

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação
Universidade Federal do Rio de Janeiro campus Professor Aloísio Teixeira

Avaliação do aporte e decomposição da serapilheira e lixiviação de nutrientes em duas fitofisionomias de uma restinga do Norte Fluminense

Letícia da Silva Brito

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, campus Macaé Professor Aloísio Teixeira, como parte dos requisitos necessários à obtenção de Mestre em Ciências Ambientais e Conservação.

Orientador: Prof. Drº Rodrigo Lemes Martins.

Co-orientador: Prof. Drº Marcos Paulo Figueiredo de Barros.

Macaé

Rio de Janeiro-Brasil

Maiο de 2015

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação
Universidade Federal do Rio de Janeiro campus Professor Aloísio Teixeira

Avaliação do aporte e decomposição da serapilheira e lixiviação de nutrientes em duas fitofisionomias de uma restinga do Norte Fluminense

Letícia da Silva Brito

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação da Universidade Federal do Rio de Janeiro, campus Macaé Professor Aloísio Teixeira, como parte dos requisitos necessários à obtenção de Mestre em Ciências Ambientais e Conservação.

Orientador: Prof. Drº Rodrigo Lemes Martins.

Co-orientador: Prof. Drº Marcos Paulo Figueiredo de Barros.

Macaé

Rio de Janeiro-Brasil

Maio de 2015

Avaliação do aporte e decomposição da serapilheira e lixiviação de nutrientes em uma restinga do Norte Fluminense

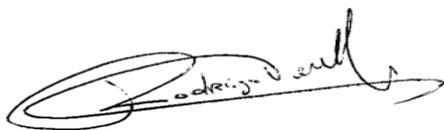
Letícia da Silva Brito

Orientador: Prof^o. Dr. Rodrigo Lemes Martins

Coorientador: Prof^o. Dr. Marcos Paulo Figueiredo de Barros

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, campus Macaé Professor Aloísio Teixeira, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Conservação.

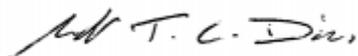
Aprovada por:



Prof. Rodrigo Lemes Martins

(Presidente da Banca/Orientador)

Prof. Dr. Heitor Duarte



Prof. Dr. André Tavares Correa Dias

Prof. Dr. Tatiana Ungaretti Paleo Konno

Prof. Dr. Luís Umbelino

Macaé

Rio de Janeiro- Brasil

Maio de 2015

Brito, Letícia Silva da.

/ Letícia da Silva Brito. - Macaé: UFRJ/ 2015

xi, Xf.84: il.; 2,5cm.

Orientador: Lemes, Rodrigo Martins Dissertação (mestrado) – UFRJ/ Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação, 2015.

Referências Bibliográficas: f59-67.

1. Ciclagem de Nutrientes. 2. Decomposição e Lixiviação de Nutrientes em uma Restinga do Norte Fluminense .

I. Martins, Rodrigo Lemes II Universidade Federal do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciências Ambientais e Conservação

III. Avaliação do aporte, da decomposição e lixiviação da serapilheira em duas fitofisionomias do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba

Agradecimentos

Não se faz um trabalho sozinho então, agradeço as pessoas que durante cada etapa desta formação contribuíram de alguma forma.

Agradeço em primeiro lugar a Deus por me fortalecer todos os dias, e pela presença do Espírito Santo de Deus que me deu sabedoria em todas as etapas desta dissertação.

Sou grata a minha mãe Aldinea Daudt da Silva e Meu pai Aldes Leão de Brito por me concederem o dom da vida e pelo incentivo, apoio moral e financeiro ao longo desta jornada.

Ao meu padrasto Moadir, deixo meu sentimento eterno de gratidão, pela ajuda nas coletas, pelas dicas, confecção dos tubos e por sempre estar disponível a me auxiliar.

Ao meu irmão, o mais lindo deste mundo, sou grata pelos conselhos, por me ouvir, e ajudar com sábias palavras.

Agradeço a família Brito e Daudt, por orar e estar ao meu lado nos momentos de alegria, de estudo e pelo simples fato de existir.

As minha amigas Bianquinha, Carla Guimarães, Cristina Guimarães, Dayane Guimarães, Helena Oliveira, Lais Ventura, Thaís Mardock sou muito realizada em ter a amizade de vocês e saber que posso contar com o apoio incondicional em todos os momentos da minha vida. “Amigo não escolhemos, Jesus nos apresenta”!

Ao meu orientador Rodrigo Lemes Martins, agradeço pela oportunidade de estágio, pelo mestrado e por sempre acreditar em mim, além de estar disponível em TODOS os momentos para me atender.

Obrigada professor, sem sua colaboração e orientação esse trabalho jamais seria possível.

Ao professor Marquinhos agradeço pelo acolhimento, pelas discussões e por me deixar fazer parte da equipe Limnologia.

Não poderia deixar de agradecer aos meus colegas de laboratório. Galera da limno, vocês moram em meu coração! Queridos professores, obrigada pelo café, pela companhia na hora do almoço, pelas

inúmeras discussões e pelos momentos engraçados. Como aprendi com vocês. Obrigada Benevides, Roberto Nascimento, Mariana Cristina, Maria Silvina, Carijó, Orlandinho, Rodrigo Felix, Fabrício, Izabela, Rafaela, Leonardo Nunes, Thiago Martins, Taff e Juliana.

A todos que me ajudaram ao longo das 52^a coletas, sem vocês esse trabalho não seria como foi. Obrigada Taveira pela companhia, pelos cuidados e pela atenção. Laís Martins, André Borges Farias, Cathelen e Mãe da Cathelen, Mano, Moadir, Mãe, Professor Uli, Juline, Thiago Benevides, Laíla, Luís Eduardo, João Marcelo, Bruno Forte, e Professor Marquinhos. Vocês foram nota 10!

Se existe uma pessoa que me ajudou e muito foi o Bruno Fortes, esse sobrenome tem tudo haver com o potencial deste homem. Bruno, você foi um irmão durante esse processo de formação, sou muito, muito grata a ti. Obrigada pela ajuda nos cálculos, pela ajuda emocional e por ser meu segundo co-orientador. Que Deus te recompense!

Também agradeço a Professora Angélica Ribeiro Soares e ao laboratório de química que me possibilitou utilizar a balança durante dois anos de coleta e pesagem de todo material.

Gostaria de agradecer aos professores que foram fundamentais ao longo da minha formação, que inclui não somente o mestrado, mas os 7 anos e meio de NUPEM. Obrigada Ana Petry, você é uma excelente profissional, aprendi muito contigo! Tia Tati, Lísia Gestinari, e Zé Nepomuceno, obrigada pelo exemplo e por TODA ajuda.

Ao Peld, a minha segunda casa o Nupem, e ao Programa de Pós-graduação, agradeço pelo apoio financeiro e por me permitir chegar ao final de mais uma etapa tão importante em minha carreira.

Obrigada a todos da equipe Nupem (professores, técnicos, limpeza, vigilância, cozinha).

“Toda ciência pode ser comparada a um rio. Tem início obscuro e desprezioso; tem seus trechos tranquilos, assim como suas corredeiras; tem seus períodos de seca e outros de enchente. Ganha impulso com o trabalho de muitos pesquisadores e à medida que é alimentada com outras correntes e pensamento; é aprofundada e ampliada pelos conceitos e generalizações que se desenvolvem gradualmente”

Carl P. Swanson

Sumário

Lista de Figura	x
Lista de Tabelas	xiii
Resumo	xiv
Abstract	xv
1. Introdução	1
1.1 Produção de serapilheira	3
1.2 Decomposição de serapilheira e lixiviação de nutrientes	4
1.3 O ecossistema de Restinga nesse contexto	5
2. Objetivos	9
3. Material e Métodos	10
3.1 Área de Estudo	10
3.2 Produção de serapilheira	13
3.3 Quantificação de nutrientes	15
3.4 Decomposição da serapilheira	16
3.5 Lixiviação de nutrientes	19
Análise de nutrientes na água após lixiviação	19
Análise óptica da matéria orgânica dissolvida cromófora (MODC)	20
Análise do solo	21
3.6 Análises dos dados	22
4. Resultados	24
4.1 Produção de Serapilheira	24
4.2 Quantificação de nutrientes na serapilheira	31
4.3 Decomposição da Serapilheira	34
4.4 Lixiviação de Nutrientes	38
4.5 Análise do solo	42
5. Discussão	45
5.1 Produção de Serapilheira	46
5.2 Quantificação de nutrientes na serapilheira	50
5.3 Decomposição de serapilheira	51
5.4 Análises de nutrientes na água lixiviada	54
5.5 Análise no solo	55
6. Considerações finais	58

7. Referências Bibliográficas	60
8. Anexos	68

Lista de Figura

- Figura 1:** Representação esquemática da área estudada no PARNA Restinga de Jurubatiba, no norte fluminense. No último quadro, as duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e a Mata Periodicamente Inundada estão representadas pelos números 1 e 2 respectivamente. As letras em vermelho representam algumas das lagoas da região sudeste do PARNA Restinga de Jurubatiba (em cinza); (a) lagoa Jurubatiba; (b) lagoa Comprida; (c) lagoa de Carapebus; (d) lagoa Paulista e (e) lagoa Amarra boi. _____ 11
- Figura 2:** Imagem da localização da área de estudo, em destaque (vermelho) Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e Mata Periodicamente Inundada do PARNA Restinga de Jurubatiba, escala em azul _____ 12
- Figura 3** Esquema do coletor e da disposição dos coletores instalados na Mata Periodicamente Inundada no PARNA Restinga de Jurubatiba _____ 13
- Figura 4:** Imagem de uma moita da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, com exemplar de *Clusia hilariana* como indivíduo dominante. _____ 14
- Figura 5:** Imagem da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* onde a espécie dominante não é representada por um exemplar de *Clusia hilariana*. _____ 14
- Figura 6:** Imagem dos *litterbags*, sacos com malha de 5mm utilizados (20x20cm) para avaliar a decomposição das folhas nas duas fitofisionomias, (1) Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e (2) Mata Periodicamente Inundada, circulado em vermelho _____ 17
- Figura 7:** Esquema do tubo contendo solo e das frações retiradas deste tubo para análise do solo__ 21
- Figura 8:** Variação temporal da produção da serapilheira durante os dois anos de coleta nas duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, (■) e Mata Periodicamente Inundada, (●) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) abril de 2012 a abril de 2013; (2) maio 2013 a abril 2014. _____ 24
- Figura 9:** Variação temporal na produção da serapilheira ao longo de dois anos de coleta nas duas áreas da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, FAAC; Moita com *Clusia*, (●) e Moita sem *Clusia* (MSC) (■) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014. _____ 25
- Figura 10:** Variação temporal na produção das diferentes frações da serapilheira na Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, listando: folhas (■); galhos e ramos (●); estrutura reprodutiva (◆) e resto (▲) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014. _____ 26
- Figura 11:** Variação temporal na produção das diferentes frações da serapilheira na Mata Periodicamente Inundada, listando: folhas (■); galhos e ramos (●); estrutura reprodutiva (◆) e resto (▲) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014. _____ 26

Figura 12: Variação temporal na produção das diferentes frações da serapilheira na área da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, moitas com dominância de *Clusia*, listando: folhas (■); galhos e ramos (●); estrutura reprodutiva (◆) e resto (▲) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014. _____27

Figura 13: Variação temporal na produção das diferentes frações da serapilheira em moitas sem dominância da espécie *Clusia*, na Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, listando: folhas (■); galhos e ramos (●); estrutura reprodutiva (◆) e resto (▲) ao longo de dois anos no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014. _____28

Figura 14: Produção da serapilheira em função da precipitação (mm), ao longo de dois anos de coleta, no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) Moitas com (●) e sem (●) *Clusia* da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e (2) na Mata Periodicamente Inundada ($R^2 = 0,01$; $t = 0,41$; $g.l.=1;50$ e $p = 0,67$). _____29

Figura 15: Relação da produção da serapilheira em função da temperatura média (C°) ao longo de dois anos de coleta no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) Áreas da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, moita com (●) e sem (●) *Clusia* e (2) Mata Periodicamnte Inundada. Não houve correlação da produção em função da temperatura média (C°), sendo os valores moita com *Clusia* ($R^2 = 0,00$, $t = 1,09$; $g.l.=1,50$ e $p = 0,25$); moitas sem *Clusia* ($R^2 = 0,00$, $t = - 1,37$; $g.l.=1,50$ e $p = 0,22$). _____29

Figura 16: Concentração dos nutrientes: carbono total, nitrogênio total e fósforo total em função da produção de serapilheira na Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* (1), (2), (3) e na Mata Periodicamente Inundada, (4), (5), (6) no PARNA Restinga de Jurubatiba. _____32

Figura 17: Concentração dos nutrientes, (1) carbono total; (2). nitrogênio total e (3) fósforo total na serapilheira aportada na Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* (■) e Mata Periodicamente Inundada (●) ao longo de um ano de coleta. _____33

Figura 18: Material remanescente da serapilheira dos *litterbags* de diferentes malhas (1) 5mm (2) 0,02mm nas três áreas: Moita com *Clusia* (■), sem *Clusia* (■) e na Mata Periodicamente Inundada (■), ao longo de dois anos de coleta. _____34

Figura 19: (1) Perda do peso seco dos *litterbags* de malha de 5mm ao longo de 24 meses de experimento de decomposição foliar nas duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, constituída pelas áreas de Moita sem *Clusia* (■), Moita com *Clusia* (■) e a Mata Periodicamente Inundada (■) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (2). Comparação das médias do peso seco nas diferentes áreas após controlar o efeito do tempo. As barras verticais apresentam intervalo de confiança de 0,95. _____35

Figura 20: Perda do peso seco dos *litterbags* de malha de 0,02mm ao longo de 1 ano e meio de experimento de decomposição foliar nas duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, constituída pelas áreas de Moita sem *Clusia* (■), Moita com *Clusia* (■) e a Mata Periodicamente Inundada (■) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (2). Comparação das médias do peso seco nas

diferentes áreas após controlar o efeito do tempo. As barras verticais apresentam intervalo de confiança de 0,95. _____36

Figura 21: Comparação das médias das concentrações de nutrientes encontrados na água lixiviada do sedimento em cada área. As letras diferentes indicam diferenças estatísticas de acordo com a Tabela 5. Média (\square), Erro (\square) e Desvio Padrão ($\bar{\Gamma}$). Dados logaritimizados. _____39

Figura 22: Comparação da mediana da concentração dos nutrientes analisados encontrados na água lixiviada do sedimento em cada área. As letras diferentes indicam diferenças estatísticas de acordo com a Tabela 5. Mediana (\square), \pm segundo e terceiro percentil (\square) e mínimo e máximo ($\bar{\Gamma}$). Os dados foram logaritimizados. _____40

Figura 23: Razão entre os coeficientes de absorção em 250 e 365nm nas diferentes áreas, Areia nua, Moita com *Clusia*, Moita sem *Clusia* e Mata Periodicamente Inundada, do PARNA Restinga de Jurubatiba. No gráfico a mediana é representada (\square), \pm segundo e terceiro percentil (\square) e mínimo e máximo ($\bar{\Gamma}$). _____41

Figura 24: Concentração da matéria orgânica ao longo das diferentes profundidades do solo nas áreas estudadas do PARNA Restinga de Jurubatiba, antes (\bullet) e após (\bullet) a passagem de água. _____42

Figura 25: Concentração de carbono total ao longo das diferentes profundidades do solo nas áreas estudadas do PARNA Restinga de Jurubatiba, antes (\bullet) e após (\bullet) a passagem de água. _____43

Figura 26: Percentual da matéria orgânica ao longo de 28 coletas nas quatro áreas estudadas, antes (A) e após (D) a passagem de água no solo do PARNA Restinga de Jurubatiba. A mediana (\square), \pm segundo e terceiro percentil (\square) e mínimo e máximo ($\bar{\Gamma}$). _____44

Figura 27: Percentual de carbono total ao longo de 28 coletas nas quatro áreas estudadas, antes (A) e após (D) a passagem de água no solo do PARNA Restinga de Jurubatiba. A mediana (\square), \pm segundo e terceiro percentil (\square) e mínimo e máximo ($\bar{\Gamma}$). _____45

Lista de Tabelas

- Tabela 1:** Resumo das variáveis dependentes preditoras e testes estatísticos utilizados em cada abordagem do presente trabalho. _____23
- Tabela 2:** Concentração dos nutrientes (mg/g) (média \pm desvio padrão) nas duas fitofisionomias estudadas no PARNA Restinga de Jurubatiba. _____31
- Tabela 3:** Taxa de decomposição (k) e meia-vida das folhas, estimada pela expressão exponencial simples para 720 dias e 480 dias de experimento com as respectivas malhas (5mm e 0,02mm) nas áreas da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, MCC, MSC e na MPI no PARNA Restinga de Jurubatiba. Letras diferentes indicam médias que diferem significativamente entre si. _____37
- Tabela 4:** Teste U de Mann-Whitney para comparação dos valores de K entre a malha 5 mm e 0,02 mm nas três áreas. _____37
- Tabela 5:** Valores da Média (\pm) Desvio Padrão das concentrações dos nutrientes lixiviados na água após percolação no solo em cada área estudada. Resultado da Anova e Kruska-Wallis. Os nutrientes são: Cod (carbônico orgânico dissolvido), Nd (nitrogênio dissolvido), Nt(nitrogênio total) e Pt (fósforo total). _____38
- Tabela 6:** Valores do teste não-paramétrico (Wilcoxon) para amostras dependentes da análise do percentual de matéria orgânica e carbono total nas áreas estudadas no PARNA Restinga de Jurubatiba. _____43
- Tabela 7** Estimativas da serapilheira produzida total e foliar calculada em alguns ecossistemas tropicais, adaptada Pires e colaboradores (2006). _____47
- Tabela 8:** Taxa de decomposição (k) para diferentes substratos foliares em distintos ecossistemas. Adaptada de Bonadiman (2007). _____51
- Tabela 9:** Concentração do percentual de Carbono total e matéria orgânica no solo de alguns ecossistemas da região Sudeste do Brasil e de outros ecossistemas tropicais, adaptado de Silva (2003). _____56
- Tabela 10:** Concentração em miligrama/l dos elementos analisados na água lixiviada em cada ponto das diferentes áreas estudadas do PARNA Restinga de Jurubatiba. _____68
- Tabela 11:** Os resultados de Kruskal Wallis com Mann-Whitney pairwise para os três sistemas (Bonferroni corrigido); MCC: MSC, MPI;* para a malha de 5mm. _____68
- Tabela 12:** Resultados de Kruskal Wallis com Mann-Whitney aos pares (Bonferroni corrigido (expoentes na Tabela 3) 0,02mm. _____69

Resumo

Na biosfera, os elementos químicos ciclam continuamente entre os organismos e ambientes físicos. Uma vez assimilados pelos organismos, são reciclados novamente antes de serem liberados para os sedimentos, corpos hídricos e lençóis freáticos, ou ainda escapar para atmosfera na forma de gases. Os ecossistemas de restinga são formados por sedimentos arenosos marinhos, resultado de movimentos oceânicos, que deram origem a uma sucessão de cordões que em geral, são cobertos por comunidades vegetais características e diversas. Para o conhecimento da estrutura dinâmica dos ecossistemas, um aspecto fundamental é a compreensão dos ciclos de nutrientes, incluindo os padrões de estoque e transporte dos mesmos entre compartimentos. Esta ciclagem tem implicações diretas na biologia, fisiologia e ecologia das comunidades vegetais. Diante disso, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o aporte e a decomposição da serapilheira em duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* (FAAC) e Mata Periodicamente Inundada (MPI) no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, que ocupam maiores extensões nas áreas das restingas do Norte Fluminenses. A contribuição da entrada de nutrientes no ecossistema foi avaliada por meio da lixiviação do material vegetal dissolvido do solo para o lençol freático. Nesta etapa foram utilizados coletores de madeira para verificar o aporte da serapilheira, com coletas do material remanescente a cada 2 e 4 meses, dependendo da malha do *litterbags* utilizado. Para coleta do solo e posterior análise química da água lixiviada e do solo foram utilizados tubos de PVC. Os maiores valores do aporte de serapilheira ocorreram na MPI. A produção da FAAC e MPI não possuíram correlação com a temperatura média e a precipitação, exceto em moitas cuja espécie dominante foi *Clusia hilariana*. Não houve correlação do carbono, nitrogênio e fósforo com o material aportado, embora a concentração desses tenha sido maior em períodos próximos a alta produção de serapilheira. A decomposição na MPI é mais rápida, permitindo que o material vegetal seja rapidamente transferido para outros compartimentos do ecossistema, assim como lixiviado para o lençol freático. Já a FAAC possui lenta decomposição, o que foi relacionado a dominância de *Clusia hilariana*, que é composta por material vegetal recalcitrante. Houve diferença na concentração carbono orgânico dissolvido, fósforo total, amônia, nitrogênio total e dissolvido, na água percolada após lixiviação do solo. A concentração da matéria orgânica antes e após a passagem de água foi diferente nas frações de uma área da FAAC e Mata Periodicamente Inundada, e para o carbono total apenas uma área da FAAC apresentou valores diferentes para as frações perfil do solo. Os valores obtidos permitem concluir que as formações vegetais das duas fitofisionomias estudadas contribuem de maneiras distintas para a ciclagem de nutrientes do ecossistema de restinga.

