 | 8 ± 3 | 7 ± 3 |

(Fonte de dados: Martins, dados não publicados)

4.12.2. Conteúdo e razão isotópica do N e C no solo

A determinação das concentrações de N e C totais e da abundância natural dos seus isótopos estáveis ($\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$) foi realizada em amostras de solo seco a 105° C, obtidas a partir de coletas nos mesmos pontos e profundidades da coleta de solo realizada para a análise física e química (Figura 6), através de Analisador elementar (Carlo Erba EA 1110 CHNS, CE Instruments) e espectrometria de massas para razões isotópicas (Delta Plus, ThermoQuest-Finnigan), respectivamente.

A análise nos 16 pontos (Tabela 3) mostra que a concentração do C varia de 4,8% a 1,7% e do N varia de 0,3% a 0,1%, diminuindo em profundidade. O $\delta^{13}\text{C}$ variou de -27,7 a -25,0 ‰ e o $\delta^{15}\text{N}$ variou de 7,6 a 5,2 ‰, ambos com um enriquecimento do isótopo (^{13}C e ^{15}N) em profundidade.

Tabela 3: Valores médios, e desvio padrão do conteúdo e da razão isotópica do N e C no solo. Foram considerados os valores obtidos para os 30 centímetros superficiais de solo em 16 pontos no hectare.

| | Profundidade (cm) | | | |
|-----------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| | 0 - 5 | 5 - 10 | 10 - 20 | 20 - 30 |
| ^{15}N | $5 \pm 0,8$ | $6 \pm 1,2$ | 7 ± 1 | 8 ± 1 |
| ^{13}C | $-28 \pm 0,6$ | $-27 \pm 0,7$ | $-27 \pm 0,5$ | -25 ± 7 |
| %C | 5 ± 2 | 3 ± 2 | $3 \pm 1,2$ | $1,7 \pm 1$ |
| %N | $0,3 \pm 0,2$ | $0,3 \pm 0,1$ | $0,2 \pm 0,1$ | $0,1 \pm 0,0$ |

(Fonte de dados: Martins, dados não publicados)

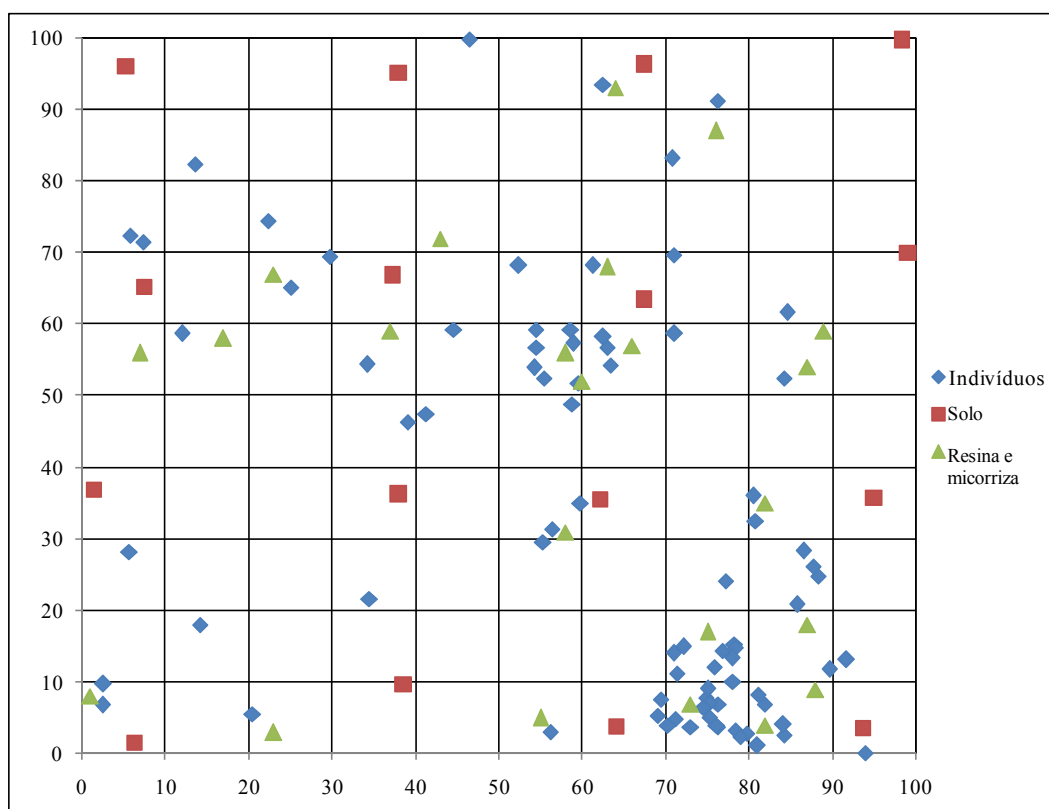


Figura 6: Localização dos indivíduos arbóreos amostrados, dos 23 pontos de coleta para verificação de simbiose radicular e para a análise da disponibilidade de nitrogênio mineral *in situ*, e os 16 pontos de coleta para a análise física e química do solo, dentro da parcela de 1 hectare subdividida em 100 sub-parcelas de 10x10 m.

5. Resultados

5.1. Análise da disponibilidade de nitrogênio mineral *in situ*

A análise *in situ* da disponibilidade de nitrogênio mineral por resina de troca iônica mostrou uma distribuição muito heterogênea tanto do amônio quanto do nitrato com um predomínio do íon amônio nas duas estações ($78,2 \pm 27,1 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – inverno e $68,3 \pm 10,1 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ - verão) em relação ao nitrato ($31,9 \pm 14,8 \mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – inverno e $26,9 \pm 10,6 \mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – verão), sendo, apesar da pequena variação, a concentração de ambos significativamente maior no inverno (NH_4^+ : $z = -2,099$ e $p = 0,036$) e (NO_3^- : $z = -3,954$ e $p = 0,000$).

5.2. Ocorrência de simbiose radicular

A colonização radicular total (CRT) por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) nos 23 pontos de coleta (Figura 7) variou de 31,34% a 74,05% no inverno e de 11,43% a 80,00% no verão, com a presença de vesículas, hifas e arbúsculos nas amostras radiculares em ambas as estações. A análise dos dados mostrou que não houve diferença significativa entre as estações para nenhum dos parâmetros (CRT: $t = 0,587$ e $p = 0,564$, ARB: $t = 0,217$ e $p = 0,830$, VES: $z = 1,688$ e $p = 0,091$ e HI: $z = -0,608$ e $p = 0,543$, HE: $z = -0,799$ e $p = 0,424$). A presença de hifas tanto intraradiculares quanto extraradiculares demonstra que há contribuição dos fungos micorrízicos para a nutrição das plantas na época em que foram coletadas as raízes.

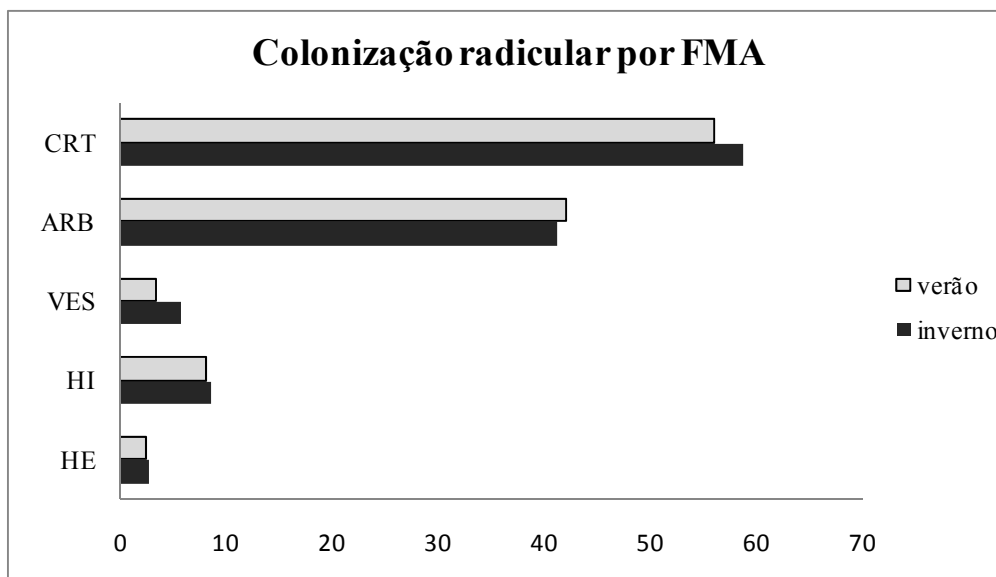


Figura 7: Colonização radicular por FMA (%) nos 23 pontos de coleta no inverno e no verão. HE: hifas extraradiculares, HI: hifas intraradiculares, VES: vesículas, ARB: arbúsculos e CRT: colonização radicular total.

5.3. Seleção e categorização sucessional ecológica das espécies

Foram coletadas 33 espécies de 18 famílias, uma espécie pioneira (Pi), 13 espécies secundárias iniciais (Si) e 19 espécies secundárias tardias (St) (Tabela 4). A maioria das espécies foi representada por três indivíduos, apenas algumas, em função da dificuldade de coleta dos indivíduos de altura elevada, foram representadas por um ou dois indivíduos.

A diferença no número de espécies amostradas nas diferentes classes sucessionais é reflexo da maturidade da vegetação na área, indicada pelos valores de diversidade obtidos e pelo porte das árvores. A alta diversidade encontrada para a parcela ($H' = 4,051$ nats/ind) reflete tanto o grande número de espécies encontrado (142), quanto à equabilidade ($J = 0,817$), sendo que a espécie mais numerosa apresenta somente cerca de 11% dos indivíduos, um resultado coerente com a formação de Floresta Ombrófila Densa com pouca perturbação (Campos 2008).

Tabela 4: Espécies amostradas e suas respectivas famílias, grupo sucessional (Pi, Si e St), número de indivíduos amostrados (n), número de indivíduos total (No.Ind), frequência absoluta (Freq.Ab), índice de valor de cobertura (IVC), área basal (Ar.Bas) e índice de valor de importância (IVI).

| Espécie | Família APG | Grupo | n | No. Ind | Freq. Ab | IVC | Ar. Bas | IVI |
|--|----------------|-------|---|---------|----------|------|---------|------|
| <i>Cecropia glaziovii</i> | Urticaceae | Pi | 3 | 9 | 6,9 | 1,7 | 0,3 | 2,4 |
| <i>Pourouma guianensis</i> | Urticaceae | Si | 2 | 5 | 5 | 1 | 0,2 | 1,5 |
| <i>Schefflera calva</i> | Araliaceae | Si | 3 | 9 | 8,9 | 1,3 | 0,2 | 2,2 |
| <i>Syagrus pseudococcus</i> | Arecaceae | Si | 3 | 37 | 26,7 | 5,1 | 0,6 | 7,9 |
| <i>Cordia sellowiana</i> | Boraginaceae | Si | 1 | 1 | 1 | 0,2 | 0 | 0,3 |
| <i>Alchornea triplinervia</i> | Euphorbiaceae | Si | 3 | 12 | 10,9 | 4,2 | 1 | 5,3 |
| <i>Hyeronima alchorneoides</i> | Euphorbiaceae | Si | 3 | 6 | 5,9 | 7,3 | 2,1 | 7,9 |
| <i>Inga edulis</i> | Fabaceae | Si | 2 | 4 | 4 | 0,9 | 0,2 | 1,3 |
| <i>Inga striata</i> | Fabaceae | Si | 1 | 2 | 2 | 0,6 | 0,1 | 0,8 |
| <i>Sorocea bonplandii</i> | Moraceae | Si | 3 | 14 | 8,9 | 2,9 | 0,5 | 3,9 |
| <i>Campomanesia guaviroba</i> | Myrtaceae | Si | 3 | 3 | 3 | 0,6 | 0,1 | 0,9 |
| <i>Eugenia oblongata</i> | Myrtaceae | Si | 3 | 26 | 22,8 | 4,9 | 0,8 | 7,2 |
| <i>Eugenia prasina</i> | Myrtaceae | Si | 1 | 22 | 16,8 | 2,8 | 0,3 | 4,5 |
| <i>Guapira opposita</i> | Nyctaginaceae | Si | 4 | 39 | 29,7 | 7,2 | 1,2 | 10,2 |
| <i>Euterpe edulis</i> | Arecaceae | St | 3 | 143 | 74,3 | 14,1 | 0,8 | 21,8 |
| <i>Maytenus sp3</i> | Celastraceae | St | 1 | 3 | 3 | 0,9 | 0,2 | 1,2 |
| <i>Garcinia gardneriana</i> | Clusiaceae | St | 3 | 30 | 27,7 | 3,3 | 0,3 | 6,1 |
| <i>Sloanea guianensis</i> | Elaeocarpaceae | St | 3 | 17 | 13,9 | 4,6 | 1 | 6 |
| <i>Hymenea courbaril</i> | Fabaceae | St | 1 | 1 | 1 | 1,6 | 0,5 | 1,7 |
| <i>Mirocarpus frondosus</i> | Fabaceae | St | 1 | 1 | 1 | 0,5 | 0,1 | 0,6 |
| <i>Sclerolobium denudatum</i> | Fabaceae | St | 4 | 10 | 9,9 | 2,2 | 0,4 | 3,3 |
| <i>Swartzia simplex var. grandiflora</i> | Fabaceae | St | 3 | 15 | 13,9 | 5,3 | 1,2 | 6,7 |
| <i>Cryptocarya saligna</i> | Lauraceae | St | 2 | 7 | 5,9 | 2,2 | 0,5 | 2,8 |
| <i>Ocotea dispersa</i> | Lauraceae | St | 3 | 5 | 5 | 0,8 | 0,1 | 1,4 |
| <i>Cariniana estrelensis</i> | Lecythidaceae | St | 1 | 4 | 4 | 1,5 | 0,4 | 1,9 |
| <i>Mollinedia schottiana</i> | Monimiaceae | St | 3 | 81 | 51,5 | 8,6 | 0,6 | 13,9 |
| <i>Brosimum lactescens</i> | Moraceae | St | 1 | 2 | 1 | 0,5 | 0,1 | 0,6 |
| <i>Virola bicuhyba</i> | Myristicaceae | St | 3 | 16 | 13,9 | 5,3 | 1,2 | 6,7 |
| <i>Myrcia spectabilis</i> | Myrtaceae | St | 3 | 30 | 26,7 | 3,2 | 0,2 | 5,9 |
| <i>Bathysa mendoncae</i> | Rubiaceae | St | 3 | 67 | 43,6 | 7,9 | 0,8 | 12,4 |
| <i>Rustia formosa</i> | Rubiaceae | St | 3 | 44 | 30,7 | 8,6 | 1,5 | 11,7 |
| <i>Chrysophyllum flexuosum</i> | Sapotaceae | St | 3 | 43 | 32,7 | 6,6 | 1 | 10 |
| <i>Ecclinusa ramiflora</i> | Sapotaceae | St | 3 | 9 | 7,9 | 3,8 | 0,9 | 4,6 |

(Fonte de dados: Campos 2008)

5.4. Caracterização do uso de nitrogênio pelas espécies arbóreas selecionadas

A coleta de material foliar foi realizada pela manhã, sendo amostrado um ramo da copa por indivíduo. A tabela 5 mostra classes de valores para variáveis analisadas que foram criadas a partir dos resultados obtidos a fim de facilitar a comparação entre as espécies. As figuras 8 a 19 mostram a distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores para cada parâmetro.

A média e o desvio padrão dos valores de atividade máxima potencial da enzima nitrato redutase (ANR), concentração de nitrato (NO_3^-) no xilema e na folha, $\delta^{15}\text{N}$ foliar, %N foliar e razão C:N na folha apresentados pelas espécies estudadas são mostrados nas tabelas 6 e 7. A média e o desvio padrão do conteúdo de compostos nitrogenados de baixo peso molecular na seiva do xilema são mostrados nas tabelas 8 e 9.

Tabela 5: Classes de valores para variáveis analisadas (ANR: atividade da enzima nitrato redutase foliar, $\text{NO}_3^- \text{ F}$: nitrato na foliar, $\text{NO}_3^- \text{ X}$: nitrato na seiva do xilema, $\delta^{15}\text{N}$ foliar, %N foliar, C:N foliar, AAS: aminoácidos totais na seiva do xilema, ARG: arginina, GLN: glutamina, ASN: asparagina, GLU: glutamato, ASP: aspartato.

| | classes | | | | |
|--|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| | muito baixa | baixa | moderada | alta | muito alta |
| ANR ($\mu\text{Kat gPF}^{-1}$) | MB < 50 | $50 \leq B < 150$ | $150 \leq M < 300$ | $300 \leq A < 600$ | $600 \leq MA$ |
| $\text{NO}_3^- \text{ F}$ ($\mu\text{mol gPF}^{-1}$) | MB < 25 | $25 \leq B < 50$ | $50 \leq M < 75$ | $75 \leq A < 100$ | $100 \leq MA$ |
| $\text{NO}_3^- \text{ X}$ ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | MB < 1 | $1 \leq B < 2$ | $2 \leq M < 3$ | $3 \leq A < 4$ | $4 \leq MA$ |
| $\delta^{15}\text{N}$ | MB < 1 | $1 \leq B < 2$ | $2 \leq M < 3$ | $3 \leq A < 4$ | $4 \leq MA$ |
| %N | MB < 1 | $1 \leq B < 2$ | $2 \leq M < 3$ | $3 \leq A < 4$ | $4 \leq MA$ |
| C:N | MB < 10 | $10 \leq B < 15$ | $15 \leq M < 20$ | $20 \leq A < 25$ | $25 \leq MA$ |
| AAS ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | MB < 0,05 | $0,05 \leq B < 0,15$ | $0,15 \leq M < 0,25$ | $0,25 \leq A < 0,35$ | $0,35 \leq MA$ |
| ARG ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | MB < 0,003 | $0,003 \leq B < 0,005$ | $0,005 \leq M < 0,007$ | $0,007 \leq A < 0,010$ | $0,010 \leq MA$ |
| GLN ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | MB < 0,03 | $0,03 \leq B < 0,05$ | $0,05 \leq M < 0,06$ | $0,06 \leq A < 0,07$ | $0,07 \leq MA$ |
| ASN ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | MB < 0,010 | $0,010 \leq B < 0,035$ | $0,035 \leq M < 0,065$ | $0,065 \leq A < 0,150$ | $0,150 \leq MA$ |
| GLU ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | MB < 0,005 | $0,005 \leq B < 0,010$ | $0,010 \leq M < 0,20$ | $0,020 \leq A < 0,030$ | $0,030 \leq MA$ |
| ASP ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | MB < 0,007 | $0,007 \leq B < 0,012$ | $0,012 \leq M < 0,020$ | $0,020 \leq A < 0,030$ | $0,030 \leq MA$ |

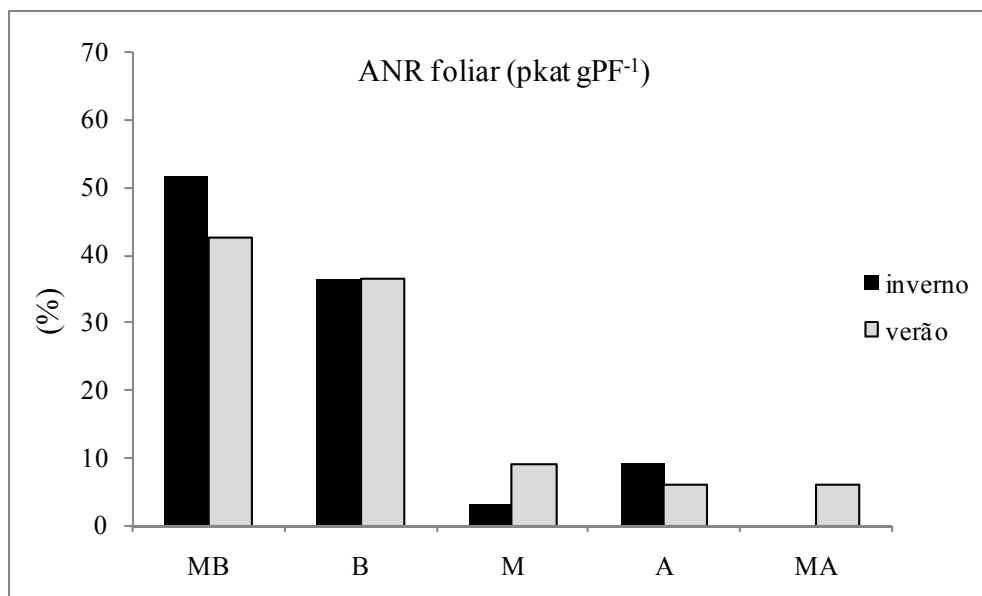


Figura 8: Distribuição das freqüências de ocorrência das espécies nas classes de valores de atividade da enzima nitrato redutase (ANR) foliar para inverno e o verão.

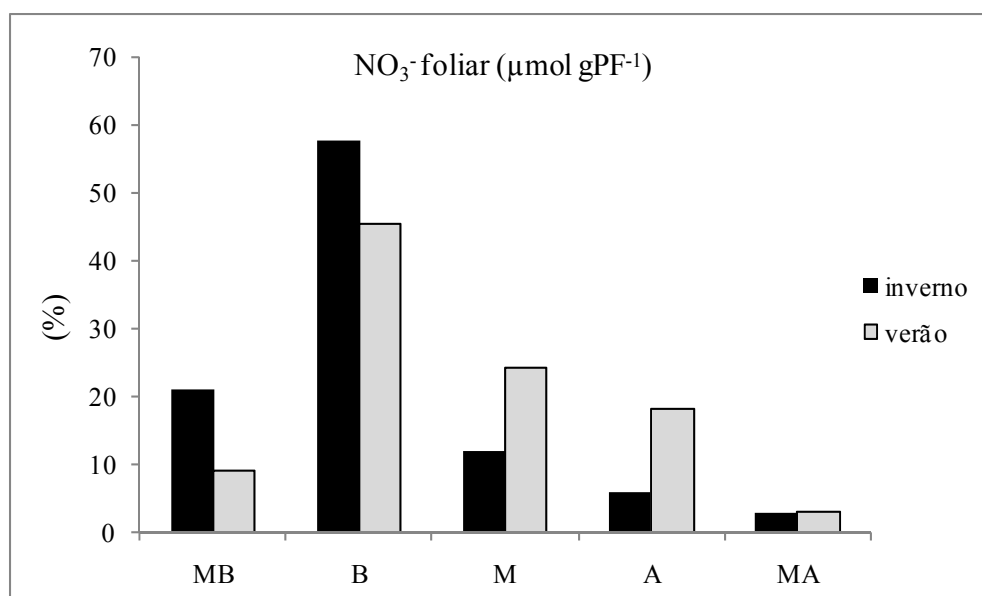


Figura 9: Distribuição das freqüências de ocorrência das espécies nas classes de valores de conteúdo de nitrato foliar para inverno e o verão.

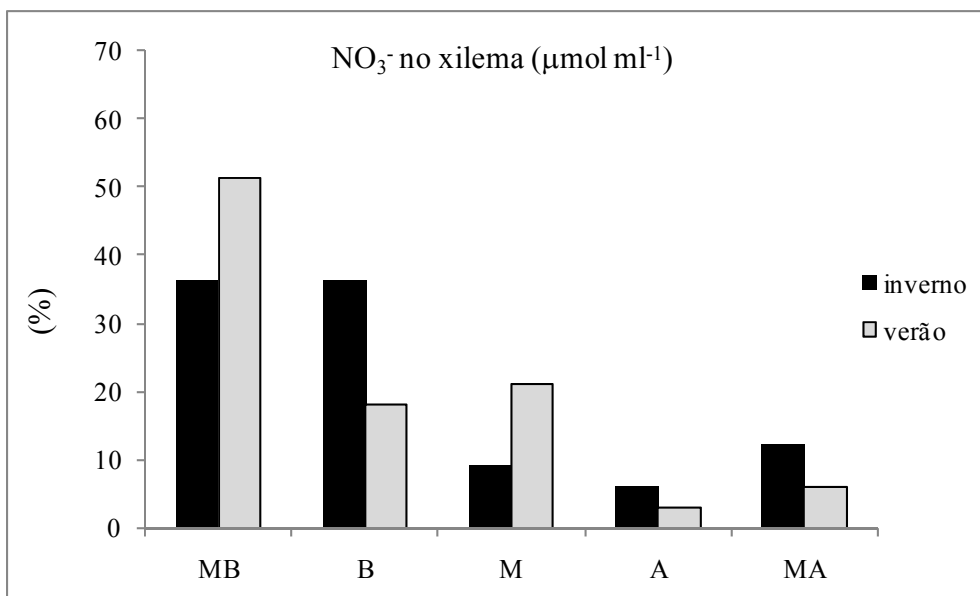


Figura 10: Distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores de conteúdo de nitrato na seiva do xilema para inverno e o verão.

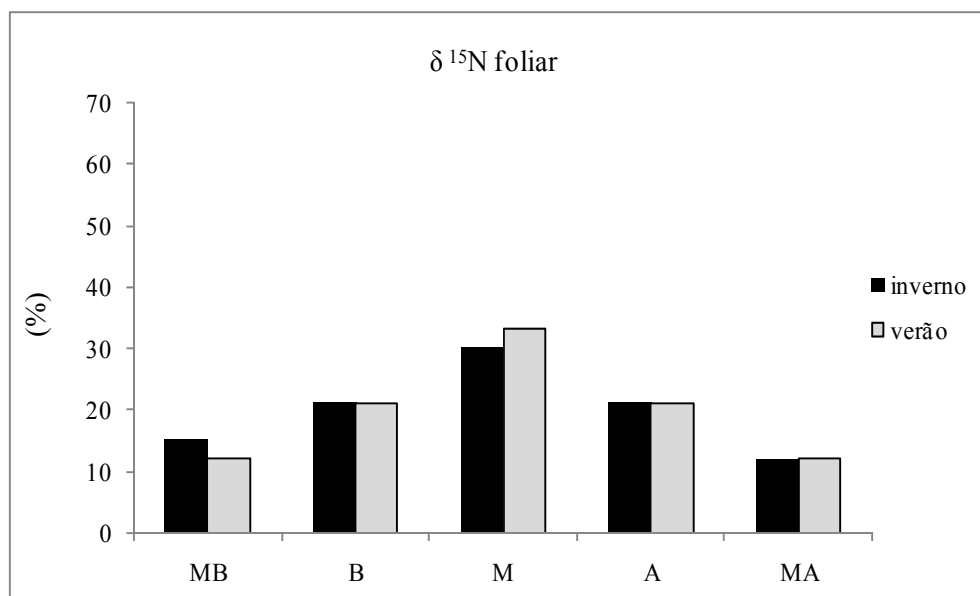


Figura 11: Distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores de δ¹⁵N foliar para inverno e o verão.

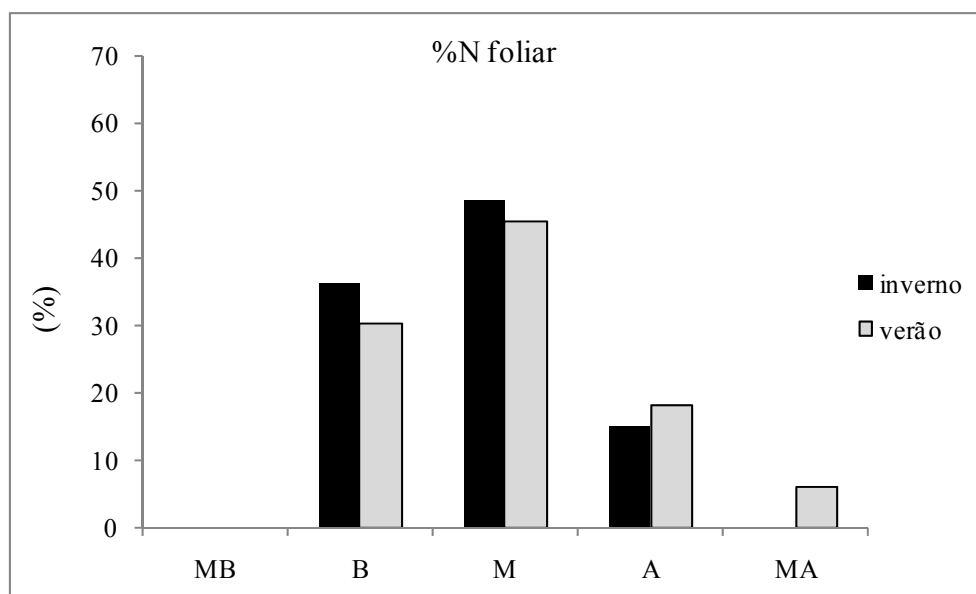


Figura 12: Distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores de %N foliar para inverno e o verão.

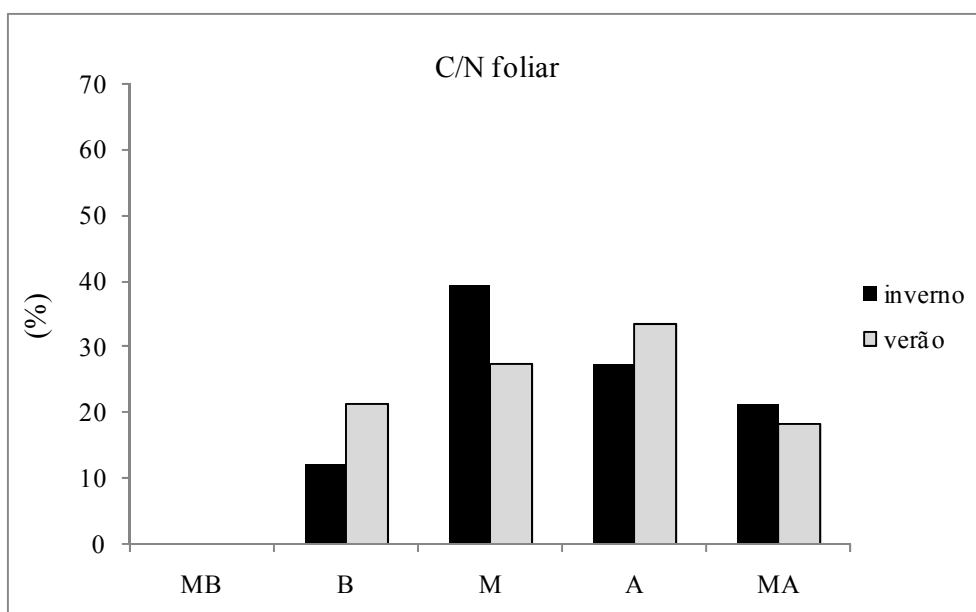


Figura 13: Distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores da razão C/N foliar para inverno e o verão.

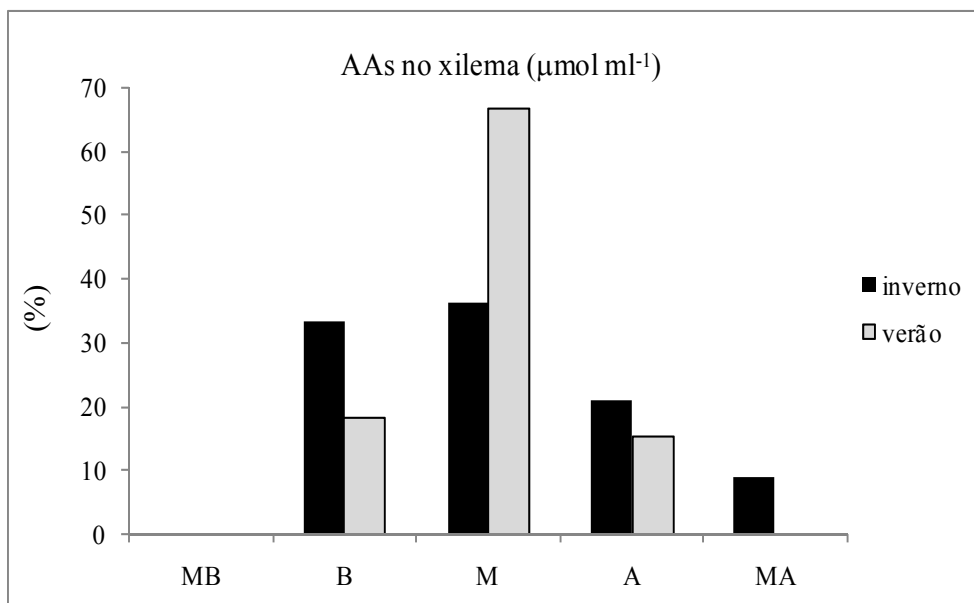


Figura 14: Distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores de conteúdo de aminoácidos totais (AAs) na seiva do xilema para inverno e o verão.