Abstract

The biosphere, the chemicals continuously cycle between organisms and physical environments. Once assimilated by organisms are recycled again before being released into the sediments, water bodies and groundwater, or escape into the atmosphere as gases. The salt marsh ecosystems are formed by marine sandy sediments, the result of ocean movements, giving rise to a succession of cords that are generally covered by plant communities and various features. To understand the dynamic structure of ecosystems, a key aspect is the understanding of nutrient cycles, including the patterns of stock and transport there of between compartments. This has direct implications cycling physiology, community ecology and biology of plants. Thus, this study was conducted in two forest types, open shrubland formation of *Clusia* (OFSC) and Mata periodically flooded (PFF) of Restinga National Park Jurubatiba in order to evaluate the contribution and the decomposition of litter these two forest types, which occupy larger extensions in the areas of salt marshes of Rio's north. In addition to assessing the contribution of nutrients entering the ecosystem through the leaching of plant material dissolved from the soil to the groundwater. At this stage we were used wood collectors to verify the contribution of litter, with collections of the remaining material every 2 to 4 months, depending on the mesh used litterbags. For soil collection and subsequent chemical analysis of the leachate and soil were used PVC piping. The greatest amounts of litter input values occurred in PFF. The productions of these environments not owned correlation with average temperature and precipitation, except in bushes whose dominant species was *Clusia hilariana*. The nutrients C, N and P were not correlated with the contributed material, although the concentration of these was greater in periods near high litter production. The decomposition is faster in the PFF, allowing the plant material is transferred quickly to other compartments of the ecosystem, as leached into groundwater. OFSC has already slow decomposition, which was related to dominance *Clusia hilariana*, which consists of recalcitrant plant material. There were differences in the concentration of dissolved organic carbon, total phosphorus, ammonia, total nitrogen and dissolved in the soil solution after soil leaching, except for the concentration of orthophosphate. The concentration of organic matter in the sediment before and after the passage of water was different in the areas of Bare Sand Open Training and Forest periodically flooded, and the total carbon only in the area of Bare Sand. Values obtained allow us to conclude that the vegetation types of the two vegetation types studied in different ways contribute to the cycling of nutrients salt marsh ecosystem.

Introdução

A circulação de elementos químicos na biosfera, em vias características, do ambiente ao organismo e do organismo ao ambiente é definida como ciclo biogeoquímico. Compostos inorgânicos da crosta ou da atmosfera da Terra são utilizados por organismos para sintetizar compostos orgânicos. Esses, uma vez assimilados pelos organismos, são reciclados novamente antes de serem liberados para os sedimentos, corpos hídricos e lençóis freáticos, ou ainda escapar para a atmosfera na forma de gases (Ricklefs, 2012).

Até a metade da década de 1880, estabeleceu-se que pelo menos dez dos elementos químicos presentes nas plantas eram necessários para o crescimento sadio dos vegetais, visto que na ausência de um deles esses organismos apresentam anomalias características de crescimento ou sintomas de deficiência e, frequentemente, tais plantas não se reproduziam normalmente (Raven, 2001). Esses elementos são: carbono, hidrogênio, oxigênio, potássio, cálcio, magnésio, nitrogênio, fósforo, enxofre e ferro, apontados como elementos químicos essenciais para o crescimento vegetal. Estes são ainda chamados de minerais essenciais, ou nutrientes inorgânicos essenciais. Posteriormente, outros sete elementos (manganês, zinco, cobre, cloro, boro, molibdênio e níquel) foram adicionados (Raven, 2001).

Os principais critérios pelos quais um elemento é considerado essencial para a planta é (1) se ele é necessário para a planta completar seu ciclo de vida (produzir sementes viáveis) e/ou (2) se ele faz parte de alguma molécula ou constituinte da planta, e se (3) aparecem sintomas de deficiência na sua ausência (Raven, 2001). Sendo assim, originados dos elementos químicos, os nutrientes são necessários para a produção de matéria viva, e estão disponíveis em diferentes compartimentos, como no solo, na água e na atmosfera (Golley *et al.*, 1978). Os seres terrestres fotossintetizantes os absorvem majoritariamente através do solo e então são transportados e incorporados aos seus tecidos. Quando retornam ao solo, organismos decompositores, microorganismos e fungos, decompõem a matéria orgânica e os elementos minerais tornam-se novamente disponíveis (Golley *et al.*, 1978).

Segundo Pritchett (1987), pode-se definir a entrada de nutrientes em ecossistemas em duas vias, definidas como ciclo externo e ciclo interno. Ao ciclo externo, chamado também de geoquímico, inclui as formas de transferência de

nutrientes para dentro e para fora do ecossistema. O ciclo interno, ciclo biológico, que abrange apenas a ciclagem interna de nutrientes no ecossistema pode ser subdividido em duas partes: o ciclo bioquímico, referente à movimentação dos nutrientes dentro de um organismo e o ciclo biogeoquímico que abrange a ciclagem dos nutrientes entre o solo e a biomassa arbórea.

As principais formas de entrada de nutrientes nos ciclos externos são via precipitação atmosférica, o intemperismo da rocha matriz e a adubação do solo pela decomposição do material vegetal. Quanto à saída de nutrientes, pode-se citar a erosão, lixiviação e exportação maciça de nutrientes pelas atividades relacionadas a exploração da floresta. Através da ciclagem biogeoquímica, um terço dos nutrientes absorvidos pelas plantas são impregnados em sua biomassa, sendo o restante disponibilizado ao solo através da deposição de folhas, ramos, frutos e raízes. A quantidade de elementos químicos acumulados durante o crescimento do componente vegetal em um ecossistema natural pode ser de mais de 50% do total contido nele, incluindo o detrito vegetal acumulado no solo (Poggiani, 1986). Isso se revela como uma atuação da planta no controle da ciclagem bioquímica, pois ativamente a maioria dos nutrientes (o cálcio é a exceção) podem ser transportados dos tecidos mais velhos e fotossinteticamente inativos para os tecidos jovens e com grande atividade de crescimento (Raven, 2001).

Com base nas razões supracitadas, uma das principais vias de entrada e manutenção de nutrientes nos ciclos internos dos ecossistemas é através da ação das plantas, representando (1) a produção de novos tecidos a partir de nutrientes do solo e do ar atmosférico, (2) a retranslocação dos nutrientes das folhas senescentes às novas, (3) a queda e acumulação de tecidos vegetais no solo, (4) a decomposição do material e liberação de nutrientes para o solo e (5) a recuperação por parte da biota ou por perda de lixiviação (Golley *et al.*, 1978).

Os tecidos vegetais mortos acumulados no solo da floresta, que incluem principalmente folhas, galhos, frutos, flores, raízes e resíduos da ação de animais sobre esses resíduos, compreendem um importante compartimento de um ecossistema florestal, chamado serapilheira (Dias & Oliveira Filho, 1997). O processo de decomposição torna este material disponível, liberando para o sistema minerais que as plantas utilizam, desempenhando assim um papel fundamental na circulação de nutrientes e nas transferências de energia entre os níveis tróficos (Ribeiro, 1998; Sioli, 1991), auxiliando a manutenção dos processos no ecossistema. Dessa forma, a

decomposição da serapilheira representa um importante processo de transferência da vegetação acima para o solo (Vitousek & Sanford, 1986).

1.1 Produção de serapilheira

A serapilheira compreende todo material precipitado ao solo pela biota, incluindo folhas, galhos e ramos, frutos e flores e resíduos animais (Dias & Oliveira Filho, 1997). Dentre os diversos componentes da serapilheira, o material foliar é o mais representativo em termos de quantidade e conteúdo de nutrientes orgânicos e inorgânicos (Silva, 2003; Pires *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2007). Assim, a serapilheira foliar desempenha importante papel na dinâmica desses ecossistemas, uma vez que ao ser decomposta, torna-se uma grande fonte de nutrientes para as plantas, além de proteger o solo de ações erosivas (Scheer, 2008; Paula *et al.*, 2009).

A serapilheira ainda exerce inúmeras funções no equilíbrio e dinâmica dos ecossistemas, sua produção controla diretamente a quantidade de nutrientes que retorna ao solo e seu acúmulo se relaciona com a atividade decompositora dos microorganismos e com o grau de perturbação dos ecossistemas (Brun *et al.*, 2001; Figueiredo *et al.*, 2003; Fernandes *et al.*, 2006). Dessa forma, a serapilheira representa um compartimento ativo, influenciando e regulando os principais processos funcionais do ecossistema (Moraes *et al.*, 1993).

Em estudos realizados em ambientes tropicais, alguns fatores têm sido observados como condicionantes na produção de serapilheira, como a radiação, a precipitação (Zhang *et al.*, 2014) e a evapotranspiração (Meentemeyer *et al.*, 1982). Além destes, aspectos edáficos, como fertilidade e retenção de água do solo (Vitousek, 1984; Brietz, 1994), e biológicos, como a densidade, área basal, estrutura (Moraes *et al.*, 1999), idade (Zimmermann *et al.*, 2002) e composição florística da vegetação (Pires *et al.*, 2006) parecem também afetar a produtividade do sistema. A intensidade com que cada fator atua depende das características particulares do conjunto de plantas que ocupam determinado habitat (Delitti, 1984). Estudos relatam que dentre as variáveis ambientais, a precipitação e a temperatura são as que exercem maior influência na formação da serapilheira. Segundo Zhang e colaboradores o tipo de vegetação e as condições ambientais são fatores determinantes da qualidade e quantidade do material depositado na superfície do solo.

Os trabalhos de avaliação da produção de serapilheira se justificam por seu aspecto comparativo e quantitativo da produção, podendo ainda lançar em luz sobre aspectos relacionados à influência de variáveis ambientais, principalmente frente a um quadro de mudanças climáticas globais. Além disso, a forte relação entre a vegetação e o solo por meio da ciclagem de nutrientes permite avaliar aspectos do funcionamento do ecossistema e de seus ritmos internos, controlados pela transferência e disponibilidade de nutrientes (Martins & Rodrigues, 1999). Como exemplo, Vitousek (1984) estimou a massa seca total de serapilheira produzida e mediu as quantidades de diversos elementos químicos, incluindo nitrogênio e fósforo. A razão da quantidade de matéria seca para a quantidade de cada elemento químico serviu como uma medida da eficiência do uso de nutrientes associada com a produção de folhas e outros componentes da serapilheira. Por fim, este autor inferiu que o elemento mais fortemente correlacionado com a produção de serapilheira, o nitrogênio, provavelmente limitaria toda a produção das plantas.

1.2 Decomposição da serapilheira e lixiviação de nutrientes

A decomposição é o processo de transferência pelo qual a serapilheira transfere os nutrientes presentes na serapilheira para o solo, que envolve a quebra e a degradação do material vegetal por fatores físicos, químicos e biológicos (Scott & Rothstein, 2014). Muitos fatores são conhecidos por regular o processo de decomposição, entre eles destacam-se três variáveis: o ambiente físico e químico, as características da matéria orgânica (composição vegetal) e a natureza da comunidade decompositora (animais e microorganismos) (Swift & Anderson, 1989). A decomposição da serapilheira resulta no acúmulo da matéria orgânica do solo, na liberação de seus nutrientes para a biota e na dissipação do dióxido de carbono, sendo um processo que mantém a fertilidade e produtividade do ecossistema.

A maior parte da matéria orgânica acumulada na superfície do solo é constituída principalmente de material vegetal transferido pela decomposição de serapilheira. Entre os fatores que podem influenciar na taxa de produção dessa matéria orgânica estão os organismos que atuam no funcionamento biodinâmico do solo, a fauna edáfica. Essa fauna, composta por uma variedade de táxons, participa do complexo serapilheira-solo (Barros *et al.*, 2001). Os invertebrados com diâmetro corporal de 2 a 20mm compreendem a macrofauna, que é composta pelos organismos que realizam escavação

e, ou, ingestão e transporte de material mineral e orgânico no solo, conduzindo a criação de estruturas como galerias, ninhos, e bolotas fecais, que influenciam na agregação do solo, nas propriedades hidráulicas, na dinâmica da matéria orgânica e na composição, abundância e diversidade de outros organismos do solo, como por exemplos os microrganismos (Lavelle & Spain, 2001). A presença de fauna no solo tem sido mostrada como um acelerador das taxas de decomposição da serapilheira por alguns autores (Irmeler, 2000; Ball *et al.*, 2013).

Porém, ainda são poucos os trabalhos de decomposição que analisaram a perda de massa em mistura de folhas de espécies distintas quando comparados com trabalhos que investigaram a perda de massa de espécies individuais (Gartner & Cardon, 2004; Hättenschwiler *et al.*, 2005). Estudos indicam que a mistura de espécies podem acelerar a dinâmica da ciclagem de alguns elementos como C e N (Handa *et al.*, 2014) e determinar diferenças na perda de massa, podendo aumentar, diminuir ou não afetar a taxa de decomposição (Gartner & Cardon, 2004). Alguns trabalhos têm relacionado a taxa de decomposição a diversas características das espécies, assim com a concentração de nutrientes e lignina nas folhas (Bonadiman, 2007; Pereira *et al.*, 2012). Contudo, a interação entre as diferentes composições vegetais do material em decomposição parece afetar fortemente as taxas de perda de massa e o resultado da decomposição em uma mistura de espécies, sendo difícil prever a decomposição das espécies a partir das taxas individuais (Wardle *et al.*; 1997, Gartner & Cardon, 2004).

Alguns ecossistemas tropicais, como as florestas tropicais úmidas podem estar expostas a oscilações climáticas, assim como altas temperaturas e precipitação e secas sazonais. Essas oscilações do clima interferem diretamente no processo de ciclagem de nutrientes, podendo acelerar ou diminuir a taxa de decomposição (Cornejo *et al.*, 1994), afetando a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas e conseqüentemente o desenvolvimento da comunidade vegetal (Raven, 2001).

1.3 O ecossistema de Restinga nesse contexto

As restingas cobrem desde grandes faixas de até 3000 km² (Martins *et al.*, 1993) até curtas porções litorâneas comprimidas entre solos aluviais, rochas erodidas e o mar. A gênese de formações de restinga está relacionada a deposição de sedimento de origem marinha, devido às transgressões e regressões do mar durante o Plistoceno e Holoceno.

Em consequência da dinâmica dos movimentos oceânicos, esses depósitos de sedimento tomaram a forma de uma sucessão de cordões litorâneos arenosos que são, em geral, cobertos por comunidades vegetais características e diversas (Suguio e Tesseler, 1984). A planície de cordões arenosos da restinga geralmente apresenta um intricado sistema de lagoas, visto que estes cordões são separados por depressões ou antigos deltas de rios onde aflora o lençol freático.

Os solos destes ambientes são pobres em argila e em matéria orgânica, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, fundamentais para manutenção dos componentes biológicos do sistema (Hay & Lacerda, 1984). Pelo fato do solo não constituir a principal fonte de nutrientes, apresentando-se ácidos e com diminuta soma de bases, a serapilheira é considerada muito importante para o fornecimento de nutrientes ao solo (Paula *et al.*, 2009), juntamente com os ventos, com partículas dissolvidas no ar, que contribuem para a entrada de nutrientes ao sistema (Paula *et al.*, 2009).

Nesses ambientes de restinga, alguns fatores limitantes ao crescimento da vegetação são fortemente representados como alta temperatura, o vento e a escassez de água no solo, podendo refletir nos padrões de ciclagem de nutrientes. Dessa forma, o clima pode atuar diretamente nos processos relacionados à ciclagem de nutrientes, na relação entre a quantidade da serapilheira produzida e na quantidade de nutrientes neste material (Knops *et al.*, 1997) e também na decomposição. A decomposição, por sua vez, é controlada pela ação de três fatores: condições ambientais, qualidade da serapilheira e atividade da comunidade de decompositores (Lavelle *et al.*, 1993; Wardle, 2002). Assim, pode se esperar que a decomposição responda de forma direta as variações das condições ambientais ou indireta, quando tais variações ambientais impõem diferenças na qualidade da serapilheira (Aerts, 1997) ou na atividade dos decompositores (Wardle, 2002).

Para ambientes oligotróficos como as restingas são relacionadas a ocorrência de estratégias na ciclagem de nutrientes, que garantem e regulam este processo: a existência de uma rede superficial de raízes finas, presença de micorrizas, capacidade de translocar nutrientes entre tecidos para garantir maior eficiência na utilização dos nutrientes, caráter perenifólio, grande longevidade foliar, escleromorfismo, e presença de flora epifítica (Jordan, 1985). Britez (1994) observou outro mecanismo do ciclo de nutrientes na restinga, relacionado à variação do nível do lençol freático que, durante o período de maior pluviosidade, ascende até as raízes possibilitando o reaproveitamento

de nutrientes. Isso poderia justificar diferenças na produtividade e promover a existência de diferentes tipos vegetacionais, que variaria de florestal para arbustiva e arbustiva aberta em função da disposição destas comunidades vegetais no cordão arenoso. Dessa forma, a vegetação seria diretamente influenciada pelo lençol freático e este, por sua vez, teria sua composição química determinada em parte pela vegetação.

Para a restinga do norte fluminense são descritas dez diferentes tipos de formações vegetais. Entre elas as duas formações que ocupam áreas mais extensas são a Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* (FAAC) e a Mata Periodicamente Inundada (MPI) (Araujo *et al.*, 1998), estando a primeira no topo dos cordões arenosos, em áreas bem drenadas (Henriques *et al.*, 1986), e a segunda, nas depressões próximas às áreas alagadas (Araujo *et al.*, 1998).

A FAAC é constituída por moitas densas de tamanhos variados, intercaladas por espaços de areia onde a cobertura vegetal é de aproximadamente 34,02% (Pimentel, 2002). As moitas variam no formato, podendo ser circulares até irregulares, sendo o tamanho também variado, com um pequeno número de moitas maiores que 700m², sendo mais comuns as moitas pequenas. *Clusia hilariana* é a espécie predominante nesta formação e pode atuar como espécie focal, propiciando o aparecimento de outras espécies em seu sub-bosque (Zaluar & Scarano, 2000). Estudos preliminares de Araujo e colaboradores (1998) revelaram que as espécies mais representativas deste tipo de formação além da *Clusia hilariana* são *Protium icicariba*, *Erythroxylum sessile*, *Eugenia rotundifolia* e *Allagoptera arenaria*, que se destacam também por serem as espécies mais encontradas em moitas pequenas. *Clusia hilariana* possui características de plantas com estratégia de uso conservativo de recursos, que podem promover um aumento do tempo de retenção de nutrientes em sua biomassa devido a uma menor taxa de renovação dos tecidos, assim como um aumento da retenção de nutrientes no estoque de serapilheira devido à baixa decomposição do material produzido por esta espécie (Bonadiman, 2007). Entre essas características estão as baixas taxas de crescimento (de Mattos *et al.*, 2004) e a alta longevidade foliar (Bonadiman, 2007). O crescimento dos indivíduos de *Clusia* proporcionam o aumento na disponibilidade de sítios de germinação para outras espécies, já que poucas espécies são capazes de se estabelecer onde não há cobertura vegetal, isso pode ser o resultado de um uso preferencial destas moitas por dispersores, já que as baixas taxas de decomposição e a retenção de nutrientes na serapilheira do sub-bosque deste gênero pode suprimir o crescimento de outras espécies (Dias, 2009).

Já a MPI ocorre nas depressões entre cordões arenosos, estando sujeita à inundação pelo afloramento do lençol freático na estação chuvosa (Araujo *et al.*, 1998). A partir de uma amostragem preliminar feita por Oliveira & Kurtz (1997), verificou-se que o solo desta área apresenta grande quantidade de serapilheira, resultando em um grande acúmulo de material orgânico em decomposição e já decomposto. Este acúmulo é devido às condições resultantes da oscilação do lençol próximo a superfície (hidromorfismo). O dossel da mata possui cerca de 20m de altura, sendo que algumas árvores podem atingir 23m, como *Tapirira guianenses* e *Symphonia globulifera*, que somadas a *Calophyllum brasiliense* e *Andira fraxinifolia*, dominam o estrato superior (Araujo *et al.*, 1998).

O papel da vegetação da restinga no fornecimento de nutrientes para o lençol freático e conseqüentemente para o conjunto de lagoas foi discutido por Farjalla e colaboradores (2004). Para esses autores, dentre as fontes alóctones de carbono orgânico dissolvido das lagoas, destacam-se as oriundas da lixiviação da matéria orgânica em decomposição da vegetação marginal, transformando as lagoas costeiras em um compartimento importante para a estocagem de nutrientes. A decomposição da vegetação da restinga resulta em ácidos húmicos, fúlvicos e huminas, compostos formados por longas cadeias carbônicas e anéis aromáticos, e que conferem uma coloração escura da água. Pelo fato desses compostos serem de difícil degradação e utilização, os mesmos se acumulam no sistema, principalmente no solo e na água. Dessa forma, o solo não se constitui na principal fonte de nutrientes, apresentando-se ácido e com diminuta soma de bases, enquanto a serapilheira e o lençol freático são as fontes primárias de nutrientes para a vegetação e para as lagoas (Paula *et al.*, 2009).

Para os ecossistemas de restinga ainda são necessários esforços para uma visão integrada relacionada a produção de biomassa de diferentes fitofisionomias e a importância de diferentes compartimentos, solo e serapilheira, para a ciclagem de nutrientes. Essas informações poderão se somar aos conhecimentos obtidos no âmbito do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD - Restingas e Lagoas Costeiras do Norte Fluminense- Site 5) que tem como temática principal “Mudanças climáticas e o funcionamento dos ecossistemas costeiros da Bacia de Campos: Uma perspectiva espaço-temporal” (Esteves, 2012). Além disso, os conhecimentos sobre restinga tem sido relevantes para o manejo de ecossistemas costeiros, embasando estratégias de conservação de recursos hídricos e, auxiliando na consolidação dos programas de Proteção e Manejo dos Recursos Naturais.

2. Objetivos

O presente estudo teve como objetivo avaliar o aporte e a decomposição da serapilheira das fitofisionomias com distribuição mais extensa ao longo das restingas do Norte Fluminense, a Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e a Mata Periodicamente Inundada. A partir disso foi avaliada a contribuição relativa dessas fitofisionomias para a entrada de nutrientes no ecossistema, avaliando também a lixiviação de nutrientes do solo da restinga para o lençol freático e conseqüentemente para o complexo de sistema lagunar da região.

3. Material e Métodos

3.1 Área de Estudo

A área deste estudo localiza-se no PARNA Restinga de Jurubatiba, situada entre as coordenadas 22° 15' 47-58' S , 41°36'16-27'O. O PARNA Restinga de Jurubatiba foi criado em 29 de Abril de 1998, sendo a primeira unidade de conservação federal a proteger uma área de restinga. Estudos realizados nesta área indicam que processos são tão ou mais importantes de serem preservados do que espécies, e esses foram um dos importantes argumentos científicos utilizados como justificativa para da reserva (Scarano *et al.*, 2004). Mesmo que a restinga não seja destacada em termos de diversidade ou endemismo (Araujo, 2000), nela acontecem processos ecológicos de balanço frágil, que dão uma medida do valor de sua biodiversidade (Scarano *et al.*, 2004). O PARNA Restinga de Jurubatiba estende-se por uma faixa de 44km de comprimento por 10km de largura (Araujo *et al.*, 1998) e engloba lagoas formadas de antigos deltas incorporados à costa por deposição de sedimento marinho que forma cordões arenosos (Pimentel, 2002).

O solo deste ambiente é constituído por areias quartzosas marinhas, caracterizado como oligotrófico, pobre em argila e em matéria orgânica, com baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (Hay & Lacerda, 1984).

Das dez formações vegetais descritas, duas foram selecionadas para avaliação do aporte, da decomposição e lixiviação da serapilheira. Com o objetivo de obter uma amostra mais representativa destas fitofisionomias (Pimentel *et al.*, 2007), a área selecionada para a realização desta pesquisa situa-se entre as lagoas Comprida e Carapebus (Figura1), compreendendo trechos da FAAC e da MPI.

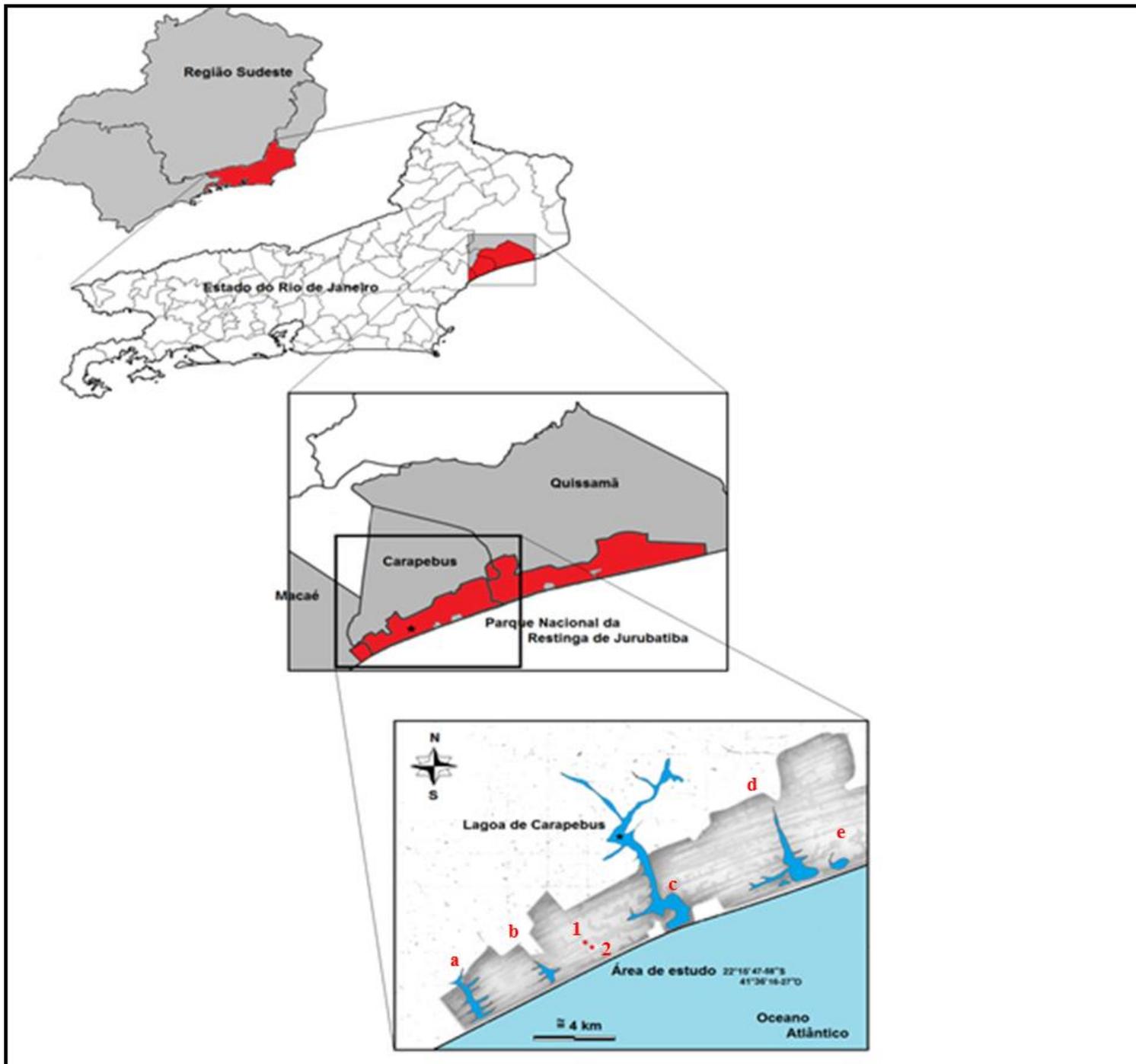


Figura 1: Representação esquemática da área estudada no PARNA Restinga de Jurubatiba, no norte fluminense. No último quadro, as duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e a Mata Periodicamente Inundada estão representadas pelos números 1 e 2 respectivamente. As letras em vermelho representam algumas das lagoas da região sudeste do PARNA Restinga de Jurubatiba (em cinza); (a) lagoa Jurubatiba; (b) lagoa Comprida; (c) lagoa de Carapebus; (d) lagoa Paulista e (e) lagoa Amarra boi.

A FAAC é constituída por moitas de tamanhos variados, intercaladas por espaço de areia onde a cobertura vegetal é esparsa e *Clusia hilariana* é a espécie dominante (Figura 2). São moitas na área próxima a lagoa Comprida e pertence a parcela de acompanhamento permanente do PELD, *site* 5, previamente identificada como um dos trechos de maior diversidade e cobertura vegetal na paisagem (Pimentel *et al.*, 2007).

Já a MPI, como o nome já diz, sofre influência direta da variação do nível do lençol freático, podendo estar com o solo seco, encharcado ou alagado em função da pluviosidade do período ou do nível do lençol freático. A vegetação da MPI é tipicamente florestal, variando até 12 metros de altura e com o dossel mais fechado, o que proporciona temperaturas inferiores a FAAC e sombreamento dos estratos inferiores da floresta (Araujo, 1998).



Figura 2: Imagem da localização da área de estudo, em destaque (vermelho) Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e Mata Periodicamente Inundada do PARNA Restinga de Jurubatiba, escala em azul.

Para efeitos do presente trabalho trataremos FAAC e MPI como fitofisionomias e as diferentes feições dentro de uma mesma fitofisionomias como por exemplo, Moita com *Clusia*, (MCC), Moita sem *Clusia* (MSC) , areia nua (AN) serão tratadas como área.

3.2 Produção de serapilheira

Para estimar a quantidade de serapilheira produzida, foram utilizados 45 coletores de 0,5 x 0,5m (Arato *et al.*, 2003), perfazendo um total de 0,25m² de área amostral por coletor, instalados diretamente abaixo da vegetação. Os coletores foram confeccionados com armação de madeira nas laterais e fundo de malha de nylon (0,40mm) e foram suspensos a 70cm do solo na MPI e 50cm na FAAC.

Na MPI foram demarcados três transectos no sentido perpendicular à costa de 120m cada, separados por 30m (Figura 3). Em cada transecto foram colocados cinco coletores também separados 30m. No total, foram instalados 15 coletores em uma área de 7200m².

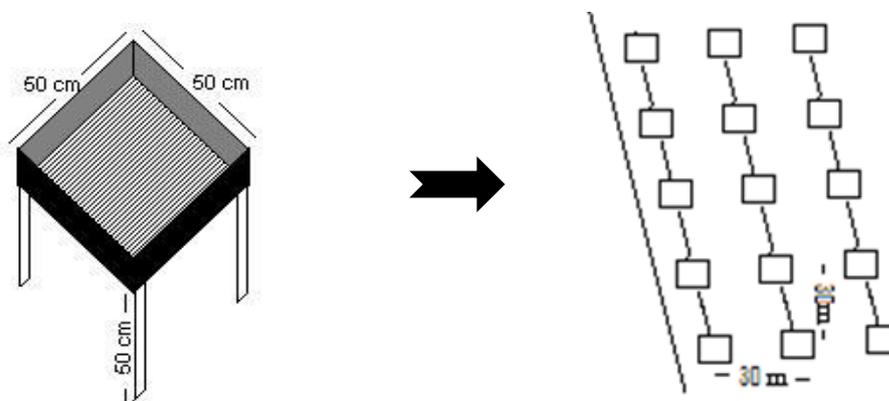


Figura 3: Esquema do coletor e da disposição dos coletores instalados na Mata Periodicamente Inundada no PARNA Restinga de Jurubatiba.

Na FAAC foram instalados outros 30 coletores perfazendo um total de 3,75m² de área total amostrada. Os coletores foram dispostos em 30 moitas sorteadas aleatoriamente da FAAC sendo que em 15 delas apresentavam *Clusia hilariana* como o

elemento dominante (mais alto e com o maior diâmetro a altura da base) (Figura 4) e outras 15 moitas apresentavam outro tipo de planta arbustiva arbórea (Figura 5).



Figura 4: Imagem de uma moita da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, com exemplar de *Clusia hilariana* como indivíduo dominante.



Figura 5: Imagem da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* onde a espécie dominante não é representada por um exemplar de *Clusia hilariana*.

O material retido em cada coletor foi recolhido quinzenalmente no período entre 02 de maio de 2012 a 17 de abril de 2014, totalizando 52 coletas. O material aportado foi depositado em sacos de papel e seco em estufa a aproximadamente 50°C, até a

obtenção do peso constante da matéria seca (peso seco). Todo material seco foi separado nas seguintes frações: folhas, galhos e ramos, estrutura reprodutiva e material triturado, doravante definido como resto. Após a triagem, o material foi pesado em uma balança analítica de quatro casas decimais e posteriormente armazenado para análises químicas. Todas as etapas deste trabalho foram realizadas nos laboratórios de Ecologia Aquática e Integrado de Química do NUPEM/UFRJ

O cálculo da produção da serapilheira considerou a cobertura relativa das duas fitofisionomias em tonelada por hectare por ano. Considerou-se que a cobertura vegetal da FAAC em 34,02%, com base nos dados de Pimentel (2002), que estudou 12 áreas de FAAC do PARNA Restinga de Jurubatiba.

A avaliação da contribuição de cada fração da serapilheira foi inspecionada graficamente para cada área estudada nos 24 meses. Para um maior detalhamento da produção de serapilheira na FAAC, o material obtido nas moitas com e sem *Clusia* foram avaliados separadamente. O acumulado de serapilheira de cada coletor e quinzena foi considerado uma réplica.

A variação na produção de serapilheira em função da precipitação e da temperatura média foi avaliada através de regressão simples, utilizando os dados obtidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estação Macaé - RJ. Os valores acumulados da precipitação nos 15, 30 e 45 dias anteriores à cada coleta foram utilizados como preditores da produção de serapilheira.

3.3 Quantificação de nutrientes

Para a análise de nutrientes foi utilizado material vegetal que já havia sido coletado de dezembro de 2012 a dezembro de 2013, totalizando vinte e oito coletas. Todo material vegetal que já havia sido seco e triado foi triturado em moinho de facas tipo Willey, com peneira de 1mm e acondicionado em sacos plásticos hermeticamente fechados.

Após trituração, o material processado foi analisado quanto à concentração de carbono, nitrogênio e fósforo totais. Estes elementos foram selecionados, visto que são considerados macronutrientes, exigidos em grande quantidade pelas plantas (Kerbaui, 2012) assim como o carbono, além do fósforo e nitrogênio que são nutrientes limitantes para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

A análise de carbono total foi realizada no analisador de carbono total com unidade sólida (Shimadzu TOC-5000 - Carbon Analyzer) pela combustão completa a alta temperatura e detecção de CO² por infravermelho (Farjalla *et al.*, 1999). Para esta análise foram utilizados 25mg de serapilheira processada de cada amostra.

Para a análise da concentração de fósforo e nitrogênio totais foram utilizados 50mg do material processado, submetido à digestão por persulfato de potássio (Golterman *et al.*, 1978). As concentrações de fósforo total foram estimadas segundo o método do complexo azul de molibdênio, através de leitura em espectrofotômetro (modelo Varian 50 Bio UV-visível e cubeta de quartzo). As concentrações de nitrogênio total foram determinadas por um analisador de nitrogênio total (Shimadzu unidade TNM-1 do TOC-5000 – Carbon Analyzer).

Os valores finais de C, N e P totais foram calculados considerando a diluição das amostras, sendo elas convertidas em mg de cada nutriente por grama de serapilheira.

A concentração de cada nutriente nas duas fitofisionomias foi comparada através de um teste não-paramétrico, Mann-Whitney sendo os valores de cada coletor e quinzena uma réplica. Foram empregadas regressões simples para verificar a influência da produção de serapilheira na concentração dos três nutrientes nas duas fitofisionomias.

3.4 Decomposição da serapilheira

Para estimar a decomposição da serapilheira foram utilizadas sacos de nylon conhecidos como *litterbags* (modificado de Oslon, 1963). A utilização destes *litterbags* permite avaliar a perda de massa do material vegetal num intervalo de tempo. No presente estudo, foram empregadas as folhas depositadas nos coletores entre maio e novembro de 2012. Todas as folhas utilizadas sofreram abscisão em um período inferior a 15 dias quando foram retiradas, secadas e armazenadas. Essas folhas foram misturadas de acordo com a fitofisionomia em que o material foi coletado e posteriormente os *litterbags* foram preenchidos com 7,0g de material foliar seco, constituído de folhas inteiras e sem sinais de herbivoria, previamente selecionadas a partir da serapilheira armazenada.

Os *litterbags* com diferentes tamanhos de malha, 5mm (20x20cm) e 0,02mm (13x14cm), foram empregados para avaliar um possível efeito da ação de

macroinvertebrados. Esta técnica foi adotada por ser largamente utilizada e descrita em outros trabalhos que serão considerados na discussão.

Ao todo, foram confeccionados 236 *litterbags*, 15 conjuntos compostos por 12 *litterbags* de malha 5mm, e 14 conjuntos compostos por 4 *litterbags* de malha 0,02mm. Dessa forma, 5 moitas na FAAC dominadas por *C. hilariana* e 5 não dominadas por *C. hilariana* receberam um conjunto de 12 *litterbags* de malha 5mm. A MPI recebeu 5 conjuntos compostos por 12 *litterbags* de malha de 5mm e 4 conjuntos compostos por 4 de malha de 0,02mm. Os conjuntos foram montados de forma que os *litterbags* de cada tipo de formação vegetacional contivesse a sua respectiva serapilheira.

Cada conjunto de malha 5mm foram despositados 12 *litterbags*, totalizando 180 *litterbags*, e em cada conjunto de malha 0,02mm disposta na FAAC foi composto por 4 *litterbags*, totalizando 56 *litterbags*.

Os conjuntos de *litterbags* foram instalados no campo em novembro de 2012 e permaneceram expostos a ação do tempo e de macroinvertebrados por 24 meses. Um *litterbag* de malha 5mm foi retirado em intervalos regulares aos 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600, 660 e 720 dias após a sua instalação e os de malha 0,02mm foi retirado aos 120, 240, 360 e 480 dias após sua instalação (Figura 6).



Figura 6: Imagem dos *litterbags*, sacos com malha de 5mm utilizados (20x20cm) para avaliar a decomposição das folhas nas duas fitofisionomias, (1) Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e (2) Mata Periodicamente Inundada, circulos em vermelho.

O material foliar remanescente de cada *litterbag* foi processado, para remoção de resíduos (solo, raízes finas, organismos da fauna edáfica), seco a aproximadamente 50°C por 72 horas e pesado, em uma balança analítica.

O peso do material remanescente em cada *litterbag*, desde sua instalação (t=0) até a coleta, foi determinado com base no cálculo da constante de decomposição (k), segundo a equação:

$$X_t = X^0 * e^{-Kt}$$

X_t é o peso do material remanescente após t dias e
 X^0 é o peso do material seco colocado nos *litterbags*.

A partir do valor de k, foi calculada a meia-vida das folhas nas áreas da FAAC, MSC e MCC, e na MPI. Para determinar o tempo necessário para que 50% do peso seco fosse reduzido, utilizou-se a fórmula: $-\ln(0,5) / k = 0,693/k$, então $t_{0,5} = 0,693/k$. E para determinar o tempo necessário para perda de 95% de material o cálculo considerou $3/k$ (Olson, 1963).

Para comparação do peso seco (g) dos *litterbags* das diferentes áreas, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas, considerando o peso de cada *litterbag*, como uma réplica e as 12 coletas como as medidas repetidas. Porém, o pressuposto de esfericidade não foi alcançado. Sendo assim, o teste utilizado para comparar a redução do peso seco da serapilheira no tempo, entre as áreas foi a análise de covariância (ANCOVA), aplicada para cada malha de *litterbag* separadamente. Para a malha de 0,02mm, foram excluídas duas amostras, visto que possuíam valores muito inferiores dos demais *litterbags* de mesma malha. Logo, a relação do peso seco (g) (variável dependente) e tempo de decomposição (dias) (variável preditora contínua) foram comparadas entre as áreas (variável preditora categórica).

A avaliação dos valores dos pesos secos obtidos para os *litterbags* de diferentes malhas, 5mm e 0,02mm, foi feita através da análise não paramétrica Kruskal-Wallis, seguido do teste *post hoc* de Mann-Whitney *pairwise* para os três sistemas de vegetação, visto que os dados não atendiam os pressupostos para o uso de testes paramétricos.

3.5 Lixiviação de nutrientes

Para esta etapa do trabalho foram utilizados tubos de PVC (policloreto de vinila) com 50cm de comprimento. Os tubos apresentavam tampas para evitar perda de sedimento nos ensaios de lixiviação. Cada tubo foi introduzido no solo e com o auxílio de martelo batendo na superfície do penetrando ele no solo até o preencher todo com solo, mantendo assim a estrutura deste solo. Foram coletadas 7 repetições para as seguintes fitosifionomias: MPI e FAAC, sendo Areia nua (AN) , MCC e MSC, áreas pertencentes a FAAC, totalizando 28 pontos. As moitas foram escolhidas aleatoriamente e para AN foram selecionados pontos centrais, entre moitas de vegetação. Em cada ponto, o solo foi coletado em duplicata no mesmo ponto, visto que a proposta deste trabalho foi analisar o sedimento antes e após a passagem da água pelo solo.

Os 56 tubos contendo solo foram submetidos à estufa a lâmpada por aproximadamente 7 dias, à 50°C, com o objetivo de secar o sedimento antes de iniciar o experimento.