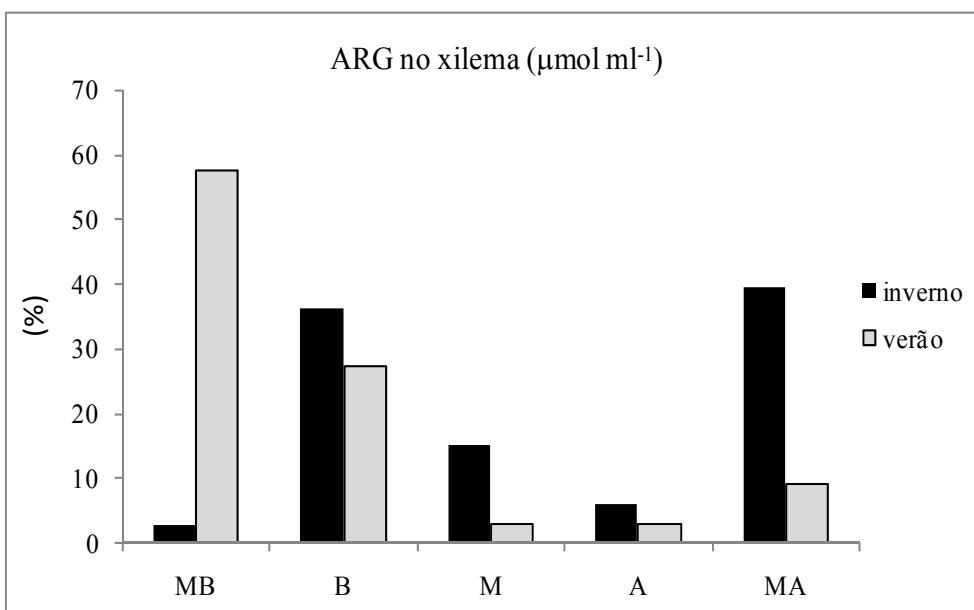


Figura 15: Distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores de conteúdo de arginina (ARG) na seiva do xilema para inverno e o verão.

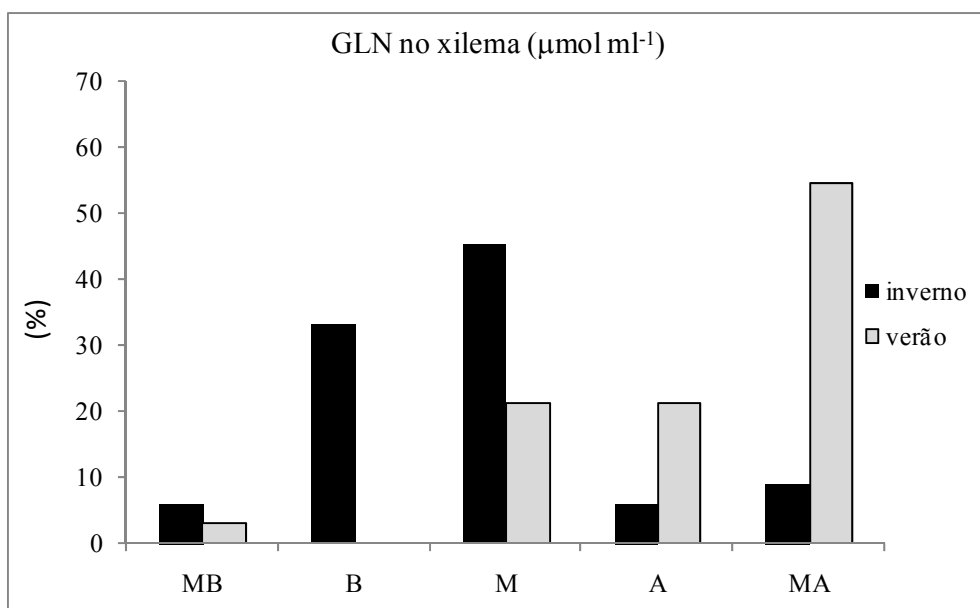


Figura 16: Distribuição das freqüências de ocorrência das espécies nas classes de valores de conteúdo de glutamina (GLN) na seiva do xilema para inverno e o verão.

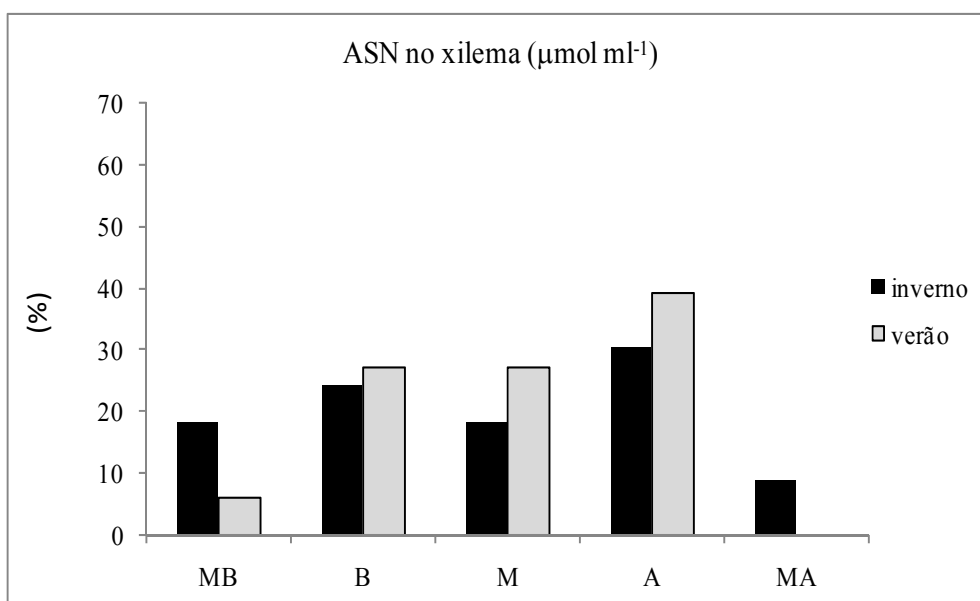


Figura 17: Distribuição das freqüências de ocorrência das espécies nas classes de valores de conteúdo de asparagina (ASN) na seiva do xilema para inverno e o verão.

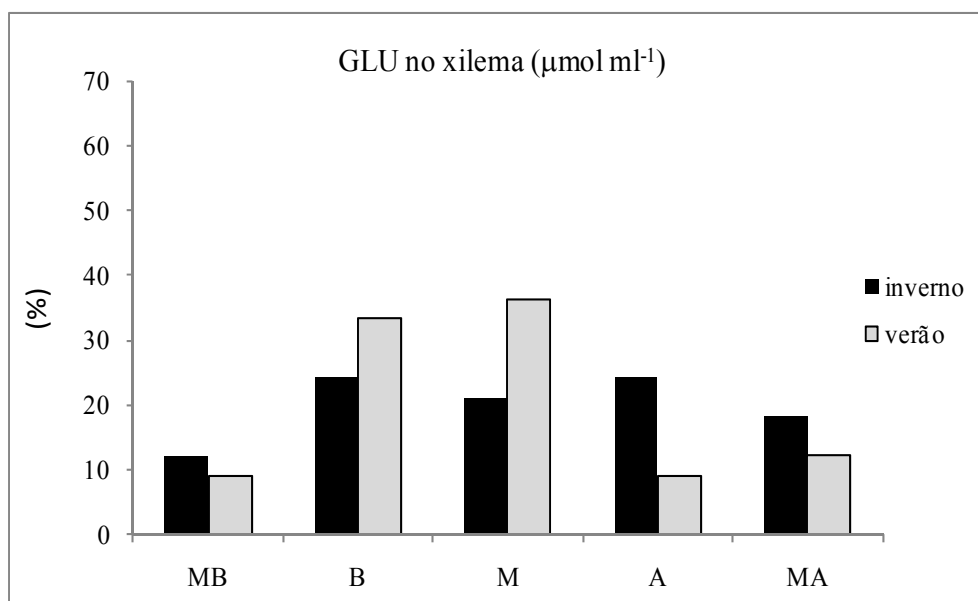


Figura 18: Distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores de conteúdo de glutamato (GLU) na seiva do xilema para inverno e o verão.

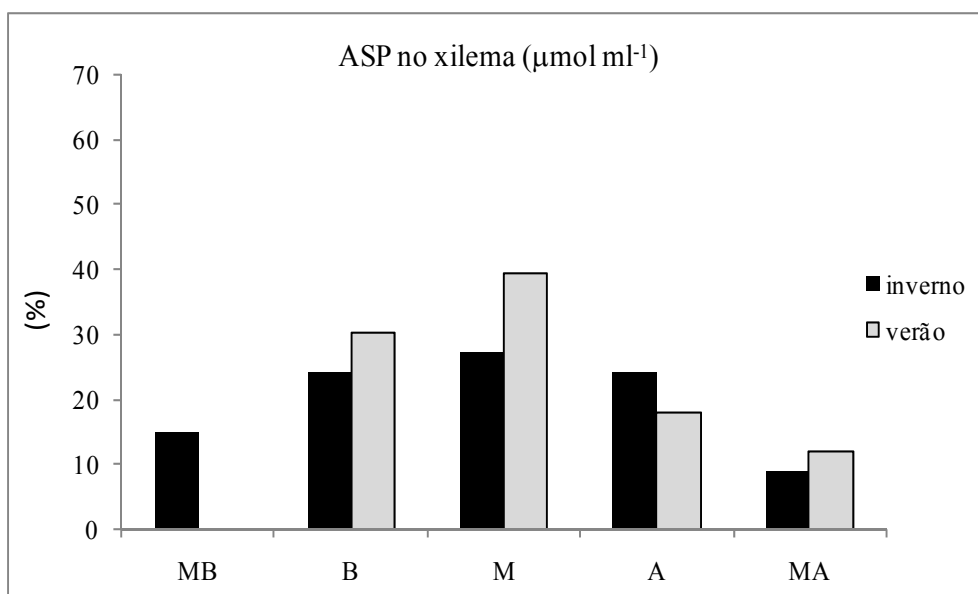


Figura 19: Distribuição das frequências de ocorrência das espécies nas classes de valores de conteúdo de aspartato (ASP) na seiva do xilema para inverno e o verão.

Cecropia glaziovi

Esta espécie apresentou uma atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase foliar alta no inverno e muito alta no verão (312 pkat gPF⁻¹ – inverno e 691 pkat gPF⁻¹ - verão). A espécie apresentou também um conteúdo de nitrato na seiva do xilema muito alto em ambas as estações (5,1 µmol ml⁻¹ – inverno e 7,7 µmol ml⁻¹ – verão). Na folha o conteúdo de nitrato foi moderado (63 µmol gPF⁻¹ – inverno e 71 µmol gPF⁻¹ – verão).

C. glaziovi transporta na seiva do xilema um conteúdo moderado de aminoácidos totais no inverno e muito alto no verão (0,15 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,27 µmol ml⁻¹ – verão), com predominância de compostos como glutamina, com menor concentração no verão (0,067 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,082 µmol ml⁻¹ – verão) e asparagina, com maior concentração no verão (0,030 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,087 µmol ml⁻¹ – verão).

A taxa de N total foliar foi alta (3,3 % – inverno e 3,8 % - verão) e a razão C:N baixa (14 – inverno e 12 – verão), variando muito pouco entre as estações. O conteúdo do δ¹⁵N foi moderado no inverno e alto no verão (2,8 ‰ – inverno e 3,3 ‰ - verão).

Alchornea triplinervia

Os valores da atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase foram muito baixos em ambas as estações (34 pkat gPF⁻¹ – inverno e 44 pkat gPF⁻¹ – verão). O conteúdo de nitrato foliar apresentado pela espécie foi moderado no inverno e alto no verão (76 µmol gPF⁻¹ – inverno e 93 µmol gPF⁻¹ - verão), já na seiva do xilema o conteúdo de nitrato foi baixo no inverno e muito baixo no verão (1,2 µmol ml⁻¹ – inverno e 0,7 µmol ml⁻¹ – verão).

A relação C:N e o conteúdo de N nas folhas foram moderadas em ambas as estações (20 – inverno e 18 - verão e 2,3 % – inverno e 2,5 % - verão, respectivamente), já o δ¹⁵N foliar foi muito baixo tanto no inverno quanto no verão (0,8 ‰ – inverno e 0,9 ‰ – verão).

Foi verificado um baixo conteúdo de aminoácidos totais no inverno e moderado no verão (0,09 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,13 µmol ml⁻¹ – verão), com predomínio de asparagina e glutamina na seiva do xilema com um grande aumento de ambos no verão (0,030 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,033 µmol ml⁻¹ – verão, e 0,029 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,059 µmol ml⁻¹ – verão).

Campomanesia guaviroba

A espécie apresentou atividade da enzima nitrato redutase foliar muito baixa no inverno e baixa no verão (49 pkat gPF⁻¹ - inverno e 57 pkat gPF⁻¹ – verão). O conteúdo de nitrato na folha foi baixo em ambas as estações (41 µmol gPF⁻¹ – inverno e 45 µmol gPF⁻¹ -

verão), na seiva do xilema foi baixo no inverno e moderado no verão ($1,4 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e $2,1 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

As análises mostram também valores de $\delta^{15}\text{N}$ moderado no inverno e baixo no verão (2,3 ‰ – inverno e 1,9 ‰ – verão), uma moderada taxa de N foliar no inverno e alta no verão (2,4 ‰ – inverno e 3,0 ‰ - verão), e uma relação C:N foliar moderada (18 – inverno e 16 – verão).

No inverno a espécie transporta na seiva do xilema principalmente glutamina ($0,041 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e arginina ($0,039 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e no verão asparagina ($0,038 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e glutamina ($0,056 \mu\text{mol ml}^{-1}$), com uma queda muito grande no conteúdo de arginina ($0,002 \mu\text{mol ml}^{-1}$), sendo o conteúdo de aminoácidos totais na seiva do xilema moderada no inverno e baixa no verão ($0,13 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,12 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Eugenia oblongata

Esta espécie apresentou atividade da enzima nitrato redutase muito baixa (30 pkat gPF^{-1} - inverno e 41 pkat gPF^{-1} – verão), baixo conteúdo de nitrato foliar no inverno e moderado no verão ($45 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e $82 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - verão), e moderado conteúdo de nitrato na seiva do xilema ($2,5 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e $2,2 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

O valor do $\delta^{15}\text{N}$ foi alto (3,3 ‰ – inverno e 3,4 ‰ – verão). A taxa de nitrogênio total foliar foi baixa (1,6 ‰ - inverno e 1,5 ‰ - verão), e os valores da relação C:N foram muito altos (29 - inverno e 32 - verão).

O principal aminoácido transportado na seiva do xilema foi glutamina ($0,038 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e glutamato ($0,037 \mu\text{mol ml}^{-1}$) no inverno e glutamina ($0,058 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e asparagina ($0,051 \mu\text{mol ml}^{-1}$) no verão, o conteúdo de aminoácidos totais foi moderado em ambas as estações ($0,16 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,18 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Guapira opposita

Os valores da atividade da enzima nitrato redutase de *Guapira opposita* foram baixos (65 pkat gPF^{-1} - inverno e 146 pkat gPF^{-1} – verão), o conteúdo de nitrato foliar foi muito baixo ($20 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e $19 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ – verão), porém o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi muito alto em ambas as estações ($5,0 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e $6,9 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

G.opposita apresenta alta %N foliar no inverno e muito alto no verão (3,7 ‰ - inverno e 4,4 ‰ - verão) e relação C:N foi baixa (11 - inverno e 10 - verão). O valor do $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi alto e variou pouco entre as estações (3,4 ‰ – inverno e 3,6 ‰ – verão).

Esta espécie apresentou baixo conteúdo de aminoácidos totais ($0,08 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e $0,11 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão), com a glutamina como principal aminoácido na seiva do xilema em ambas as estações ($0,036 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e $0,067 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Hyeronima alchorneoides

A espécie *Hyeronima alchorneoides* apresentou uma baixa atividade da enzima nitrato redutase (97pkat gPF^{-1} - inverno e 82pkat gPF^{-1} – verão), moderado conteúdo de nitrato nas folhas ($62 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e $68 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ – verão) e conteúdo da nitrato na seiva do xilema muito baixo ($0,6 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,6 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

A relação C:N foliar foi alta (22 - inverno e 21 - verão), a %N foliar moderada (2,0 % - inverno e 2,4 % - verão) e o $\delta^{15}\text{N}$ baixo no inverno e moderado no verão (1,9 ‰ – inverno e 2,3 ‰ – verão).

Os aminoácidos predominantes na seiva do xilema foram glutamina ($0,046 \mu\text{mol ml}^{-1}$), glutamato ($0,009 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e arginina ($0,005 \mu\text{mol ml}^{-1}$) no inverno, e glutamina ($0,065 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e asparagina ($0,023 \mu\text{mol ml}^{-1}$) no verão, com baixo conteúdo de aminoácidos totais em ambas as estações ($0,08 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e $0,11 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Inga edulis

A atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase foi baixa no inverno e muito baixa no verão (74pkat gPF^{-1} - inverno e 39pkat gPF^{-1} – verão), o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi muito baixo nas duas estações para esta espécie ($1,0 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,5 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão), já o conteúdo de nitrato na folha foi moderado no inverno e alto no verão ($58 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e $83 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ – verão).

I. edulis apresentou alta %N foliar com uma pequena variação entre as estações (3,5 % - inverno e 3,7 % - verão), moderada relação C:N no inverno e baixa no verão (15 - inverno e 13 - verão). O $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi baixo no inverno e muito baixo no verão (2,0 ‰ – inverno e 0,1 ‰ - verão).

Os principais aminoácidos encontrados na seiva do xilema foram asparagina e glutamina, tanto no inverno ($0,084 \mu\text{mol ml}^{-1}$ e $0,050 \mu\text{mol ml}^{-1}$, respectivamente) quanto no verão ($0,072 \mu\text{mol ml}^{-1}$ e $0,076 \mu\text{mol ml}^{-1}$, respectivamente), com um aumento no conteúdo de aminoácidos totais entre as estações, moderado no inverno e alto no verão ($0,18 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e $0,21 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Schefflera calva

A atividade de assimilação do nitrato na folha em *S. calva* foi muito baixa no inverno e baixa no verão (43 pkat gPF⁻¹ - inverno e 100 pkat gPF⁻¹ – verão), o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi muito baixo (0,8 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,7 μmol ml⁻¹ – verão). O conteúdo de nitrato na folha foi alto e maior no inverno (83 μmol gPF⁻¹ – inverno e 78 μmol gPF⁻¹ – verão).

O %N foliar foi baixo (1,8 % - inverno e 1,9 % - verão) e a relação C:N muito alta (26 – inverno e 26 - verão). O δ¹⁵N foliar foi moderado com pequena variação entre as estações (2,1 ‰ - inverno e 2,0 ‰ - verão).

Na seiva do xilema o conteúdo de aminoácidos totais foi moderado no inverno e baixa no verão (0,13 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,10 μmol ml⁻¹ – verão), com predomínio de asparagina e glutamina em ambas as estações (0,057 μmol ml⁻¹ e 0,049 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,032 μmol ml⁻¹ e 0,059 μmol ml⁻¹ , repectivamente). A arginina apesar de não ser predominante apresentou um conteúdo muito maior no inverno (0,008 μmol ml⁻¹) em relação ao verão (0,001 μmol ml⁻¹).

Sorocea bonplandii

Esta espécie apresentou atividade da enzima nitrato redutase baixa no inverno e muito baixa no verão (77 pkat gPF⁻¹ - inverno e 24 pkat gPF⁻¹ – verão), um baixo conteúdo de nitrato na seiva do xilema (1,4 μmol ml⁻¹ - inverno e 1,0 μmol ml⁻¹ – verão) e na folha (28 μmol gPF⁻¹ – inverno e 32 μmol gPF⁻¹ – verão).

A relação C:N (19 – inverno e 18 - verão), a %N (2,2 % - inverno e 2,2 % - verão) e o δ¹⁵N foliar (2,1 ‰ - inverno e 2,7 ‰ - verão) apresentaram valores moderados com pouca variação entre as estações.

Esta espécie apresentou alto conteúdo de aminoácidos totais na seiva do xilema (0,26 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,23 μmol ml⁻¹ – verão), no inverno a espécie transporta principalmente glutamina (0,114 μmol ml⁻¹) e arginina (0,070 μmol ml⁻¹), no verão o conteúdo de arginina diminui muito (0,038 μmol ml⁻¹) e os principais aminoácidos transportados são glutamina (0,105 μmol ml⁻¹) e asparagina (0,066 μmol ml⁻¹).

Syagrus pseudococcus

Os valores da atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase foram muito baixos (24 pkat gPF⁻¹ - inverno e 36 pkat gPF⁻¹ – verão), e o conteúdo de nitrato na seiva do xilema e na folha foram baixos, com um pequeno aumento no verão em relação ao inverno,

(1,2 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 1,9 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão e 34 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e 37 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – verão, respectivamente).

S. pseudococcus apresentou uma alta relação C:N (23 – inverno e 21 - verão) e moderada %N foliar (2,0 % - inverno e 2,2 % - verão). O valor do $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi muito alto no inverno e moderado no verão (4,0 ‰ - inverno e 2,5 ‰ – verão).

O conteúdo de aminoácidos totais na seiva do xilema foi moderado (0,18 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 0,14 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão), e os principais aminoácidos encontrados na seiva do xilema foram asparagina e glutamina, tanto no inverno (0,092 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ e 0,062 $\mu\text{mol ml}^{-1}$, repectivamente) quanto no verão (0,045 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ e 0,074 $\mu\text{mol ml}^{-1}$, repectivamente).

Bathysa mendoncae

B. mendoncae apresentou atividade da enzima nitrato redutase (8,3 pkat gPF^{-1} - inverno e 23 pkat gPF^{-1} – verão) e conteúdo de nitrato na folha muito baixos (23 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e 16 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – verão), ambos um pouco maior no verão em relação ao inverno. Já o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi muito alto no inverno e moderado no verão (5,0 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 2,9 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

A razão C:N e a %N foram moderadas em ambas as estações (17 – inverno e 17 – verão e 2,6 % - inverno e 2,7 % - verão, respectivamente), o $\delta^{15}\text{N}$ foi moderado no inverno e muito alto no verão (2,2 ‰ - inverno e 4,3 ‰- verão).

Asparagina, glutamato e glutamina são os principais aminoácidos transportados na seiva do xilema tanto no inverno quanto no verão (0,115 $\mu\text{mol ml}^{-1}$, 0,075 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ e 0,056 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 0,074 $\mu\text{mol ml}^{-1}$, 0,025 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ e 0,080 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão, repectivamente), sendo o conteúdo de aminoácidos totais muito alto no inverno e alto no verão (0,33 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 0,20 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Cryptocarya saligna

A atividade de assimilação do nitrato na folha de *C. saligna* foi muito baixa nas duas estações (3,6 pkat gPF^{-1} - inverno e 26 pkat gPF^{-1} – verão), o conteúdo de nitrato na seiva do xilema também foi muito baixo (0,4 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,5 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão) e na folha o conteúdo de nitrato foi muito baixo no inverno e baixo no verão (18 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e 35 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – verão).

Os valores da relação C:N foliar foram altos e variaram muito pouco entre as estações (24– inverno e 22– verão). A %N foliar foi baixa no inverno e moderada no verão (1,9 % - inverno e 2,1 % - verão). O valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi baixo e maior no verão em relação

ao inverno (1 ‰ - inverno e 1,6 ‰ – verão).

Na seiva do xilema foi verificado o predomínio de glutamina e asparagina em ambas as estações com valores mais altos no verão (0,059 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ e 0,029 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 0,079 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ e 0,039 $\mu\text{g ml}^{-1}$, respectivamente). O conteúdo de aminoácidos totais na seiva do xilema foi moderado em ambas as estações (0,14 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 0,19 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Chrysophyllum flexuosum

A espécie *C. flexuosum* apresentou atividade da enzima nitrato redutase baixa no inverno e moderada no verão (119 pkat gPF^{-1} - inverno e 153 pkat gPF^{-1} – verão). O conteúdo de nitrato na folha foi baixo (47 mol gPF^{-1} – inverno e 48 mol gPF^{-1} – verão), e na seiva do xilema muito baixo no inverno e baixo no verão (0,9 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 1,0 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

A relação C:N foi muito alta no inverno e alta no verão (27 – inverno e 23 – verão), em consequência à maior taxa de nitrogênio foliar nesta estação (1,9 ‰ - inverno e 2,1 ‰ - verão). O valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi alto nas duas estações (3,4 ‰ - inverno e 3,6 ‰ – verão).

Na seiva do xilema o conteúdo de aminoácidos totais foi muito alto no inverno e alto no verão (0,39 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 0,20 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão), com predomínio de glutamina, com um pequeno aumento na sua concentração no verão (0,052 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,054 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão) e asparagina (0,180 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,118 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

Ecclinusa ramiflora

Esta espécie apresentou muito baixa atividade da enzima nitrato redutase foliar sem variação entre as estações (48 pkat gPF^{-1} - inverno e 48 pkat gPF^{-1} – verão) e um conteúdo de nitrato na seiva do xilema baixo no inverno e muito baixo no verão (1,3 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,6 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão). Já o conteúdo de nitrato na folha foi moderado no inverno e alto no verão (66 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e 89 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – verão).

A relação C:N foliar foi muito alta (30 – inverno e 27 – verão) e a %N foliar baixa (1,6 ‰ - inverno e 1,7 ‰ - verão). O valor do $\delta^{15}\text{N}$ foi alto e praticamente o mesmo nas duas estações (3,1 ‰ - inverno e 3,1 ‰ – verão).

Tanto no inverno quanto no verão os principais aminoácidos transportados na seiva do xilema foram asparagina (0,149 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,089 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão) e glutamina (0,050 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,062 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão), sendo o conteúdo de aminoácidos totais alto no inverno e moderado no verão (0,26 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,18 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ -

verão).

Euterpe edulis

E. edulis teve atividade da enzima nitrato redutase muito baixa no inverno e baixa no verão (37 pkat gPF⁻¹ – inverno e 66 pkat gPF⁻¹ – verão) , baixo conteúdo de nitrato foliar no inverno e moderado no verão (45 μmol gPF⁻¹ – inverno e 58 μmol gPF⁻¹ - verão) e conteúdo de nitrato na seiva muito baixo em ambas estações (0,6 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,8 μmol ml⁻¹ – verão).

Tanto os valores da %N foliar quanto da relação C:N foram moderados (2,2 % - inverno e 2,2 % - verão e 19 – inverno e 20 – verão, respectivamente). O valor médio do δ¹⁵N foliar foi baixo sem variação entre as estações (1,0 ‰ - inverno e 1,0 ‰ – verão).

Na seiva do xilema o conteúdo de aminoácidos totais foi baixo nas duas estações (0,06 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,08 μmol ml⁻¹ – verão). Predominaram como transportadores de nitrogênio na seiva do xilema os aminoácidos: glutamina no inverno (0,042 μmol ml⁻¹) e glutamina e asparagina no verão (0,060 μmol ml⁻¹ e 0,006 μmol ml⁻¹, repectivamente).

Garcinia gardneriana

Os valores da atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase foliar foram baixos e um pouco maior no inverno em relação ao verão (90 pkat gPF⁻¹ - inverno e 69 pkat gPF⁻¹ – verão), já o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi muito alto no inverno e alto no verão (3,8 μmol ml⁻¹ – inverno e 2,8 μmol ml⁻¹ – verão) e na folha foi o muito alto em ambas as estações (125 μmol gPF⁻¹ – inverno e 106 μmol gPF⁻¹ - verão).

A relação C:N foi muito alta (36 - inverno e 36 – verão) e a %N foliar baixa tanto no inverno quanto no verão (1,3 % - inverno e 1,3 % - verão). O valor médio do δ¹⁵N foliar alto e praticamente não variou entre as estações (3,4 ‰ - inverno e 3,3 ‰ – verão).

Os principais aminoácidos encontrados na seiva do xilema foram arginina (0,040 μmol ml⁻¹), glutamina (0,046 μmol ml⁻¹) e asparagina (0,041 μmol ml⁻¹) no inverno e glutamina (0,063 μmol ml⁻¹) e asparagina (0,049 μmol ml⁻¹) no verão, com uma queda na concentração de arginina nesta estação (0,002 μmol ml⁻¹). O conteúdo de aminoácidos totais na seiva do xilema foi alto no inverno e moderado no verão (0,20 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,16 μmol ml⁻¹ – verão).

Mollinedia schottiana

Esta espécie apresentou atividade da enzima nitrato redutase muito baixa, com valores maiores no verão em relação ao inverno (14 pkat g⁻¹PF - inverno e 30 pkat g⁻¹PF – verão) e

um conteúdo de nitrato na seiva do xilema e na folha também muito baixos ($0,5 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,6 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão e $16 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - inverno e $18 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - verão, respectivamente).

O valor médio do $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi baixo ($3,4 \text{‰}$ - inverno e $3,3 \text{‰}$ - verão), enquanto a relação C:N e a %N foliar foram moderados em ambas as estações (17 - inverno e 17 - verão e $2,6\%$ - inverno e $2,7\%$ - verão, respectivamente).

O conteúdo de aminoácidos totais transportados na seiva do xilema foi moderado nas duas estações, sendo os principais aminoácidos asparagina ($0,029 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,019 \mu\text{mol ml}^{-1}$), e glutamina ($0,020 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,006 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

Myrcia spectabilis

A atividade de assimilação do nitrato na folha foi baixa nesta espécie e maior no verão em relação ao inverno (66pkat gPF^{-1} - inverno e 134pkat gPF^{-1} - verão), o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi baixo no inverno e muito baixo no verão ($1,0 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,8 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão) e na folha o conteúdo de nitrato foi baixo no inverno e moderado no verão ($33 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - inverno e $53 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - verão).

A %N total foliar foi baixa nas duas estações, enquanto a relação C:N foliar foi alta ($1,8 \%$ - inverno e $1,9 \%$ - verão e 23 - inverno e 24 - verão, respectivamente). O valor do $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi muito baixo no inverno e baixo no verão ($1,4 \text{‰}$ - inverno e $3,6 \text{‰}$ - verão).

Na seiva do xilema foi verificado o predomínio de asparagina ($0,002 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,028 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão), arginina ($0,021 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,022 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão) e aspartato ($0,005 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,014 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão) em ambas as estações, sendo o conteúdo de aminoácidos totais baixo no inverno e alto no verão ($0,18 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,21 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

Ocotea dispersa

Foi verificado que *O. dispersa* apresentou atividade da enzima nitrato redutase foliar muito baixa (20pkat gPF^{-1} - inverno e 23pkat gPF^{-1} - verão), baixo conteúdo de nitrato foliar ($19 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - inverno e $47 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - verão) e conteúdo de nitrato na seiva do xilema muito baixo ($0,7 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,7 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

O valor de $\delta^{15}\text{N}$ foi alto no inverno e moderado no verão ($3,6 \text{‰}$ - inverno e $2,8 \text{‰}$ - verão). A %N total foliar moderada nas duas estações ($2,6 \%$ - inverno e $2,3 \%$ - verão), enquanto a relação C:N foliar foi moderada no inverno e alta no verão (19 - inverno e 21 - verão).