A quantidade de água a ser inserida no tubo contendo solo visou simular uma chuva torrencial que causasse a lixiviação do sedimento. Para tanto, foi calculada uma média do volume pluviométrico registrado nos dias mais chuvosos dos anos de 2011, 2012 e 2013, obtido do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estação de Macaé-RJ. A média encontrada foi de 750ml de água para o volume de 81,14cm³, que corresponde à área superficial de solo contido no tubo de PVC. A água utilizada no experimento foi do tipo mineral, de um mesmo galão de 20 litros, portanto sujeita às mesmas condições de envase, armazenamento e composição.

A água foi lançada no tubo de PVC contendo solo e foi recolhida em um vasilhame de plástico esterilizado, na parte inferior do tubo de PVC. Este volume foi coletado e armazenado em um frasco plástico esterilizado para análise dos nutrientes.

Antes das análises de nutrientes, a água foi filtrada em um filtro de fibra de vidro do tipo Whatman GF/F (45mm /0,7µm), o volume filtrado foi aliqotado para as diversas análises realizadas.

Análise de nutrientes na água após lixiviação

Para análise de carbono orgânico dissolvido (cod), nitrogênio total (Nt) e dissolvido (Nd), a alíquota foi avaliada por meio de analisador de carbono (Shimadzu unidade TNM-1 do TOC-5000 – Carbon Analyzer), que quantifica a concentração desses dois nutrientes. Esse procedimento foi feito para as replicatas de cada área da FAAC: AN, MCC, MSC e da MPI.

Para as análises de fósforo total (Pt), ortofosfato e amônia o filtrado foi diluído segundo o método da conversão das formas inorgânicas dissolvidas na água (modificado Golterman, 1978). Para essa conversão produz-se, ácido fosfórico (H_3PO_4), através da diminuição do pH (solução ácido sulfúrico). Após esta etapa, as amostras foram lidas no espectrofotômetro Varian Cary 50 Bio UV-Vis.

Foi eliminada uma amostra de cada área, visto que os valores estavam muito distintos dos demais, restando seis tubos em cada área. Para comparar as concentrações de cada nutriente (Cod, amônia e ortofosfato) entre as áreas, foi aplicada uma análise de variância (Anova) unifatorial, considerando cada amostra uma réplica. Por não possuir valores de distribuição normal o Nt, Nd e Pt foram analisados por estatística não – paramétrica. Após a realização das análises dita anteriormente, testes *post hoc* para identificar quais pares dos grupos diferiram significativamente entre si.

Análise óptica da matéria orgânica dissolvida cromófora (MODC)

A análise da matéria orgânica dissolvida cromófora cromófora (MODC), permite identificar possíveis fontes (autóctones e alóctones) (Stedmon & Markager 2001), tipos (lábil e recalcitrante) (Del Castillo *et al.* 1999), e alterações da matéria orgânica dissolvida (Waiser & Robarts 2004), assim como a caracterização dos *pools* orgânicos cromofóricos, dissolvidos em águas naturais (Stedmon & Markager 2003) de diferentes ambientes. Sendo assim, permite verificar os tamanhos das moléculas de carbono presentes na amostra e conseqüentemente no ambiente, permitindo inferir que tipo de molécula foi lixiviada em cada formação vegetal.

Para as medidas de absorvância, foi retirada uma alíquota de 15ml do pós filtrado e esta foi armazenada em frascos de vidro de coloração marrom. As medidas de absorvância foram realizadas na fração dissolvida das amostras, pelo uso do *espectrofotômetro* Varian Cary 50 Bio UV-Vis. Os coeficientes $a_{MODC}(\lambda)$ foram calculados de acordo com a Eq.1 para os comprimentos de onda de (250 e 365nm). Foram utilizadas as razões entre esses comprimentos de onda como forma de estimar o

tamanho molecular da matéria orgânica dissolvida nas áreas estudadas, segundo De Han & De Boer (1978).

$$a_{MODC}(\lambda) = 2,303A_{MODC}(\lambda)L^{-1} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: $a_{MODC}(\lambda)$ e $A_{MODC}(\lambda)$ representam, respectivamente, o coeficiente de absorção e a absorbância da MODC em um comprimento de onda λ , e L é o caminho óptico da cubeta em metros.

Após a realização do cálculo, foi feita uma análise não-paramétrica, Kruskal-Wallis para comparar os valores obtidos para as diferentes áreas, seguido de um teste *post hoc* para identificar quais pares dos grupos diferiram significativamente entre si.

Análise do solo

Para a quantificação da matéria orgânica no solo, o mesmo foi retirado do tubo e seccionado em intervalos de 5cm (figura 7) e armazenado em potes plásticos esterilizados.

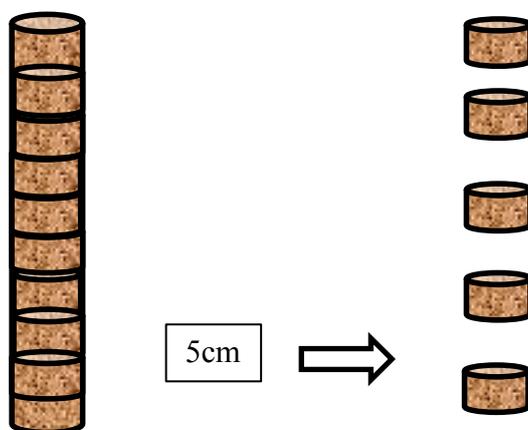


Figura 7: Esquema do tubo contendo solo e das frações retiradas deste tubo para análise do solo.

As frações avaliadas foram aquelas coletadas em intervalos regulares de 10cm, que passaram pelas seguintes etapas de preparo: (1) as frações foram pesadas; (2) colocadas na estufa à 65°C por dois dias, até obter o peso seco; (3) pesadas novamente, para o cálculo do percentual de água intersticial; (4) levadas ao forno tipo mufla onde foram aquecidas por 5 h a 550°C (processo conhecido como calcinação) e, por fim, (5)

pesadas novamente. Após a calcinação a diferença entre o peso inicial e final correspondeu ao teor de matéria orgânica no solo (adaptado de Davies 1974).

Na análise de carbono total em cada fração do solo os procedimentos 1, 2 e 3 citados acima foram repetidos, porém apenas de 0,5 a 1g de solo foi levado ao analisador de carbono (Shimadzu TOC, 5000) pela combustão completa a alta temperatura e detecção de CO₂ por infravermelho (Farjalla *et al*, 1999).

Para análise do percentual de matéria orgânica e carbono total do solo, nas diferentes frações (que representa a profundidade), antes e depois da passagem de água, os valores obtidos foram projetados em um gráfico da quantidade do nutriente, em micrograma, em função da profundidade. Foi ajustada uma linha de tendência polinomial a partir da qual foi estimada uma equação de 2º grau. Com base na equação, a área do polinômio foi integrada obtendo-se um valor para cada amostra de solo, antes (7 réplicas) e depois da percolação (7 réplicas). Com os valores obtidos, foi realizada uma comparação de duas amostras dependentes (não-paramétrica) equivalente ao teste-*t* pareado, Wilcoxon, para avaliar se as mudanças produzidas pela passagem de água foram significativas.

3.6 Análises dos dados

Os dados obtidos foram planilhados por meio do o programa Excel 2010 e os testes estatísticos foram realizados pelo programa Statistica 7.0[®]. As análises empregadas e as variáveis dependentes e as preditoras são resumidas e apresentadas na Tabela 1. O nível de significância considerado em todos os testes foi $p < 0,05$.

Tabela 1: Resumo das variáveis dependentes, preditoras e testes estatísticos utilizados em cada abordagem do presente trabalho.

Abordagem	Estatística	Variável dependente	Variável preditora
Produção de serapilheira	Descritiva	Produção de serapilheira (t/ha/ano ⁻¹)	MCC, MSCe MPI
	Regressão simples	Produção de serapilheira na MCC, MSC e MPI (t/ha/ano ⁻¹)	Precipitação acumulada
	Regressão simples	Produção de serapilheira na MCC, MSC e MPI (t/ha/ano ⁻¹)	Temperatura média
Quantificação de Nutrientes na serapilheira	Mann Whitney	carbono total (mg) na FAAC e MPI	Coletas
		nitrogênio total (mg. L ⁻¹) na FAAC e MPI	Coletas
		fósforo total (mg. L ⁻¹) na FAAC e MPI	Coletas
	Regressão simples	carbono total na FAAC e MPI (mg)	Produção de serapilheira
		nitrogênio total na FAAC e MPI (mg. L ⁻¹)	Produção de serapilheira
		fósforo total na FAAC e MPI (mg. L ⁻¹)	Produção de serapilheira
Decomposição da serapilheira	Ancova	Peso seco- áreas da FAAC e MPI (g)	Tempo decorrido
	Mann Whitney	Constante de decomposição-áreas da FAAC e MPI	malha do <i>litterbag</i>
Lixiviação de Nutrientes	Anova	Cod, amônia e ortofosfato (mg. L ⁻¹)	áreas da FAAC e MPI
	Kruskal Wallis	Nt, Nd e Pt (mg. L ⁻¹)	áreas da FAAC e MPI
MODC	Kruskal Wallis	Absorbância (250 e 365nm)	áreas da FAAC e MPI
Solo	Wilcoxon	carbono total e matéria orgânica das áreas da FAAC e MPI (%)	áreas da FAAC e MPI

4. Resultados

4.1 Produção de Serapilheira

A produção de serapilheira na FAAC no primeiro ano de estudo, 2012/2013, foi de 1,80 t.ha.⁻¹ano⁻¹ e na MPI, foi de 8,80 t.ha.⁻¹ano⁻¹. Já no segundo ano do estudo, 2013/2014, a produção da FAAC foi de 1,42 t.ha.⁻¹ano⁻¹ e MPI 7,77 t.ha.⁻¹ano⁻¹. A produção de serapilheira na MPI foi maior do que a observada nos dois tipos de moitas da FAAC.

Ao detalhar a produção da MPI observa-se que no primeiro ano (maio de 2012 a abril de 2013) o pico de produção na MPI ocorreu na segunda coleta de outubro e no segundo ano o maior aporte foi na primeira coleta de janeiro (Figura 8). Com relação às produções da FAAC, considerando MSC e a MCC, nota-se que os picos de produção foram distintos. Na MCC a maior produção do primeiro ano foi registrada na primeira coleta de outubro e no segundo ano foi registrada na segunda coleta de maio. Para MSC, a maior produção foi na segunda quinzena de maio do segundo ano de estudo (Figura 9).

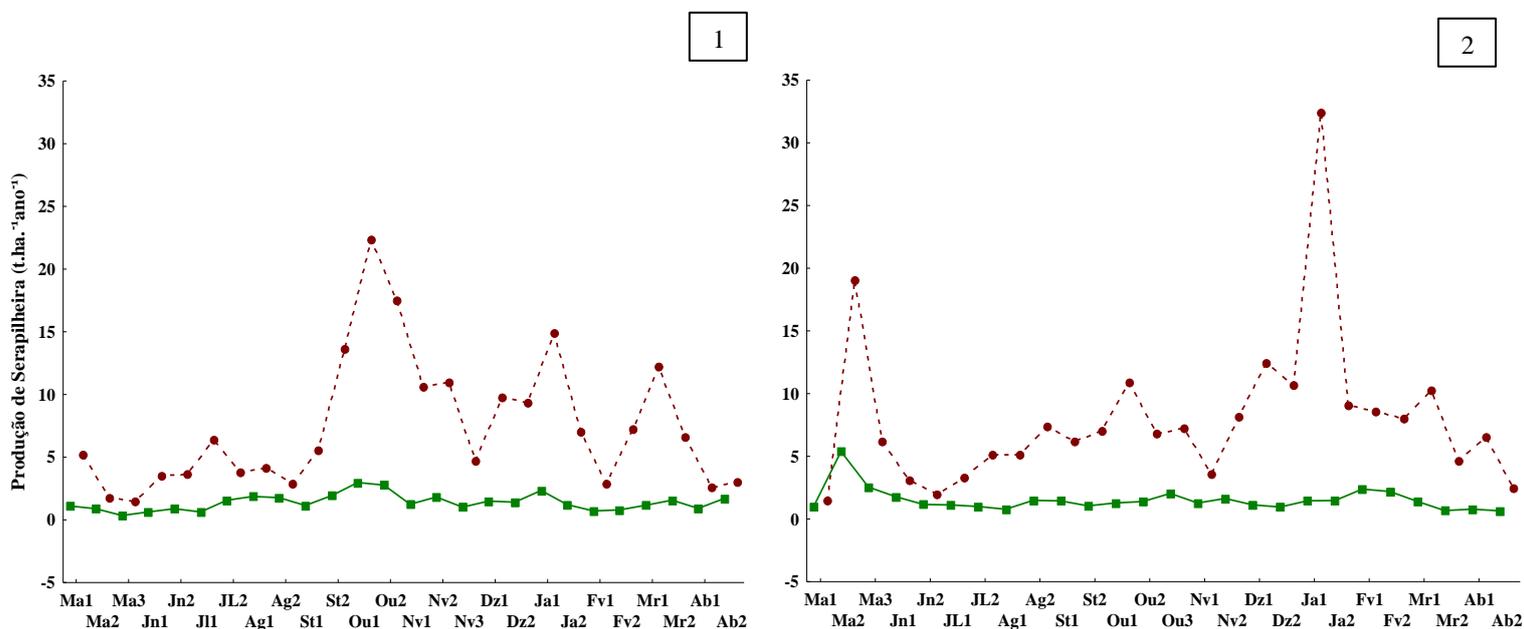


Figura 8: Variação temporal da produção da serapilheira durante os dois anos de coleta nas duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, (■) e Mata Periodicamente Inundada, (●) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) abril de 2012 a abril de 2013; (2) maio 2013 a abril 2014.

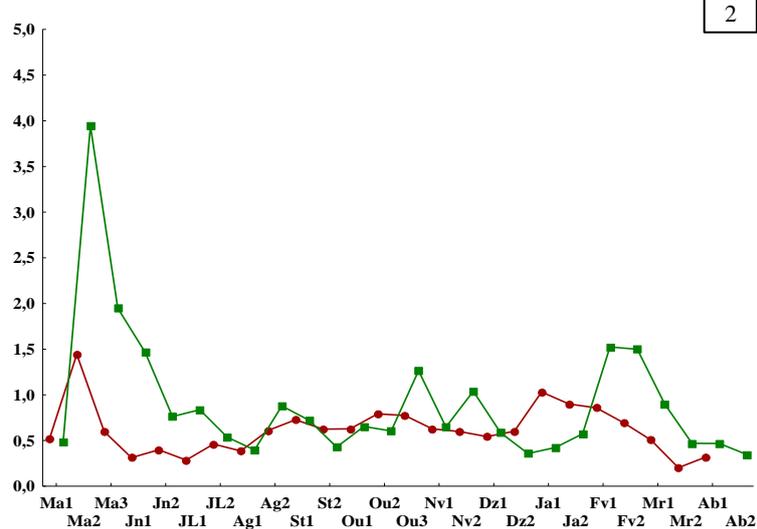
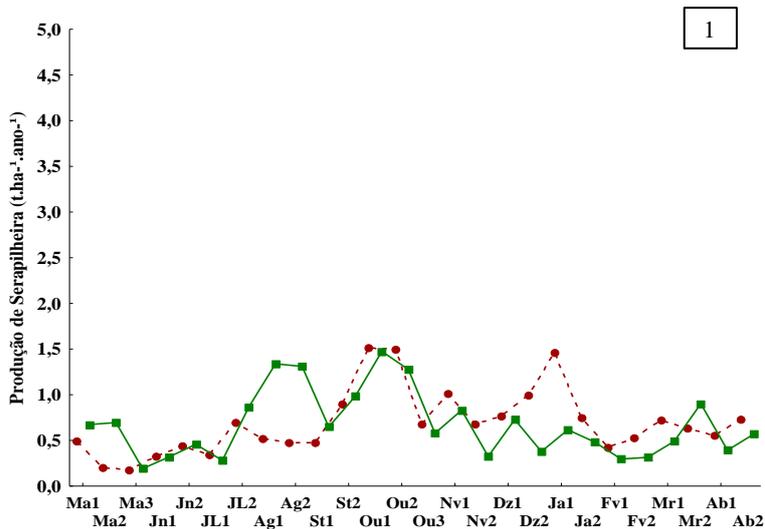


Figura 9: Variação temporal na produção da serapilheira ao longo de dois anos de coleta nas duas áreas da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, FAAC; Moita com *Clusia*, (●) e Moita sem *Clusia* (MSC) (■) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014.

De acordo com as contribuições das frações da serapilheira em cada coleta quinzenal ao longo dos dois anos de estudo, a maior parte da produção é composta por folhas. Na serapilheira da FAAC 72,46% foi composto por folhas; 18,10% por galhos e ramos; 3,06% estrutura reprodutiva e 3,21% de resto. Ao analisar as áreas da FAAC nota-se que há diferença entre as frações aportadas. Na serapilheira da MPI, as folhas representaram 97,52% e os outros 2,32% representados dos por galhos e ramos, 0,15% estrutura reprodutiva e 0% de resto. A variação na taxa de produção das diferentes frações que compõem a serapilheira produzida pelas duas fitofisionomias avaliadas sugere que a fração de folhas foi inferior ao volume de outras frações apenas em alguns coletores e em uma única coleta (Figura 10 e 11).

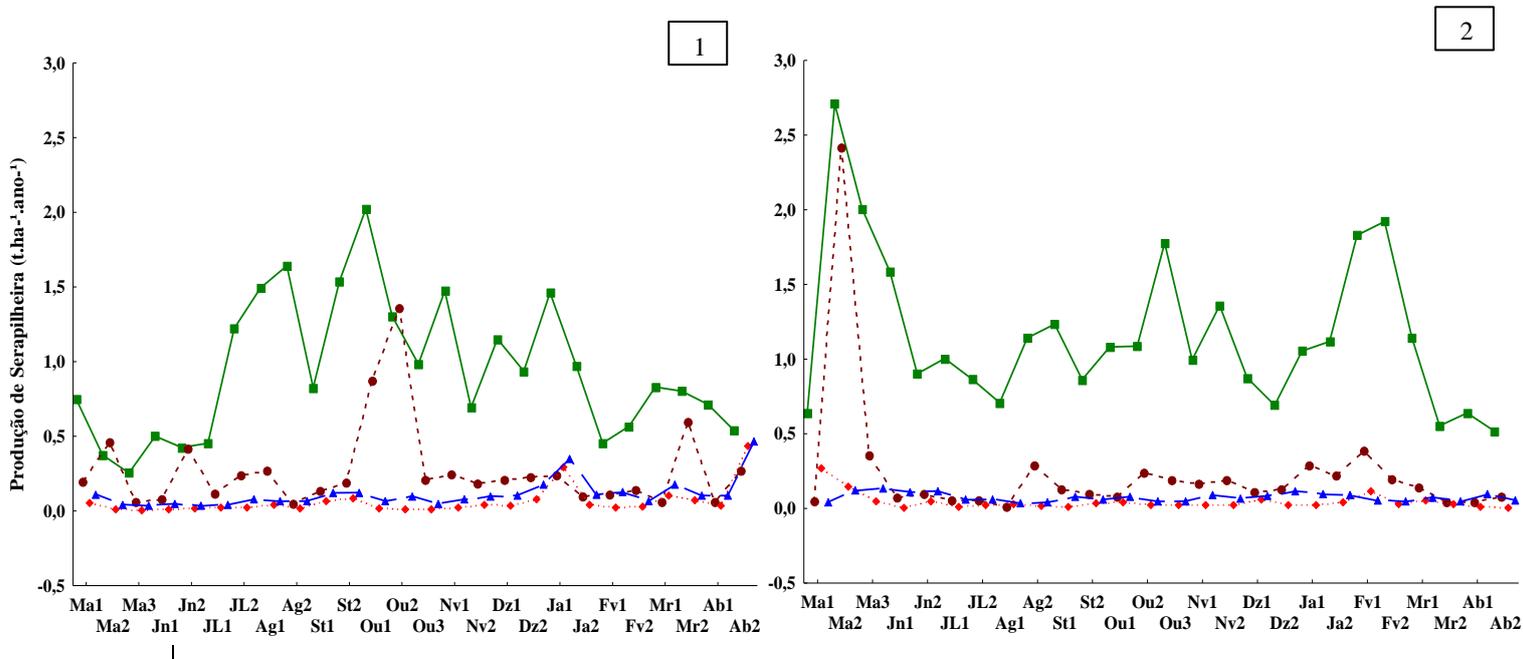


Figura 10: Variação temporal na produção das diferentes frações da serapilheira na Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, listando: folhas (■); galhos e ramos (●); estrutura reprodutiva (◆) e resto (▲) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014.

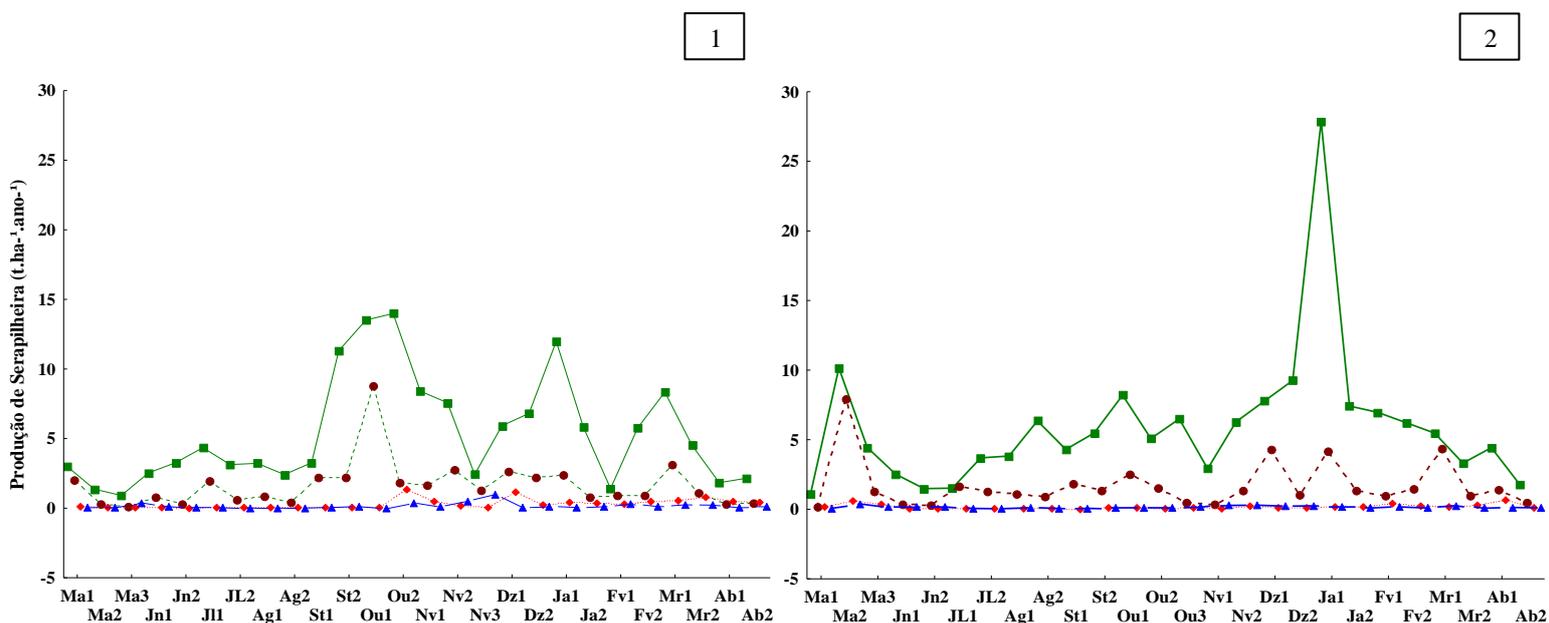


Figura 11: Variação temporal na produção das diferentes frações da serapilheira na Mata Periodicamente Inundada, listando: folhas (■); galhos e ramos (●); estrutura reprodutiva (◆) e resto (▲) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014.

Ao considerar os resultados obtidos na avaliação da produção da FAAC com base na produção de moitas dominadas ou não por indivíduos de *Clusia hilariana*, os valores também foram diferentes. Na MCC, 78,73% da serapilheira composta por folhas, 15,50 % de galhos e ramos, 1,19% de estrutura reprodutiva e 4,58% de resto (Figura 13) e na MSC, os valores foram: 64,83% para folhas, 21,3% para galhos e ramos, 6,80% para estrutura reprodutiva e 7,11% para resto. A avaliação da taxa de produção das diferentes frações que compõem a serapilheira da FAAC, considerando MCC e MSC obteve-se maior produção da fração de galhos e ramos em apenas uma amostra, na MSC, justamente após um pico de produção da fração de folhas, em janeiro de 2013 (Figura 12 e 13).

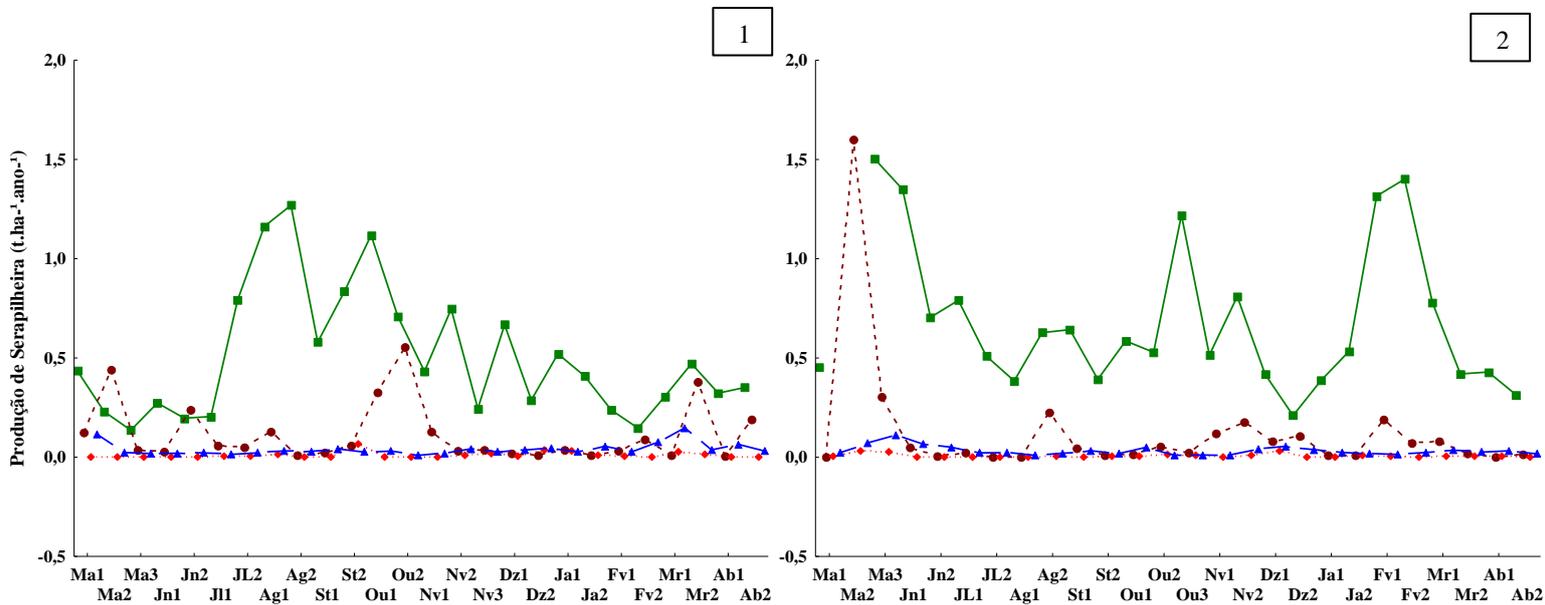


Figura 12: Variação temporal na produção das diferentes frações da serapilheira na área da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, moitas com dominância de *Clusia*, listando: folhas (■); galhos e ramos (●); estrutura reprodutiva (◆) e resto (▲) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014.

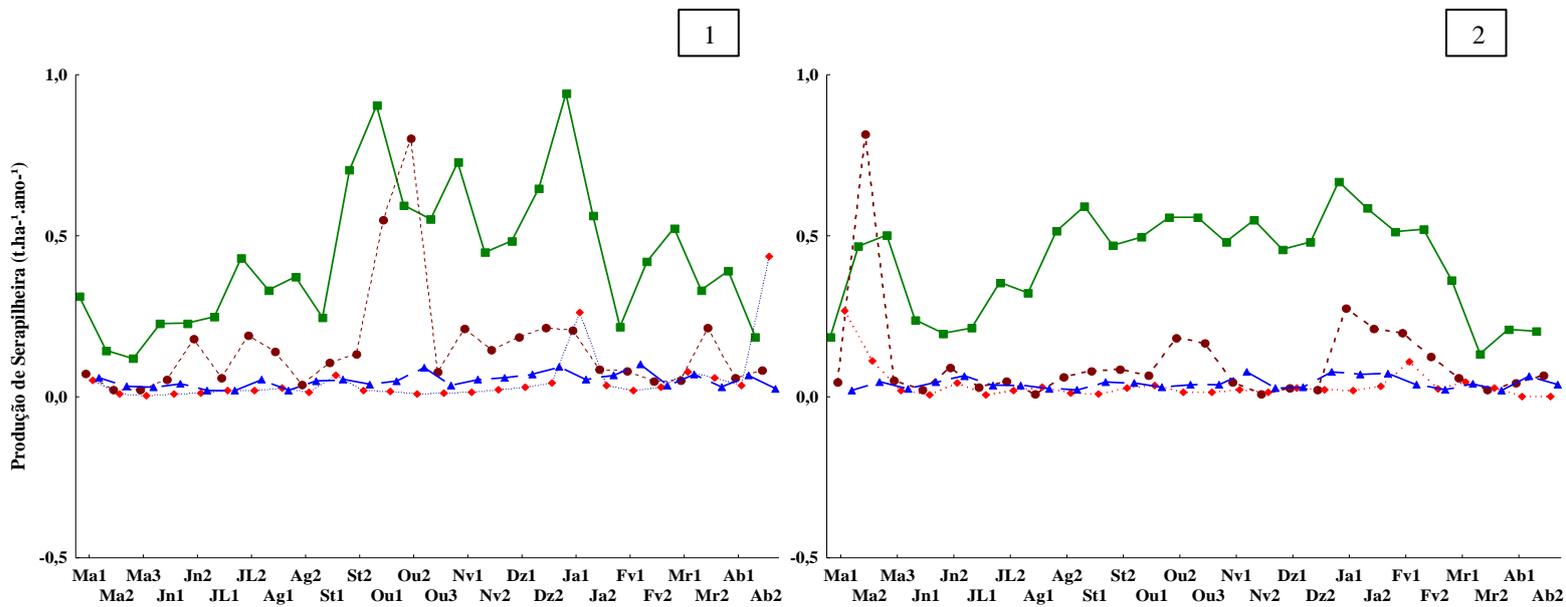


Figura 13: Variação temporal na produção das diferentes frações da serapilheira em moitas sem dominância da espécie *Clusia*, na Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, listando: folhas (■); galhos e ramos (●); estrutura reprodutiva (◆) e resto (▲) ao longo de dois anos no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) maio de 2012 a abril 2013; (2) maio de 2013 a abril de 2014.

A precipitação acumulada durante os 45 dias anteriores as coletas foi a única variável preditora que apresentou relação significativa com os dados de produção de serapilheira na área de MCC ($R^2= 0,10$; $t=-2,64$; $g.l.= 1,50$ e $p= 0,01$) (Figura 14, 1 e 2). A ocorrência de altos valores de produção em períodos de baixa precipitação, entre 1 e 100mm, indica que os picos de aporte de serapilheira ocorreram em baixas precipitações.

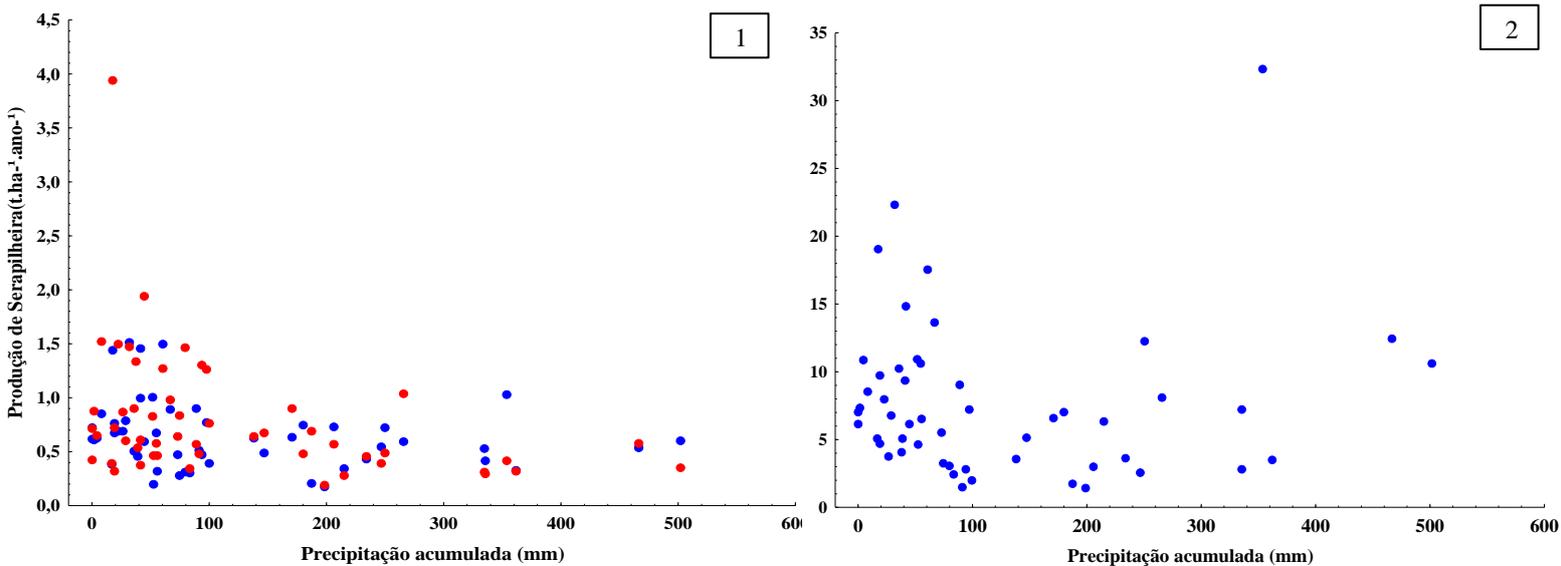


Figura 14: Produção da serapilheira em função da precipitação (mm), ao longo de dois anos de coleta, no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) Moitas com (●) e sem (●) *Clusia* da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* e (2) na Mata Periodicamente Inundada ($R^2 = 0,01$; $t = 0,41$; g.l.=1;50 e $p = 0,67$).

A regressão da produção de serapilheira em função da temperatura indicou que não existe correlação entre o aporte de serapilheira e a temperatura média para ambas fitofisionomias estudadas (Figura 15, 1 e 2). A produção da MPI apresentou pequena tendência de relação positiva, porém não significativa ($R^2 = 0,01$; $t = 1,41$; g.l.=1,50 e $p = 0,16$).

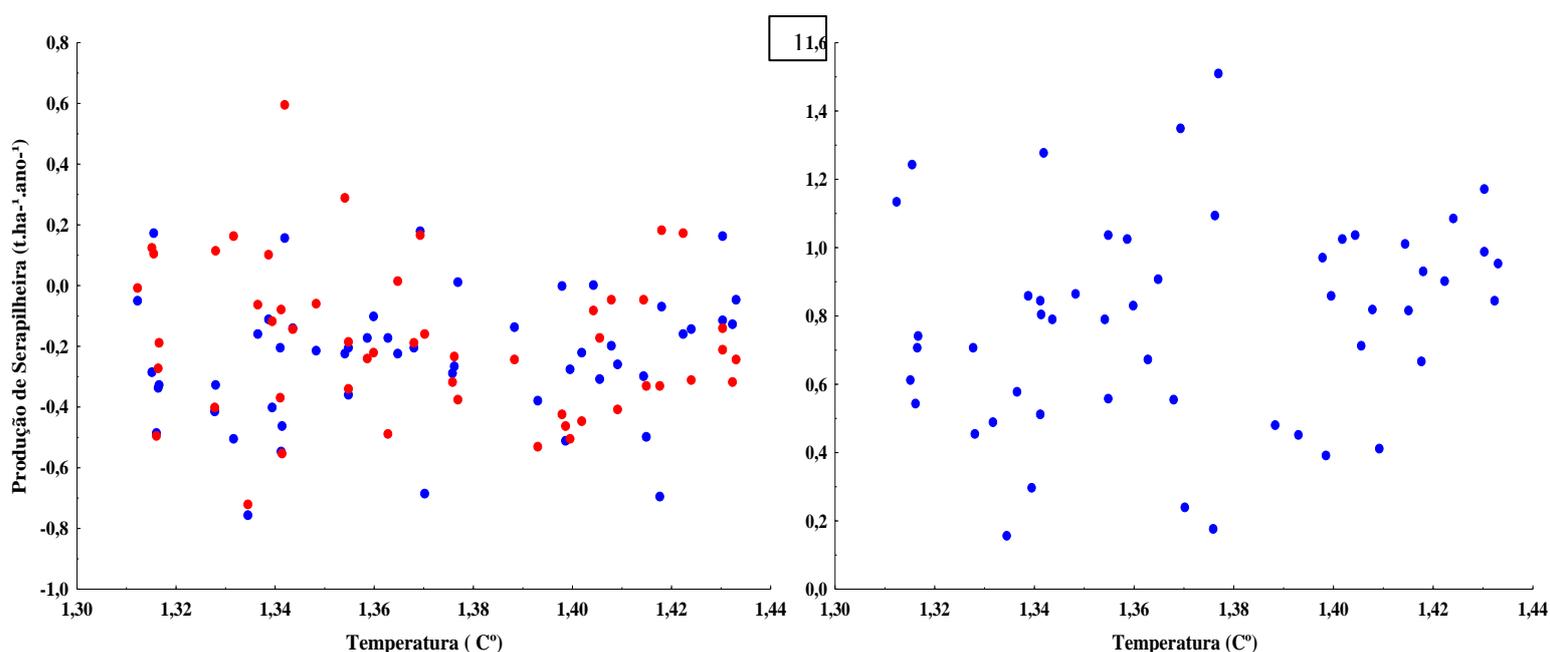


Figura 15: Relação da produção da serapilheira em função da temperatura média (C°) ao longo de dois anos de coleta no PARNA Restinga de Jurubatiba. (1) Áreas da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, moita com (●) e sem (●) *Clusia* e (2) Mata Periodicamente Inundada. Não houve correlação da produção em função da temperatura média (C°), sendo os valores moita com *Clusia* ($R^2= 0,00$, $t= 1,09$; g.l.=1,50 e $p= 0,25$); moitas sem *Clusia* ($R^2= 0,00$, $t= - 1,37$; g.l.=1,50 e $p= 0,22$).

4.2 Quantificação de nutrientes na serapilheira

As concentrações de nutrientes na serapilheira não apresentaram correlação significativa com a produção de serapilheira nas diferentes fitofisionomias (Figura 17). Entretanto, considerando todas as coletas, os valores obtidos diferem entre as fitofisionomias, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Concentração dos nutrientes (mg/g) (média \pm desvio padrão) nas duas fitofisionomias estudadas no PARNA Restinga de Jurubatiba.

Análise de Nutrientes		
Nutriente	Formação Arbustiva Aberta de <i>Clusia</i>	Mata Periodicamente Inundada
Carbono Total	0,49 \pm 0,01	0,52 \pm 0,02
Nitrogênio Total	8,19 \pm 4,07	14,82 \pm 19,21
Fósforo Total	0,19 \pm 0,12	0,11 \pm 0,03

A disponibilidade de cada nutriente ao longo das 28 coletas foi diferente nas duas fitofisionomias estudadas. No geral, foi verificado a oscilação na quantidade desses nutrientes durante o período de estudo (Figura 16).