Essa espécie tem principalmente asparagina e glutamina nas duas estações como transportadores de nitrogênio na seiva do xilema ($0,090 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,129 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão e $0,051 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,080 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão, respectivamente). O conteúdo de aminoácidos totais foi moderado no inverno e alto no verão ($0,17 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,23 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

Pourouma guianensis

P. guianensis apresentou baixa atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase no inverno e moderada no verão ($113 \text{ pkat gPF}^{-1}$ - inverno e $196 \text{ pkat gPF}^{-1}$ - verão). A concentração de nitrato na folha também foi baixa no inverno e moderada no verão ($43 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - inverno e $76 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - verão), já a concentração de nitrato na seiva do xilema foi baixa nas duas estações ($1,8 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $1,7 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

O conteúdo de aminoácidos totais foi alto em ambas as estações ($0,26 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,25 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão), predominando na seiva do xilema asparagina com uma pequena diminuição na sua concentração no verão ($0,148 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,136 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão) e glutamina, com praticamente o dobro da concentração no verão ($0,053 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,090 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

Os valores de %N ($2,2\%$ - inverno e $2,3\%$ - verão), da relação C:N (19 - inverno e 20 - verão) e do $\delta^{15}\text{N}$ foliar ($2,7\text{‰}$ - inverno e $2,9\text{‰}$ - verão) foram moderados em ambas as estações.

Rustia formosa

A espécie *R. formosa* apresentou baixa atividade da enzima nitrato redutase foliar sem variação entre as estações ($103 \text{ pkat gPF}^{-1}$ - inverno e $103 \text{ pkat gPF}^{-1}$ - verão) e baixo conteúdo de nitrato foliar ($34 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - inverno e $30 \mu\text{mol gPF}^{-1}$ - verão) e na seiva do xilema ($1,2 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $1,5 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

O valor médio da %N total foliar foi moderado em ambas as estações ($2,1\%$ - inverno e $2,2\%$ - verão), a relação C:N foi moderada no inverno e alta no verão (19 - inverno e 20 - verão), já os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foram muito altos ($4,3\text{‰}$ - inverno e $4,4\text{‰}$ - verão).

O conteúdo de aminoácidos totais na seiva do xilema foi moderado ($0,15 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,15 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão), e o transporte de aminoácidos foi predominado por asparagina ($0,037 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,034 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão), com significativa contribuição de glutamina ($0,052 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,065 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - verão).

Sclerobium denudatum

O valor médio da atividade da enzima nitrato redutase foi muito baixo (11 pkat gPF⁻¹ – inverno e 37 pkat gPF⁻¹ – verão), o conteúdo de nitrato foliar foi baixo no inverno e moderado no verão (30 μmol gPF⁻¹ – inverno e 50 μmol gPF⁻¹ – verão) e o valor do conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi baixo no inverno e muito baixo no verão (1,8 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,8 μmol ml⁻¹ – verão).

Tanto os valores da relação C:N quanto da %N foliar foram moderados em ambas as estações (17 - inverno e 19 – verão e 2,8%- inverno e 2,7% – verão), o conteúdo do δ¹⁵N foi baixo com pouca variação entre as estações (1,5 ‰ - inverno e 1,8 ‰ – verão).

Na seiva do xilema o conteúdo de aminoácidos totais foi muito alto no inverno e moderado no verão (0,42 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,16 μmol ml⁻¹ – verão), os principais aminoácidos encontrados foram asparagina (0,181 μmol ml⁻¹), glutamina (0,074 μmol ml⁻¹) e arginina (0,040 μmol ml⁻¹) no inverno e asparagina (0,062 μmol ml⁻¹) e glutamina (0,058 μmol ml⁻¹) no verão, com uma diminuição na concentração de arginina nesta estação (0,003 μmol ml⁻¹).

Sloanea guianensis

S. guianensis apresentou atividade da enzima nitrato redutase foliar muito baixa em ambas as estações (18,8 pkat gPF⁻¹ – inverno e 17 pkat gPF⁻¹ – verão) , baixo elevado conteúdo de nitrato foliar no inverno e moderado no verão (46 μmol gPF⁻¹ – inverno e 71 μmol gPF⁻¹ - verão) e conteúdo de nitrato na seiva do xilema muito baixo (1,8 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,8 μmol ml⁻¹ – verão).

A %N foliar foi baixa (1,6 ‰- inverno e 1,8% – verão) e a relação C:N muito alta (29 – inverno e 26 – verão), quanto o valor do δ¹⁵N foliar muito baixo no inverno e baixo no verão (0,6 ‰ – inverno e 1,1 ‰ – verão).

Os transportadores de nitrogênio predominantes na seiva do xilema foram os aminoácidos glutamina, asparagina e arginina no inverno (0,054 μmol ml⁻¹; 0,023 μmol ml⁻¹ e 0,023 μmol ml⁻¹, respectivamente) e glutamina e asparagina no verão (0,092 μmol ml⁻¹ e 0,074 μmol ml⁻¹, respectivamente). O conteúdo de aminoácidos totais foi moderado no inverno e muito alto no verão (0,18 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,27 μmol ml⁻¹ – verão).

Swartzia simplex var. grandiflora

Esta espécie apresentou atividade da enzima nitrato redutase baixa no inverno e muito

baixa no verão (23 pkat gPF⁻¹ - inverno e 105 pkat gPF⁻¹ – verão) um conteúdo de nitrato na seiva do xilema muito baixo (0,5 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,4 μmol ml⁻¹ – verão) e conteúdo de nitrato na folha muito baixo no inverno e baixo no verão (20 μmol gPF⁻¹ – inverno e 25 μmol gPF⁻¹ – verão).

A relação C:N foi baixa (13 – inverno e 12 – verão), a %N foliar foi alta no inverno e muito alta no verão (3,6 %- inverno e 4,0 % – verão), o δ¹⁵N foliar (0,3 ‰ – inverno e 0,2 ‰ – verão).

O conteúdo de aminoácidos totais foi muito alto (0,36 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,32 μmol ml⁻¹ – verão). Os principais aminoácidos transportados na seiva do xilema foram glutamina e asparagina em ambas as estações, com um conteúdo mais alto no verão em relação ao inverno (0,271 μmol ml⁻¹, 0,055 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,159 μmol ml⁻¹, 0,039 μmol ml⁻¹ – verão).

Viola bicuhyba

A atividade de assimilação do nitrato nesta espécie foi muito baixa e maior no verão em relação ao inverno (5,6 pkat gPF⁻¹ - inverno e 23 pkat gPF⁻¹ – verão), o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi baixo (1,4 μmol ml⁻¹ - inverno e 1,4 μmol ml⁻¹ – verão) e na folha foi muito baixo e variou pouco entre as estações (33 μmol gPF⁻¹ – inverno e 30 μmol gPF⁻¹ – verão).

A %N foliar foi moderada (2,1% - inverno e 2,4% - verão), quanto a relação C:N os valores foram altos no inverno e moderado no verão (21 - inverno e 19,7 - verão), o δ¹⁵N foliar foi baixo no inverno e moderado no verão (1,6‰ - inverno e 2,1‰ - verão).

Foi verificado na seiva do xilema um conteúdo de aminoácidos totais baixo no inverno e moderado no verão (0,12 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,15 μmol ml⁻¹ – verão), com predomínio de glutamina e asparagina em ambas as estações (0,057 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,074 μmol ml⁻¹ – verão e 0,032 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,019 μmol ml⁻¹ – verão, respectivamente)

Espécies complementares (com apenas um indivíduo avaliado por espécie):

Cordia sellowiana

Cordia sellowiana apresentou atividade da enzima nitrato redutase muito baixo no inverno e baixa no verão (44 pkat gPF⁻¹ – inverno e 55 pkat gPF⁻¹ – verão), baixo conteúdo de nitrato foliar (40 μmol gPF⁻¹ – inverno e 41 mol gPF⁻¹ - verão) e conteúdo moderado no inverno e alto no verão de nitrato na seiva (2,3 μmol ml⁻¹ – inverno e 3 μmol ml⁻¹ – verão).

O valor do δ¹⁵N foliar foi muito alto (5,2‰ - inverno e 6‰ - verão). Já a taxa de

nitrogênio foliar e a razão C:N foram moderadas e variaram pouco entre as estações (2,7% - inverno e 2,1% - verão e 16,4 - inverno e 16,3 – verão, respectivamente)

No inverno os aminoácidos glutamina (0,053 $\mu\text{mol ml}^{-1}$) e aspartato (0,019 $\mu\text{mol ml}^{-1}$) predominaram no transporte de nitrogênio na seiva do xilema, já no verão predominaram glutamina (0,071 $\mu\text{mol ml}^{-1}$), glutamato (0,032 $\mu\text{mol ml}^{-1}$), asparagina (0,030 $\mu\text{mol ml}^{-1}$). O conteúdo de aminoácidos totais foi baixo (0,11 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,18 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Eugenia prasina

Esta espécie apresentou atividade da enzima nitrato redutase moderada (169 pkat gPF^{-1} – inverno e 194 pkat gPF^{-1} – verão), conteúdo de nitrato na folha e na seiva do xilema baixo no inverno e moderado no verão (39 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e 59 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ - verão e 1,6 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 2,9 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

A %N foliar foi moderada no inverno e baixa no verão (2,0% - inverno e 1,7% - verão), a relação C:N foi alta no inverno e muito alta no verão (25 – inverno e 29 – verão) e o $\delta^{15}\text{N}$ foliar foi alto em relação às outras espécies variando pouco entre as estações (3,2‰ - inverno e 3,3‰ - verão).

O conteúdo de aminoácidos totais foi moderado (0,17 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,17 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão). Os principais aminoácidos transportadores registrados no inverno foram asparagina (0,065 $\mu\text{mol ml}^{-1}$), glutamato (0,043 $\mu\text{mol ml}^{-1}$) e glutamina (0,033 $\mu\text{mol ml}^{-1}$). Já no verão foram glutamina (0,082 $\mu\text{mol ml}^{-1}$) e asparagina (0,038 $\mu\text{mol ml}^{-1}$).

Inga striata

Em *I. striata* foi verificado baixa atividade potencial da enzima nitrato redutase foliar no inverno e moderada no verão (97 pkat gPF^{-1} – inverno e 139 pkat gPF^{-1} – verão), o conteúdo de nitrato foliar também foi baixo no inverno e moderado no verão (43 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ – inverno e 53 $\mu\text{mol gPF}^{-1}$ - verão), já o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi baixo no inverno e alto no verão (0,3 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – inverno e 0,3 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Assim como as outras espécies da família Fabaceae, *Inga striata* apresentou alta %N na folha (3,6% - inverno e 3,6% - verão), baixa relação C:N (13 - inverno e 14 - verão) e valores muito baixos de $\delta^{15}\text{N}$ foliar (-0,01‰ - inverno e 0,21‰ - verão).

Na seiva do xilema o conteúdo de aminoácidos totais foi baixo no inverno e alto no verão (0,13 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,22 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão). Os principais aminoácidos foram asparagina e glutamina ambos com aumento no verão em relação ao inverno (0,060 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,081 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão e 0,053 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e 0,079 $\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão,

respectivamente).

Brosimum lactescens

Foi verificado que *B. lactescens* apresentou atividade da enzima nitrato redutase baixa no inverno e alta no verão (100 pkat gPF⁻¹ – inverno e 378 pkat gPF⁻¹ – verão), baixo conteúdo de nitrato foliar no inverno e moderado no verão (37 µmol gPF⁻¹ – inverno e 50 µmol gPF⁻¹ – verão) e conteúdo de nitrato na seiva do xilema muito alto no inverno e moderado no verão (4,6 µmol ml⁻¹ – inverno e 2,1 µmol ml⁻¹ – verão).

O valor de δ¹⁵N foi moderado (2,6‰ - inverno e 2,9‰ – verão), a %N foliar foi baixa no inverno e moderada no verão (1,8% - inverno e 2,0% - verão) e a relação C:N foliar foi muito alta no inverno e alta no verão (27,9 - inverno e 22,2 – verão).

Essa espécie tem principalmente asparagina e glutamina nas duas estações como transportadores de nitrogênio na seiva do xilema (0,146 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,078 µmol ml⁻¹ – verão e 0,048 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,072 µmol ml⁻¹ – verão, respectivamente), e um conteúdo de arginina quase 10 vezes maior no inverno em relação ao verão (0,001 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,011 µmol ml⁻¹ – verão). O conteúdo de aminoácidos totais foi alto no inverno e moderado no verão (0,24 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,18 µmol ml⁻¹ – verão)

Cariniana estrellensis

A atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase foliar apresentada por esta espécie foi alta, sendo maior no inverno em relação ao verão (417 pkat gPF⁻¹ – inverno e 304 pkat gPF⁻¹ – verão). Alto conteúdo de nitrato na seiva do xilema (3,2 µmol ml⁻¹ – inverno e 3,5 µmol ml⁻¹ – verão) e níveis baixos de nitrato foliar (49 µmol gPF⁻¹ – inverno e 40 µmol gPF⁻¹ – verão).

O valor do δ¹⁵N foliar foi muito alto (6,3‰ - inverno e 4,7‰ – verão), a %N foliar foi moderada no inverno e alta no verão (2,2% - inverno e 3,2% - verão) e a relação C:N foliar foi alta no inverno e moderada no verão (20 - inverno e 14 - verão)

Na seiva do xilema o conteúdo de aminoácidos totais foi moderado (0,20 µmol ml⁻¹ - inverno e 0,18 µmol ml⁻¹ – verão), Os principais aminoácidos encontrados foram: glutamina (0,057 µmol ml⁻¹) e glutamato (0,021 µmol ml⁻¹) no inverno e gluamina (0,063 µmol ml⁻¹), glutamato (0,029 µmol ml⁻¹) e aspartato (0,021 µmol ml⁻¹) no verão.

Hymenaea courbaril

Os valores da atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase foliar foram

muito baixos em *H. courbaril* (42 pkat gPF⁻¹ - inverno e 36 pkat gPF⁻¹ – verão) assim como o conteúdo de nitrato na seiva do xilema (2,2 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,4 μmol ml⁻¹ – verão), ambos com um pequeno aumento no inverno em relação ao verão. O conteúdo de nitrato na folha foi baixo (27 μmol gPF⁻¹ – inverno e 36 μmol gPF⁻¹ – verão).

A %N na folha foi baixa no inverno e moderada no verão (1,9% - inverno e 2,0% - verão), a relação C:N foi alta (21 – inverno e 25 – verão) e o δ¹⁵N foliar foi baixo no inverno e moderado no verão (1,3 ‰ - inverno e 2,9 ‰ – verão).

O conteúdo de aminoácidos totais encontrado na seiva do xilema foi muito alto no inverno e moderado no verão (0,30 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,18 μmol ml⁻¹ – verão), sendo os principais aminoácidos em ambas as estações asparagina (0,150 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,082 μmol ml⁻¹ – verão) e glutamina (0,050 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,075 μmol ml⁻¹ – verão). O conteúdo de arginina foi muito maior no inverno em relação ao verão (0,012 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,002 μmol ml⁻¹ – verão).

Maytenus sp3

A atividade da assimilação do nitrato foliar em *Maytenus sp3* foi muito baixa nas duas estações (32 pkat gPF⁻¹ - inverno e 25 pkat gPF⁻¹ – verão), o conteúdo de nitrato foi muito baixo na seiva do xilema e baixo na folha (0,5 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,5 μmol ml⁻¹ – verão, e 27 μmol gPF⁻¹ – inverno e 40 μmol gPF⁻¹ – verão, respectivamente).

O valor da %N foliar foi alta (1,8% - inverno e 2,0% - verão), a relação C:N foi baixa no inverno e moderada no verão (23,8 – inverno e 22 – verão) e o δ¹⁵N foliar foi moderado variou pouco entre as estações (2,8‰ - inverno e 2,3‰ – verão).

Os principais aminoácidos encontrados na seiva do xilema foram: glutamato (0,123 μmol ml⁻¹) e asparagina (0,106 μmol ml⁻¹) no inverno e aspartato (0,075 μmol ml⁻¹), glutamina (0,058 μmol ml⁻¹) e asparagina (0,043 μmol ml⁻¹) no verão. Nesta espécie o conteúdo de arginina também foi muito maior no inverno em relação ao verão (0,027 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,002 μmol ml⁻¹ – verão), sendo o conteúdo de aminoácidos totais muito alto no inverno e moderado no verão (0,35 μmol ml⁻¹ - inverno e 0,18 μmol ml⁻¹ – verão).

Myrocarpus frondosus

A espécie apresentou uma baixa atividade da enzima nitrato redutase foliar inverno e muito baixa no verão (121 pkat gPF⁻¹ - inverno e 46 pkat gPF⁻¹ – verão), o conteúdo de nitrato na folha foi baixo (24 μmol gPF⁻¹ – inverno e 35 μmol gPF⁻¹ - verão) e o conteúdo de nitrato na seiva do xilema foi baixa no inverno e muito baixa no verão (1,0 μmol ml⁻¹ – inverno e 0,9

$\mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

As análises mostram também um $\delta^{15}\text{N}$ moderado (2,1‰ – inverno e 2,2‰ – verão), uma %N foliar moderada no inverno e alta no verão (2,9% – inverno e 3,4% - verão) e uma relação C:N moderada no inverno e baixa no verão (15,8 – inverno e 14,3 – verão).

No inverno a espécie transporta principalmente asparagina ($0,119 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e glutamina ($0,053 \mu\text{mol ml}^{-1}$) na seiva do xilema e no verão asparagina ($0,066 \mu\text{mol ml}^{-1}$) e aspartato ($0,024 \mu\text{mol ml}^{-1}$). O conteúdo de aminoácidos totais encontrado na seiva do xilema foi muito alto no inverno e moderado no verão ($0,31 \mu\text{mol ml}^{-1}$ - inverno e $0,26 \mu\text{mol ml}^{-1}$ – verão).

Tabela 6: Média e desvio padrão dos valores de atividade da enzima nitrato redutase (ANR), do conteúdo de nitrato (NO_3^-) no xilema e na folha, $\delta^{15}\text{N}$ foliar, %N foliar e da razão C:N na folha. Grupo sucessional (Pi, Si e St), número de indivíduos amostrados (n) e estação do ano: inverno (inv) e verão (ver).

| Espécie | Família APG | Grupo | n | Estação | ANR | NO_3^- | NO_3^- | $\delta^{15}\text{N}$ | N | C:N |
|-------------------------|----------------|-------|---|---------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------|-----------|----------|
| | | | | | $\mu\text{Kat g PF}^{-1}$ | $\mu\text{mol ml}^{-1}$ | $\mu\text{mol g PF}^{-1}$ | % | % | |
| <i>C. glaziovii</i> | Urticaceae | Pi | 3 | inv | 312 ± 92 | 5,1 ± 2,3 | 63 ± 5 | 2,8 ± 1,1 | 3,3 ± 0,6 | 14 ± 2,7 |
| | | | 3 | ver | 691 ± 72 | 7,7 ± 6,8 | 71 ± 26 | 3,3 ± 1,1 | 3,8 ± 0,2 | 12 ± 0,8 |
| <i>A. triplinervia</i> | Euphorbiaceae | Si | 3 | inv | 34 ± 16 | 1,2 ± 0,8 | 76 ± 14 | 0,8 ± 0,7 | 2,3 ± 0,0 | 20 ± 0,8 |
| | | | 3 | ver | 44 ± 12 | 0,7 ± 0,3 | 93 ± 6 | 0,9 ± 1,4 | 2,5 ± 0,2 | 18 ± 1,6 |
| <i>C. guaviroba</i> | Myrtaceae | Si | 3 | inv | 49 ± 11 | 1,4 ± 0,7 | 41 ± 9 | 2,3 ± 0,6 | 2,4 ± 0,2 | 18 ± 1,6 |
| | | | 3 | ver | 57 ± 14 | 2,1 ± 0,8 | 45 ± 9 | 1,9 ± 0,9 | 3,0 ± 0,9 | 16 ± 5,5 |
| <i>E. oblongata</i> | Myrtaceae | Si | 3 | inv | 30 ± 26 | 2,5 ± 0,9 | 45 ± 24 | 3,3 ± 0,8 | 1,6 ± 0,3 | 29 ± 7,2 |
| | | | 3 | ver | 41 ± 28 | 2,2 ± 1,4 | 82 ± 78 | 3,4 ± 0,4 | 1,5 ± 0,2 | 32 ± 6,0 |
| <i>G. opposita</i> | Nyctaginaceae | Si | 4 | inv | 65 ± 34 | 5,0 ± 1,9 | 20 ± 5 | 3,4 ± 1,5 | 3,7 ± 0,8 | 11 ± 2,3 |
| | | | 4 | ver | 146 ± 57 | 6,9 ± 1,2 | 19 ± 14 | 3,6 ± 0,7 | 4,4 ± 0,7 | 10 ± 2,0 |
| <i>H. alchorneoides</i> | Euphorbiaceae | Si | 3 | inv | 97 ± 71 | 0,6 ± 0,2 | 62 ± 10 | 1,9 ± 0,2 | 2,0 ± 0,2 | 22 ± 1,6 |
| | | | 3 | ver | 82 ± 37 | 0,6 ± 0,4 | 68 ± 1 | 2,3 ± 0,5 | 2,4 ± 0,3 | 21 ± 2,3 |
| <i>I. edulis</i> | Fabaceae | Si | 2 | inv | 74 ± 38 | 0,1 ± 0,1 | 58 ± 12 | 2,0 ± 0,5 | 3,5 ± 0,6 | 15 ± 0,7 |
| | | | 2 | ver | 39 ± 28 | 0,5 ± 0,3 | 83 ± 5 | 0,1 ± 0,9 | 3,7 ± 0,2 | 13 ± 0,9 |
| <i>S. calva</i> | Araliaceae | Si | 3 | inv | 43 ± 24 | 0,8 ± 0,3 | 83 ± 23 | 2,1 ± 0,9 | 1,8 ± 0,2 | 26 ± 3,2 |
| | | | 3 | ver | 100 ± 36 | 0,7 ± 0,7 | 78 ± 14 | 2,0 ± 1,2 | 1,9 ± 0,2 | 26 ± 2,7 |
| <i>S. bonplandii</i> | Moraceae | Si | 3 | inv | 77 ± 97 | 1,4 ± 0,1 | 28 ± 13 | 2,1 ± 1,2 | 2,2 ± 0,3 | 19 ± 2,6 |
| | | | 3 | ver | 121 ± 44 | 1,0 ± 0,0 | 32 ± 7 | 2,7 ± 0,6 | 2,2 ± 0,1 | 18 ± 0,9 |
| <i>S. pseudococcus</i> | Arecaceae | Si | 3 | inv | 24 ± 8 | 1,2 ± 0,9 | 34 ± 11 | 4,0 ± 0,6 | 2,0 ± 0,2 | 23 ± 2,7 |
| | | | 3 | ver | 36 ± 18 | 1,9 ± 0,5 | 37 ± 2 | 2,5 ± 0,4 | 2,2 ± 0,1 | 27 ± 1,0 |
| <i>B. mendoncaei</i> | Rubiaceae | St | 3 | inv | 8 ± 4 | 5,0 ± 1,8 | 23 ± 9 | 2,2 ± 0,3 | 2,6 ± 0,1 | 17 ± 1,4 |
| | | | 3 | ver | 23 ± 6 | 2,9 ± 1,2 | 16 ± 3 | 4,3 ± 0,6 | 2,7 ± 0,2 | 17 ± 1,2 |
| <i>C. saligna</i> | Lauraceae | St | 2 | inv | 4 ± 2 | 0,4 ± 0,1 | 18 ± 2 | 1,0 ± 0,4 | 1,9 ± 0,1 | 24 ± 1,5 |
| | | | 2 | ver | 26 ± 8 | 0,5 ± 0,3 | 35 ± 2 | 1,6 ± 0,7 | 2,1 ± 0,0 | 22 ± 0,4 |
| <i>C. flexuosum</i> | Sapotaceae | St | 3 | inv | 119 ± 23 | 0,9 ± 0,3 | 47 ± 11 | 3,4 ± 2,3 | 1,5 ± 0,0 | 27 ± 0,4 |
| | | | 3 | ver | 153 ± 70 | 1,0 ± 0,1 | 48 ± 7 | 3,6 ± 1,5 | 1,9 ± 0,1 | 23 ± 2,4 |
| <i>E. ramiflora</i> | Sapotaceae | St | 3 | inv | 48 ± 22 | 1,3 ± 0,4 | 66 ± 2 | 3,1 ± 0,3 | 1,6 ± 0,0 | 30 ± 1,1 |
| | | | 3 | ver | 48 ± 22 | 0,6 ± 0,1 | 89 ± 14 | 3,1 ± 0,6 | 1,7 ± 0,1 | 27 ± 1,6 |
| <i>E. edulis</i> | Arecaceae | St | 3 | inv | 37 ± 33 | 0,6 ± 0,4 | 45 ± 9 | 1,0 ± 0,3 | 2,2 ± 0,4 | 19 ± 2,5 |
| | | | 3 | ver | 66 ± 10 | 0,8 ± 0,7 | 58 ± 13 | 1,0 ± 0,0 | 2,2 ± 0,2 | 20 ± 2,1 |
| <i>G. gardneriana</i> | Clusiaceae | St | 3 | inv | 90 ± 35 | 3,8 ± 2,4 | 125 ± 25 | 3,4 ± 0,6 | 1,3 ± 0,1 | 36 ± 2,8 |
| | | | 3 | ver | 69 ± 40 | 2,8 ± 2,0 | 106 ± 42 | 3,3 ± 0,2 | 1,3 ± 0,0 | 36 ± 0,1 |
| <i>M. schottiana</i> | Monimiaceae | St | 3 | inv | 14 ± 8 | 0,5 ± 0,3 | 16 ± 0,4 | 1,5 ± 0,6 | 2,6 ± 0,1 | 17 ± 1,1 |
| | | | 3 | ver | 30 ± 7 | 0,6 ± 0,2 | 18 ± 2 | 1,2 ± 0,6 | 2,7 ± 0,2 | 17 ± 1,5 |
| <i>M. spectabilis</i> | Myrtaceae | St | 3 | inv | 66 ± 51 | 1,0 ± 0,2 | 33 ± 7 | 0,9 ± 0,3 | 1,8 ± 0,0 | 23 ± 0,3 |
| | | | 3 | ver | 134 ± 23 | 0,8 ± 0,3 | 53 ± 1 | 1,4 ± 0,7 | 1,9 ± 0,1 | 24 ± 2,0 |
| <i>O. dispersa</i> | Lauraceae | St | 3 | inv | 20 ± 12 | 0,7 ± 0,2 | 19 ± 2 | 3,6 ± 1,7 | 2,6 ± 0,8 | 19 ± 5,0 |
| | | | 3 | ver | 23 ± 17 | 0,7 ± 0,1 | 47 ± 41 | 2,8 ± 2,4 | 2,3 ± 0,1 | 21 ± 1,9 |
| <i>P. guianensis</i> | Urticaceae | Si | 2 | inv | 113 ± 35 | 1,8 ± 1,3 | 43 ± 2 | 2,7 ± 0,8 | 2,2 ± 0,2 | 19 ± 0,6 |
| | | | 2 | ver | 196 ± 25 | 1,7 ± 0,5 | 76 ± 15 | 2,9 ± 0,7 | 2,3 ± 0,0 | 20 ± 0,1 |
| <i>R. formosa</i> | Rubiaceae | St | 3 | inv | 103 ± 93 | 1,2 ± 0,6 | 34 ± 8 | 4,3 ± 1,0 | 2,1 ± 0,1 | 19 ± 0,4 |
| | | | 3 | ver | 103 ± 29 | 1,5 ± 0,6 | 30 ± 10 | 4,4 ± 0,8 | 2,2 ± 0,1 | 20 ± 1,8 |
| <i>S. denudatum</i> | Fabaceae | St | 4 | inv | 11 ± 14 | 1,8 ± 0,4 | 30 ± 4 | 1,5 ± 1,1 | 2,8 ± 0,2 | 17 ± 0,9 |
| | | | 4 | ver | 37 ± 23 | 0,8 ± 0,1 | 50 ± 11 | 1,8 ± 0,9 | 2,7 ± 0,1 | 19 ± 0,8 |
| <i>S. guianensis</i> | Elaeocarpaceae | St | 3 | inv | 19 ± 3 | 0,5 ± 0,1 | 46 ± 3 | 0,6 ± 0,1 | 1,6 ± 0,2 | 29 ± 2,9 |
| | | | 3 | ver | 17 ± 7 | 0,4 ± 0,1 | 71 ± 3 | 1,1 ± 0,2 | 1,8 ± 0,0 | 26 ± 0,7 |
| <i>S. simplex</i> | Fabaceae | St | 3 | inv | 23 ± 11 | 0,5 ± 0,2 | 20 ± 3 | 0,3 ± 0,8 | 3,6 ± 0,5 | 13 ± 1,3 |
| | | | 3 | ver | 105 ± 60 | 0,4 ± 0,2 | 25 ± 5 | 0,2 ± 0,6 | 4,0 ± 0,4 | 12 ± 1,2 |
| <i>V. bicuhyba</i> | Myristicaceae | St | 3 | inv | 6 ± 3 | 1,4 ± 0,8 | 33 ± 16 | 1,6 ± 0,2 | 2,1 ± 0,1 | 21 ± 1,4 |
| | | | 3 | ver | 23 ± 24 | 1,4 ± 0,4 | 30 ± 14 | 2,1 ± 0,3 | 2,4 ± 1,2 | 10 ± 1,7 |

Tabela 7: Valores de atividade da enzima nitrato redutase (ANR), do conteúdo de nitrato (NO_3^-) no xilema e na folha, $\delta^{15}\text{N}$ foliar, %N foliar e da razão C:N na folha. Grupo sucessional (Pi, Si e St), número de indivíduos amostrados (n) e estação do ano: inverno (inv) e verão (ver).

| Espécie | Família APG | Grupo | n | Estação | ANR pKat gPF ⁻¹ | NO_3^- $\mu\text{mol ml}^{-1}$ | NO_3^- $\mu\text{mol g PF}^{-1}$ | $\delta^{15}\text{N}$ ‰ | N % | C:N |
|-----------------------|---------------|-------|---|---------|-------------------------------|--|--|----------------------------|--------|-----|
| <i>C. sellowiana</i> | Boraginaceae | Si | 1 | inv | 44 | 2,3 | 40 | 5,2 | 2,7 | 16 |
| | | | | ver | 55 | 3,0 | 41 | 6,0 | 2,1 | 16 |
| <i>E. prasina</i> | Myrtaceae | Si | 1 | inv | 169 | 1,6 | 39 | 3,2 | 2,0 | 25 |
| | | | | ver | 194 | 2,9 | 59 | 3,3 | 1,7 | 29 |
| <i>I. striata</i> | Fabaceae | Si | 1 | inv | 97 | 0,3 | 43 | 0,0 | 3,6 | 13 |
| | | | | ver | 139 | 0,3 | 53 | 0,2 | 3,6 | 13 |
| <i>B. lactescens</i> | Moraceae | St | 1 | inv | 100 | 4,6 | 37 | 2,6 | 1,8 | 28 |
| | | | | ver | 378 | 2,1 | 50 | 2,9 | 2,0 | 22 |
| <i>C. estrelensis</i> | Lecythidaceae | St | 1 | inv | 417 | 3,2 | 49 | 6,3 | 2,2 | 20 |
| | | | | ver | 304 | 3,5 | 40 | 4,7 | 3,2 | 14 |
| <i>H. courbaril</i> | Fabaceae | St | 1 | inv | 42 | 2,2 | 27 | 1,3 | 1,9 | 21 |
| | | | | ver | 36 | 0,4 | 36 | 2,9 | 2,0 | 25 |
| <i>Maytenus sp3</i> | Celastraceae | St | 1 | inv | 32 | 0,5 | 27 | 2,8 | 1,8 | 24 |
| | | | | ver | 25 | 0,5 | 40 | 2,3 | 2,0 | 22 |
| <i>M. frondosus</i> | Fabaceae | St | 1 | inv | 121 | 1,0 | 24 | 2,1 | 2,9 | 16 |
| | | | | ver | 46 | 0,9 | 35 | 2,2 | 3,4 | 14 |

Tabela 8: Média e desvio padrão dos valores de aminoácidos totais (AAs), de aspartato-ASP, glutamato-GLU, asparagina-ASN, glutamina-GLN e arginina-ARG das espécies estudadas. Grupo sucessional (Pi, Si e St), número de indivíduos amostrados (n) e estação do ano: inverno (inv) e verão (ver).

| Espécie | Família APG | Grupo | Estação | n | AAs | Compostos nitrogenados de baixo peso molecular ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | | | | | |
|-------------------------|----------------|-------|---------|---|-------------------------|--|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | $\mu\text{mol ml}^{-1}$ | ARG | GLN | ASN | GLU | ASP | outros |
| <i>C. glaziovii</i> | Urticaceae | Pi | inv | 2 | 0,15 ± 0,01 | 0,003 | 0,067 | 0,030 | 0,019 | 0,020 | 0,021 |
| | | | ver | 2 | 0,27 ± 0,16 | 0,004 | 0,082 | 0,087 | 0,055 | 0,037 | 0,024 |
| <i>A. triplinervia</i> | Euphorbiaceae | Si | inv | 2 | 0,09 ± 0,02 | 0,004 | 0,029 | 0,030 | 0,005 | 0,020 | 0,011 |
| | | | ver | 2 | 0,13 ± 0,07 | 0,003 | 0,059 | 0,033 | 0,017 | 0,016 | 0,015 |
| <i>C. guaviroba</i> | Myrtaceae | Si | inv | 2 | 0,13 ± 0,08 | 0,039 | 0,041 | 0,014 | 0,019 | 0,010 | 0,012 |
| | | | ver | 2 | 0,12 ± 0,09 | 0,002 | 0,056 | 0,038 | 0,017 | 0,011 | 0,009 |
| <i>E. oblongata</i> | Myrtaceae | Si | inv | 2 | 0,16 ± 0,09 | 0,015 | 0,038 | 0,025 | 0,037 | 0,009 | 0,033 |
| | | | ver | 2 | 0,18 ± 0,02 | 0,008 | 0,058 | 0,051 | 0,034 | 0,018 | 0,018 |
| <i>G. opposita</i> | Nyctaginaceae | Si | inv | 2 | 0,08 ± 0,01 | 0,004 | 0,036 | 0,005 | 0,013 | 0,009 | 0,015 |
| | | | ver | 2 | 0,11 ± 0,01 | 0,004 | 0,067 | 0,007 | 0,009 | 0,013 | 0,020 |
| <i>H. alchorneoides</i> | Euphorbiaceae | Si | inv | 2 | 0,08 ± 0,01 | 0,005 | 0,046 | 0,004 | 0,009 | 0,007 | 0,010 |
| | | | ver | 2 | 0,11 ± 0,04 | 0,001 | 0,065 | 0,023 | 0,011 | 0,007 | 0,006 |
| <i>I. edulis</i> | Fabaceae | Si | inv | 2 | 0,18 ± 0,02 | 0,004 | 0,050 | 0,084 | 0,009 | 0,024 | 0,028 |
| | | | ver | 2 | 0,21 ± 0,05 | 0,003 | 0,076 | 0,072 | 0,006 | 0,026 | 0,038 |
| <i>S. calva</i> | Araliaceae | Si | inv | 2 | 0,13 ± 0,01 | 0,008 | 0,049 | 0,057 | 0,005 | 0,013 | 0,010 |
| | | | ver | 2 | 0,10 ± 0,01 | 0,001 | 0,059 | 0,032 | 0,004 | 0,009 | 0,008 |
| <i>S. bonplandii</i> | Moraceae | Si | inv | 2 | 0,26 ± 0,18 | 0,070 | 0,114 | 0,042 | 0,002 | 0,005 | 0,022 |
| | | | ver | 2 | 0,23 ± 0,10 | 0,038 | 0,105 | 0,066 | 0,009 | 0,009 | 0,011 |
| <i>S. pseudococcus</i> | Arecaceae | Si | inv | 2 | 0,18 ± 0,05 | 0,003 | 0,062 | 0,092 | 0,009 | 0,013 | 0,019 |
| | | | ver | 2 | 0,14 ± 0,07 | 0,001 | 0,074 | 0,045 | 0,010 | 0,012 | 0,013 |
| <i>B. mendoncaei</i> | Rubiaceae | St | inv | 2 | 0,33 ± 0,10 | 0,004 | 0,056 | 0,115 | 0,075 | 0,033 | 0,065 |
| | | | ver | 2 | 0,20 ± 0,11 | 0,002 | 0,080 | 0,074 | 0,025 | 0,016 | 0,021 |
| <i>C. saligna</i> | Lauraceae | St | inv | 2 | 0,14 ± 0,03 | 0,003 | 0,059 | 0,029 | 0,019 | 0,010 | 0,028 |
| | | | ver | 2 | 0,19 ± 0,10 | 0,001 | 0,079 | 0,039 | 0,017 | 0,027 | 0,040 |
| <i>C. flexuosum</i> | Sapotaceae | St | inv | 2 | 0,39 ± 0,08 | 0,005 | 0,052 | 0,180 | 0,118 | 0,020 | 0,036 |
| | | | ver | 2 | 0,20 ± 0,07 | 0,003 | 0,054 | 0,118 | 0,019 | 0,011 | 0,015 |
| <i>E. ramiflora</i> | Sapotaceae | St | inv | 2 | 0,26 ± 0,04 | 0,016 | 0,050 | 0,149 | 0,023 | 0,014 | 0,026 |
| | | | ver | 2 | 0,18 ± 0,03 | 0,012 | 0,062 | 0,089 | 0,010 | 0,009 | 0,009 |
| <i>E. edulis</i> | Arecaceae | St | inv | 2 | 0,06 ± 0,00 | 0,003 | 0,042 | 0,004 | 0,004 | 0,006 | 0,008 |
| | | | ver | 2 | 0,08 ± 0,00 | 0,002 | 0,060 | 0,006 | 0,003 | 0,009 | 0,003 |
| <i>G. gardneriana</i> | Clusiaceae | St | inv | 2 | 0,20 ± 0,13 | 0,040 | 0,046 | 0,041 | 0,027 | 0,020 | 0,031 |
| | | | ver | 2 | 0,16 ± 0,07 | 0,002 | 0,063 | 0,049 | 0,019 | 0,010 | 0,031 |
| <i>M. schottiana</i> | Monimiaceae | St | inv | 2 | 0,15 ± 0,06 | 0,002 | 0,039 | 0,029 | 0,020 | 0,017 | 0,051 |
| | | | ver | 2 | 0,16 ± 0,07 | 0,006 | 0,080 | 0,019 | 0,006 | 0,016 | 0,045 |
| <i>M. spectabilis</i> | Myrtaceae | St | inv | 2 | 0,18 ± 0,02 | 0,021 | 0,038 | 0,002 | 0,025 | 0,005 | 0,015 |
| | | | ver | 2 | 0,21 ± 0,02 | 0,022 | 0,090 | 0,028 | 0,034 | 0,014 | 0,024 |
| <i>O. dispersa</i> | Lauraceae | St | inv | 2 | 0,17 ± 0,07 | 0,005 | 0,051 | 0,090 | 0,007 | 0,007 | 0,018 |
| | | | ver | 2 | 0,23 ± 0,00 | 0,002 | 0,080 | 0,129 | 0,009 | 0,017 | 0,012 |
| <i>P. guianensis</i> | Urticaceae | Si | inv | 2 | 0,26 ± 0,24 | 0,006 | 0,053 | 0,148 | 0,016 | 0,014 | 0,040 |
| | | | ver | 2 | 0,25 ± 0,02 | 0,002 | 0,090 | 0,136 | 0,006 | 0,016 | 0,014 |
| <i>R. formosa</i> | Rubiaceae | St | inv | 2 | 0,15 ± 0,07 | 0,008 | 0,052 | 0,037 | 0,031 | 0,016 | 0,014 |
| | | | ver | 2 | 0,15 ± 0,01 | 0,002 | 0,065 | 0,034 | 0,024 | 0,014 | 0,024 |
| <i>S. denudatum</i> | Fabaceae | St | inv | 2 | 0,42 ± 0,08 | 0,040 | 0,074 | 0,181 | 0,027 | 0,029 | 0,088 |
| | | | ver | 2 | 0,16 ± 0,07 | 0,003 | 0,058 | 0,062 | 0,011 | 0,011 | 0,027 |
| <i>S. guianensis</i> | Elaeocarpaceae | St | inv | 2 | 0,18 ± 0,09 | 0,023 | 0,054 | 0,023 | 0,021 | 0,036 | 0,034 |
| | | | ver | 2 | 0,27 ± 0,07 | 0,004 | 0,092 | 0,074 | 0,019 | 0,041 | 0,053 |
| <i>S. simplex</i> | Fabaceae | St | inv | 2 | 0,36 ± 0,02 | 0,005 | 0,271 | 0,055 | 0,009 | 0,015 | 0,021 |
| | | | ver | 2 | 0,32 ± 0,25 | 0,002 | 0,159 | 0,039 | 0,008 | 0,018 | 0,104 |
| <i>V. bicuhyba</i> | Myristicaceae | St | inv | 2 | 0,12 ± 0,04 | 0,004 | 0,057 | 0,032 | 0,006 | 0,011 | 0,013 |
| | | | ver | 2 | 0,15 ± 0,04 | 0,004 | 0,074 | 0,019 | 0,007 | 0,007 | 0,045 |

Tabela 9: Valores de aminoácidos totais (AAs), de aspartato-ASP, glutamato-GLU, asparagina-ASN, glutamina-GLN e arginina-ARG das espécies estudadas. Grupo sucessional (Pi, Si e St), número de indivíduos amostrados (n) e estação do ano: inverno (inv) e verão (ver).

| Espécie | Família APG | Grupo | n | Estação | AAs | Compostos nitrogenados de baixo peso molecular ($\mu\text{mol ml}^{-1}$) | | | | | |
|-----------------------|---------------|-------|---|---------|-------------------------|--|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | $\mu\text{mol ml}^{-1}$ | ARG | GLN | ASN | GLU | ASP | outros |
| <i>C. sellowiana</i> | Boraginaceae | Si | 1 | inv | 0,11 | 0,003 | 0,053 | 0,002 | 0,014 | 0,019 | 0,020 |
| | | | | ver | 0,18 | 0,001 | 0,071 | 0,030 | 0,032 | 0,027 | 0,024 |
| <i>E. prasina</i> | Myrtaceae | Si | 1 | inv | 0,17 | 0,020 | 0,033 | 0,065 | 0,043 | 0,000 | 0,015 |
| | | | | ver | 0,17 | 0,002 | 0,082 | 0,038 | 0,017 | 0,017 | 0,017 |
| <i>I. striata</i> | Fabaceae | Si | 1 | inv | 0,13 | 0,003 | 0,053 | 0,060 | 0,000 | 0,000 | 0,015 |
| | | | | ver | 0,22 | 0,001 | 0,079 | 0,081 | 0,006 | 0,030 | 0,036 |
| <i>B. lactescens</i> | Moraceae | St | 1 | inv | 0,24 | 0,011 | 0,048 | 0,146 | 0,016 | 0,024 | 0,008 |
| | | | | ver | 0,18 | 0,001 | 0,072 | 0,078 | 0,016 | 0,017 | 0,006 |
| <i>C. estrelensis</i> | Lecythidaceae | St | 1 | inv | 0,20 | 0,004 | 0,057 | 0,004 | 0,021 | 0,018 | 0,095 |
| | | | | ver | 0,18 | 0,003 | 0,063 | 0,016 | 0,029 | 0,021 | 0,053 |
| <i>H. courbaril</i> | Fabaceae | St | 1 | inv | 0,30 | 0,012 | 0,050 | 0,150 | 0,020 | 0,022 | 0,064 |
| | | | | ver | 0,18 | 0,002 | 0,075 | 0,082 | 0,007 | 0,025 | 0,001 |
| <i>Maytenus sp3</i> | Celastraceae | St | 1 | inv | 0,35 | 0,027 | 0,023 | 0,106 | 0,123 | 0,009 | 0,067 |
| | | | | ver | 0,18 | 0,002 | 0,058 | 0,043 | 0,006 | 0,075 | 0,006 |
| <i>M. frondosus</i> | Fabaceae | St | 1 | inv | 0,31 | 0,011 | 0,053 | 0,119 | 0,000 | 0,038 | 0,100 |
| | | | | ver | 0,26 | 0,002 | 0,010 | 0,066 | 0,000 | 0,024 | 0,167 |

5.5. Caracterização do uso de nitrogênio pelas espécies arbóreas selecionadas agrupadas em classes sucessionais.

5.5.1 Atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase *in vivo*

Nas duas estações a espécie *C. glazioui* (pioneira) apresentou valores significativamente mais altas seguida das espécies secundárias iniciais e das secundárias tardias que não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabelas 10, 11 e 12 e Figura 20). Nas três classes sucessionais os valores foram maiores no verão em relação ao inverno, sendo essa diferença significativa apenas para as espécies secundárias iniciais (Tabela 13).

Os dados indicam que *Cecropia glazioui* apresentou os valores mais altos de (ANR) foliar, seguida por *Cariniana estrelensis* e *Brosimum lactescens*, todas as outras espécies apresentaram valores de ANR de moderado a muito baixo (< 300 $\mu\text{kat gPF}^{-1}$), com um pequeno aumento no verão em relação ao inverno.

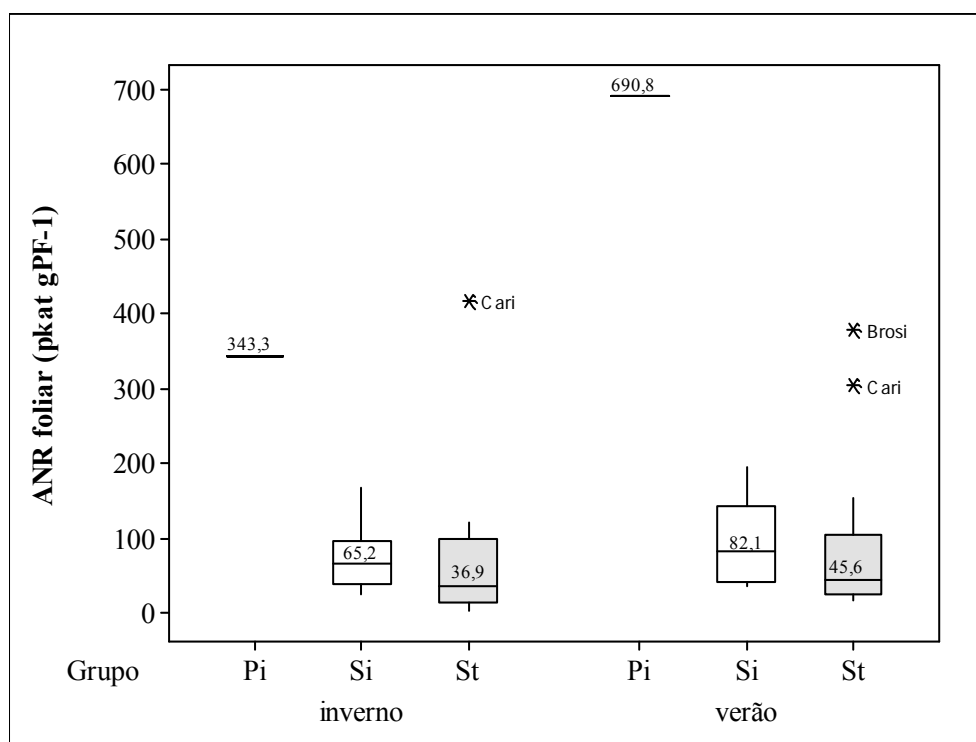


Figura 20: Boxplot dos valores de atividade da enzima nitrato redutase (ANR) nas espécies estudadas agrupadas em três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

5.5.2. Conteúdo de nitrato foliar

A espécie *C. glazioui* (pioneira) apresentou valores significativamente maiores da demais em ambas as estações seguida das espécies secundárias iniciais e secundárias tardias que não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabelas 11, 12 e 13 e Figura 21).

Nas três classes sucessionais os valores foram maiores no verão em relação ao inverno, sendo essa diferença significativa para as espécies secundárias iniciais e secundárias tardias (Tabela 13).

A espécie *Garcinia gardneriana* apresentou os maiores valores de NO_3^- foliar, com valores mais altos no inverno, seguida por *Alchornea triplinervia* e *Ecclinusa ramiflora*, ambas com valores mais altos no verão em relação ao inverno, assim como maior parte das outras espécies.

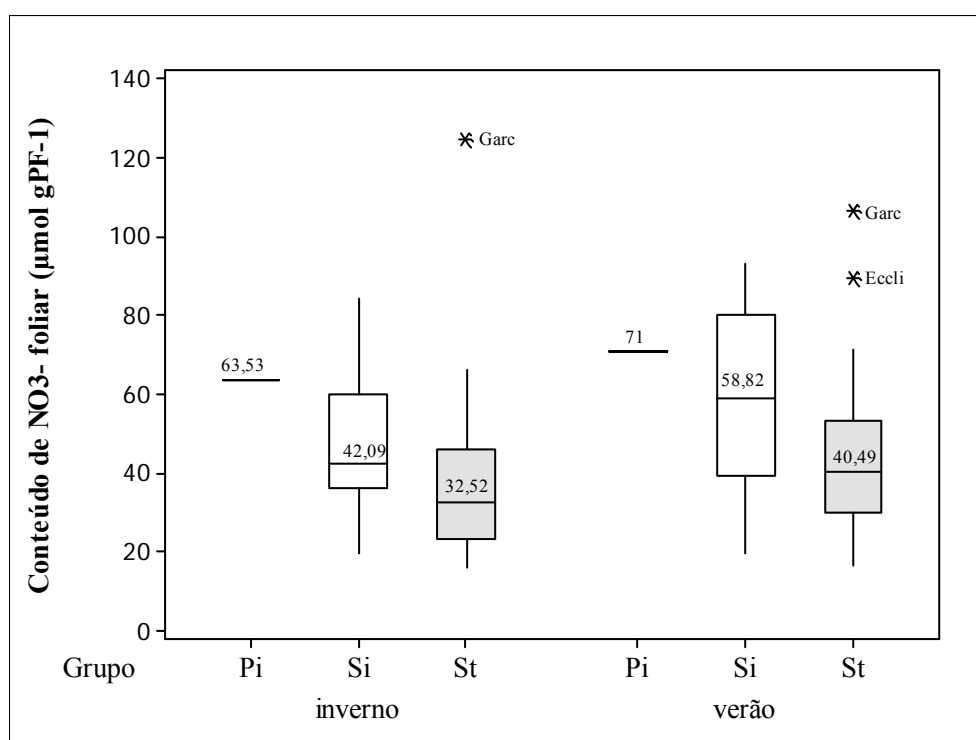


Figura 21: Boxplot dos valores de conteúdo de nitrato foliar nas espécies estudadas agrupadas em três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

5.5.3. Conteúdo de nitrato no fluido do xilema

Os resultados mostram que tanto no inverno quanto no verão a espécie *C. glazioui* (pioneira) apresentou valores significativamente maiores seguida das espécies secundárias iniciais e secundárias tardias, que apresentaram praticamente os mesmos valores no inverno. No verão as secundárias iniciais apresentaram valores ligeiramente maiores que as tardias.

Os valores médios foram maiores no verão em relação ao inverno para *C. glazioui* e para as secundárias iniciais, já as espécies secundárias tardias apresentaram valores mais baixos no verão em relação ao inverno sendo essa diferença significativa (Tabelas 11, 12, 13 e Figura 22).

Cecropia glazioui apresentou maior conteúdo de NO_3^- na seiva do xilema seguida por *Guapira opposita*, ambas com valores mais altos no verão. Entre as espécies secundárias tardias *Hymenea courbaril*, *Ecclinusa ramiflora*, *Sclerolobium denudatum*, *Brosimum lactescens* e *Bathysa mendoncae* apresentaram praticamente o dobro do conteúdo de NO_3^- na seiva no inverno em relação ao verão. O restante das espécies apresentou uma concentração de nitrato na seiva do xilema de moderada à baixa, com pequena variação deste parâmetro entre as estações.

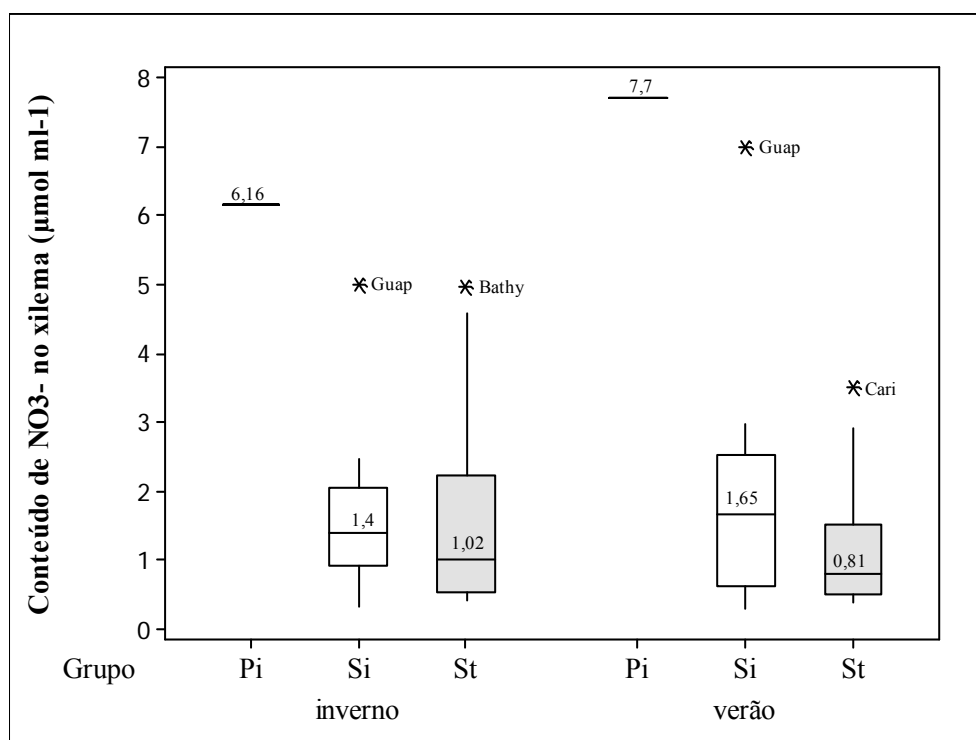


Figura 22: Boxplot dos valores de conteúdo de nitrato na seiva do xilema das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

5.5.4. Determinação da razão isotópica do N estável e determinação da razão C/N em amostras de folhas

Nas duas estações a espécie *C. glazioui* (pioneira) apresentou os valores mais altos de $\delta^{15}\text{N}$ foliar seguida das espécies secundárias iniciais e das secundárias tardias, sem diferenças significativas entre elas (Tabelas 11, 12, 13 e Figura 23). Nas três classes sucessionais os valores foram maiores no verão em relação ao inverno, não sendo essa diferença significativa (Tabela 13).

Cordia sellowiana apresentou os valores mais altos de ($\delta^{15}\text{N}$), seguida por *Cariniana estrelensis* e *Rustia formosa*, enquanto as leguminosas *Inga edulis*, *Swartzia simplex* e *Inga striata* apresentaram os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$, principalmente no verão ($< 1\text{‰}$).

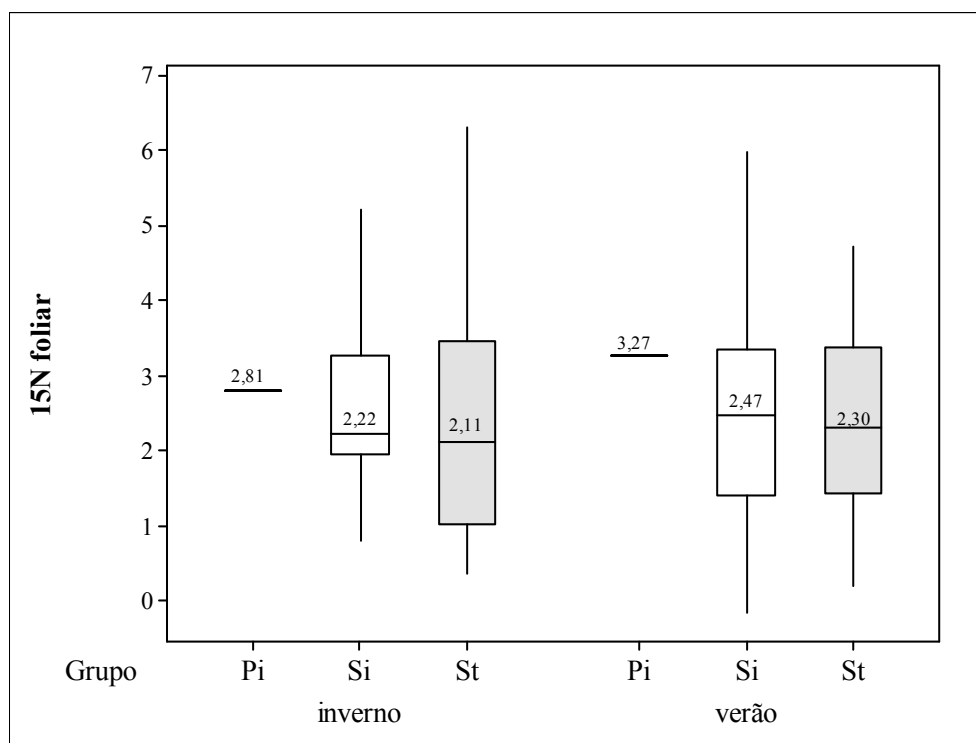


Figura 23: Boxplot dos valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

A espécie *C. glazioui* (pioneira) apresentou também valores significativamente maiores de %N foliar em ambas as estações seguida das espécies secundárias iniciais e secundárias tardias que não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabelas 11, 12, 13 e Figura 24). Nas três classes sucessionais os valores foram maiores no verão em relação ao inverno, sendo essa diferença significativa apenas para as espécies secundárias tardias (Tabela 13).

Guapira opposita apresentou os valores mais altos de nitrogênio foliar, seguida por *Swartzia simplex*, *Cecropia glazioui*, *Inga edulis* e *Inga striata* todas com valores maiores no verão em relação ao inverno.

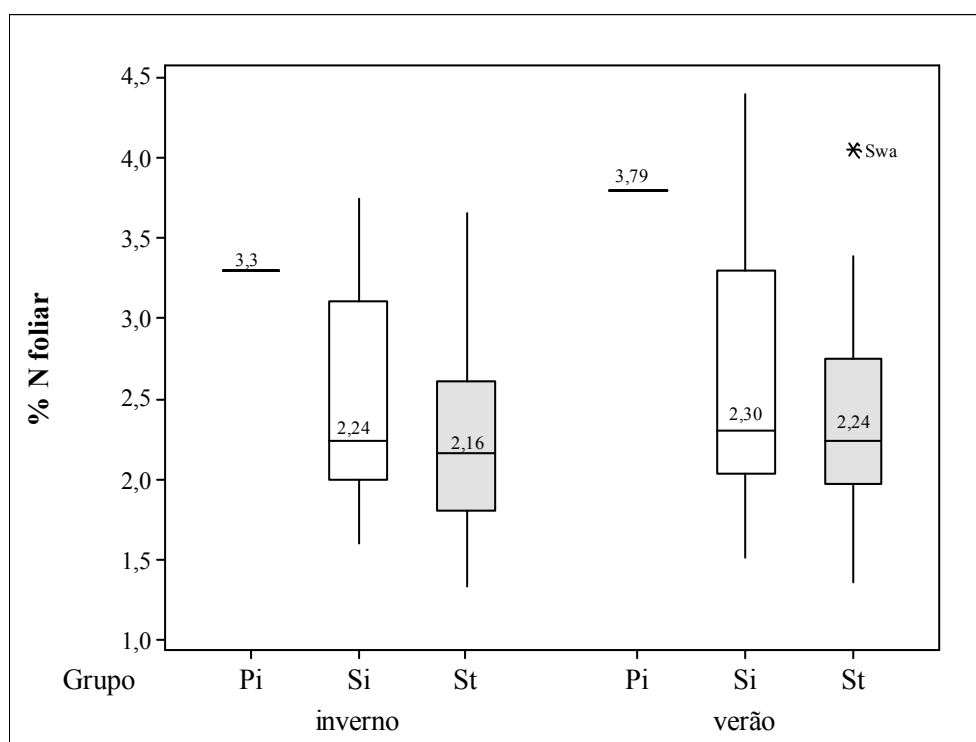


Figura 24: Boxplot dos valores de %N foliar das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

Os valores médios da razão C:N apresentados pelas espécies foi o oposto do observado para o conteúdo de nitrogênio total foliar, *C. glazioui* (pioneira) apresentou valores significativamente menores em ambas as estações seguida das espécies secundárias iniciais e secundárias tardias que não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabelas 11, 12, 13 e Figura 25). Nas três classes sucessionais os valores foram maiores no inverno em relação ao verão, sem diferença significativa (Tabela 13).

As espécies que apresentaram os menores valores de %N foliar, *Garcinia gardneriana*, seguida por *Eugenia oblongata* e *Eugenia prasina*, apresentaram os valores mais altos de C:N, todas com valores maiores no inverno em relação ao verão.

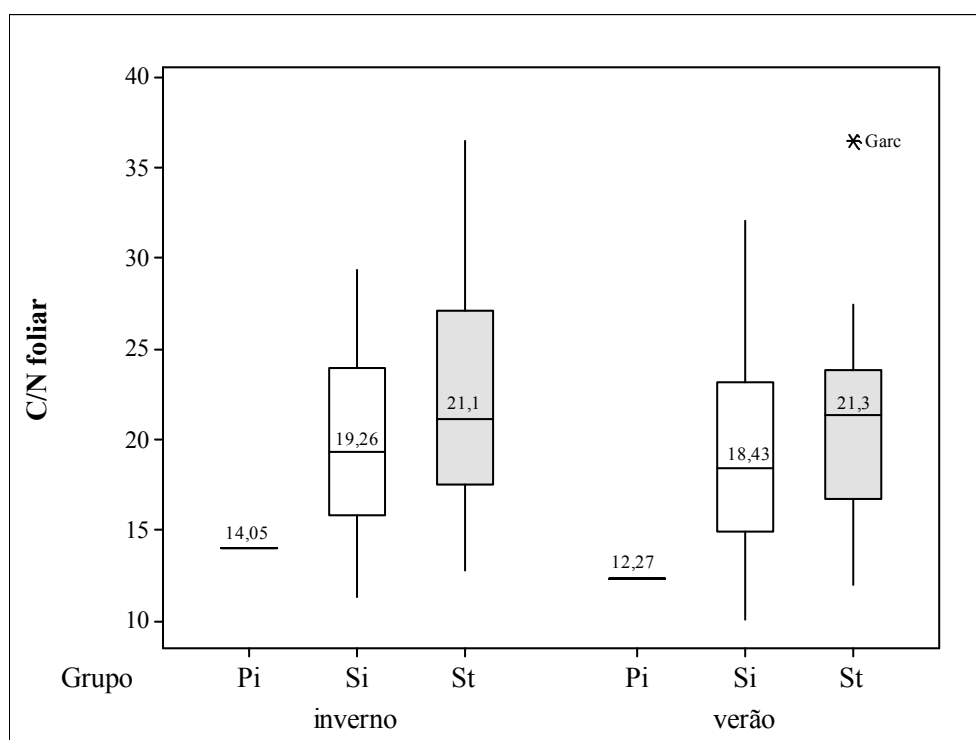


Figura 25: Boxplot dos valores da razão C/N foliar das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

5.5.5. Determinação do conteúdo de aminoácidos e amidas em amostras de seiva do xilema

No inverno o conteúdo de aminoácidos totais na seiva do xilema foi maior no grupo das espécies secundárias tardias seguidas da espécie pioneira (*C. glazioui*) e das espécies secundárias iniciais, sendo significativa a diferença entre as espécies secundárias tardias e as demais. No verão o conteúdo de aminoácidos totais na seiva do xilema foi maior na espécie pioneira seguida das espécies secundárias tardias e das espécies secundárias iniciais, sendo significativa a diferença entre a espécie pioneira e as demais.