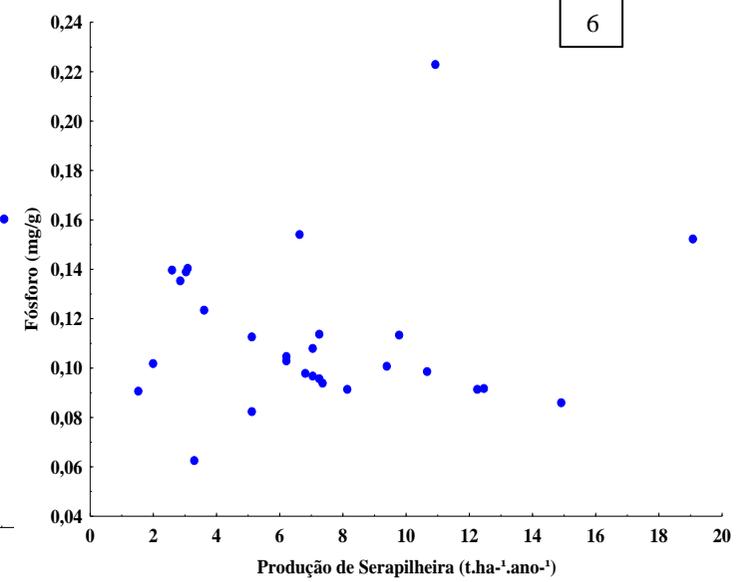
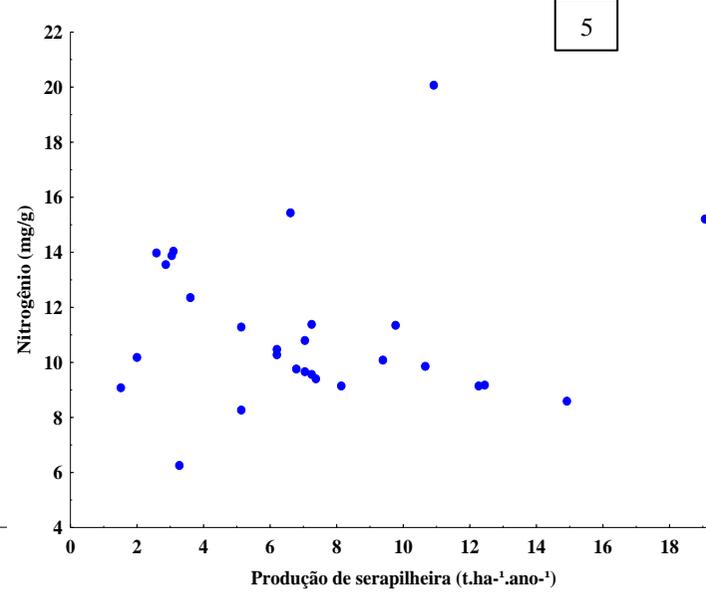
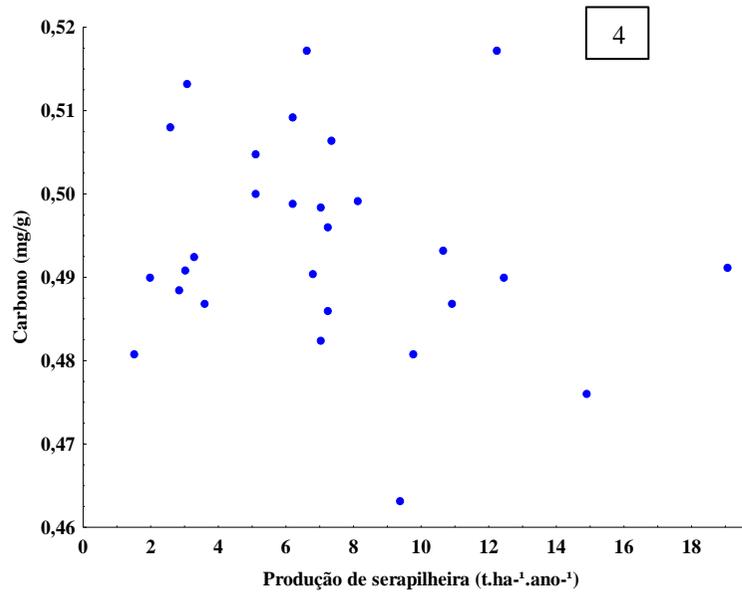
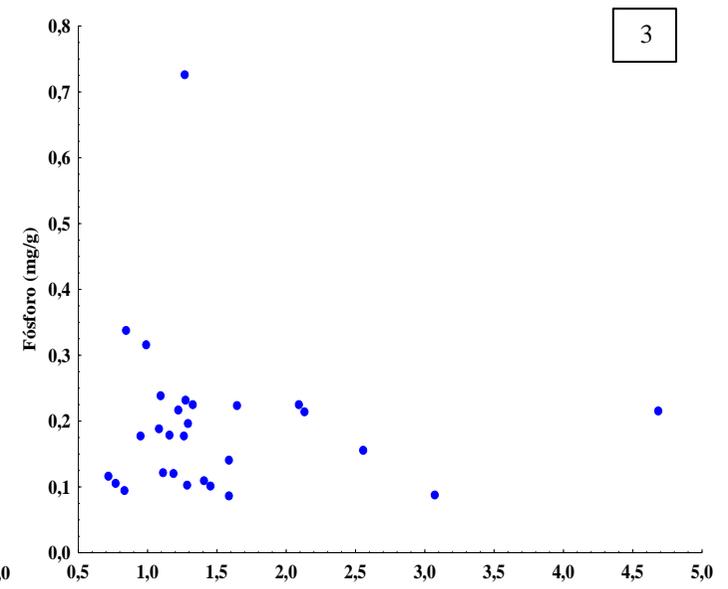
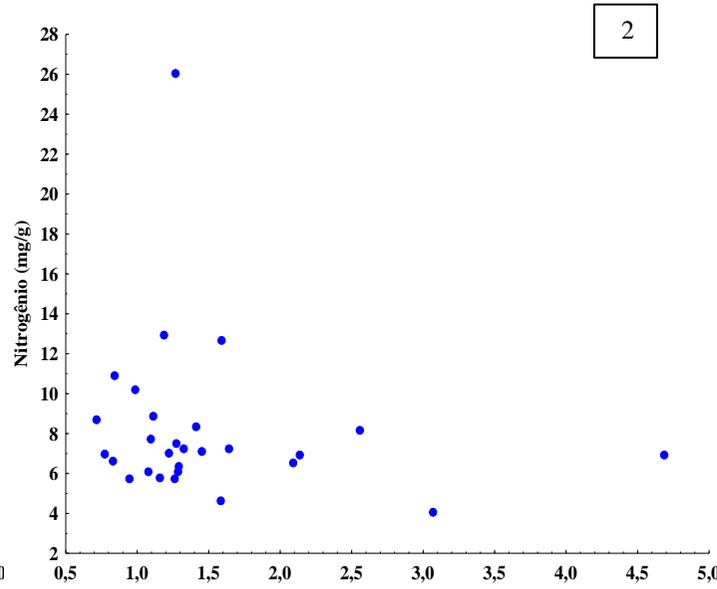
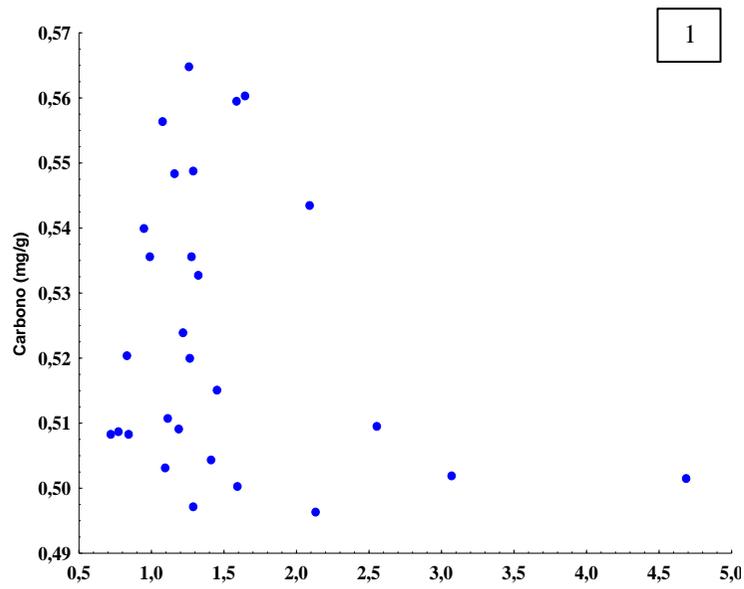


Figura 16: Concentração dos nutrientes: carbono total, nitrogênio total e fósforo total em função da produção de serapilheira na Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* (1), (2), (3) e na Mata Periodicamente Inundada, (4), (5), (6) no PARNA Restinga de Jurubatiba.

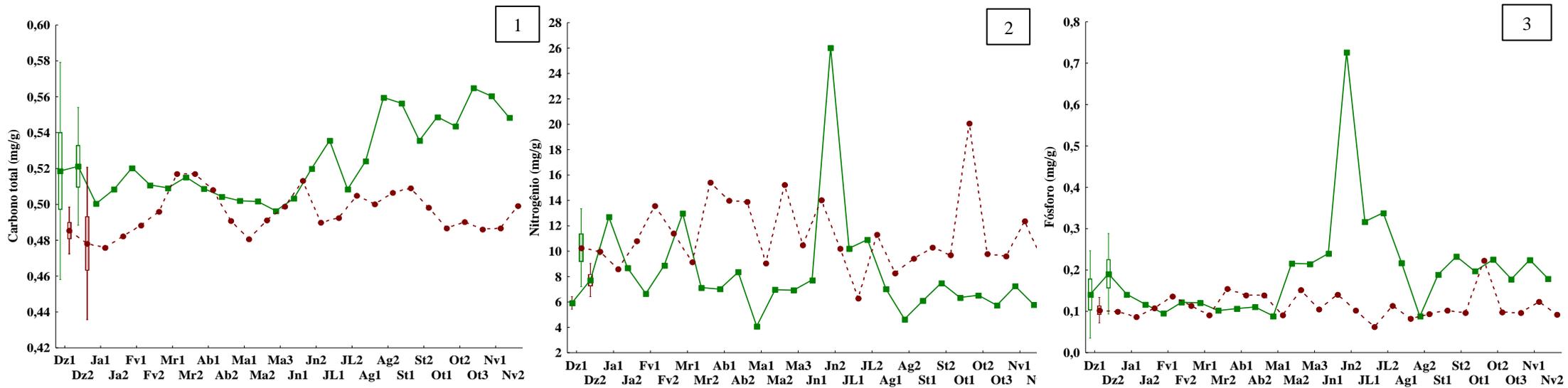


Figura 17: Concentração dos nutrientes, (1) carbono total; (2). nitrogênio total e (3) fósforo total na serapilheira aportada na Formação Arbustiva Aberta de *Clusia* (■) e Mata Periodicamente Inundada (●) ao longo de um ano de coleta.

4.3 Decomposição da Serapilheira

A perda de massa por decomposição referente ao tempo do experimento foi maior na MPI (68,58%), seguido pela MSC (48,89%) e, por fim, pela MCC (35,12%). O percentual da taxa de decomposição das folhas variou muito entre as áreas. Para os tratamentos com malha de 5mm, a MPI teve maior percentual de decomposição na sétima coleta (66,49% depois de 360 dias de experimento), já em MSC e MCC, o maior percentual ocorreu na primeira coleta, 60 dias após a alocação do material no campo (10,61% e 9,24%, respectivamente) (Figura 18-1). Para os tratamentos com malha de 0,02mm, a MPI teve maior percentual de decomposição na última coleta após 480 dias de experimento para todas as áreas respectivamente, MPI (45,00%) MSC (24,33%) e MCC, (27,14) (Figura 18-2).

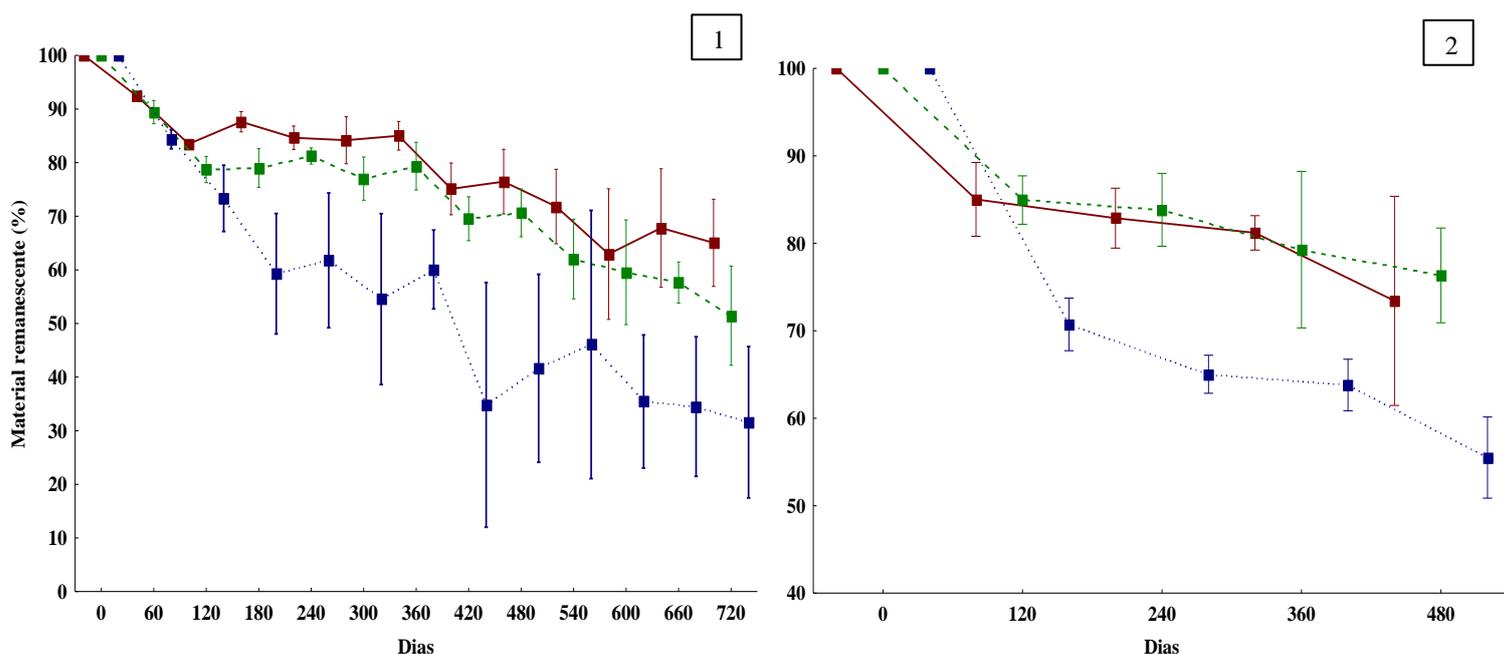


Figura 18: Material remanescente da serapilheira dos *litterbags* de diferentes malhas (1) 5mm (2) 0,02mm nas três áreas: Moita com *Clusia* (■), sem *Clusia* (■) e na Mata Periodicamente Inundada (■), ao longo de dois anos de coleta .

Ao analisar a variação temporal do peso seco dos *litterbags*, nota-se que o decaimento das folhas diferiu entre as áreas, tanto para a malha 5mm quanto para a

malha 0,02mm (Figura 20). De acordo com a interação significativa detectada pela Ancova aplicada aos *litterbags* de 5mm ($R^2=0,913$; $F=4,708$; $g.l.=2;30$; $p=0,0167$), depois de controlar o efeito do tempo na perda do peso seco, o material vegetal da MPI apresentou uma perda significativamente maior em relação MCC e MSC (Figura 19- 1 e 2). Diferenças significativas na perda de material vegetal entre as áreas da FAAC também foi registrada. Porém, a perda de biomassa vegetal nessa fitofisionomia foi menos pronunciada em relação à MPI (Figura 19 1 e 2).

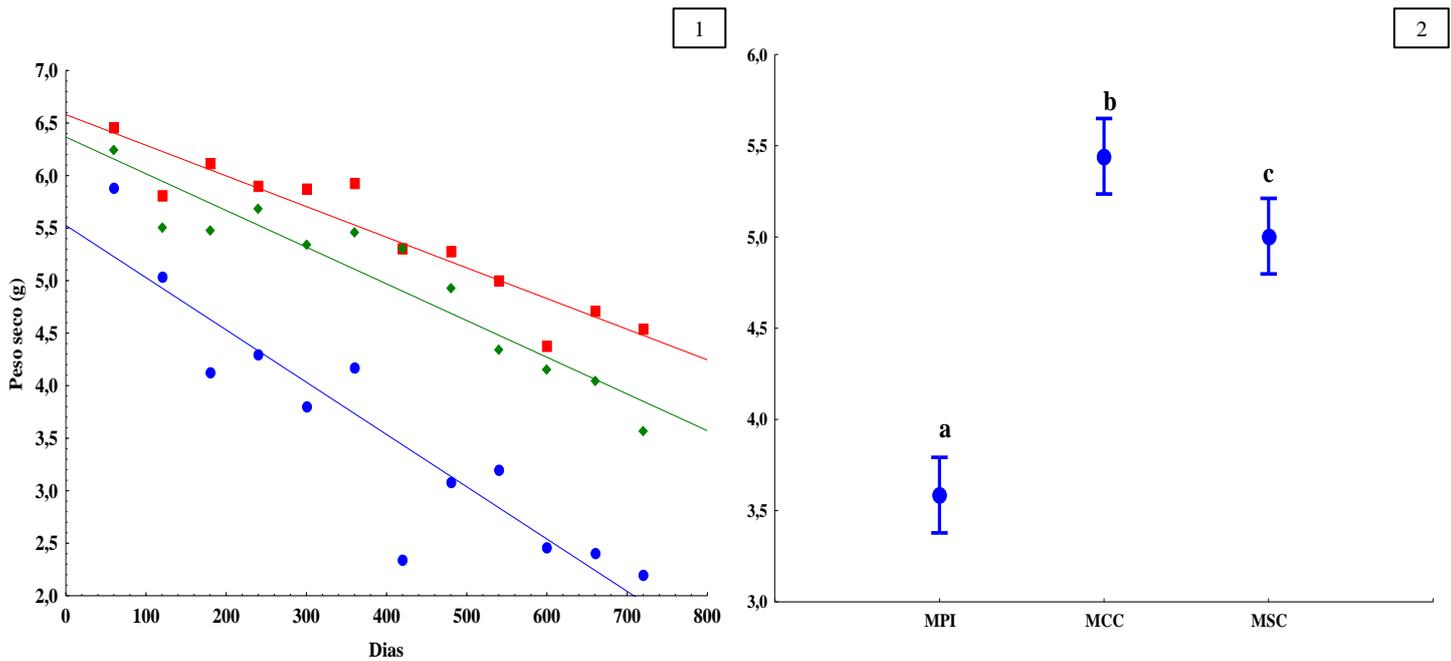


Figura 19: (1) Perda do peso seco dos *litterbags* de malha de 5mm ao longo de 24 meses de experimento de decomposição foliar nas duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, constituída pelas áreas de Moita sem *Clusia* (◆), Moita com *Clusia* (■) e a Mata Periodicamente Inundada (●) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (2). Comparação das médias do peso seco nas diferentes áreas após controlar o efeito do tempo. As barras verticais apresentam intervalo de confiança de 0,95.

A Ancova aplicada aos *litterbags* de 0,02mm ($R^2=0,879$; $F=85,90$; $g.l.=2;59$; $p<0,01$), após controlar o efeito do tempo na perda do peso seco, o material foliar vegetal da MPI apresentou uma perda significativamente maior em relação a FAAC (Figura 20- 1 e 2). Entretanto as áreas da FAAC não apresentaram diferenças significativas entre si.

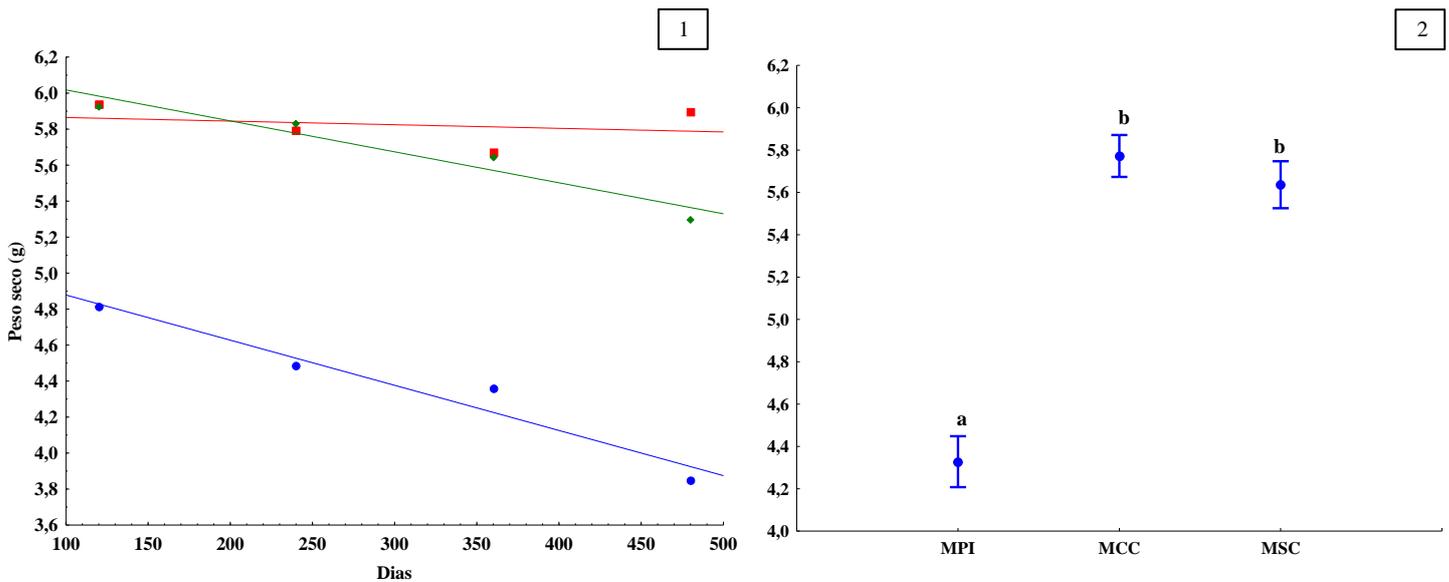


Figura 20: (1) Perda do peso seco dos *litterbags* de malha de 0,02mm ao longo de 1 ano e meio de experimento de decomposição foliar nas duas fitofisionomias, Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, constituída pelas áreas de Moita sem *Clusia* (●), Moita com *Clusia* (■) e a Mata Periodicamente Inundada (●) no PARNA Restinga de Jurubatiba. (2). Comparação das médias do peso seco nas diferentes áreas após controlar o efeito do tempo. As barras verticais apresentam intervalo de confiança de 0,95.

A avaliação da taxa de decomposição (K) e da Meia Vida do material decomposto nos *litterbags* sob as diferentes áreas mostrou que a decomposição é significativamente diferente nas duas fitofisionomias para a malha de 5mm (Tabela 3). A decomposição é significativamente mais lenta na MCC, sendo necessários 2,96 anos para que metade do material de *Clusia* seja perdido e, 12,6 anos para a decomposição de 95% do material. Para as MSC são necessários 2,13 anos para decompor a metade do material e 9,09 anos para decompor todo material. A decomposição é significativamente mais rápida MPI, onde estimado em aproximadamente 12 meses para a decomposição da metade do material e a perda de 95% de sua massa se dá após 4 anos.

A taxa de decomposição (K) para os *litterbags* de malha de 0,02mm foi significativamente diferente entre as áreas da FAAC e a MPI (Tabela 3). A decomposição é mais lenta na MCC, visto que são necessários 2,78 anos para que metade do material de *Clusia* seja perdido e 10,71 anos para a decomposição de 95% do material. Para as MSC os valores são 2,73 anos para decompor a metade de seu material e 10,71 anos para decompor todo material. Na MPI é necessário um pouco mais de 1

ano para a decomposição de metade do material e a perda de 95% de sua massa se dá após 5 anos.

Tabela 3: Taxa de decomposição (k) e meia-vida das folhas, estimada pela expressão exponencial simples para 720 dias e 480 dias de experimento com as respectivas malhas (5mm e 0,02mm) nas áreas da Formação Arbustiva Aberta de *Clusia*, MCC, MSC e na MPI no PARNA Restinga de Jurubatiba. Letras diferentes indicam médias que diferem significativamente entre si.

	K (ano)				Meia Vida (ano)			
	5mm		0,02mm		5mm		0,02mm	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Moita com <i>Clusia</i>	0,24 ^a	0,03	0,28 ^a	0,12	2,96 ^a	0,45	2,78	0,95
Moita sem <i>Clusia</i>	0,33 ^b	0,07	0,28 ^a	0,12	2,13 ^b	0,36	2,73	0,89
Mata Periodicamente Inundada	0,76 ^c	0,20	0,61 ^b	0,26	0,96 ^c	0,21	1,28	0,45

Ao avaliar os *litterbags* das duas malhas, nota-se que a taxa de decomposição na área de MCC foi a mais lenta em ambas as malhas.

Tabela 4: Teste U de Mann-Whitney para comparação dos valores de K entre a malha 5 mm e 0,02 mm nas três áreas.

Área	N	p	
Formação Arbustiva Aberta de <i>Clusia</i>	Moita com <i>Clusia</i>	5	0,92
	Moita sem <i>Clusia</i>	5	0,02
Mata Periodicamente Inundada	4	0,04	

4.4 Lixiviação de Nutrientes

Comparando a concentração de carbono orgânico dissolvido, nitrogênio total, nitrogênio dissolvido, fósforo total, ortofosfato e amônia, foi observado que a MPI apresenta os maiores valores médios (Tabela 5).

Os nutrientes foram significativamente diferentes nas áreas estudadas considerando: AN, MSC, MCC e MPI. O ortofosfato foi o único que apresentou valores semelhantes em todas as áreas consideradas. (Tabela 5, Figura 21) Pode-se observar que a AN foi a área que apresentou as menores médias dos valores de nutrientes (Tabela 5, Figura 21 e 22).

Tabela 5: Valores da Média (\pm) Desvio Padrão das concentrações dos nutrientes lixiviados na água após percolação no solo em cada área estudada. Resultado da Anova e Kruska-Wallis. Os nutrientes são: Cod (carbônico orgânico dissolvido), Nd (nitrogênio dissolvido), Nt(nitrogênio total) e Pt (fósforo total).

Áreas	Cod (mg. L ⁻¹)	Amônia (mg. L ⁻¹)	Ortofosfato (mg. L ⁻¹)	Nd (mg. L ⁻¹)	Nt (mg. L ⁻¹)	Pt (mg. L ⁻¹)
Areia Nua	16 \pm 4,43	1,55 \pm 0,67	1,13 \pm 0,62	4,28 \pm 0,52	4,83 \pm 0,60	0,23 \pm 0,17
Moita com <i>Clusia</i>	52,47 \pm 13,13	2,63 \pm 0,89	1,34 \pm 0,40	6,17 \pm 0,77	6,33 \pm 1,11	1,39 \pm 0,55
Moita sem <i>Clusia</i>	51,34 \pm 48,77	3,33 \pm 1,13	1,50 \pm 0,94	8,99 \pm 3,67	8,66 \pm 3,53	2,17 \pm 1,29
Mata Peridicamente Inundada	152,62 \pm 75,02	7,04 \pm 3,49	3,32 \pm 2,14	17,55 \pm 7,37	21,71 \pm 4,97	6,62 \pm 3,04
F	14,36	10,29	2,15			
H				17,59	15,57	18,15
g.l.	(3;20)	(3;20)	(3;20)			
p	<0,01	<0,01	>0,05	<0,01	<0,01	<0,01

A análise *a posteriori* mostrou que para a AN e MCC, assim como a MSC apresentaram valores similares para a concentração de carbono orgânico dissolvido, amônia e nitrogênio dissolvido. Já a MPI foi mais semelhante a MSC para estas concentrações. (Figura 21 e 22). Para nitrogênio total e fósforo total, a AN, MCC e MSC apresentaram valores semelhantes e mais uma vez a MPI e MSC apresentaram valores mais próximos.

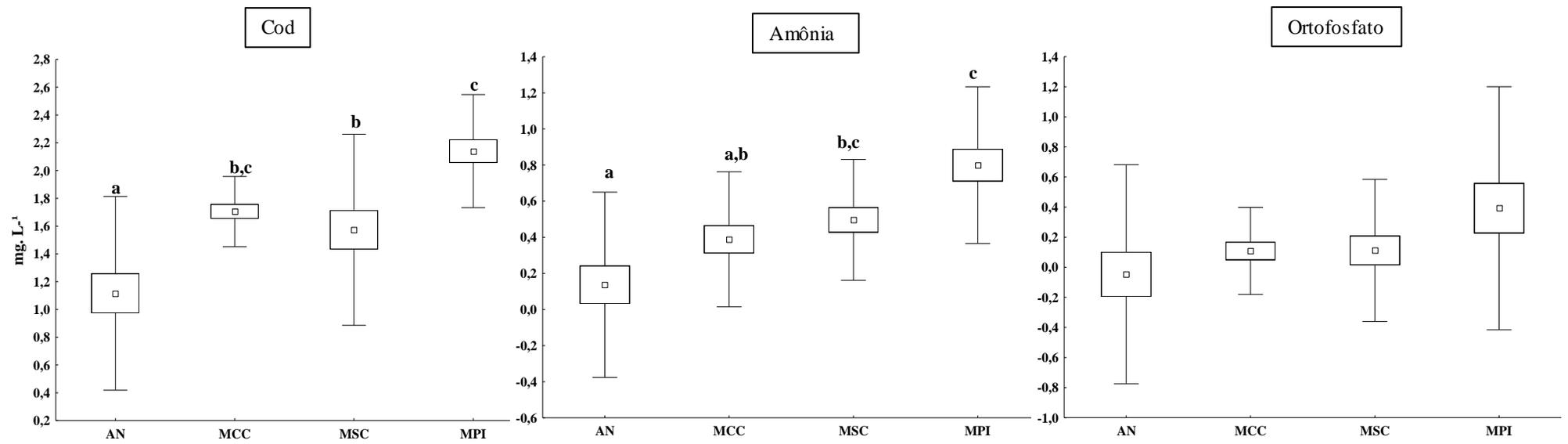


Figura 21: Comparação das médias das concentrações de nutrientes encontrados na água lixiviada do sedimento em cada área. As letras diferentes indicam diferenças estatísticas de acordo com a Tabela 5. Média (\square), Erro (\square) e Desvio Padrão (\perp). Dados logaritizados.

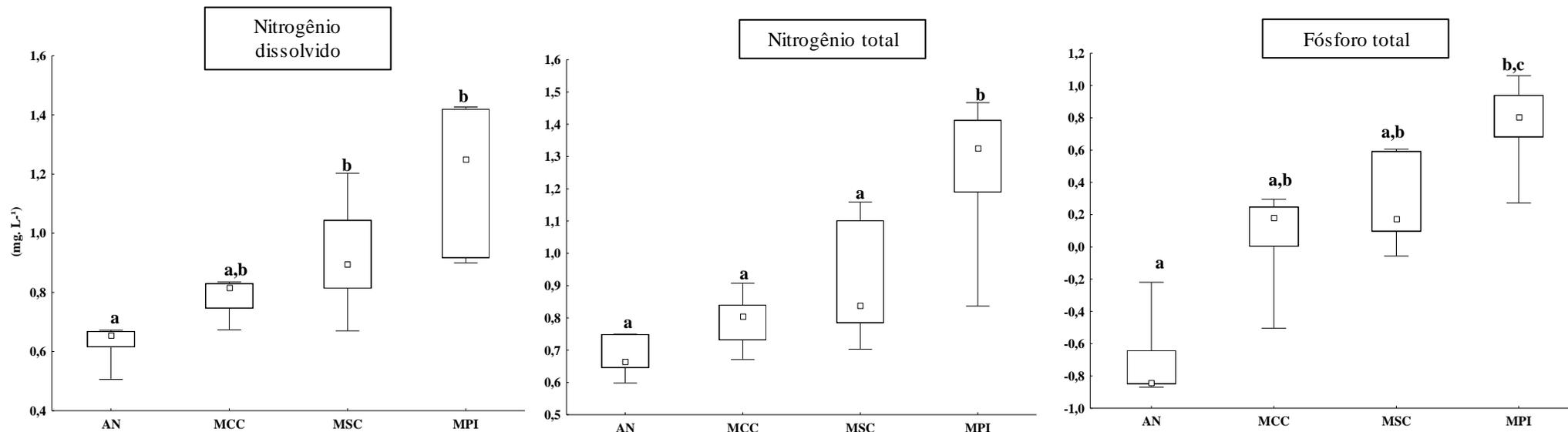


Figura 22: Comparação da mediana da concentração dos nutrientes analisados encontrados na água lixiviada do sedimento em cada área. As letras diferentes indicam diferenças estatísticas de acordo com a Tabela 5. Mediana (\square), \pm segundo e terceiro percentil (\square) e mínimo e máximo (\perp). Os dados foram logaritimizados.

A análise óptica da matéria orgânica dissolvida indicou que há diferenças na composição da MODC nas áreas estudadas ($H= 9,66$; $p=0,02$). A AN foi a área que apresentou as menores moléculas de carbono, porém com grande variação de tamanhos e, portanto, maior amplitude de variação dos valores. As áreas da FAAC possuem maior tamanho de moléculas e menor razão da absorbância. A MPI não apresentou diferença significativa quando comparada às demais áreas, apresentando tamanho de moléculas similares aos encontrados tanto na AN quanto nas áreas da FAAC (Figura 23).

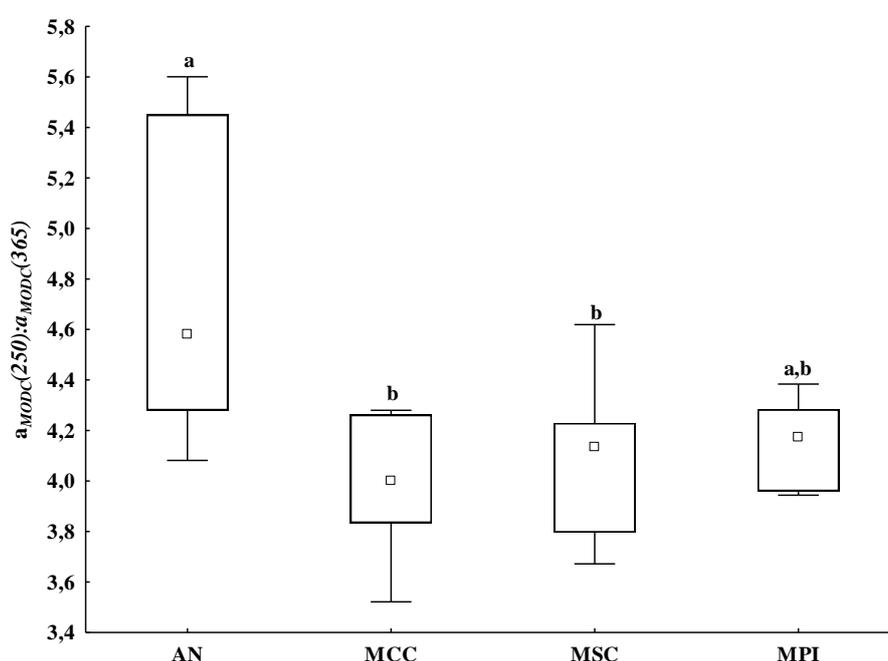


Figura 23: Razão entre os coeficientes de absorção em 250 e 365nm nas diferentes áreas, Areia nua, Moita com *Clusia*, Moita sem *Clusia* e Mata Periodicamente Inundada, do PARNA Restinga de Jurubatiba. No gráfico a mediana é representada (\square), \pm segundo e terceiro percentil (\square) e mínimo e máximo (\perp).

4.5 Análises do solo

Em uma inspeção visual é possível verificar que houve variação dos valores obtidos para matéria orgânica e carbono total nas diferentes profundidades do solo nas áreas estudadas. Também é possível visualizar que os maiores valores foram encontrados nas frações superficiais destes solos (Figura 24 e 25).

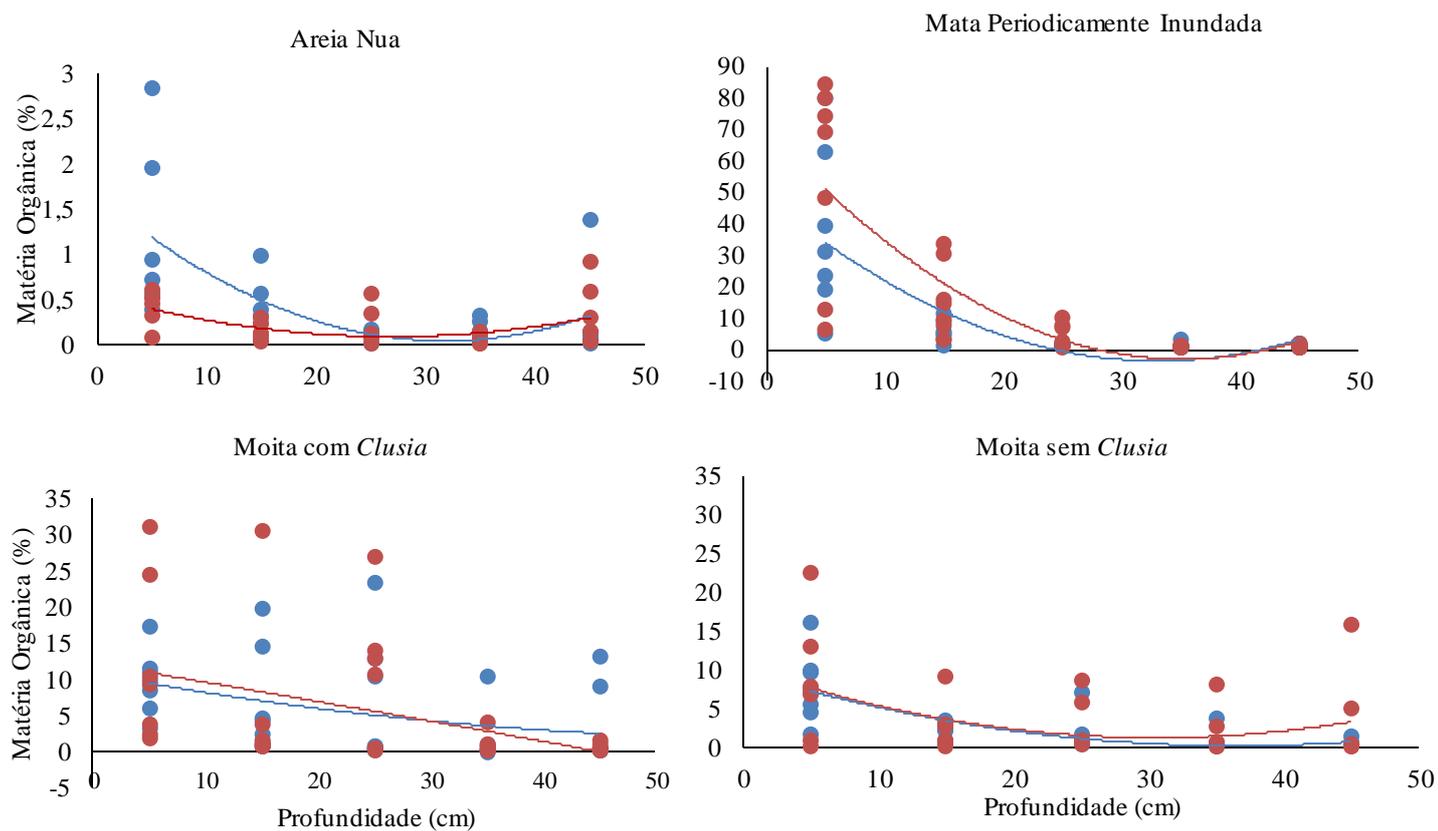


Figura 24: Concentração da matéria orgânica ao longo das diferentes profundidades do solo nas áreas estudadas do PARNA Restinga de Jurubatiba, antes (●) e após (●) a passagem de água.

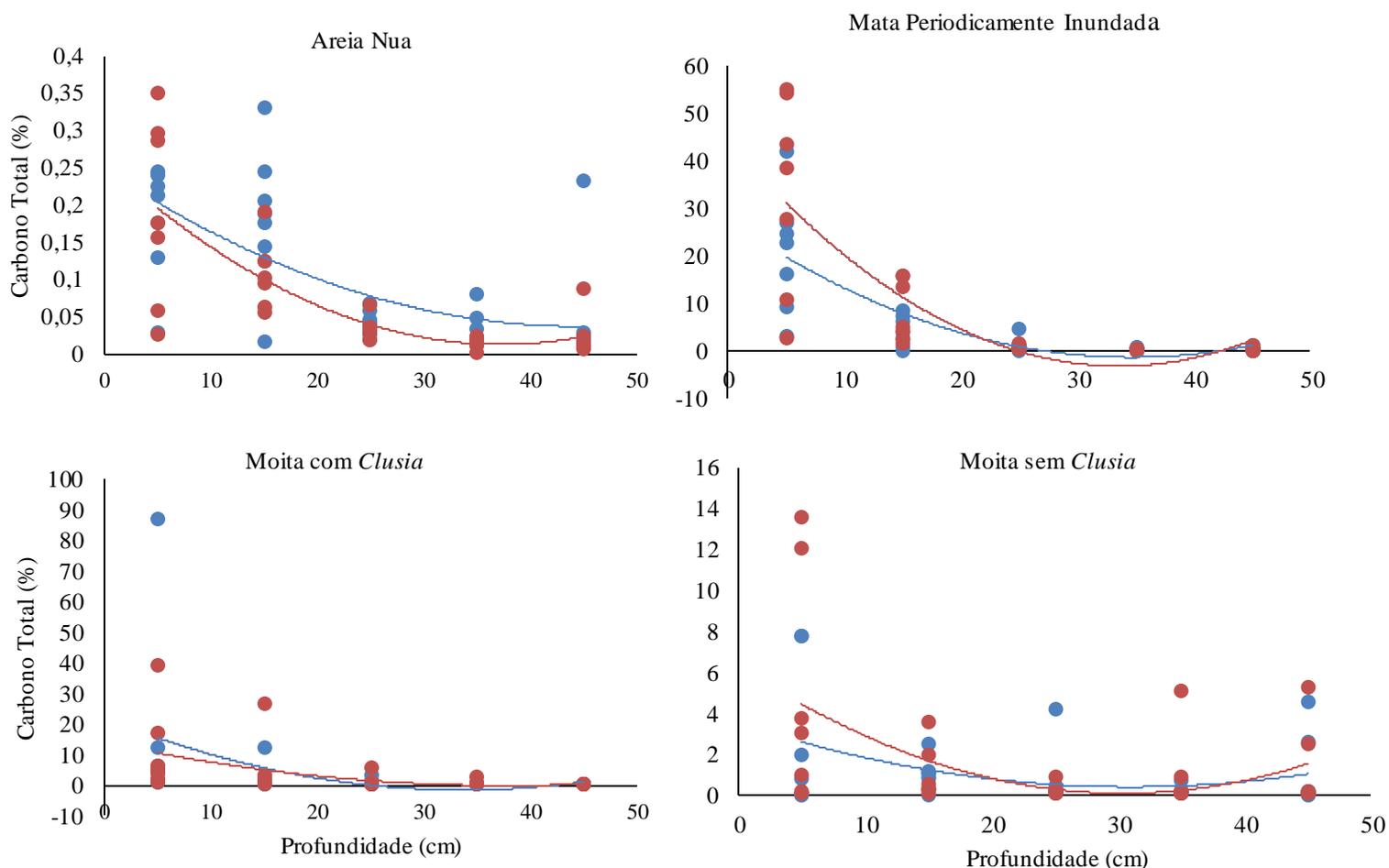


Figura 25: Concentração de carbono total ao longo das diferentes profundidades do solo nas áreas estudadas do PARNA Restinga de Jurubatiba, antes (●) e após (●) a passagem de água.