A espécie pioneira e as espécies secundárias iniciais apresentaram valores maiores no verão em relação ao inverno, enquanto as espécies secundárias tardias apresentaram valores maiores no inverno em relação ao verão (Tabelas 11, 12, 13 e figura 26).

As espécies que apresentaram os maiores valores de aminoácidos totais na seiva do xilema são as tardias *Sclerolobium denudatum*, *Swartzia simplex* e *Chrysophyllum flexuosum* no inverno, e *Swartzia simplex*, *Cecropia glazioui* e *Sloanea guianensis* no verão.

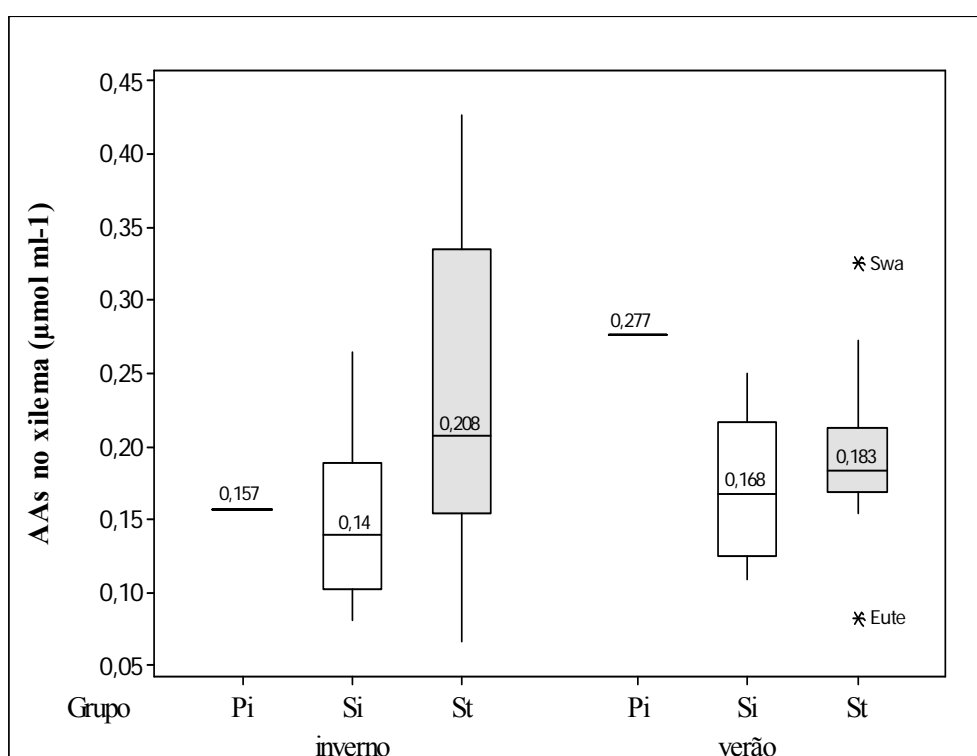


Figura 26: Boxplot dos valores de conteúdo de aminoácidos totais (AAs) na seiva do xilema das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

No inverno os valores do conteúdo de arginina na seiva do xilema foram maiores nas espécies secundárias tardias seguidas das espécies secundárias iniciais e da espécie pioneira (*C. glazioui*), essas diferenças só foram significativas entre as secundárias iniciais e *C. glazioui* e entre as secundárias tardias e *C. glazioui*. No verão os valores do conteúdo de arginina na seiva do xilema foram maiores na espécie pioneira (*C. glazioui*) seguida das espécies secundárias tardias e das espécies secundárias iniciais, sem diferença significativa entre elas.

Para as iniciais e para as tardias os valores foram maiores no inverno em relação ao verão sendo essa diferença significativa para ambas, enquanto para a espécie pioneira os valores entre as estações foram muito semelhantes (Tabelas 10, 11, 12, 13 e figura 27). As espécies que apresentaram os maiores valores de arginina foram *Sorocea bonplandii*, *Sclerobium denudatum* e *Garcinia gardneriana* no inverno, e *Sorocea bonplandii*, *Myrcia spectabilis* e *Ecclinusa ramiflora* no verão.

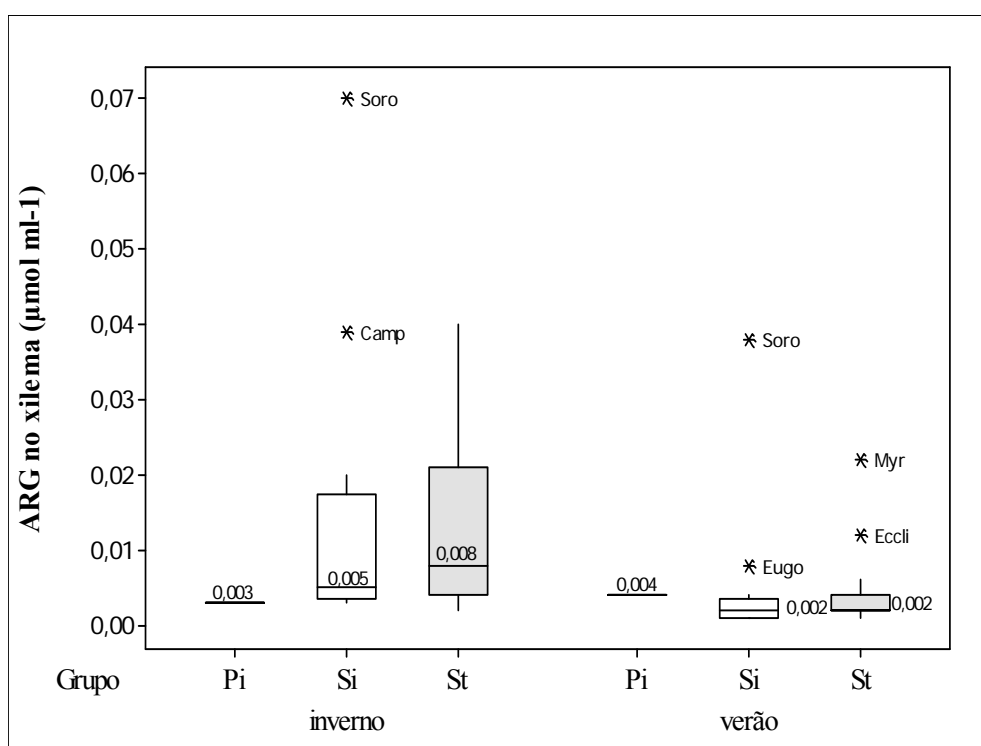


Figura 27: Boxplot dos valores de conteúdo de arginina (ARG) na seiva do xilema das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

O conteúdo de glutamina foi maior na seiva de *C. glazioui* (pioneira) em ambas as estações, seguida das espécies secundárias tardias e secundárias iniciais. *C. glazioui* e as espécies secundárias iniciais apresentaram diferenças significativas entre si nas duas estações (Tabelas 10, 11 e 12 e Figura 28). Nas três classes sucessionais os valores foram maiores no verão em relação ao inverno, sendo essa diferença significativa apenas para as espécies secundárias iniciais (Tabela 13). As espécies que apresentaram os maiores valores de glutamina foram *Ecclinusa ramiflora*, *Eugenia oblongata* e *Sloanea guianensis* no inverno, e *Mollinedia schottiana*, *Ecclinusa ramiflora* e *Eugenia oblongata* no verão.

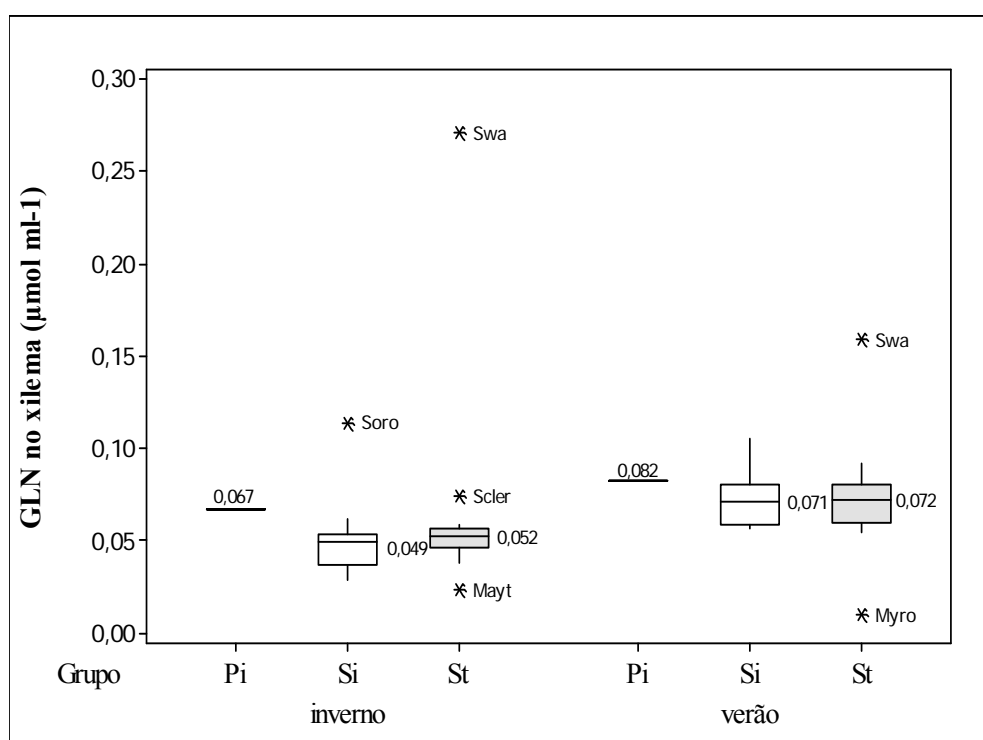


Figura 28: Boxplot dos valores de conteúdo de glutamina (GLN) na seiva do xilema das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

No inverno o conteúdo de asparagina na seiva do xilema foi maior no grupo das espécies secundárias tardias seguidas das espécies secundárias iniciais e da espécie pioneira (*C. glazioui*), sendo essa diferença significativa entre a espécie pioneira e as espécies secundárias tardias. No verão o conteúdo de asparagina na seiva do xilema foi maior na espécie pioneira seguida das espécies secundárias tardias e das espécies secundárias iniciais, sendo as diferenças entre os grupos significativas (Tabelas 10, 11 e 12 e Figura 29).

Apenas para a espécie pioneira e para as secundárias iniciais a média dos valores de asparagina na seiva do xilema foram maiores no verão. Para as espécies secundárias tardias os valores foram significativamente maiores no inverno (Tabela 13). As espécies que apresentaram os maiores valores de asparagina são *Cordia sellowiana*, *Inga striata* e *Brosimum lactescens* no inverno, e *Syagrus pseudococcus*, *Sclerolobium denudatum* e *Inga striata* no verão.

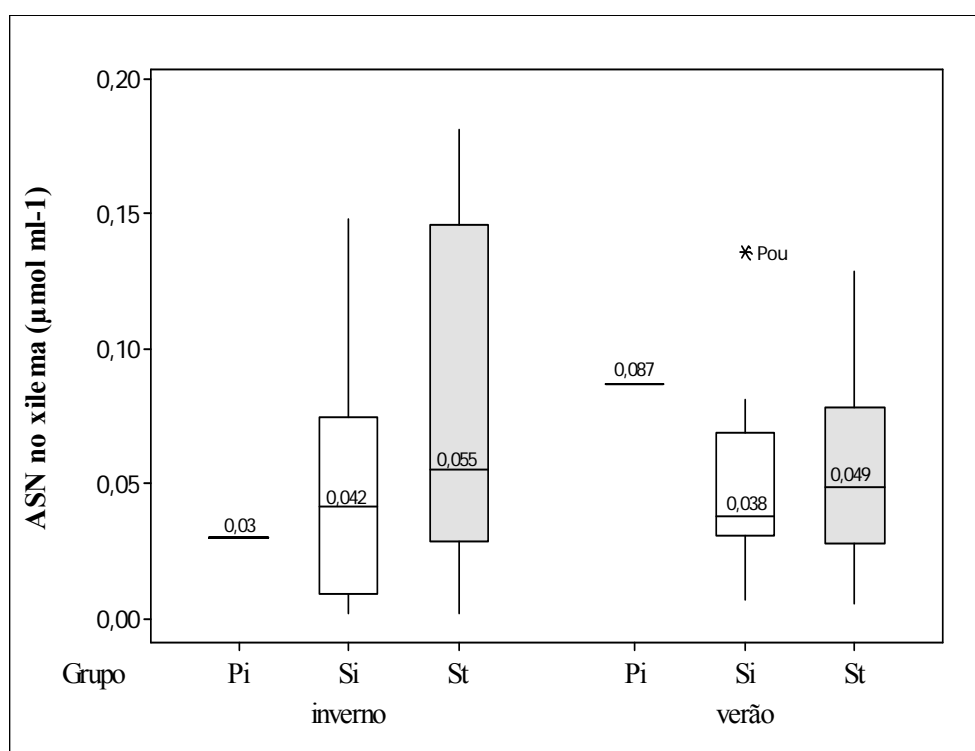


Figura 29: Conteúdo de asparagina (ASN) na seiva do xilema das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

No inverno as espécies secundárias tardias apresentaram o maior conteúdo de glutamato na seiva do xilema seguidas da espécie pioneira (*C. glazioui*) e finalmente das secundárias iniciais, sendo significativa a diferença entre as tardias e as iniciais (Tabelas 10, 11 e 12 e Figura 30). Já no verão *C. glazioui* apresentou o maior conteúdo de glutamato seguida das secundárias tardias e das iniciais, essas diferenças foram significativas entre as secundárias tardias e *C. glazioui* e entre as secundárias iniciais e *C. glazioui*. Apenas para a espécie pioneira os valores foram maiores no verão em relação ao inverno (Tabela 13). As espécies que apresentaram os maiores valores de glutamato são *Maytenus sp3*, *Chrysophyllum flexuosum* e *Bathysa mendoncae* no inverno, e *Cecropia glazioui*, *Myrcia spectabilis* e *Cordia sellowiana* no verão.

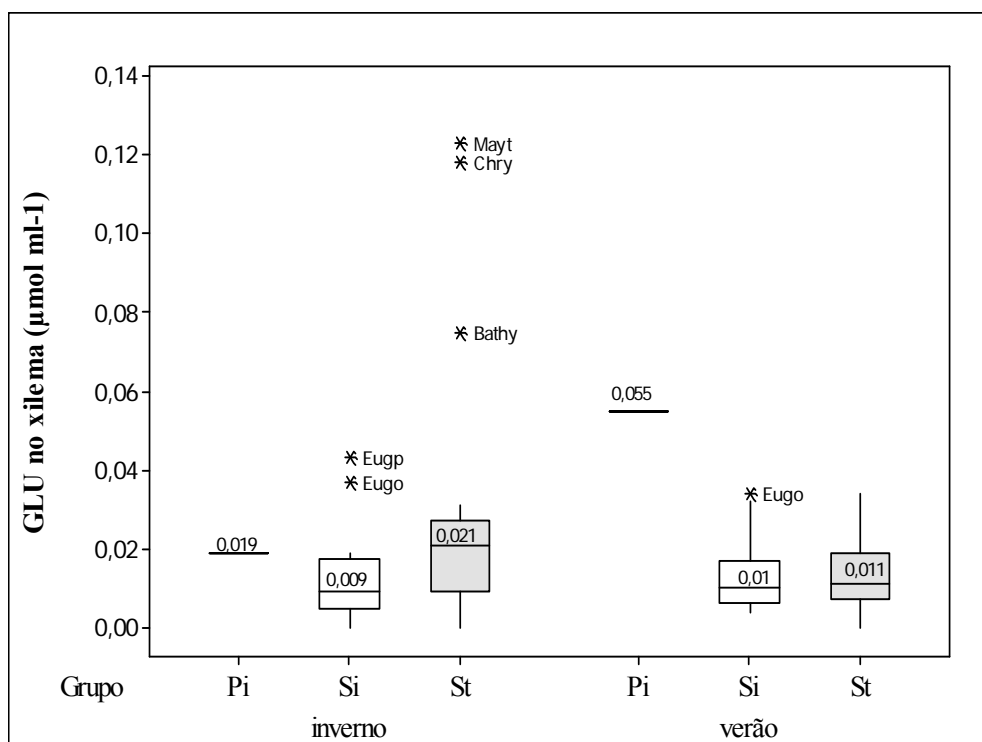


Figura 30: Conteúdo de glutamato (GLU) na seiva do xilema das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

O conteúdo de aspartato foi significativamente maior na seiva de *C. glazioui* (pioneira) em ambas as estações seguida das espécies secundárias tardias e secundárias iniciais que não apresentaram diferenças significativas entre si (Tabelas 10, 11 e 12 e Figura 31). Nas três classes sucessionais os valores foram maiores no verão em relação ao inverno (Tabela 13). As espécies que apresentaram os maiores valores de aspartato são *Mirocarpus frondosus*, *Sloanea guianensis* e *Bathysa mendoncae* no inverno, e *Maytenus sp3*, *Inga striata* e *Cordia sellowiana* no verão.

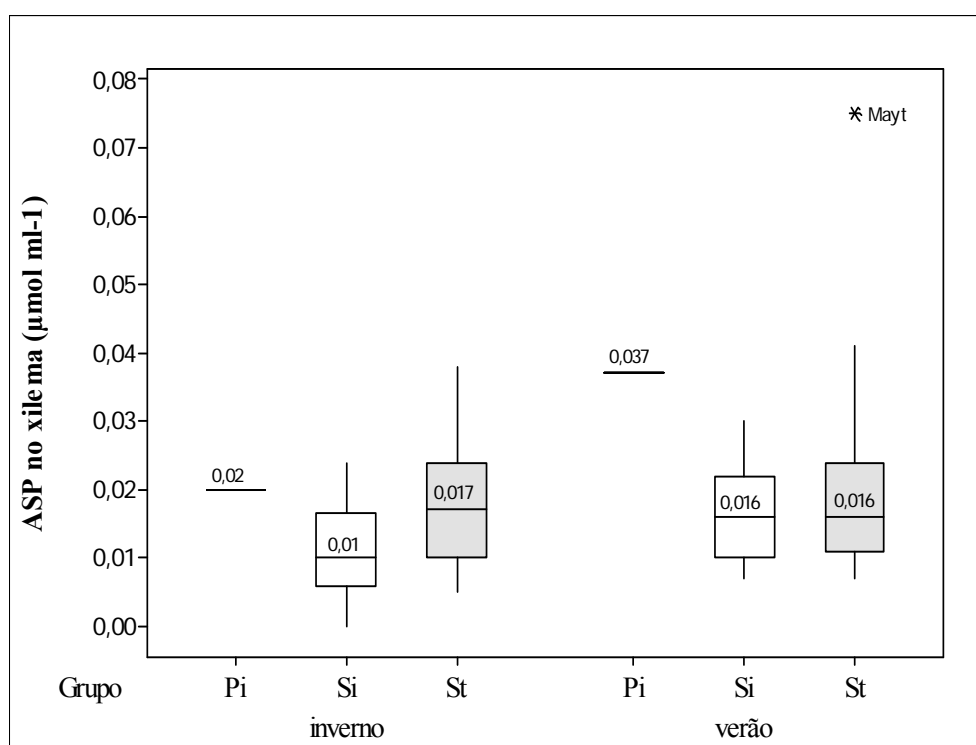


Figura 31: Conteúdo de aspartato (ASP) na seiva do xilema das espécies estudadas agrupadas nas três classes sucessionais (Pi, Si e St), nas duas estações do ano: verão e inverno.

Tabela 10: Média e desvio padrão das secundárias iniciais (Si) e das secundárias tardias (St) para as variáveis amostradas no inverno e no verão e médias das diferenças (\neq) entre esses grupos seguidos do valor do teste t para amostras independentes e sua significância (p).

| Variáveis | Grupo | n | INVERNO | | | | VERÃO | | | | | |
|-----------------------|-------|----|---------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------|
| | | | Média | Desvio | \neq | t | p | Média | Desvio | \neq | t | p |
| ANR | Si | 13 | 70,6 | 40,8 | 3,20 | 0,12 | 0,91 | 96,2 | 58,1 | 9,57 | 0,31 | 0,76 |
| | St | 19 | 67,4 | 93,6 | | | | 86,7 | 98,9 | | | |
| NO ₃ F | Si | 13 | 46,9 | 18,4 | 9,04 | 1,12 | 0,27 | 59,2 | 23,0 | 12,83 | 1,56 | 0,13 |
| | St | 19 | 37,8 | 24,7 | | | | 46,3 | 22,9 | | | |
| NO ₃ X | Si | 13 | 1,6 | 1,2 | -0,02 | -0,04 | 0,97 | 1,9 | 1,8 | 0,69 | 1,41 | 0,17 |
| | St | 19 | 1,6 | 1,4 | | | | 1,2 | 1,0 | | | |
| $\delta^{15}\text{N}$ | Si | 13 | 2,4 | 1,3 | -0,01 | -0,01 | 0,99 | 2,4 | 1,6 | -0,06 | -0,12 | 0,90 |
| | St | 19 | 2,4 | 1,5 | | | | 2,5 | 1,3 | | | |
| %N | Si | 13 | 2,5 | 0,7 | 0,28 | 1,25 | 0,22 | 2,6 | 0,8 | 0,22 | 0,83 | 0,41 |
| | St | 19 | 2,2 | 0,6 | | | | 2,4 | 0,6 | | | |
| C:N | Si | 13 | 19,8 | 5,2 | -12,08 | -2,54 | 0,25 | 19,5 | 6,3 | -1,68 | -0,80 | 0,43 |
| | St | 19 | 22,2 | 5,8 | | | | 21,2 | 5,5 | | | |
| AAS | Si | 13 | 22,5 | 8,8 | -12,08 | -2,81 | 0,01 | 24,8 | 7,1 | -3,86 | -1,45 | 0,16 |
| | St | 19 | 34,6 | 15,4 | | | | 28,7 | 7,6 | | | |
| ARG | Si | 13 | 2,5 | 3,4 | 0,25 | 0,26 | 0,80 | 0,9 | 1,8 | 0,20 | 0,41 | 0,68 |
| | St | 19 | 2,2 | 2,1 | | | | 0,7 | 0,9 | | | |
| GLN | Si | 13 | 7,4 | 3,1 | -3,98 | -1,51 | 0,14 | 10,6 | 2,1 | -1,00 | -0,53 | 0,60 |
| | St | 19 | 9,0 | 7,6 | | | | 11,6 | 6,5 | | | |
| ASN | Si | 13 | 6,4 | 5,6 | -3,98 | -1,62 | 0,12 | 6,6 | 4,3 | -0,57 | -0,36 | 0,72 |
| | St | 19 | 10,4 | 8,2 | | | | 7,2 | 4,5 | | | |
| GLU | Si | 13 | 2,0 | 1,9 | -2,52 | -1,69 | 0,10 | 2,0 | 1,4 | -0,16 | -0,31 | 0,76 |
| | St | 19 | 4,5 | 5,1 | | | | 2,2 | 1,4 | | | |
| ASP | Si | 13 | 1,4 | 1,0 | -0,99 | -2,34 | 0,03 | 2,1 | 1,0 | -0,41 | -0,70 | 0,49 |
| | St | 19 | 2,4 | 1,3 | | | | 2,5 | 1,9 | | | |

Tabela 11: Valores médios da espécie pioneira (*C. glazioui*) no inverno e médias das diferenças (\neq) entre os valores apresentados por esta espécie e as médias dos grupos das secundárias iniciais (Si) e das secundárias tardias (St), seguidos dos valores do teste t para uma amostra e sua significância (p).

| INVERNO | | | | | | | |
|-----------------------|-------|----------------------------------|-------|------|---------------------------------|-------|------|
| Variáveis | Média | <i>C. glazioui</i> x S. iniciais | | | <i>C. glazioui</i> x S. tardias | | |
| | | \neq | t | p | \neq | t | p |
| ANR | 343,3 | -272,7 | -24,1 | 0,00 | -275,9 | -12,8 | 0,00 |
| NO ₃ F | 63,5 | -16,7 | -3,3 | 0,01 | -25,7 | -4,5 | 0,00 |
| NO ₃ X | 6,2 | -4,5 | -13,8 | 0,00 | -4,5 | -13,7 | 0,00 |
| $\delta^{15}\text{N}$ | 2,8 | -0,4 | -1,1 | 0,28 | -0,4 | -1,1 | 0,28 |
| %N | 3,3 | -0,8 | -4,2 | 0,00 | -1,1 | -8,5 | 0,00 |
| C:N | 14,1 | 5,8 | 4,0 | 0,00 | 8,1 | 6,1 | 0,00 |
| AAS | 22,9 | -0,4 | -0,2 | 0,87 | 11,7 | 3,3 | 0,00 |
| ARG | 0,6 | 1,9 | 2,0 | 0,07 | 1,6 | 3,4 | 0,00 |
| GLN | 9,9 | -2,5 | -2,9 | 0,01 | -0,8 | -0,5 | 0,63 |
| ASN | 4,0 | 2,4 | 1,5 | 0,16 | 6,3 | 3,4 | 0,00 |
| GLU | 2,8 | -0,7 | -1,4 | 0,19 | 1,8 | 1,5 | 0,15 |
| ASP | 2,7 | -1,2 | -4,7 | 0,00 | -0,3 | -0,9 | 0,40 |

Tabela 12: Valores médios da espécie pioneira (*C. glazioui*) no verão e médias das diferenças (\neq) entre os valores apresentados por esta espécie e as médias dos grupos das secundárias iniciais (Si) e das secundárias tardias (St), seguidos dos valores do teste t para uma amostra e sua significância (p).

| VERÃO | | | | | | | |
|-----------------------|-------|----------------------------------|-------|------|---------------------------------|-------|------|
| Variáveis | Média | <i>C. glazioui</i> x S. iniciais | | | <i>C. glazioui</i> x S. tardias | | |
| | | \neq | t | p | \neq | t | p |
| ANR | 690,8 | -594,6 | -36,9 | 0,00 | -604,1 | -26,6 | 0,00 |
| NO ₃ F | 71,0 | -11,8 | -1,9 | 0,09 | -24,7 | -4,7 | 0,00 |
| NO ₃ X | 7,7 | -5,8 | -11,8 | 0,00 | -6,5 | -29,7 | 0,00 |
| $\delta^{15}\text{N}$ | 3,3 | -0,8 | -1,9 | 0,08 | -0,8 | -2,7 | 0,02 |
| %N | 3,8 | -1,2 | -5,1 | 0,00 | -1,4 | -9,6 | 0,00 |
| C:N | 12,3 | 7,2 | 4,2 | 0,00 | 8,9 | 7,0 | 0,00 |
| AAS | 40,5 | -15,7 | -7,9 | 0,00 | -11,8 | -6,8 | 0,00 |
| ARG | 0,7 | 0,2 | 0,4 | 0,70 | 0,0 | 0,0 | 0,99 |
| GLN | 12,0 | -1,4 | -2,4 | 0,04 | -0,4 | -0,3 | 0,80 |
| ASN | 11,5 | -4,8 | -4,0 | 0,00 | -4,3 | -4,1 | 0,00 |
| GLU | 8,0 | -6,0 | -15,4 | 0,00 | -5,9 | -18,0 | 0,00 |
| ASP | 4,9 | -2,7 | -10,2 | 0,00 | -2,3 | -5,3 | 0,00 |

Tabela 13: Médias das diferenças (\neq) entre os valores obtidos no inverno e no verão para as variáveis amostradas nos grupos de espécies secundárias iniciais (Si) e de secundárias tardias (St), seguidas dos valores do teste t pareado e sua significância (p).

| Variáveis | Inverno x Verão | | | | | |
|-----------------------|-----------------|------|------|------------|------|------|
| | S. iniciais | | | S. tardias | | |
| | \neq | t | p | \neq | t | p |
| ANR | -25,6 | -2,7 | 0,02 | -19,2 | -1,1 | 0,28 |
| NO ₃ F | -12,3 | -3,3 | 0,01 | -8,5 | -2,9 | 0,01 |
| NO ₃ X | -0,3 | -1,2 | 0,26 | 0,5 | 2,4 | 0,03 |
| $\delta^{15}\text{N}$ | 0,0 | -0,1 | 0,89 | -0,1 | -0,6 | 0,57 |
| %N | -0,1 | -1,4 | 0,20 | -0,2 | -3,2 | 0,01 |
| C:N | 0,3 | 0,5 | 0,61 | 1,0 | 1,7 | 0,10 |
| AAS | -2,3 | -1,4 | 0,19 | 5,9 | 1,8 | 0,09 |
| ARG | 1,6 | 2,7 | 0,02 | 1,5 | 3,1 | 0,01 |
| GLN | -3,2 | -5,7 | 0,00 | -2,6 | -1,5 | 0,15 |
| ASN | -0,2 | -0,3 | 0,79 | 3,2 | 2,5 | 0,02 |
| GLU | 0,0 | 0,1 | 0,94 | 2,4 | 2,1 | 0,05 |
| ASP | -0,7 | -2,1 | 0,06 | -0,1 | -0,2 | 0,85 |

5.6. Análise multivariada

As variáveis relacionadas ao uso de N pelas espécies foram analisadas através de uma matriz de correlação r de Pearson e Análise de Componentes Principais, onde foram interpretadas em ambas as estações as componentes 1, 2 e 3 (CP1, CP2 e CP3) que explicaram 60,47% da variância total no inverno e 58,68% no verão, havendo maior contribuição da CP1 nas duas estações.

No inverno as variáveis de maior contribuição na CP1 foram: C:N, %N, GLU, ASN e AAs. Na CP2 as principais variáveis foram: AAs, ASN, GLN e NO₃F, e na CP3: NO₃X, ANR e $\delta^{15}\text{N}$ (Tabela 14). As espécies que apresentaram maior contribuição nas CP1 e CP2 foram as secundárias tardias *Swartzia simplex*, *Garcinia gardneriana*, *Chrysophyllum flexuosum* e *Sclerolobium denudatum*, na CP3 a principal contribuição foi da espécie pioneira *Cecropia glazioui* que apresentou valores altos de ANR e NO₃X (Figuras: 32, 33 e 34).

A matriz revela que nesta estação estas e outras variáveis apresentaram correlações fortes e significativas entre si: %N e C:N ($-0,910$ e $\alpha = 0,000$), AAs e ASN ($+0,796$ e $\alpha = 0,000$), AAs e GLU ($+0,514$ e $\alpha = 0,002$), ASN e GLU ($+0,372$ e $\alpha = 0,033$), NO₃F e C:N ($+0,522$ e $\alpha = 0,002$), NO₃X e $\delta^{15}\text{N}$ ($+0,479$ e $\alpha = 0,005$), ANR e $\delta^{15}\text{N}$ ($+0,470$ e $\alpha = 0,005$), AAs e ASP ($+0,464$ e $\alpha = 0,006$), ANR e NO₃X ($+0,440$ e $\alpha = 0,010$), AAs e GLN ($+0,394$ e $\alpha = 0,023$), %N e GLN ($+0,379$ e $\alpha = 0,030$), ASN e ASP ($+0,376$ e $\alpha = 0,031$), e ASN e GLU

(+0,372 e $\alpha = 0,033$) (Tabela 15).

No verão as variáveis de maior contribuição na CP1 foram: ANR, NO_3^-X , %N, C:N e GLU. Na CP2 as principais variáveis foram: $\delta^{15}\text{N}$, GLU, C:N, %N, e na CP3: AAs, GLN e ASN (Tabela 16). A espécie pioneira *Cecropia glazioui* foi a que contribuiu mais na CP1 (valores altos de ANR e NO_3^-X), na CP2 foram as espécies secundárias tardias *Swartzia simplex* e *Garcinia gardneriana*, e na CP3 foi a secundária inicial *Pourouma guianensis* e as secundárias tardias *Sloanea guianensis* e *Rustia formosa* (Figuras: 35, 36 e 37).

Neste período as principais correlações entre as variáveis foram: %N e C:N ($-0,910$ e $\alpha = 0,000$), ANR e NO_3^-X ($+0,664$ e $\alpha = 0,000$), ANR e GLU ($+0,544$ e $\alpha = 0,001$), AAs e ASN ($+0,533$ e $\alpha = 0,001$), NO_3^-X e $\delta^{15}\text{N}$ ($+0,531$ e $\alpha = 0,001$), NO_3^-F e C:N ($+0,522$ e $\alpha = 0,002$), AAs e GLN ($+0,510$ e $\alpha = 0,002$), $\delta^{15}\text{N}$ e GLU ($+0,435$ e $\alpha = 0,011$), NO_3^-X e GLU ($+0,435$ e $\alpha = 0,011$), NO_3^-X e %N ($+0,365$ e $\alpha = 0,037$), e NO_3^-F e %N ($-0,359$ e $\alpha = 0,040$) (Tabela 17).

Com as limitações de uma análise exploratória, a interpretação da Análise de Componentes Principais forneceu informações importantes sobre a relação entre as variáveis estudadas e as categorias de sucessão ecológica.

As espécies tardias analisadas responderam à variação sazonal através da utilização de estratégia de remobilização interna de compostos nitrogenados armazenados durante o inverno, apresentando um alto conteúdo de aminoácidos totais neste período, o que as separou de forma significativa ($t = -2,19$ e $p = 0,04$) dos demais grupos nesta estação na CP2 (que explica 20,08% da variação dos dados).

No verão a espécie pioneira ficou claramente separada das demais na CP1 e na CP2, onde a correlação positiva entre ANR e NO_3^-X e os valores apresentados pela espécie quanto a estas variáveis foram maiores. Neste período as espécies secundárias iniciais se separaram um pouco melhor das tardias ($t = 1,966$ e $p = 0,05$) na CP6 (que explica 8,32% da variação dos dados), onde as variáveis: NO_3^-F , ASP e $\delta^{15}\text{N}$ têm a maior contribuição (Tabela 16).

Biplot Euclidiano - Inverno

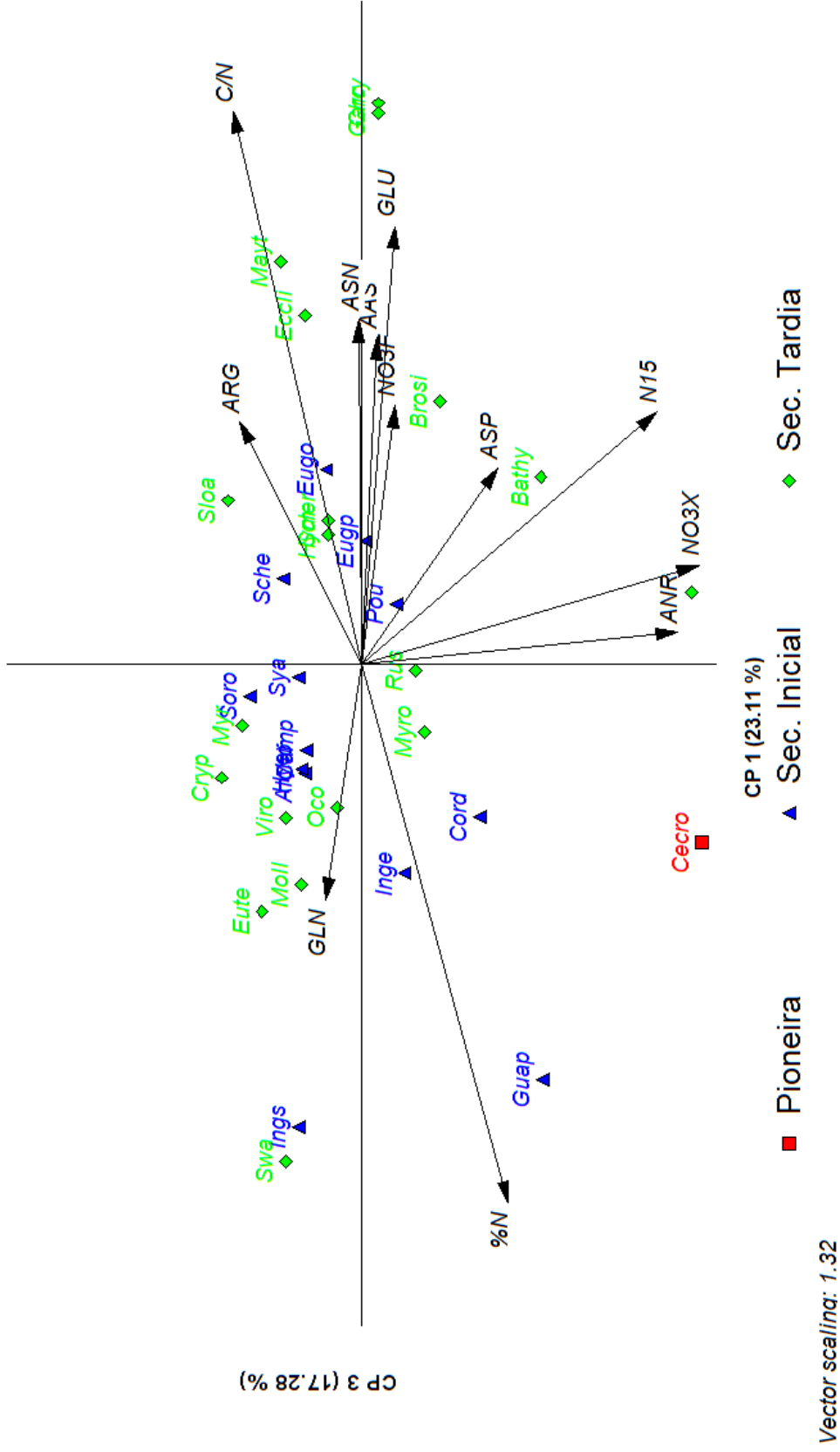


Figura 33: Biplot derivado da Análise de Componentes Principais mostrando distribuição das espécies em relação às variáveis estudadas nas folhas e na seiva do xilema no inverno no espaço definido pelo primeiro (CP1 - 23, 11%) e terceiro eixos (CP3 - 17, 27%).

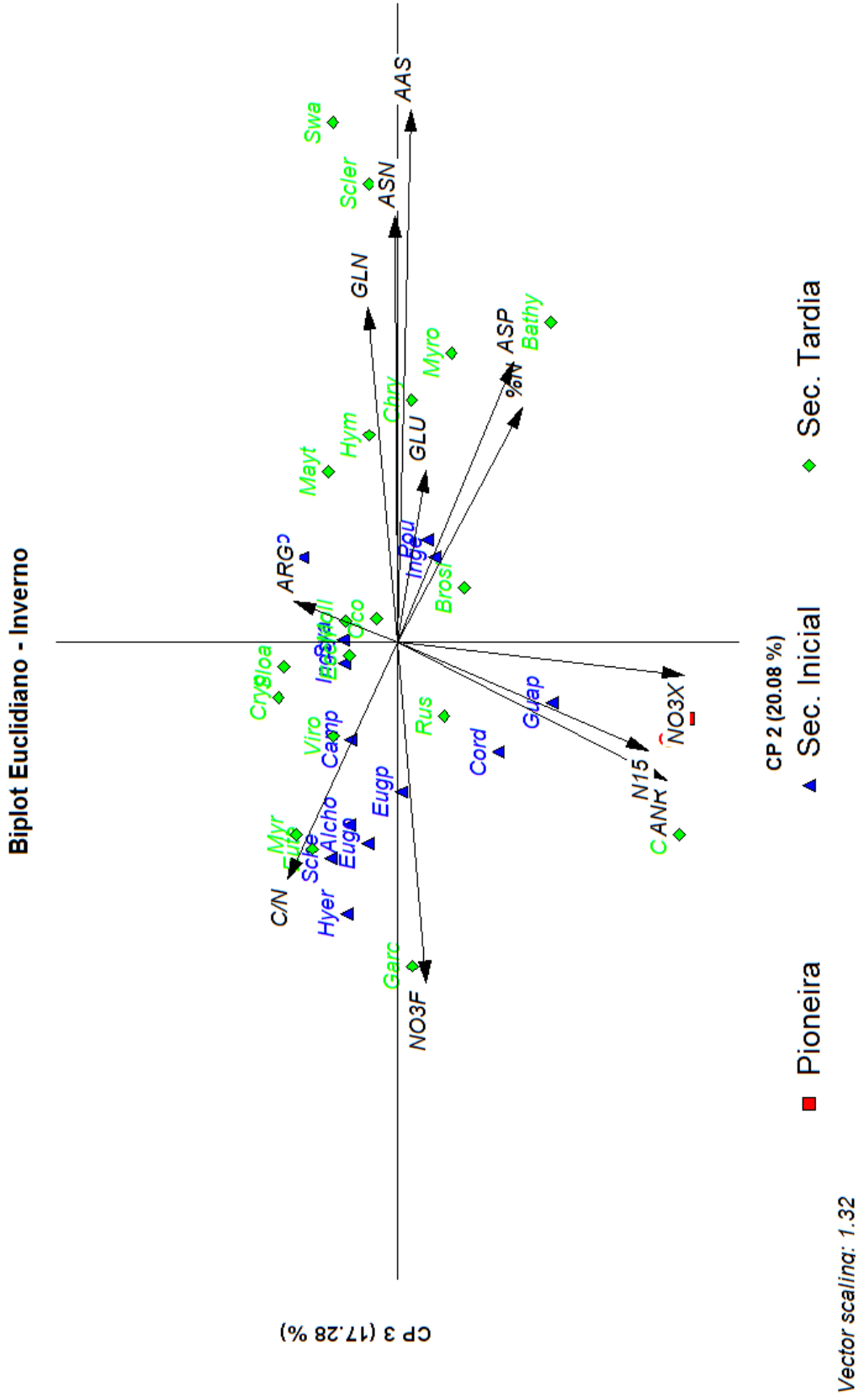


Figura 34: Biplot derivado da Análise de Componentes Principais mostrando distribuição das espécies em relação às variáveis estudadas nas folhas e na seiva do xilema no inverno no espaço definido pelo segundo (CP2 - 20, 08%) e terceiro eixos (CP3 - 17, 27%).

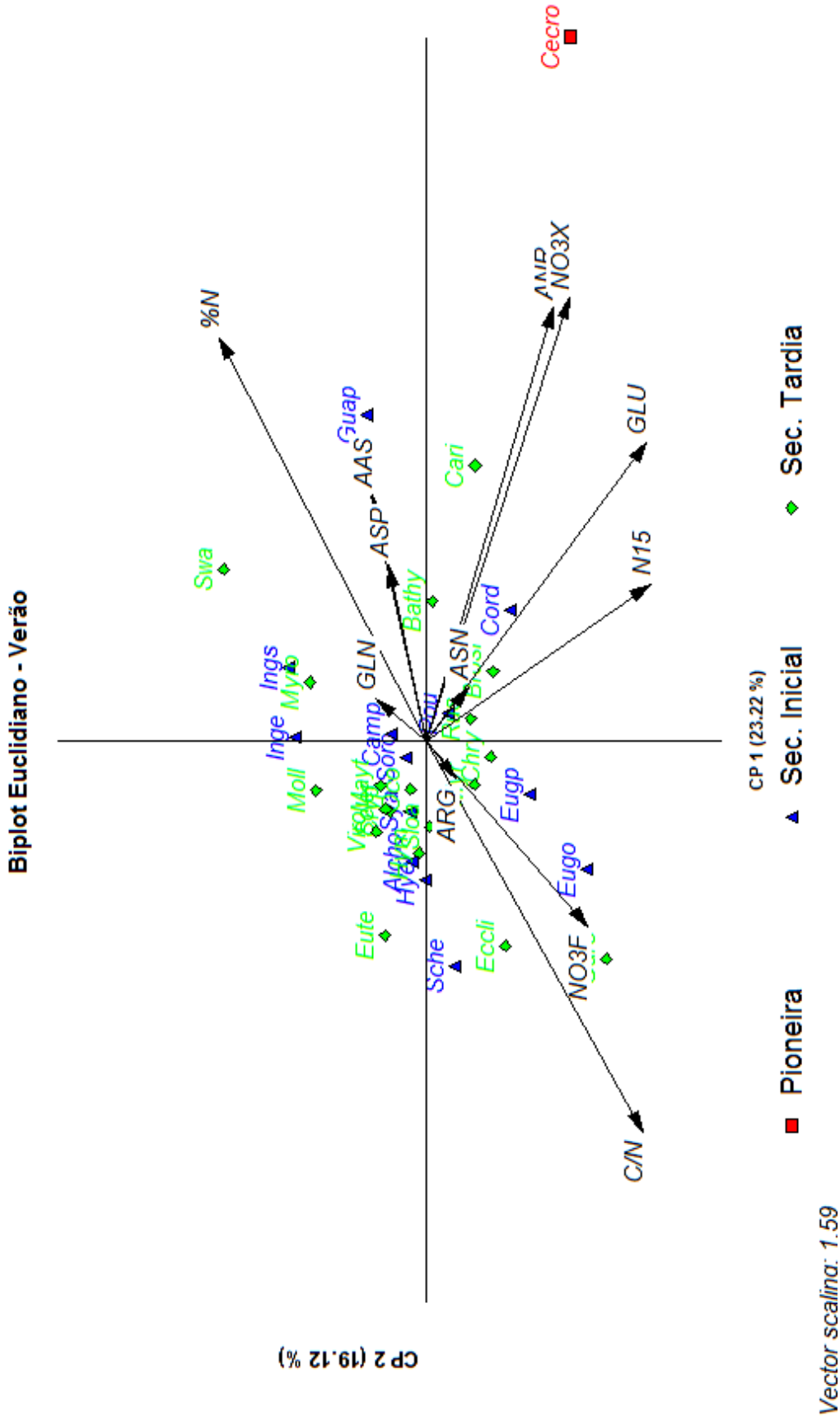


Figura 35: Biplot derivado da Análise de Componentes Principais mostrando distribuição das espécies em relação às variáveis estudadas nas folhas e na seiva do xilema no verão no espaço definido pelo primeiro (CP1 - 23, 22%) e segundo eixos (CP2 - 19, 12%).

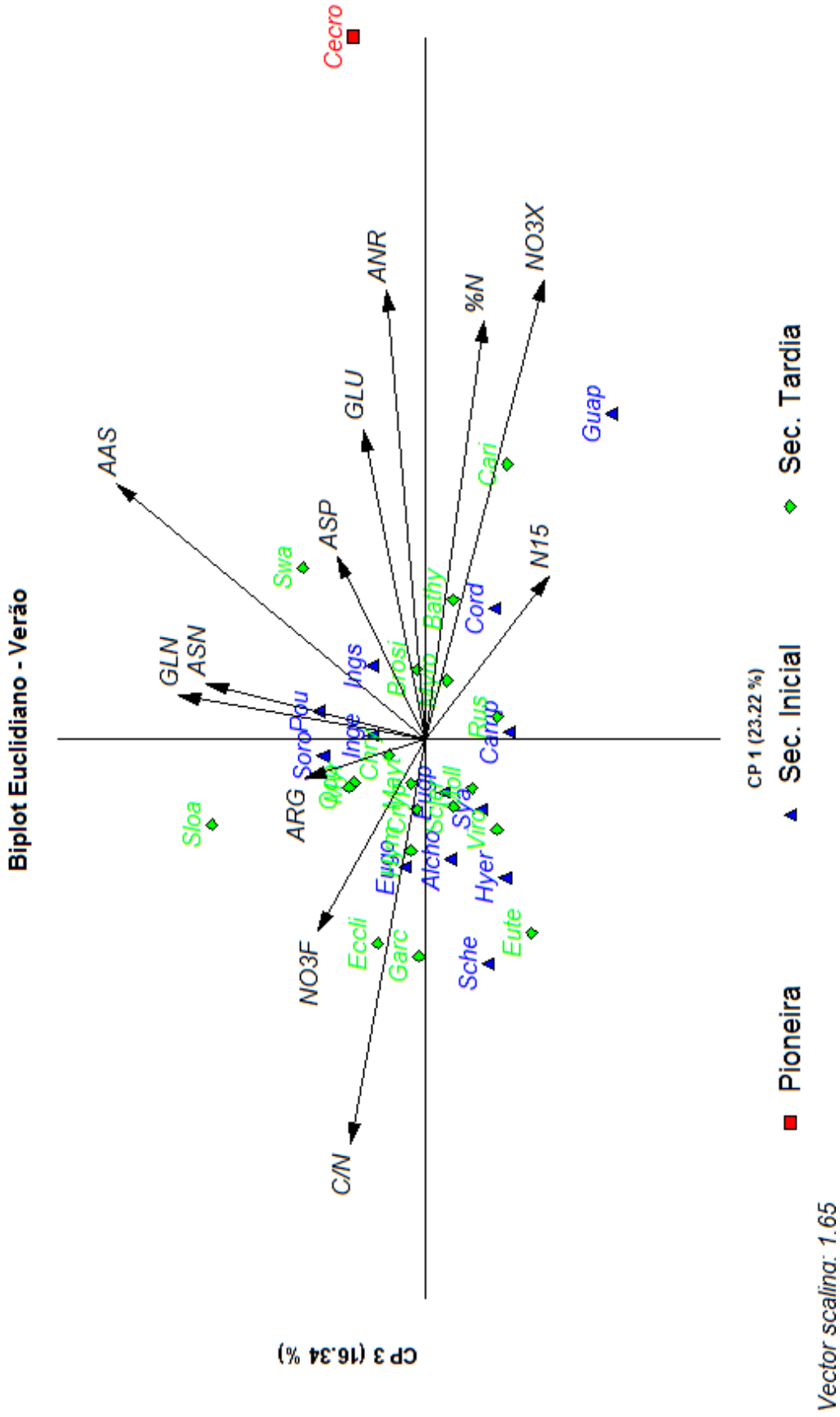


Figura 36: Biplot derivado da Análise de Componentes Principais mostrando distribuição das espécies em relação às variáveis estudadas nas folhas e na seiva do xilema no verão no espaço definido pelo primeiro (CPI - 23, 22%) e terceiro eixos (CP3 - 16, 34%).

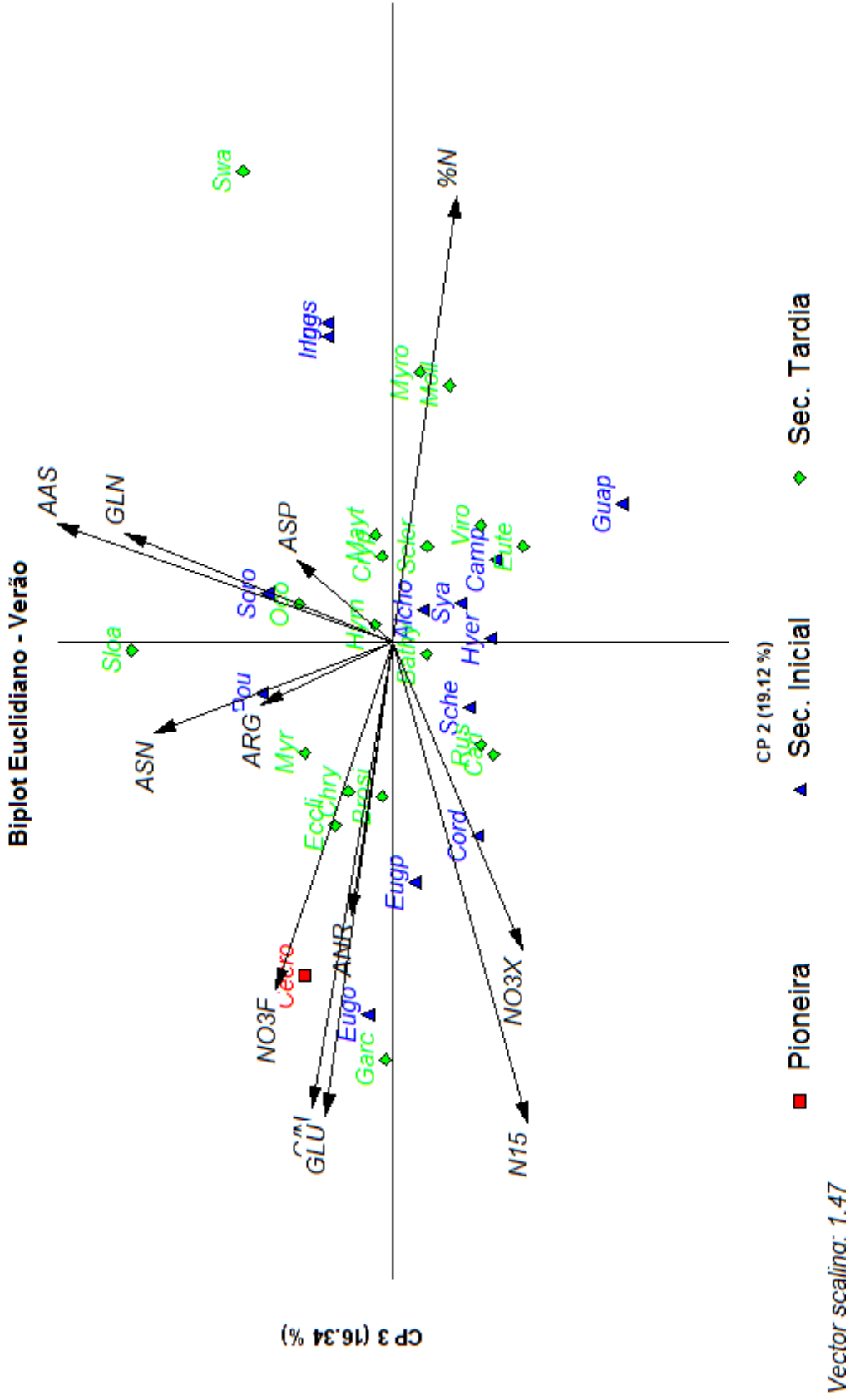


Figura 37: Biplot derivado da Análise de Componentes Principais mostrando distribuição das espécies em relação às variáveis estudadas nas folhas e na seiva do xilema no verão no espaço definido peseguendo (CP2 – 19, 12%) e terceiro eixos (CP3 - 16, 34%).

Tabela 14: Resultados da Análise de Componentes Principais da matriz de correlações de Pearson calculada para o conjunto de variáveis amostradas no inverno, mostrando autovalores, proporções da variância e contribuições de cada variável para a formação dos eixos principais.

| | COMPONENTES PRINCIPAIS | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------------|---------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | CP1 | CP2 | CP3 | CP4 | CP5 | CP6 | CP7 | CP8 | CP9 | CP10 | CP11 | CP12 |
| AUTOVALOR | 2,77 | 2,41 | 2,07 | 1,17 | 1,03 | 0,71 | 0,54 | 0,46 | 0,42 | 0,34 | 0,05 | 0,02 |
| PROPORÇÃO | 23,11 | 20,08 | 17,27 | 9,72 | 8,58 | 5,94 | 4,51 | 3,83 | 3,52 | 2,87 | 0,45 | 0,13 |
| P. CUMULATIVA | 23,12 | 43,20 | 60,47 | 70,18 | 78,76 | 84,70 | 89,21 | 93,04 | 96,56 | 99,42 | 99,87 | 100,00 |
| | CONTRIBUIÇÕES | | | | | | | | | | | |
| VARIÁVEIS | CP1 | CP2 | CP3 | CP4 | CP5 | CP6 | CP7 | CP8 | CP9 | CP10 | CP11 | CP12 |
| ANR | 0,046 | -0,222 | 0,742 | 0,158 | 0,237 | 0,323 | 0,276 | -0,255 | 0,115 | -0,238 | 0,016 | 0,010 |
| NO ₃ F | 0,376 | -0,544 | 0,079 | 0,518 | -0,236 | 0,235 | 0,180 | 0,246 | 0,124 | 0,258 | -0,044 | -0,007 |
| NO ₃ X | 0,144 | -0,054 | 0,791 | 0,182 | -0,008 | -0,314 | -0,085 | 0,344 | -0,231 | -0,198 | -0,020 | -0,007 |
| δ ¹⁵ N | 0,368 | -0,174 | 0,692 | -0,227 | 0,252 | -0,005 | -0,244 | -0,193 | -0,118 | 0,360 | 0,006 | 0,003 |
| %N | -0,786 | 0,374 | 0,345 | 0,049 | -0,009 | -0,065 | 0,163 | 0,162 | 0,102 | 0,174 | 0,153 | 0,002 |
| C/N | 0,806 | -0,380 | -0,303 | 0,125 | -0,073 | 0,125 | -0,150 | 0,009 | -0,133 | -0,103 | 0,166 | -0,001 |
| AAs | 0,475 | 0,850 | 0,036 | 0,120 | 0,118 | 0,103 | 0,046 | -0,020 | 0,013 | 0,016 | -0,001 | -0,093 |
| ARG | 0,354 | 0,065 | -0,287 | 0,476 | 0,552 | -0,468 | 0,126 | -0,087 | 0,104 | 0,049 | 0,007 | 0,023 |
| GLN | -0,343 | 0,532 | -0,085 | 0,473 | 0,278 | 0,395 | -0,341 | 0,085 | -0,094 | -0,010 | -0,018 | 0,037 |
| ASN | 0,501 | 0,680 | -0,007 | -0,083 | -0,214 | 0,058 | 0,357 | -0,023 | -0,306 | 0,074 | -0,009 | 0,053 |
| GLU | 0,637 | 0,274 | 0,078 | -0,477 | 0,246 | 0,107 | -0,042 | 0,312 | 0,334 | -0,042 | -0,001 | 0,031 |
| ASP | 0,285 | 0,447 | 0,320 | 0,265 | -0,588 | -0,185 | -0,229 | -0,198 | 0,271 | -0,032 | 0,004 | 0,023 |

Tabela 15: Valores das correlações de Pearson entre as variáveis amostradas para o conjunto de espécies estudadas no inverno. Os valores em negrito mostram correlações significativas, alfa (α) = 0.05.

| VARIÁVEIS | ANR | NO ₃ F | NO ₃ X | δ ¹⁵ N | %N | C/N | AAs | ARG | GLN | ASN | GLU |
|-------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|--------|--------------|--------------|--------------|
| NO ₃ F | 0,238 | | 0,158 | 0,096 | -0,339 | 0,522 | -0,213 | 0,109 | -0,207 | -0,121 | -0,083 |
| | 0,182 | | 0,379 | 0,594 | 0,053 | 0,002 | 0,235 | 0,547 | 0,247 | 0,502 | 0,644 |
| NO ₃ X | 0,440 | 0,158 | | 0,479 | 0,150 | -0,056 | 0,024 | -0,025 | -0,102 | 0,016 | 0,058 |
| | 0,010 | 0,379 | | 0,005 | 0,404 | 0,758 | 0,894 | 0,892 | 0,572 | 0,929 | 0,748 |
| δ ¹⁵ N | 0,474 | 0,096 | 0,479 | | -0,149 | 0,120 | 0,051 | -0,054 | -0,243 | 0,006 | 0,306 |
| | 0,005 | 0,594 | 0,005 | | 0,409 | 0,506 | 0,780 | 0,764 | 0,173 | 0,974 | 0,083 |
| %N | 0,098 | -0,339 | 0,150 | -0,149 | | -0,910 | -0,037 | -0,277 | 0,379 | -0,113 | -0,334 |
| | 0,587 | 0,053 | 0,404 | 0,409 | | 0,000 | 0,837 | 0,119 | 0,030 | 0,531 | 0,057 |
| C/N | -0,092 | 0,522 | -0,056 | 0,120 | -0,910 | | 0,058 | 0,271 | -0,303 | 0,137 | 0,290 |
| | 0,609 | 0,002 | 0,758 | 0,506 | 0,000 | | 0,750 | 0,128 | 0,087 | 0,446 | 0,101 |
| AAs | -0,045 | -0,213 | 0,024 | 0,051 | -0,037 | 0,058 | | 0,294 | 0,394 | 0,796 | 0,514 |
| | 0,803 | 0,235 | 0,894 | 0,780 | 0,837 | 0,750 | | 0,096 | 0,023 | 0,000 | 0,002 |
| ARG | -0,099 | 0,109 | -0,025 | -0,054 | -0,277 | 0,271 | 0,294 | | 0,071 | 0,059 | 0,080 |
| | 0,584 | 0,547 | 0,892 | 0,764 | 0,119 | 0,128 | 0,096 | | 0,694 | 0,746 | 0,657 |
| GLN | -0,053 | -0,207 | -0,102 | -0,243 | 0,379 | -0,303 | 0,394 | 0,071 | | 0,022 | -0,184 |
| | 0,769 | 0,247 | 0,572 | 0,173 | 0,030 | 0,087 | 0,023 | 0,694 | | 0,905 | 0,306 |
| ASN | -0,126 | -0,121 | 0,016 | 0,006 | -0,113 | 0,137 | 0,796 | 0,059 | 0,022 | | 0,372 |
| | 0,484 | 0,502 | 0,929 | 0,974 | 0,531 | 0,446 | 0,000 | 0,746 | 0,905 | | 0,033 |
| GLU | 0,002 | -0,083 | 0,058 | 0,306 | -0,334 | 0,290 | 0,514 | 0,080 | -0,184 | 0,372 | |
| | 0,989 | 0,644 | 0,748 | 0,083 | 0,057 | 0,101 | 0,002 | 0,657 | 0,306 | 0,033 | |
| ASP | 0,020 | 0,057 | 0,276 | 0,091 | 0,037 | 0,017 | 0,464 | -0,058 | 0,039 | 0,376 | 0,078 |
| | 0,910 | 0,753 | 0,120 | 0,613 | 0,840 | 0,924 | 0,006 | 0,747 | 0,831 | 0,031 | 0,666 |

Tabela 16: Resultados da Análise de Componentes Principais da matriz de correlações de Pearson calculada para o conjunto de variáveis amostradas no verão, mostrando autovalores, proporções da variância e contribuições de cada variável para a formação dos eixos principais.

| | COMPONENTES PRINCIPAIS | | | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------------|---------------|--------------|--------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | CP1 | CP2 | CP3 | CP4 | CP5 | CP6 | CP7 | CP8 | CP9 | CP10 | CP11 | CP12 |
| AUTOVALOR | 2,79 | 2,29 | 1,96 | 1,26 | 1,04 | 1,00 | 0,70 | 0,33 | 0,28 | 0,17 | 0,14 | 0,02 |
| PROPORÇÃO | 23,22 | 19,12 | 16,34 | 10,51 | 8,71 | 8,32 | 5,87 | 2,73 | 2,37 | 1,45 | 1,16 | 0,21 |
| P. CUMULATIVA | 23,22 | 42,34 | 58,68 | 69,18 | 77,89 | 86,21 | 92,08 | 94,82 | 97,19 | 98,64 | 99,79 | 100,00 |
| VARIÁVEIS | CONTRIBUIÇÕES | | | | | | | | | | | |
| ANR | 0,744 | 0,377 | 0,102 | -0,080 | 0,114 | 0,280 | 0,107 | -0,395 | -0,138 | -0,013 | 0,093 | 0,019 |
| NO ₃ F | -0,319 | 0,479 | 0,284 | -0,295 | 0,432 | 0,469 | 0,120 | 0,195 | 0,141 | -0,085 | 0,119 | -0,010 |
| NO ₃ X | 0,761 | 0,425 | -0,312 | 0,073 | 0,079 | 0,091 | -0,052 | -0,006 | 0,295 | 0,115 | -0,133 | -0,057 |
| δ ¹⁵ N | 0,269 | 0,664 | -0,324 | 0,016 | -0,442 | -0,306 | -0,168 | 0,085 | 0,115 | -0,100 | 0,180 | 0,034 |
| %N | 0,692 | -0,614 | -0,153 | -0,030 | 0,083 | 0,255 | -0,019 | 0,160 | 0,084 | 0,052 | 0,002 | 0,107 |
| C/N | -0,672 | 0,643 | 0,197 | -0,023 | 0,075 | -0,110 | -0,039 | -0,100 | 0,067 | 0,229 | -0,058 | 0,078 |
| AAs | 0,423 | -0,162 | 0,815 | -0,020 | -0,175 | -0,080 | -0,084 | 0,118 | -0,035 | 0,221 | 0,144 | -0,039 |
| ARG | -0,066 | 0,087 | 0,318 | 0,662 | -0,356 | 0,184 | 0,527 | 0,015 | 0,095 | -0,036 | -0,017 | 0,012 |
| GLN | 0,072 | -0,148 | 0,651 | 0,449 | 0,332 | -0,199 | -0,366 | -0,116 | 0,167 | -0,148 | -0,012 | 0,016 |
| ASN | 0,091 | 0,126 | 0,578 | -0,512 | -0,518 | 0,226 | -0,138 | -0,010 | 0,025 | -0,110 | -0,166 | 0,013 |
| GLU | 0,512 | 0,653 | 0,164 | 0,223 | 0,232 | -0,142 | 0,005 | 0,250 | -0,288 | -0,040 | -0,116 | 0,014 |
| ASP | 0,301 | -0,112 | 0,235 | -0,456 | 0,201 | -0,608 | 0,456 | -0,025 | 0,110 | -0,046 | -0,019 | 0,011 |

Tabela 17: Valores das correlações de Pearson entre as variáveis amostradas para o conjunto de espécies estudadas no verão. Os valores em negrito mostram correlações significativas, alfa (α) = 0.05.

| VARIÁVEIS | ANR | NO ₃ F | NO ₃ X | $\delta^{15}\text{N}$ | %N | C/N | AAs | ARG | GLN | ASN | GLU |
|-----------------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---------------|---------------|--------------|--------|--------|--------------|--------------|
| NO ₃ F | 0,105 | | -0,064 | -0,157 | -0,359 | 0,524 | -0,082 | -0,030 | -0,024 | 0,202 | 0,162 |
| | 0,561 | | 0,724 | 0,383 | 0,040 | 0,002 | 0,650 | 0,870 | 0,893 | 0,258 | 0,368 |
| NO ₃ X | 0,664 | -0,064 | | 0,531 | 0,365 | -0,254 | -0,023 | -0,078 | -0,117 | -0,093 | 0,561 |
| | 0,000 | 0,724 | | 0,001 | 0,037 | 0,154 | 0,900 | 0,668 | 0,516 | 0,608 | 0,001 |
| $\delta^{15}\text{N}$ | 0,232 | -0,157 | 0,531 | | -0,262 | 0,157 | -0,133 | -0,027 | -0,284 | 0,080 | 0,435 |
| | 0,195 | 0,383 | 0,001 | | 0,141 | 0,384 | 0,459 | 0,880 | 0,109 | 0,659 | 0,011 |
| %N | 0,275 | -0,359 | 0,365 | -0,262 | | -0,901 | 0,258 | -0,150 | 0,001 | -0,074 | -0,081 |
| | 0,121 | 0,040 | 0,037 | 0,141 | | 0,000 | 0,147 | 0,404 | 0,996 | 0,683 | 0,654 |
| C/N | -0,238 | 0,524 | -0,254 | 0,157 | -0,901 | | -0,203 | 0,078 | 0,026 | 0,075 | 0,090 |
| | 0,181 | 0,002 | 0,154 | 0,384 | 0,000 | | 0,256 | 0,665 | 0,887 | 0,680 | 0,620 |
| AAs | 0,254 | -0,082 | -0,023 | -0,133 | 0,258 | -0,203 | | 0,196 | 0,510 | 0,533 | 0,223 |
| | 0,153 | 0,650 | 0,900 | 0,459 | 0,147 | 0,256 | | 0,275 | 0,002 | 0,001 | 0,211 |
| ARG | 0,011 | -0,030 | -0,078 | -0,027 | -0,150 | 0,078 | 0,196 | | 0,158 | 0,013 | 0,097 |
| | 0,953 | 0,870 | 0,668 | 0,880 | 0,404 | 0,665 | 0,275 | | 0,378 | 0,943 | 0,593 |
| GLN | -0,005 | -0,024 | -0,117 | -0,284 | 0,001 | 0,026 | 0,510 | 0,158 | | -0,008 | 0,181 |
| | 0,978 | 0,893 | 0,516 | 0,109 | 0,996 | 0,887 | 0,002 | 0,378 | | 0,963 | 0,314 |
| ASN | 0,192 | 0,202 | -0,093 | 0,080 | -0,074 | 0,075 | 0,533 | 0,013 | -0,008 | | -0,030 |
| | 0,286 | 0,258 | 0,608 | 0,659 | 0,683 | 0,680 | 0,001 | 0,943 | 0,963 | | 0,870 |
| GLU | 0,544 | 0,162 | 0,561 | 0,435 | -0,081 | 0,090 | 0,223 | 0,097 | 0,181 | -0,030 | |
| | 0,001 | 0,368 | 0,001 | 0,011 | 0,654 | 0,620 | 0,211 | 0,593 | 0,314 | 0,870 | |
| ASP | 0,137 | -0,079 | 0,041 | -0,044 | 0,111 | -0,152 | 0,300 | -0,188 | 0,035 | 0,090 | 0,120 |
| | 0,447 | 0,660 | 0,822 | 0,808 | 0,538 | 0,399 | 0,089 | 0,295 | 0,845 | 0,619 | 0,506 |

6. Discussão

Os baixos valores de pH encontrados na área (entre 3,38 e 3,93) estão de acordo com o encontrado na literatura, que cita valores entre 3,2 e 3,9 para o litoral de São Paulo (Pinto & Marques 2003; Oliveira et al. 2001). Em condições de clima úmido, como em Ubatuba, há uma tendência para laterização do solo; que promove acidificação e interfere na disponibilidade de nutrientes, restringindo especialmente fósforo e cálcio, e elevando a quantidade de alumínio trocável (Wutke 1972 *apud* Carvalhaes 1997).

A acidificação do solo pode ocorrer de muitas formas: empobrecimento de bases trocáveis (baixa na área: $CTC < 140 \text{ mmolc Kg}^{-1}$) devido à lixiviação, presença de ácidos orgânicos liberados pelas raízes das plantas e pelos microrganismos, percolação de ácido húmico e ácido fúlvico dos horizontes superiores que contém húmus, dissociação do ácido carbônico acumulado como produto da respiração e da fermentação, e também pela entrada de ácidos via precipitação e pelos poluentes atmosféricos que formam ácidos (Larcher 2000).

Quanto aos nutrientes, são características comuns em paisagens tropicais descontinuidades abruptas em condições edáficas (Clark *et al.* 1998; Sollins 1998). A distribuição dos nutrientes em manchas no solo está associada aos resíduos de decomposição orgânica, e também a variações na topografia, micro clima e rocha parental (Tibbett 2000).

A determinação do conteúdo e razão isotópica do N e C no solo mostra que a concentração do C e do N diminui em profundidade concomitante com um enriquecimento dos isótopos estáveis ^{13}C e ^{15}N . Essa queda no conteúdo de C e N com o aumento da profundidade provavelmente estão relacionadas com a alta atividade biológica na superfície do solo e maior concentração de matéria orgânica (raiz e material em decomposição), principalmente até os 20 cm de profundidade. Valores semelhantes foram encontrados por Melo (2003), em solos de floresta nativa na região Amazônica.

O enriquecimento em ^{13}C com a profundidade do solo foi observado também por Cerri (1986), Moraes *et al.* (1995) e Nardoto (2005), e pode ser apontado como efeito do fracionamento durante a decomposição da matéria orgânica ao longo do perfil do solo (Martineli *et al.* 1999).

Piccolo *et al.* (1996), Eshetu (2004) e Nardoto (2005) trabalhando com solos de floresta da região Amazônica também verificaram enriquecimento em ^{15}N com o aumento da profundidade. Considerando que processos como a mineralização, nitrificação, desnitrificação e volatilização discriminam contra o ^{15}N (Kahmen 2008), o enriquecimento deste isótopo pode ser devido em parte à perda de N mineral, que é empobrecido em ^{15}N quando comparado com o volume do solo ou com o N orgânico do solo, à incompleta oxidação do NH_4^+

mineralizado resultando num enriquecimento da zona do solo em que o íon amônio fica retido (Karamanos & Rennie 1980), e ao efeito da diluição isotópica entre a camada de serrapilheira e o solo, visto que esta, quando comparada a solos de florestas, possui um sinal isotópico menor (Martins, dados não publicados). Mas apesar dessa evidência de acúmulo de ^{15}N , os mecanismos de fracionamento de N no solo ainda não são bem entendidos (Adams & Grierson 2001).

A disponibilidade de N mineral *in situ* analisada na solução do solo com o uso de resina de troca iônica mostrou uma concentração maior no inverno em relação ao verão com predomínio do íon amônio em relação ao nitrato em ambas ($78,2 \pm 27,1 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – inverno e $68,3 \pm 10,1 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ - verão) e ($31,9 \pm 14,8 \mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – inverno e $26,9 \pm 10,6 \mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – verão).

Esses valores são considerados altos quando comparados com o estimado por Aidar *et al.* 2003 no Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira/SP ($1,7 \pm 0,9 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – inverno e $2,7 \pm 1,4 \mu\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – verão) e ($0,5 \pm 0,4 \mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – inverno e $2,6 \pm 2,6 \mu\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – verão), e por Pereira-Silva (2008) no Parque Estadual de Carlos Botelho/SP ($9,0 \pm 2,3 \eta\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – inverno e $16,7 \pm 1,1 \eta\text{g NH}_4^+ \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – verão e $0,01 \pm 0,0 \eta\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – inverno e $0,07 \pm 0,03 \eta\text{g NO}_3^- \text{g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ – verão).

O predomínio do íon amônio em relação ao nitrato na solução do solo é o oposto do observado por Martins (dados não publicados) na mesma área em amostras de solo seco que indicaram uma concentração mais baixa de N mineral com grande variação entre as estações e um predomínio de nitrato ($20\mu\text{g NO}_3^- \text{ solo seco}^{-1}$ – inverno e $40\mu\text{g NO}_3^- \text{ solo seco}^{-1}$ - verão) em relação ao amônio ($7,5\mu\text{g NH}_4^+ \text{ solo seco}^{-1}$ – inverno e $20\mu\text{g NH}_4^+ \text{ solo seco}^{-1}$ - verão). Porém corroboram com os resultados obtidos por Pereira-Silva (2008) que acompanhou a disponibilidade de N mineral no solo no Parque Estadual de Carlos Botelho (Floresta Ombrofila Densa Submontana) por oito semanas e obteve um valor médio de amônio aproximadamente nove vezes maior que a concentração de nitrato.

Esse predomínio do íon amônio encontrado na solução do solo pode estar relacionado ao fato de que sob baixos valores de pH (caso da área de estudo) o amônio por ser um cátion fica adsorvido nas partículas do solo enquanto o nitrato é lixiviado com mais facilidade (Bredemeier & Mundstock, 2000). Além disso, a concentração de nitrato apresenta amplas variações espaciais e sazonais e é controlada por fatores bióticos e abióticos que muitas vezes resultam na rápida diminuição de seu conteúdo no solo (Crawford & Glass 1998).

A menor disponibilidade de nitrato no solo também pode ser atribuída à constante disponibilidade de água no solo da região, nesta circunstância a mobilidade do nitrato e sua absorção pelas plantas são facilitadas assim como o processo de desnitrificação. Além disso, o

excesso de água no solo diminui a sua aeração isso concomitante com baixo pH dificulta a atividade microbiana no processo de nitrificação (Fredeen & Field 1992).

Os altos percentuais de colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares (FMA) encontrados nos 23 pontos analisados em ambas as estações podem estar associados à carência nutricional do solo, à alta pluviosidade e à elevada temperatura média (aproximadamente 23°C) encontrada ao longo do ano na região.

Esses resultados estão de acordo com o encontrado na literatura, segundo Read (1994 *apud* Zhao *et al.* 2001) as florestas tropicais úmidas que apresentam uma alta diversidade de espécies e uma complexa estrutura da comunidade constituem as maiores áreas de FMA no mundo. Em situações de stress e competição, em que os nutrientes do solo são limitados, as plantas são na grande maioria micorrizadas, nessas condições a micorriza pode ser igualmente importante na absorção de N como na absorção de P (Siqueira *et al.* 1998).

Segundo Trape (1987) cerca de 80% das angiospermas são micorrizadas sendo a maioria por fungo micorrízico arbuscular (FMA). Gemma *et al.* (1992) estudando samambaias no Hawaii verificou que 74% das espécies estudadas são colonizadas por FMA. Zhao *et al.* (2001) em um estudo com 112 espécies arbóreas em uma floresta tropical úmida no sudoeste da China observaram que 56% das espécies são colonizadas por FMA, 31% são micorrízicas em potencial e apenas 13% não são. Bonetti *et al.* (1984) estudando uma floresta de terra-firme amazônica, observaram que todas as 15 espécies de leguminosas arbóreas estudadas mostraram infecção com FMA e Nepstad *et al.* (2001), ao escavar o solo até 8 m de profundidade, também encontraram raízes infectadas por micorriza tanto em pastagens, florestas secundárias assim como em florestas nativas na Amazônia Oriental, sendo que as maiores taxas de infecção foram observadas nas florestas secundárias.

Quanto ao uso de N pelas espécies arbóreas, a espécie pioneira *Cecropia glazioui* apresentou os maiores valores de conteúdo de nitrato na folha, na seiva do xilema e da atividade potencial máxima da enzima nitrato redutase foliar (ANR), com o dobro da atividade no verão. Os altos valores de (ANR) foliar e de nitrato na seiva do xilema apresentados pela espécie sugerem que o nitrato é absorvido pela raiz transportado até a parte aérea onde é então assimilado.

Segundo Sodek (2004) é importante frisar que no caso da folha não é o teor de nitrato aí presente que é importante na indução da enzima, mas a quantidade trazida pelo fluxo transpiratório. A Análise de Componentes Principais reforça essa afirmação, pois mostra uma relação significativa e forte entre o conteúdo de NO_3^- na seiva do xilema e a ANR, tanto no inverno quanto no verão.

Considerando que a espécie tem um comportamento heliófilo típico (Lorenzi 1998),

ocorrendo em clareiras na área estudada, a assimilação do nitrato nas folhas apesar de demandar mais energia neste caso é vantajosa. A redução do nitrato e a assimilação do amônio dependem de energia química do metabolismo de fotoassimilados fornecidos pelas folhas consumindo energia fotoquímica utilizada na fixação do carbono, nos cloroplastos sob alta intensidade luminosa os elétrons utilizados na redução do nitrito podem ser fornecidos diretamente pelas reações fotoquímicas, sem que haja competição com a fixação do gás carbônico (Sodek 2004).

Além disso, a espécie apresentou também uma alta %N foliar, com aumento no verão em relação ao inverno, e conseqüentemente a menor razão C:N, possivelmente uma conseqüência da alta assimilação de N desempenhada por essa espécie. Quando uma ampla quantidade de N está disponível uma grande porção pode ser estocada na forma de proteínas, aminoácidos e como NO_3^- por períodos curtos ou longos até a saturação da capacidade de armazenamento (determinada geneticamente) (Heilmeyer e Monson 1994).

A concentração de aminoácidos totais na seiva de *C. glaziovii* no verão superou em duas vezes os valores referentes ao inverno, o que também sugere maior assimilação durante esta estação, sendo glutamina e asparagina depois do NO_3^- os principais compostos nitrogenados transportados na seiva do xilema.

Na maioria das plantas as amidas glutamina e asparagina são importantes veículos de transporte de N entre os tecidos (Suárez *et al.* 2002), a glutamina é produto primário da assimilação de N inorgânico, e por isso ocupa posição de destaque como intermediário do metabolismo de N (Stewart *et al.* 1980). A asparagina que é sintetizada a partir da transferência do grupo amina da glutamina para o aspartato é predominante na seiva do xilema de muitas plantas não noduladas, atuando como precursor de proteína, transportador de longa distância e armazenador por longo período de N, em virtude de sua estabilidade e alta razão C:N (4:2) (Singh 1999).

Esses resultados corroboram os de Aidar *et al.* (2003) em um estudo com espécies arbóreas no Parque Estadual Turístico do Alto do Ribeira (SP) e de Pereira-Silva (2008), no Parque Estadual de Carlos Botelho (SP), que também observaram altos valores de ANR foliar em *Cecropia glaziovii* e uma forte e positiva relação desta atividade com o conteúdo de nitrato no solo evidenciando que esta espécie capturou-o quando disponibilizado pela nitrificação, apresentando uma clara relação de aquisição e uso de nitrato. Os autores também indicam que as espécies pioneiras investem no transporte do N assimilado nas raízes principalmente através de asparagina, que compreende cerca de 50% do N na seiva do xilema dessas espécies.

As espécies secundárias iniciais apresentaram no geral baixa ANR, um baixo conteúdo

de nitrato na seiva do xilema e conteúdo moderado na folha. Valores moderados de %N foliar, razão C:N, e de compostos de N de baixo peso molecular na seiva do xilema, transportando principalmente glutamina e asparagina em ambas as estações, com um aumento significativo na concentração de glutamina no verão e de arginina no inverno.

O aumento no conteúdo de glutamina na seiva do xilema no verão provavelmente está relacionado com a absorção de N novo. Segundo Lea & Miñin (1980) a glutamina é o único composto de transporte de N que não requer nenhum gasto adicional de energia, pois está diretamente envolvida na assimilação de NH_4^+ , assim o transporte preferencial de glutamina sugere uma economia de energia no transporte de N. Enquanto o aumento de arginina pode estar relacionada a reciclagem de N estocado. A arginina possui uma baixa razão C:N (6:4), sendo um eficiente composto de reserva e de transporte de nitrogênio (Micallef & Shelp, 1989).

Esses resultados sugerem que para estas espécies ou nitrato não é uma fonte fundamental de N ou ele é assimilado na raiz, podendo ser transportado para a parte aérea na forma de glutamina, o que pode estar relacionado ao seu aumento no verão. Considerando que as espécies secundárias iniciais apresentam uma dependência intermediária da luz podendo se desenvolver e se estabelecer no sub-bosque da floresta, em condições de meia sombra, assimilar nitrato na folha talvez não seja vantajoso por ser um processo de alta demanda energética.

Segundo Sodek (2004) a maioria das espécies é intermediária em termos de assimilar nitrato nas raízes, a folha torna-se importante apenas quando o nitrato estiver em concentração suficiente para superar a capacidade de redução da raiz, no entanto apesar de uma capacidade razoável para assimilar nitrato na raiz, algumas leguminosas transportam parte significativa do nitrato para a folha, mesmo quando a capacidade da raiz não é superada.

Os resultados apresentados pelas espécies secundárias iniciais corroboram os de Aidar *et al.* (2003) e de Pereira-Silva (2008), neste caso com exceção ao conteúdo de arginina na seiva do xilema observado no inverno. Segundo estes autores as espécies secundárias iniciais são menos responsivas ao nitrogênio do solo em relação às pioneiras, utilizam glutamina como transportador de longa distância e o nitrato como forma alternativa de transporte de nitrogênio.

Algumas espécies que compõem este grupo apresentam variações em relação ao padrão geral. Entre elas *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) e *Inga edulis* (Fabaceae) apresentaram altas concentrações de nitrato na folha, especialmente no verão, porém apresentaram baixa ANR e baixo conteúdo de nitrato na seiva do xilema, sugerindo um acúmulo desse íon na folha. O nitrato além do seu papel nutricional também é conhecido

como uma molécula sinalizadora envolvida na integração do metabolismo do nitrogênio na planta e como um componente osmótico envolvido na regulação do turgor (McIntyre 1997, Stitt 1999, Cardenas-Navarro *et al.* 1999, Loudet *et al.* 2002).

A espécie *Guapira opposita* apresentou um alto conteúdo de nitrato na seiva do xilema, entretanto apresentou uma baixa ANR e um baixo conteúdo de nitrato foliar nas duas estações. Esta espécie também apresentou a maior %N foliar e predominância de glutamina na seiva do xilema, com uma importante contribuição de arginina no inverno. Estes resultados corroboram com o observado por Aidar *et al.* (2003) que sugeriu ao nitrato uma função osmótica e não nutricional para esta espécie.

As espécies secundárias tardias assim como as iniciais apresentaram baixa ANR, baixo conteúdo de nitrato na seiva do xilema, com um aumento significativo no inverno, e conteúdo de nitrato moderado na folha, com aumento significativo no verão. Estes resultados sugerem que para estas espécies o nitrato é uma fonte complementar de N, uma vez que não é assimilado e sim armazenado na folha, tendo mais uma função osmótica que nutricional, sendo transportado em maior quantidade no inverno e acumulado no verão.

Estas espécies também apresentam valores moderados de C:N e de %N foliar, este fato é provavelmente influenciado pelas altas %N foliar apresentadas pelas espécies de leguminosas que são na sua maioria secundárias tardias.

Quanto aos compostos nitrogenados de baixo peso molecular na seiva do xilema no geral as tardias transportam principalmente asparagina e glutamina em ambas as estações, com um aumento significativo no conteúdo de aminoácidos totais, asparagina e arginina no inverno. Esse acréscimo de compostos nitrogenados de baixo peso molecular transportados na seiva do xilema no inverno pode estar relacionado a uma maior assimilação de N devido à maior disponibilidade do íon amônio nesta estação, ou no caso da arginina principalmente com a ciclagem de N estocado nesta estação. Tanto a asparagina quanto a arginina atuam como moléculas de reserva e transporte de N nas plantas (Lea *et al.* 2007).

A remobilização de nutrientes das folhas e de tecidos senescentes ou de armazenamento para outros órgãos em crescimento são importantes estratégias na redução da perda de nutrientes, elevando a eficiência no uso do mesmo na planta (Vitousek 1984).

Estes resultados corroboram com o observado por Aidar *et al.* (2003) e por Pereira-Silva (2008), segundo os autores as espécies tardias desempenham estratégias de armazenamento e remobilização de N sob a forma de asparagina e arginina que as permitem serem independentes das variações na disponibilidade dos conteúdos inorgânicos desse elemento no solo.

Neste grupo as espécies *Garcinia gardneriana* (Clusiaceae) e *Ecclinusa ramiflora*

(Sapotaceae) apresentaram alto conteúdo de nitrato na folha, porém baixa ANR foliar e baixo conteúdo de nitrato na seiva do xilema, sugerindo um acúmulo desse íon na folha e provavelmente uma função não nutricional desse nitrato acumulado.

Já as espécies *Brosimum lactescens* (Moraceae) e *Cariniana estrelensis* (Lecythidaceae) apresentaram alto conteúdo de nitrato na seiva do xilema e alta ANR, maior no verão em relação ao inverno, o que sugere o uso de nitrato como fonte de N. Considerando que estas espécies são emergentes (inclusive foram coletadas com o auxílio de escalador e pela dificuldade de coleta foram representadas por apenas um indivíduo) e que boa parte de suas copas se encontram sob alta intensidade luminosa a assimilação do nitrato foliar neste caso pode ser vantajosa. Já a espécie *Bathysa mendoncaeii* (Rubiaceae) apresentou alto conteúdo de nitrato na seiva do xilema, principalmente no inverno, porém baixa ANR e baixo conteúdo de nitrato foliar em ambas as estações, sugerindo outra função que não nutricional para o nitrato.

Schimann *et al.* (2008) evidenciam que a assimilação preferencial de nitrato não é encontrada somente em espécies pioneiras. Segundo os autores as duas espécies arbóreas estudadas por eles, tardias na sucessão florestal, que co-ocorrem em abundância na floresta pluvial tropical da Guiana utilizam diferentes fontes de N, *D. guianensis* prefere amônio enquanto *E. falcata* prefere nitrato. Essa diferença não está relacionada a diferenças na disponibilidade desses íons ou a intensidade da atividade microbiana responsável pela evolução do N mineral no solo e sim a uma separação espacial das fontes onde se encontram as raízes destas espécies, com uma maior concentração de amônio no solo (alta taxa de desnitrificação) e de nitrato na serrapilheira (alta taxa de nitrificação).

Quanto ao $\delta^{15}\text{N}$ foliar, com exceção das leguminosas, todas as espécies (independente da classe sucessional) apresentam valores muito semelhantes (3‰ em média). Apesar da abundância natural do isótopo estável ^{15}N nos solos e nas plantas ser utilizada como uma eficiente ferramenta para acessar a dinâmica do N nos ecossistemas e a fonte específica de N da planta (Houlton 2007) a assinatura do ^{15}N nas plantas pode ser ofuscada por muitos fatores como: discriminação durante a absorção, tipo de micorriza, nodulação e partição interna na planta (Handly 1998). Além disso, a composição isotópica do N total no solo nem sempre reflete a composição isotópica do N disponível para as plantas (Högberg 1997).

As associações simbióticas entre plantas e fungos micorrízicos, comuns em solos pobres em nutrientes, podem ser importantes fontes de N, que por sua vez, são responsáveis por uma grande discriminação isotópica favorecendo a assimilação do isótopo de N mais leve

(^{14}N) em detrimento do mais pesado (^{15}N) (He *et al.* 2003). Porém segundo Kahmen (2008) o FMA (abundante na área), discrimina muito pouco contra o ^{15}N .

As plantas geralmente são menos enriquecidas que o solo (média de 5‰ na área estudada), isto está relacionado com a absorção do N mineral que é empobrecido em ^{15}N , já que os processos de transformação do N orgânico nas diferentes formas de N inorgânico pelos microrganismos do solo (mineralização, nitrificação e denitrificação) favorecem a assimilação do isótopo de N mais leve (^{14}N) (Kahmen 2008).

Ocorre também um aumento nos valores de $\delta^{15}\text{N}$ com a profundidade do solo (conforme observado na área) independentemente do tipo de vegetação (Picollo *et al.* 1996). Assim, a composição isotópica do N disponível para as plantas irá depender não somente da forma de N adquirida, mas também da profundidade do solo em que esse N foi obtido (Högberg 1997). Além disso, a assimilação interna de N (transformação do N inorgânico em N orgânico) nas plantas assim como a remobilização foliar de N (retranslocação) também pode levar um fracionamento isotópico (Evans 2001).

As espécies leguminosas apresentaram os valores mais altos de %N foliar, esta mesma tendência já foi identificada em outras florestas tropicais e sub-tropicais (Roggy *et al.* 1999, Aidar *et al.* 2003 e Vitousek *et al.* 2002). Este fato pode estar relacionado a uma maior capacidade de assimilação de N pelas leguminosas, vindo confirmar os achados de McKey (1994) de que as leguminosas possuem um estilo de vida com alto requerimento de N.

Outra possibilidade estaria no fato de parte do N presente nas leguminosas ser derivado da fixação biológica de N (FBN), o que pode ser testado através dos valores de $\delta^{15}\text{N}$, que ficam entre 0 e 2 ‰ nas plantas que estão fixando N_2 atmosférico, visto que o valor do $\delta^{15}\text{N}$ do N_2 atmosférico é 0 ‰ e considera-se que não há fracionamento isotópico durante o processo de FBN. Todas as quatro espécies leguminosas estudadas apresentaram valores de $\delta^{15}\text{N}$ foliar entre 0 e 2 ‰, sendo *Inga striata* a que apresentou o menor valor (-0,01‰). *Inga* (subfamília Mimosoideae), *Swartzia* (subfamília papilionoideae) e *Sclerolobium* (subfamília Caesalpinioideae) são gêneros com espécies sabidamente fixadoras, enquanto *Hymenaea* (subfamília Caesalpinioideae) não (de Faria *et al.* 1989), apesar disso é difícil afirmar que espécies de leguminosas estariam fixando N_2 da atmosfera apenas através do uso da abundância natural de ^{15}N .

Fixando ou não N_2 atmosférico, as leguminosas possuem um papel chave no sistema. O estilo de vida com alto requerimento de N das leguminosas leva a uma baixa razão C/N foliar, indicando uma alta qualidade do material vegetal produzido. Dessa forma, possuem um

papel importante não só na redistribuição de N, como também de outros nutrientes que, assim como o N, serão mineralizados e tornar-se-ão disponíveis novamente para a comunidade vegetal (Nardoto 2005).

Em relação às diferenças entre as estações as espécies das três classes sucessionais apresentaram variações sazonais para a maioria das variáveis estudadas. Foi verificada uma melhor capacidade de assimilar nitrato pelas espécies durante no verão, fato que foi evidenciado pela maior correlação positiva entre a ANR e o conteúdo de nitrato na seiva do xilema (+0,66 e $\alpha = 0,00$) nesta estação em relação ao inverno (+0,44 e $\alpha = 0,01$). Os valores do conteúdo de nitrato, $\delta^{15}\text{N}$ e %N na folha também foram mais altos no verão em todos os grupos.

Quanto ao transporte de compostos nitrogenados de baixo peso molecular na seiva do xilema todos os parâmetros avaliados foram mais altos no verão em relação ao inverno para a espécie pioneira. Para as espécies iniciais o conteúdo de aminoácidos totais, de aspartato, de glutamato e de glutamina foram maiores no verão em relação ao inverno, enquanto o conteúdo de arginina foi maior no inverno e o de asparagina foi praticamente o mesmo em ambas as estações. Para as espécies tardias, com exceção do conteúdo de glutamina que foi mais alto no verão, os valores desses parâmetros foram maiores no inverno, tanto que a Análise de Componentes Principais no inverno mostra na CP2 (onde esses parâmetros têm a maior contribuição) que estas espécies se separam de forma significativa das demais ($t = -2,19$ e $p = 0,04$), evidenciando o uso diferencial de N por elas nesta estação.

Especulando sobre os fatores que podem estar relacionados a estas diferenças sazonais apresentadas pelas espécies a precipitação variou muito pouco e o déficit hídrico no solo foi nulo durante os períodos de coleta, sendo o comprimento do dia seguido da temperatura os parâmetros que variaram mais. A temperatura média variou cerca de 4 °C, com a média das temperaturas mínimas apresentando uma variação de 5,5 °C entre o verão e o inverno, e o comprimento do dia em horas (foto-período) variou 2,92 h durante o ano na região.

A temperatura e a luminosidade afetam diretamente a assimilação de CO_2 , que está estreitamente relacionada ao metabolismo de N, e processos como a transpiração, responsável pelo transporte de NO_3^- e de N assimilado das raízes para as folhas via xilema. Além disso, a enzima nitrato redutase e a nitrito redutase têm sua máxima atividade na primeira fase luminosa do dia sendo modulada pelo substrato, pela luz e pela fotossíntese (Kaiser 2002), enquanto a asparagina sintetase, enzima responsável pela síntese de asparagina, tem seu pico na fase escura (Kreps & Kay 1997).

Mesmo em latitudes tropicais muitas plantas são capazes de responder positivamente ao comprimento do dia e devem usar esse sinal para sincronizar suas atividades com os

eventos sazonais. Estudos mostram que a fotossíntese, a produção de auxinas, a taxa de divisão celular (Raven *et al.* 1996), a expressão dos genes da nitrato e nitrito redutase (no feijão, tabaco e em *Arabidopsis*) e da asparagina sintetase (em ervilha e *Arabidopsis*) apresentam ritmos diários regulares de aproximadamente 24 horas (ritmos circadianos) (Kreps & Kay 1997).

Esses ritmos são controlados internamente e o ambiente é responsável pela sua manutenção em compasso com o ritmo diário, sendo os ciclos de luz/escuro e de temperatura os principais fatores ambientais de sincronização. A principal utilidade do relógio biológico é que ele permite a planta responder às mudanças de estações do ano através de medidas precisas do comprimento do dia. Deste modo mudanças no ambiente desencadeiam respostas que resultam em ajustamentos do crescimento, reprodução e outras atividades do organismo (Raven *et al.* 1996).

Apesar disso é muito difícil afirmar sem mais informações sobre o ambiente como intensidade luminosa incidente, amplitude térmica diária e principalmente informações sobre a fisiologia das espécies estudadas que a temperatura e o foto-período estão diretamente relacionados às variações sazonais apresentadas pelas espécies.

7. Conclusões

- O solo da área de estudo é ácido e pobre em nutrientes, o que pode estar relacionado aos altos percentuais de colonização micorrízica encontrados em ambas as estações.
- A análise *in situ* da disponibilidade de nitrogênio mineral mostrou um predomínio do íon amônio em relação ao nitrato nas duas estações do ano sendo pequena a variação entre as elas com a concentração de ambos maiores no inverno, sugerindo que esses parâmetros provavelmente não estão relacionados às variações sazonais apresentadas pelas espécies.
- O comprimento do dia seguido da temperatura foram os parâmetros que variaram mais entre os períodos de coleta, sugerindo que eles podem estar relacionados com as variações apresentadas pelas espécies.
- O $\delta^{15}\text{N}$ foliar não foi uma ferramenta eficiente para acessar a fonte específica de N nem os padrões de absorção das plantas.
- Os resultados evidenciam a tendência de três classes sucessionais (pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias) com um continuum de características de uso de nitrogênio, corroborando o modelo proposto por Aidar *et al.* (2003).
- A espécie pioneira se diferencia claramente das outras, investindo principalmente na aquisição, transporte e uso do nitrato como fonte inorgânica de nitrogênio. Ela investe também no transporte de asparagina e glutamina via xilema, com a maioria dos parâmetros analisados maiores no verão em relação ao inverno o que mostra que a espécie responde à variação sazonal.
- As espécies secundárias iniciais provavelmente têm a assimilação de nitrato na folha como uma fonte complementar de nitrogênio, e pequena variação dos parâmetros analisados entre as estações em relação à espécie pioneira, com exceção do aumento do conteúdo de glutamina no verão, principal aminoácido transportado via xilema, e de arginina no inverno.
- Já as espécies secundárias tardias têm provavelmente outras fontes de nitrogênio, assimilando pouco ou nenhum nitrato na folha, com exceção de *Brosimum lactescens* e *Cariniana estrelensis*. As espécies tardias desempenham estratégias de armazenamento e remobilização do nitrogênio sob a forma de asparagina e arginina, principalmente no inverno, que as permitem serem mais independentes das variações na disponibilidade dos conteúdos inorgânicos de nitrogênio no solo.

8. Referencias Bibliográficas

- Adams, M.A., Grierson, P.F.** 2001. Stable isotopes at natural abundance in terrestrial plant ecology and ecophysiology: An update. *Plant Biology*, New York, v. 3(4): 299-310.
- Aidar, M. P. M., Schmidt, S., Moss, G., Stewart, G.R. & Joly, C. A.** 2003. Nitrogen use strategies of neotropical rainforest trees in threatened Atlantic Forest. *Plant Cell and Environment* 26:389-399.
- Aidar, M.P.M., Carrenho, R. & Joly, C.A.** 2004. Mycorrhizal colonization in an Atlantic forest chronosequence – Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), SP. *Biota Neotropica* 4(2) www.biotaneotropica.org.br/v4n2/pt/abstract/article+BN02504022004
- Bonato, C.M., Rubin Filho, C.J., Melges, E. & Santos, V.** 1998. Nutrição mineral de plantas. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 137p.
- Bonetti, R.; Oliveira, L.A.; Magalhães, F.M.M.** 1984. População de *Rhizobium* ssp. E ocorrência de micorriza V.A. em cultivos de essências florestais. **Pequisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19: 137-142.
- Brady, N.C.** 1989. Natureza e propriedade dos solos. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 898p.
- Bredemeier, C. & Mundstock, C. M.** 2000. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural* 30(2): 365-372.
- Camargo, O.A., Moniz, A.C., Jorge, J.A. & Valadares, J.M.A.S.** 1986. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. *Technical Bulletin of Campinas Agronomic Institute* 106. 94p.
- Campos, M. C. R.** 2008. Relação da composição e estrutura do componente arbóreo com variáveis microtopográficas e edáficas da Floresta Ombrófila Densa do Núcleo Picinguaba/PESM, Ubatuba/SP. Tese de Mestrado, Universidade Estadual da Campinas, São Paulo.
- Cardenas-Navarro, R., Adamowicz, S. & Robin, P.** 1999. Nitrate accumulation in plants: a role for water. *Journal of Experimental Botany*. 50 (334): 613-624.
- Carvalhoes, M.A.** 1997. Florística e estrutura de mata sobre restinga na Juréia, Iguape, SP. Tese de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Cataldo, D.A., Haroon, M., Schrader, L.E. & Youngs, V.L.** 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Annals* 6:71-80.

- Cerri, C. C.** 1986. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agrossistema cana-deaçúcar. 197p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.
- Cesar, O. & Monteiro, R.** 1995. Florística e fitossociologia de uma floresta sobre a restinga em Picinguaba (Parque Estadual da Serra do Mar) município de Ubatuba, SP. *Naturalia* 20:21-35.
- Chapman, S.K., Langley, J.A., Hart, S.C. & Koch, G.W.** 2006. Plants actively control nitrogen cycling: uncorking the microbial bottleneck. *New Phytologist* 169: 27–34.
- CIAGRO online.** 2008. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Instituto Agrônomo de Campinas. In: <http://www.ciiagro.sp.gov.br>
- Clark, D.B., Clark, D.A.; Read, J.M.** 1998. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical rain forest. *Journal of Ecology* 86: 101-112.
- Cleveland, C.C., Townsend, A.R., Schimel, D.S., Fisher, H., Howarth, R.W., Edin, L.O., Perakis, S.S., Latty, E.F., Von Fischer, J.C., Elseroad, A. & Wasson, M.F.** 1999. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles* 13: 623-645.
- Crawford, N.M. & Glass, A.D.M.** 1998. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends in Plant Science* 3(10):389-395.
- Cuevas, E., Medina, E.** 1986. Nutrient dynamics within Amazonian forest ecosystems. 1. Nutrient flux in fine litter fall and efficiency of nutrient utilization. *Oecologia*, Berlin, 68(3): 466-472.
- Eshetu, Z.** 2004. Natural ¹⁵N abundance in soils under young-growth forests in Ethiopia. *Forest Ecology and Management* 187:139-147.
- Evans, R.D.** 2001. Physiological mechanisms influencing plant nitrogen isotope composition. *Trends in Plant Science*, London, 6(3): 121-126.
- Faria S.M., Lewis G.P., Sprent J.I. & Sutherland J.M.** 1989 Occurrence of nodulation in the Leguminosae. *New Phytologist* 111, 607–619.
- Fischer, W.N., André, B., Rentsch, D., Krolkiewicz, S., Tegeder, M., Bretkreuz, K. & Frommer, W.B.** 1998. Amino acid transport in plants. *Trends in Plant Science* 3: 188-195.
- Frak, E., Millard, P., Roux, X.L., Guillaumie, S. & Wendler, R.** 2002. Coupling sap flow velocity and amino acid concentrations as an alternative method to ¹⁵N labeling for quantifying nitrogen remobilization by walnut trees. *Plant Physiology* 130:1043-1053.

- Francis, R. & Read, D.J.** 1994. The contributions of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. *Plant and Soil* 159: 11-25.
- Fredeen, A.L. & Field, C.B.** 1992. Ammonium and nitrate uptake in gap, generalist and understory species of the genus *Piper*. *Oecologia* 92:207-214.
- Fredeen, A.L., Griffin, K. & Field, C.B.** 1991. Effects of light quantity and quality and soil nitrogen status on nitrate reductase activity in rainforest species of the genus *Piper*. *Oecologia* 86:441-446.
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erisman, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P., Sutton, M. A.** 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320, 889.
- Gandolfi, S.** 2000. História natural de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas (São Paulo, Brasil). Tese de Doutorado, Universidade Estadual da Campinas, São Paulo.
- Gandolfi, S., Leitão Filho, H.F. & Bezerra, C.L.F.** 1995. Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta semidecídua no município de Guarulhos, SP. *Revista Brasileira de Biologia* 55:753-767.
- Gemma, J.N., Koske, R.E., Flynn, T.** 1992. Mycorrhizae in Hawaiian pteridophytes: occurrence and evolutionary significance. *American Journal of Botany* 79:843–852.
- Godoy, J. R. L.** 2007. Ecofisiologia do estabelecimento de leguminosas arbóreas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, sob atmosfera enriquecida com CO₂: uma abordagem sucessional. Tese de Doutorado, Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo.
- Handley, L.L., Austin, A. T., Stewart, G. R., Robinson, D., Scrimgeour, C. M., Raven, J. A., Heaton, T. H. E., Schmidt, S.** 1998. The ¹⁵N natural abundance ($\delta^{15}\text{N}$) of ecosystem samples reflects measures of water availability. *Australian Journal of Plant Physiology* 26(2): 185 – 199.
- Harper, J.E.** 1994. Nitrogen metabolism. In: Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T.R., eds. *Physiology and determination of crop yield*. Madison ASA/CSSA/SSSA, pp.285-302.
- He, X.H., Critchley, C. Bledsoe, C.** 2003. Nitrogen transfer within and between plants through common mycorrhizal networks (CMNs). *Critical Reviews in Plant Sciences*, New York, 22(6): 531-567.

- Heilmeier H., Monson, R.K.** 1994. Carbon and nitrogen storage in herbaceous plants. In: Roy J, Garnier E, eds. A whole plant perspective on carbon-nitrogen interactions. The Hague, The Netherlands: SPB Academic Publishing, pp. 149–171.
- Hirata, J.K.R.** 2006. Florística e estrutura do componente arbóreo de trilhas no Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP, Brasil. Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo.
- Hodges, M.** 2002. Enzyme redundancy and the importance of 2-oxoglutarate in plant ammonium assimilation. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 53, No. 370, pp. 905–916.
- Högberg, P.** 1997. Tansley review No 95 - N-15 natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist*, New York, 137(2): 179-203.
- Houlton, B.Z., Wang, Y-P., Vitousek, P.M., Field, C.B.** 2008. A unifying framework for dinitrogen fixation in the terrestrial biosphere. *Nature* 454 (17).
- IBGE.** 2007. Pagina da Internet do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://mapas.ibge.gov.br/>
- Iza, O.B,** 2002. Parâmetros de autoecologia de uma comunidade arbórea de Floresta Ombrófila Densa, no Parque Botânico do Morro Baú, Ilhota, SC. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, SC.
- Janos, D.P.** 1984. Methods for vesicular arbuscular mycorrhiza research in lowland wet tropics. In: Medina, E.; Mooney, H.A. & Vazquez-Yanes, C. (eds.). *Physiological ecology of plants of the wet tropics*, Tasks for Vegetation Science 12, Junk: The Hague. p. 173-187.
- Joly C.A., Aidar M.P.M., Klink C.A., Mcgrath, D.G., Moreira, A. G., Moutinho, P., Nepstad, D.C., Oliveira, A.A., Pott, A., Rodal, M.J.N. & Sampaio, E.V.S.B.** 1999. Evolution of the Brazilian phytogeography classification systems: implications for biodiversity conservation. *Ciência e Cultura* 51:331–348.
- Kahmen A., Wanek, W., Buchmann, N.** 2008. Foliar $\delta^{15}\text{N}$ values characterize soil N cycling and reflect nitrate or ammonium preference of plants along a temperate grassland gradient. *Oecologia* 156:861–870.
- Kaiser, W.M., Weiner, H., Kandlbinder, A., Tsai, C-B., Rockel, P., Sonoda, M., Planchet, E.** 2002. Modulation of nitrate reductase: some new insights, an unusual case and a potentially important side reaction. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 53, 370: 875-882.

- Karamanos, R.E.; Rennie, D.A.** 1980. Changes in natural N-15 abundance associated with edogenic processes in soil .2. Changes on Different Slope Positions. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, 60(2): 365-372.
- Knops, J.M.H., Bradley, K.L. & Wedin, D.A.** 2002. Mechanisms of plant species impacts on ecosystem nitrogen cycling. *Ecology Letters* 5: 454–466.
- Kreibich, H., Kern, J., Camargo, P.B., Moreira, M.Z. & Victória, R.L.** 2006. Estimation of symbiotic N₂ fixation in an Amazon floodplain forest. *Oecologia* 147: 359–368.
- Kreps, J.A., Kay, S.A.** 1997. Coordination of plant metabolism and development by the circadian clock. *The Plant Cell*, 9: 1235-1244.
- Larcher, W.** 2000. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima, 531 p.
- Lea, P.J. & Mifflin, B.J.** 1980. Transport and metabolism of asparagine and other nitrogen compounds within the plant. In: *The Biochemistry of Plants*, Stumpf, P.K. & Conn, E.E. (eds.), Academic Press, New York, pp. 596-607.
- Lea, P.J., Sodek, L., Parry, M.A.J., Shewry, P.J. & Halford, N.G.** 2007. Asparagine in plants. *Annals of Applied Biology* 150:1-26.
- Legendre, P. & Legendre, L.** 1998. *Numerical Ecology*. Second Edition. Elsevier, Amsterdam. 852p.
- Leitão-Filho, H.F.** 1987. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e subtropicais do Brasil. *IPEF* 35:41-46.
- Leitão-Filho, H.F.** 1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*. Editora da UNESP e Editora da Universidade de Campinas, Campinas. 184p.
- Lima, A.L., Soares, J.J.** 2003. Aspectos florísticos e ecológicos de palmeiras (Arecaceae) da Reserva Biológica de Duas Bocas, Cariacica, Espírito Santo. *Bol.Mus.Biol. Mello Leitão* 16:5-20.
- Lima, R.A.F.** 2005. Estrutura e regeneração de clareiras em Florestas Pluviais Tropicais. *Revista Brasileira de Botânica* 28(4): 651-670.
- Lorenzi, H.** 1998. *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa: Editora Plantarum, vol. 2.
- Loudet, O., Chaillou, S., Krapp, A. & Daniel-Vedele, F.** 2003. Quantitative trait loci analysis of water and anion contents in interaction with nitrogen availability in *Arabidopsis thaliana*. *Genetics* 163: 711–722.
- Malavolta, E. & Kliemann, H.J.** 1985. *Desordens nutricionais no cerrado*. Piracicaba: Potafos.

- Mantovani, M., Ruschel, A.R., Puchalski, A., da Silva, J.Z., Nodari, R.O.** 2005. Diversidade de espécies e estrutura sucessional de uma formação secundária da floresta ombrófila densa. *Scientia Forestalis* 67: 14-26.
- Mantovani, W.** 1993. Estrutura e dinâmica da floresta atlântica na Juréia, Iguape-SP. Tese de livre-docência, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Martinelli, L.A., Piccolo, M.C., Townsend, A.R., Vitousek, P.M., Cuevas, E., Mcdowell, W., Robertson, G.P., Santos, O.C. & Treseder, K.** 1999. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. *Biogeochemistry* 46: 45-65.
- Martins, M.C.M.** 2007. Ecofisiologia do uso de reservas de carbono e nitrogênio ao longo do ciclo de vida de *Hymenaea courbaril* var. *stilbocarpa* (Lee & Lang.). Dissertação de Mestrado. Instituto de Botânica de São Paulo, São Paulo.
- Matson, P.A., Mcdowell, W.H., Townsend, A.R., Vitousek, P.M.** 1999. The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments. *Biogeochemistry*, Dordrecht, 46 (1-3): 67-83.
- Mccullough, H.** 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta* 17:297-304.
- McIntyre, G. I.** 1997. The role of nitrate in the osmotic and nutritional control of plant development. *Australian Journal of Plant Physiology* 24(2): 103 – 118.
- McKey, D.** 1994. Legumes and nitrogen: the evolutionary ecology of nitrogen-demanding lifestyle. In *Advances in Legume Systematics 5: The Nitrogen Factor* (Sprent, J.J. & McKey, D. eds), Royal Botanic Gardens.
- Melo, F.P.L. & Tabarelli, M.** 2003. Seed dispersal and demography of pioneer trees: the case of *Hortia arborea*. *Plant Biology* 5: 359-365.
- Melo, M.R.F. & Mantovani, W.** 1994. Composição florística e estrutura fitossociológica da mata atlântica de encosta na Ilha do Cardoso (Cananéia, Brasil). *Boletim do Instituto de Botânica* 9:107-158.
- Micallef, B.J. & Shelp, B.J.** 1989. Arginine metabolism in developing soybean cotyledons I - Relationship to nitrogen nutrition. *Plant Physiology* 90: 624-630.
- Minitab, INC.** 2006, Minitab, Inc., versão 15.1 para Windows, State College, PA.
- Moraes, J. L., Cerri, C. C., Melillo, J. M., Kicklighter, D., Neill, C., Skole, D. L. & Steudler, P. A.** 1995. Soil carbon stocks of the Brazilian Amazonia basin. *Soil Science Society of America Journal* 59:244-247.

- Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O.** 2006. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: UFLA, 729 p.
- Moreno, J. & Garcia-Martinez, J.L.** 1983. Seasonal variation of nitrogenous compounds in the xylem sap of *Citrus*. *Physiologia Plantarum* 59: 669-675.
- Myers, N., Mittermeier, R.A, Mittermeier, C.G., Fonseca, G. A. B. & Kent, J.** 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:852-858.
- Naeem, S.** 2003. Models of ecosystem reliability and their implications for the question of expendability. In: KAREIRA, P.; LEVIN, S.A. The importance of species: perspectives on expandability and triage. Princeton: Princeton University Press, p. 109-139.
- Nardoto, G.B. & Bustamante, M.M.C.** 2003. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38: 955-962.
- Nardoto, G.B.** 2005. Abundância natural de ^{15}N na Amazônia e Cerrado – implicações para a ciclagem de nitrogênio. Tese de Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- Nardoto, G.B., Bustamante, M.M.C., Pinto, A.S. & Klink, C.A.** 2006. Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. *Journal of Tropical Ecology* 22:1–11.
- Nepstad, D.C.; Moutinho, P.R.S.; Markewitz, D.** 2001. The recovery of biomass, nutrient stocks, and deep-soil functions in secondary forests. In: McClain, M.E.; Victoria, R.L.; Richey, J.L. (Eds.). *The Biogeochemistry of the Amazon Basin*. New York: Oxford University Press, cap 9, p. 139-155.
- Newman, E.I.** 1988. Mycorrhizal links between plants: Their functioning and ecological significance. *Advances in Ecological Research* 18:243-270.
- Nordin A.** 1998. Physiological Ecology of nitrogen utilisation by forest plants. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 76:1-46.
- Oaks, A.** 1994. Primary nitrogen assimilation in higher plants and its regulation. *Canadian Journal of Botany* 72: 739-746.
- Oaks, A., Hirel, B.** 1985. Nitrogen metabolism in roots. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v.36, p. 345-365.
- Oliveira-Filho, A.T., Fontes, M.A.L.** 2000. Patterns of Floristic Differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the Influence of Climate. *Biotropica*, Washington, v. 32, p. 793-810.

- Oliveira, F.X., Andrade, L.A., Félix, L.P.** 2006. Comparações florísticas e estruturais entre comunidades de Floresta Ombrófila Aberta com diferentes idades, no Município de Areia, PB, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 20(4): 861-873.
- Oliveira, R.J., Mantovani, W., Melo, M.M.R.F.** 2001 Structure of the tree and shrub component of the Atlantic rain forest, Peruibe, SP. *Acta Botanica Brasilica* 15(3): 391-412.
- Oliveira, R.R. de.** 2002. Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. *Rodriguésia* 53 (82): 33-58.
- Ometto, J.P.H.B., Ehleringer, J.R., Domingues, T.F., Berry, J.A., Ishida, F.O.Y., Mazzi, E., Higuchi, N., Flanagan, L.B., Nardoto, G.B. & Martinelli, L.A.** 2006. The stable carbon and nitrogen isotopic Composition of vegetation in tropical forests of the Amazon Basin, Brazil. *Biogeochemistry*. DOI 10.1007/s10533-006-9008-8.
- Pate, J.S., Stewart, G. R., Unkovich, M.** 1993. ^{15}N natural abundance of plant and soil components of a *Banksia* woodland ecosystem in relation to nitrate utilization, life form, mycorrhizal status and Ns-fixing abilities of component species. *Plant, Cell and Environment* 16: 365-373.
- Peixoto, G.L., Martins, S.V., da Silva, A.F., Silva, E.** 2004. Composição florística do componente arbóreo de um trecho de Floresta Atlântica na Área de Proteção Ambiental da Serra da Capoeira Grande, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Acta Botanica Brasilica* 18(1): 151-160.
- Pereira-Silva, E.F.L.** 2008. Ecofisiologia do uso de nitrogênio em espécies arbóreas das florestas ombrófila densa submontana e estacional semidescídua, SP. Tese de Doutorado, Universidade Estadual da Campinas, São Paulo.
- Pereira-Silva, E. F. L., Joly, C. A. e Aidar M. P. M.** 2007. Relações entre precipitação, pulso de nitrogênio no solo e o transporte e uso do nitrato por espécies arbóreas de floresta ombrófila densa submontana, Parque Estadual de Carlos Botelho, SP. Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, 23 a 28 de Setembro de 2007, Caxambu – MG. Pg: 1-2.
- Phoenix, G.K., Hicks, W., Cinderby, S., Kuylenstierna, J.C., Stock, W.D., Dentener, F.J., Giller, K.E., Austin, A.T., Lefroy, R.D., Gimeno, B.S., Ashmore, M.R. & Ineson, P.** 2006. Atmospheric nitrogen deposition in world biodiversity hotspots: the need for a greater global perspective in assessing N deposition impacts. *Global Change Biology* 12:34-70.

- Piccolo, M.C.; Neill, C.; Melillo, J.M.; Cerri, C.C.; Steudler, P.A.** 1996. N-15 natural abundance in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon Basin. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 182, n. 2, p. 249-258.
- Pinto, C.B. & Marques, R.** 2003. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. *Revista Floresta* 33(3): 257-264.
- Purcino, A.A.C., Magnavaca, R., Machado, A.T., Marriel, I.E.** 1994. Atividade da redutase do nitrato em genótipos antigos e modernos de milho, cultivados sob dois níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, v.6, n.1, p.41-46, 1994.
- Raven, P.H., Evert, R.F., Eichhorn, S.E.** 1996. *Biologia Vegetal*. 5 ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, RJ.
- Read, D.** 1994. Plant-microbe mutualisms and community structure. In: Schulze ED, Mooney HA (eds) *Biodiversity and Ecosystem Function*. Springer, Berlin Heidelberg New York, p. 181–209.
- Redhead, J.F.** 1980. Mycorrhiza in natural tropical forests. In: *Tropical Mycorrhiza Research*. (Mikola, P. ed.). Clarendon Press. Oxford, p. 127-142.
- Rentsch, D., Schmidt, S., Tegeder, M.** 2007. Transporters for uptake and allocation of organic nitrogen compounds in plants. *FEBS Letters* 581: 2281–228.
- Roggy, J.C., Prevost, M.F., Gourbiere, F., Casabianca, H., Garbaye, J., Domenach, A.M.** 1999. Leaf natural N-15 abundance and total N concentration as potential indicators of plant N nutrition in legumes and pioneer species in a rain forest of French Guiana. *Oecologia*, New York, v. 120, n. 2, p. 171-182.
- Rolim, S.G., do Couto, H.T.Z., de Jesus, R.M.** 1999. Mortalidade e recrutamento de árvores na Floresta Atlântica em Linhares (ES). *Scientia Forestalis* n. 55, p. 49-69.
- S.O.S Mata Atlântica.** 2006. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica Período 2000-2005. Estado de São Paulo. SOS MA/INPE. Retirado de http://mapas.znc.com.br/sos_atlas_2006/downloads/ATLAS-QUANTI2005SP.pdf
- Sanchez, M.** 2001. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea num gradiente altitudinal da Mata Atlântica. Tese de Doutorado, Universidade Estadual da Campinas, São Paulo.
- Sanchez, M., Pedroni, F., Leitão-Filho, H.F., César, O.** 1999. Composição florística de um trecho de floresta ripária na Mata Atlântica em Picinguaba, Ubatuba, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 22(1): 31-42.

- Schimann, H., Ponton, S., Hattenschwiler, S., Ferry, B., Lensi, R., Domenach, A.M., Roggy, J.C** 2008. Differing nitrogen use strategies of two tropical rainforest late successional tree species in French Guiana: Evidence from ^{15}N natural abundance and microbial activities. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 487–494.
- Schmidt, S., Stewart, G.R., Turnbull, M.H., Erskine, P.D. & Ashwath.** 1998. Nitrogen relations of natural and disturbed communities in tropical Australia. *Oecologia* 117:95-104.
- Sen, R.** 2000. Budgeting for the wood-wide web. *New Phytologist* 145:161-165. Fórum Commentary.
- Silva, A.F. & Leitão Filho, H.F.** 1982. Composição florística e estrutura de um trecho da mata atlântica de encosta no município de Ubatuba (São Paulo, Brasil). *Revista Brasileira de Botânica* 5:43-52.
- Silva, A.F., Oliveira, R.V., Santos, N.R.L., de Paula, A.** 2003. Composição florística e grupos ecológicos das espécies de um trecho de floresta semidecídua submontana da Fazenda São Geraldo, Viçosa, MG. *R. Árvore* 27(3):311-319.
- Silva, C.T., dos Reis, G.G., Reis, M.G.F., Silva, E., Chaves, R.A.** 2004. Avaliação temporal da florística arbórea de uma floresta secundária no município de Viçosa, Minas Gerais. *R. Árvore, Viçosa-MG* 28(3):429-441.
- Singh, B.K.** 1999. *Plant amino acids: biochemistry and biotechnology*. New York: Marcel.
- Siqueira, J.O., Carneiro, M.A.C., Curi, N., Rosado, S.C.S., Davide, A.C.** 1998. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in Southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management* 107: 241–252.
- Smirnov, N.; Tood, P. & Stewart, G.R.** 1984. The occurrence of nitrate reduction in the leaves of woody plants. *Annual Botanical* 54:363-374.
- Sodek, L.** 2004. Metabolismo do nitrogênio. In: G.B. Kerbauy (org.), *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 94-113.
- Sollins, P.** 1998. Factors influencing species composition in tropical lowland rain forest: does soil matter? *Ecology* 79(1): 23-30.
- Sousa Neto, E.R.** 2008. Perdas de nitrogênio pela emissão de óxido nitroso (N_2O) e sua relação com a decomposição da serapilheira e biomassa de raízes na floresta de Mata Atlântica. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

- Stewart, G.R., Mann, A.F., Fentem, P.A.** 1980. Enzymes of glutamate formation: Glutamate Dehydrogenase, Glutamine Synthetase, and Glutamate Synthase. In: *The Biochemistry of Plants*, Stumpf, P.K. & Conn, E.E. (eds.), Academic Press, New York, pp. 271-320.
- Stewart G.R., Popp M., Holzapfel I., Stewart J.I. & Dickie-Eskew A.** 1986. Localization of nitrate reduction in ferns and its relationship to environment and physiological characteristics. *New Phytologist* 104, 373-384.
- Stewart, G.R., Hegarty, E.E. & Specht, R.L.** 1988. Inorganic nitrogen assimilation in plants of Australian rainforest communities. *Physiology Plant* 74:26-33.
- Stewart G.R., Pate J.S. & Unkovich M.** 1993. Characteristics of inorganic nitrogen assimilation of plants in fire-prone Mediterranean type vegetation. *Plant, Cell and Environment* 16, 351-363.
- Stitt, M.** 1999. Nitrate regulation of metabolism and growth. *Current Opinion in Plant Biology* 2(3): 178-186.
- Suárez, M.F., Avila, C., Gallardo, F., Cantón, F.R., García-Gutiérrez, A., Claros, M.G., Cánovas, F.M.** 2002. Molecular and enzymatic analysis of ammonium assimilation in woody plants. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 53, 370: 891-904.
- Tabarelli, M. & Mantovani, W.** 1999. A riqueza das espécies arbóreas na floresta atlântica de encosta no estado de São Paulo (Brasil). *Revista Brasileira de Botânica* 22(2): 217-223.
- Tabarelli, M., Villani, J. P. & Mantovani, W.** 1994. Estudo comparativo da vegetação de dois trechos de floresta secundária no Núcleo Santa Virginia/SP. *Revista do Instituto Florestal* 6 (1): 1 – 11.
- Tibbett, M.** 2000. Roots, foraging and the exploitation of soil nutrient patches: the role of Mycorrhizal symbiosis. *Functional Ecology* 14(3): 397-399.
- Trappe, J. M.** 1987. Phylogenetic and ecological aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint. In: *Ecophysiology of VA Mycorrhizal plants*. Ed. G R Safir. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 2-25.
- Veloso, H. P., Rangel Filho, A. L. R. & Lima, J. C. A.** 1991. *Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal*. IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.
- Vitousek, P.M.** 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65: 285-298.
- Vitousek, P.M. & Sanford, R.L.** 1986. Nutrient Cycling In Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 137-167.

- Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H. & Tilman, D.G.** 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications* 7: 737- 750.
- Vitousek, P.M., Cassman, K.; Cleveland, C., Crews, T., Field, C.B., Gimm, N.B., Howarth, R.W., Marino, R., Martinelli, L., Rastetter, E.B., Sprent, J.I.** 2002. Towards an ecological understanding of biological nitrogen fixation. *Biogeochemistry*, Dordrecht, v. 57, n. 1, p. 1-45.
- Werner, D., Ingendahl, D., Haseborg, E.T., Kreibich, H., Vinuesa, P.** 2001. The nitrogen cycle. Ontario, Canada. Wallingford: CABI Publishing, p. 553.
- Whitmore, T.C.** 1989. Canopy gaps and the two major groups of the forests trees. *Ecology* 70(3): 536-538.
- Whitmore T.C.** 1996. A review of some aspects of tropical rain forest seedling ecology with suggestions for further enquiry. In: Swaine, M. D. (ed.) *Ecology of Tropical Forest Tree Seedlings*. Man and Biosphere series vol.17. UNESCO/ Parthenon, Paris. pp. 3-39.
- Williams, L.E. & Miller, A.J.** 2001. Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 52:659-688.
- Zar, J.H.** 1999. *Biostatistical Analysis*, 4th ed., Prentice Hall, New Jersey.
- Zhao, Z-W., Xia, Y-M., Qin, X-Z., Li, X-W., Cheng, L-Z., Sha, T., Wang, G-H.** 2001. Arbuscular mycorrhizal status of plants and the spore density of arbuscular mycorrhizal fungi in the tropical rain forest of Xishuangbanna, southwest China. *Mycorrhiza* 11:159–162.