A AN e a MPI foram as únicas áreas que tiveram alterações significativas no percentual da matéria orgânica antes e depois da passagem de água no solo (Tabela 6 e Figura 27). Na análise do percentual de carbono total nas diferentes áreas, apenas a AN obteve diferenças significativas antes e após a passagem da água (Tabela 6 e Figura 28).

Tabela 6: Valores do teste não-paramétrico (Wilcoxon) para amostras dependentes da análise do percentual de matéria orgânica e carbono total nas áreas estudadas no PARNA Restinga de Jurubatiba.

Área	Matéria orgânica (%)			Carbono Total (%)	
	N	W	p	W	p
Areia nua	6	1,99	0,04 *	0,85	0,04
Moita com <i>Clusia</i>	6	0,16	0,86	0,51	0,61

Moita sem <i>Clusia</i>	6	0,5	0,61	0,17	0,87
Mata Periodicamente Inundada	6	2,19	0,03*	0,51	0,61

*Indica diferenças estatisticamente significativas.

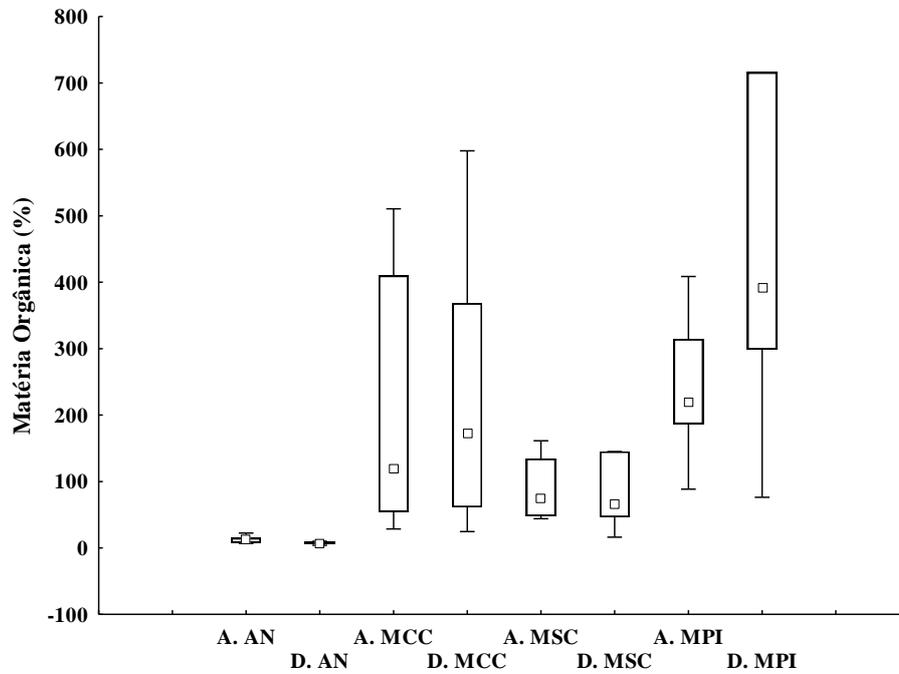


Figura 26: Percentual da matéria orgânica ao longo de 28 coletas nas quatro áreas estudadas, antes (A) e após (D) a passagem de água no solo do PARNA Restinga de Jurubatiba. A mediana (□), ± segundo e terceiro percentil (▭) e mínimo e máximo (⊥).

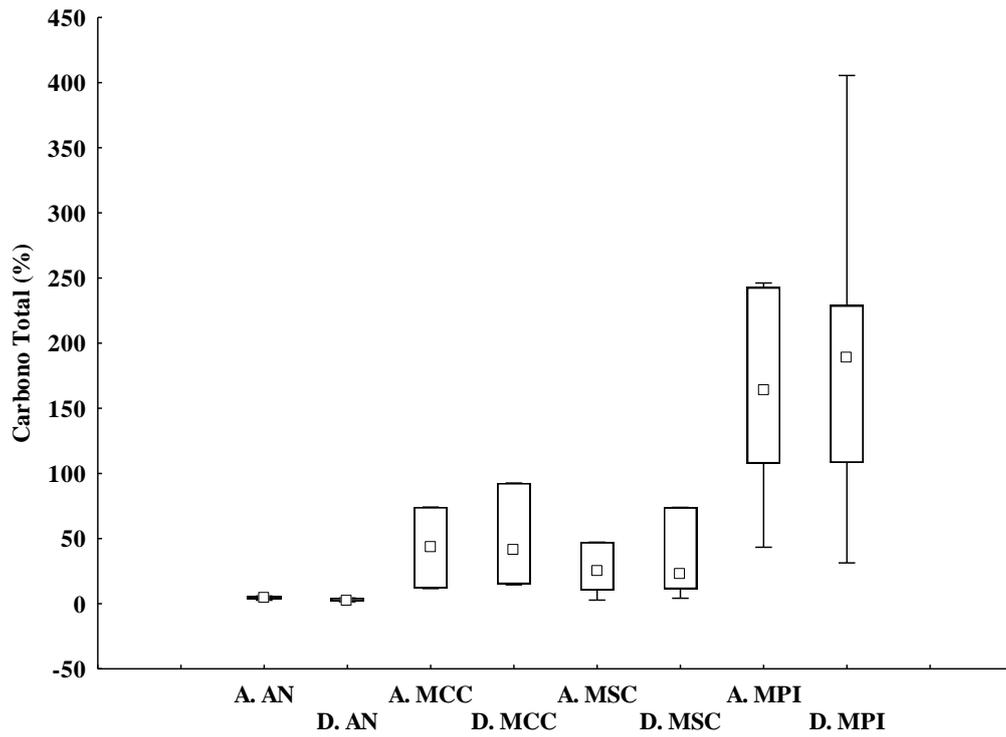


Figura 27: Percentual de carbono total ao longo de 28 coletas nas quatro áreas estudadas, antes (A) e após (D) a passagem de água no solo do PARNA Restinga de Jurubatiba. A mediana (\square), \pm segundo e terceiro percentil (\square) e mínimo e máximo (\perp).

5. Discussão

5.1 Produção de Serapilheira

Os valores de produção de serapilheira registrados para a MPI foram semelhantes aos valores encontrados por Brietz e colaboradores (2005) e Varjabedian & Pagano (1989) para outras formações florestais de restinga (Tabela 7). Ainda segundo a bibliografia, a produção de serapilheira em Matas de Restinga se apresentou menor do que a registrada para outros sistemas florestais tais como, Mata de Tabuleiro, Mata Atlântica (Tabela 7) e Mata Amazônica (Villela & Proctor, 1999).

Com relação à produção nas moitas pertencentes a FAAC, os valores obtidos (1,42-1,80 t.ha.ano⁻¹) estão abaixo dos valores registrados por Silva (2003), que realizou um estudo comparando o aporte de material em moitas dominadas por indivíduos de *Clusia* adultos e senescentes. Os valores aqui obtidos são próximos aos encontrados em outros sistemas oligotróficos, tais como áreas de cerrado e caatinga amazônica (Tabela 7).

A variação na produtividade entre os sistemas considerados pode ser resultado da grande heterogeneidade ambiental, as quais apresentam distintas composições florísticas, estruturais e funcionais, conforme as condições do solo e seu estabelecimento entre os cordões litorâneos, do nível do lençol freático da distância do oceano (Malavolta, 1989; Silva & Brietz, 2005). Considerando que a Mata de Restinga é uma fitofisionomia associada a áreas mais próximas de cursos d'água e com solos distintos, formados pelo carreamento de sedimentos de áreas de drenagem continentais, espera-se também uma maior produtividade e, conseqüentemente, maior biomassa em condições estratificadas (Ramos & Pellens, 1993). Essa diferença está refletida diretamente na produção de serapilheira desse ecossistema que difere das áreas mais altas dos cordões arenosos.

Assim como descrito na literatura, a fração vegetal mais representativa foi das folhas para as duas fitofisionomias. Estas representam o compartimento mais importante na maioria dos estudos de produção de serapilheira em florestas tropicais (Barnes *et al.*, 1998), e essa fração depende das espécies, da estrutura do local e idade das árvores (Zimmermann *et al.*, 2002), pois está relacionada à produtividade e à renovação de tecidos permitida pelas altas taxas fotossintéticas. As frações de folha obtidas para a MCC 78,73% são comparáveis aos valores encontrados para as Florestas de restinga,

em um trabalho realizado por Britez e colaboradores (2005) enquanto os valores obtidos para as áreas de MPI estudadas se equiparam a valores encontrados para Floresta Atlântica (Tabela 7).

Tabela 7: Estimativas da serapilheira produzida total e foliar calculada em alguns ecossistemas tropicais, adaptada Pires e colaboradores (2006).

Ecossistema/ local	Estado	Produção (t.há.ano ⁻¹)	Folha %	Autores
Floresta da Restinga				
Maricá	RJ	6,2	74	Ramos & Pelles (1994)
Iha do Cardoso	SP	3,9		Moraes et al (1998;1999)
Iha do Mel	PR			Britez & Pires (dados não publicados)
Floresta periodicamente Inundável		6,6		Britez & Pires (dados não publicados)
Floresta não inundável		5,8		Britez et al (2005)
Floresta periodicamente inundável		7,7	73	Britez et al (2005)
Floresta não inundável		5,2	62	Britez et al (2005)
Restinga pós-praia		5,1	75	Pires et al (2006)
Floresta Atlântica				
Guarujá	SP	7,9	63	Varjabedian & Pagano (1989)
Cubatão / Secundária	SP			Leitão & filho et al (1993)
Menos poluída-rio Pilões		5,7	81	Leitão & filho et al (1993)
Mais poluída- rio Mogi		4,5	80	Moraes et al. (1998;1999)
Iha Cardoso	SP	6,3	70	Mazurec & Villela (1998)
Campos dos Goytacazes	RJ			Mazurec & Villela (1998)
Floresta à 50m altitude		9,5	6,7	Mazurec & Villela (1998)
Floresta à 200m altitude		9,1	64	Pagano (1989)
Floresta Estacional				Morellato (1992)
Rio Claro	SP	8,6	63	César (1993)
Rio Jundiá	SP	8,6	64	Diniz & ((1997)
Rio Anhembi	SP	8,8	65	
Araras		8,8	66	
São Francisco de Itabapoana/ Floresta Atlântica de Tabuleiro	RJ			
Sem corte seletivo recente		7,6	70	Villela et al (1998)
Com corte seletivo recente		7,9	69	Villela et al (1998)
Floresta Amazônica				
Belém/ Terras Baixas	PA	9,9	81	Klinge (1977)
Venezuela- San Carlos/Terra Firme		10,3	74	Cuevas & Medina (1986)
Caatinga' Alta		5,6	71	Cuevas & Medina (1986)
Caatinga Baixa		2,4	88	Cuevas & Medina (1986)

Ilha de Macará: Terras Baixas	RR	9,3	68	Scott et al (1992)
Dominada por <i>Peltorogyne gracilipes</i>		7,9	70	Villela & Proctor (1999)
Floresta pobre em <i>P. gracilipes</i>		9,1	66	Villela & Proctor (1999)
Floresta sem <i>P. gracilipes</i>		8,6	70	Villela & Proctor (1999)
Terras Baixas	PA	9,7	70	Smith et al. (1998)
Outras formações				Delitti (dados não publicados)
Moji-Guaçu/ Mata ciliar	SP	6,7	11,3	Delitti (dados não publicados)
Moji-Guaçu/ Campo cerrado	SP	3,2	8,2	Morellato (1992)
Jundiaí/ Floresta de Altitude	SP	7	70	König et al. (2002)
Santa Maria/ Floresta Decidual	RS	9,2	67	Proctor et al. (1983)
Sarawak – Floresta Aluvial		11,5	57	Proctor et al. (1983)
Keranga -Heath Forest		9,2	61	Proctor et al. (1983)
Dipterocarpos		8,8	61	Proctor et al. (1983)

A maior produção de serapilheira na MCC ocorreu nos períodos de baixa precipitação, produzindo um efeito de sazonalidade climática (Proctor *et al.*, 1983; Brietz *et al.*, 2005; Mazurec & Villela 1998; Moraes *et al.*,1999). Essa maior liberação de folhas nas moitas com dominância de *Clusia* em resposta a menor precipitação pode ser uma estratégia contra a perda de água e também pode estar associada a um processo simultâneo de produção de folhas novas, que aproveitam as substâncias das folhas novas ou em desenvolvimento (Jackson, 1978). Esse padrão sazonal também foi observado em outros ecossistemas, como o manguezal e foram relacionados a mecanismos de períodos de adaptação ao estresse hídrico (Ndakara, 2011).

A diferença na produção de serapilheira das diferentes moitas da FAAC reforça a importância de *Clusia hilariana* como espécie focal (Zaluar & Scarano, 2000). Além de oferecer aumento na disponibilidade de sítios de germinação para outras espécies que possuem baixa capacidade de estabelecer onde não há cobertura vegetal (Dias, 2009). Essa espécie é tida como fundamental na estruturação da comunidade da FAAC, já que o crescimento de indivíduos desta espécie estão associados ao aumento da diversidade de espécies no interior das moitas, devido ao fato de criar condições atrativas a fauna de dispersores.

Dessa forma, o material produzido pela vegetação das áreas mais drenadas da restinga, mesmo que em quantidade inferiores ao registrado em formações florestais parece mesmo fundamental para garantir melhores condições desse solo arenoso através da regulação do pH, e aumento do armazenamento de água, nutrientes e capacidade de troca catiônica (Hay & Lacerda 1984; Moraes *et al.* 1999; Dias, 2009). Nestas

formações de restinga ainda ocorre uma variação na disponibilidade de nutrientes para as plantas quando há um aumento do nível do lençol freático, que com as chuvas intensas do verão torna-se mais superficial, permitindo a ascensão dos nutrientes até o alcance das raízes (Brietz, 1994).

5.2 Quantificação de nutrientes na serapilheira

As diferenças nas concentrações de nutrientes produzidos pelas fitofisionomias reforçam a heterogeneidade da composição de espécies vegetais (Andrade & Krapfenbauer, 1983; Malavolta, 1980).

As concentrações de nitrogênio e fósforo totais ao longo das coletas apresentaram alta variação, sendo o nitrogênio o nutriente mais constante como descrito por Vitousek (1984) em um trabalho utilizando informações sobre 62 florestas tropicais. Ele verificou que a produção de serapilheira não varia na proporção direta de nutrientes, o que também ocorreu nesse trabalho. Em vez disso, as florestas com uma produtividade mais baixa tendem a apresentar uma alta eficiência do uso de nutriente, ou seja, árvores nas florestas mais eficientes poderiam assimilar mais energia por unidade de nutriente assimilado, o que pode ocorrer, por exemplo, pelo reuso de nutrientes retirando-os das folhas senescentes antes da abscisão. Como exemplo, Vitousek (1984) discute que árvores tropicais liberam pouco fósforo frente as florestas temperadas, denotando uma alta eficiência no uso deste recurso, devido à sua relativa escassez nos solos tropicais altamente intemperizados.

Seguindo o raciocínio da eficiência da utilização dos nutrientes, medida pela razão do total de serapilheira aportada em função da concentração de nutriente, os valores de nutrientes por unidade de biomassa na FAAC foram menores, o que denota maior eficiência dessa vegetação, pelo menos para nitrogênio e fósforo. Logo, pode-se inferir que a vegetação da restinga está reutilizando os nutrientes antes da abscisão foliar, como forma de otimizá-los e evitar sua perda (Raven, 2001). Esse processo pode estar sendo fundamental no processo de ciclagem de nutrientes nos ambientes de restinga, caracterizados como oligotrófico, com baixa retenção de nutrientes e altamente intemperizados (Hay & Lacerda, 1984).

Essa menor quantidade de nutrientes por unidade de biomassa, encontrada na FAAC pode afetar a taxa de decomposição e assim desempenhar um papel fundamental no processo de acúmulo de matéria orgânica no sistema, resultando no benefício para a comunidade vegetal que vive no sub-bosque, conforme descrito por Dias (2009), que investigou o efeito das espécies da vegetação arbustiva de *Clusia* sobre os processos da estruturação da comunidade e o funcionamento do ecossistema.

5.3 Decomposição de serapilheira

Os valores de K encontrados para as fitofisionomias estudadas estão na faixa da taxa de decomposição prevista para ecossistemas tropicais, segundo a revisão de Aerts (1997). Porém, os valores de K encontrados para MSC e MCC neste estudo foram inferiores aos valores obtidos em vegetação de Restinga na Ilha do Cardoso, SP (k=0,58), mas similar a valores encontrados por autores que realizaram trabalho com *Clusia*, no PARNA Jurubatiba (Bonadiman, 2007) (Tabela 8).

Tabela 8: Taxa de decomposição (k) para diferentes substratos foliares em distintos ecossistemas. Adaptada de Bonadiman (2007).

Local	Clima	Substrato foliar	K	$\frac{1}{2}$ Vida (dias)	Referência
Tipo de Vegetação					
PARNA Jurubatiba -RJ FAAC e MPI	Sub-úmido	misto	0,24		Este Estudo
Restingas		misto	0,33		
PARNA Jurubatiba -RJ MCA	Sub-úmido	MCA- <i>Clusia hilariana</i>	0,29	866	Bonadiman (2007)
Restingas		MSC- <i>Clusia Hilariana</i>	0,22	1155	
Ilha do Mel-Paranaguá -PR	Transição Tropical-Subtropical	misto	0,44	577	Pires (2000)
		misto	0,62	405	
Restinga de Macaé		<i>Clusia</i>		900	Hay e lacerda (1984)
		Ericácia		354	
Ilha do Cardoso-SP	Tropical úmido	<i>Calophyllum brasiliense</i>	0,54	347	Castanho (2005)
Restinga Alta		<i>Guappira opposita</i> Vell.	1,43	130	
		<i>Copaifera langsdorfii</i> Desf	1,22	152	
		<i>Esenbeckia leiocarpa</i>	1,81	103	
Judean Desert -Israel- Kaila	Árido	Avena serilis	3,6 (K 10-3 dia 1)		Hamadi <i>et al</i> (2000)
Deserto					
Floresta Tropical Sazonal Sistema Agroflorestal - Viçosa - MG		madeira	0,43	585	
	Mesotérmico	misto		215	Arato <i>et al.</i> (2003)
Ilha de Santo Amaro-Guarujá-SP	Tropical úmido	misto	0,83	350	Varjabedian & Pagano (1988)
Floresta Pluvial Tropical de Encosta					
Reserva Florestal Cidade Universitária-SP		<i>Alchornea sifolia</i>	1,46	150	Meguro (1980)

A baixa velocidade de decomposição nas moitas de restinga tem sido associada à esclerofilia apresentada pelas espécies destas comunidades (Pires, 2000). A esclerofilia é caracterizada por atributos anatômicos que conferem uma alta densidade e espessura

foliar, expressas através da massa específica por unidade de área. O significado funcional desta característica ainda é controverso, entre eles está a adaptação (ou conseqüência) a solos pobres em nutrientes como o ambiente de restinga. Segundo Rizzini (1979), a presença de esclerofilia é marcante na Mata de Restinga, o que permite inferir que algumas espécies como por exemplo, *Clusia hilariana*, apresenta uma alta esclerofilia e que esta adiciona à serapilheira material de difícil decomposição e uma biomassa com baixo conteúdo nutricional. Segundo Dias (2009), as baixas taxas de decomposição e a conseqüente imobilização de nutrientes na serapilheira da *Clusia*, podem representar o mecanismo responsável pela limitação do crescimento de indivíduos em seu sub-bosque.

Vos e colaboradores (2011) verificaram que a macrofauna prefere serapilheira que é facilmente decomposta, se alimentando de material recalcitrante somente em estágios posteriores de decomposição após uma lenta dissolução de compostos hidrossolúveis fenólicos (tanino, por exemplo) e hemiceluloses e um aumento relativo do conteúdo de lignina. Muitos autores têm constatado a redução na velocidade de decomposição depois de alterações nas condições físicas (Edwards, 1977; Meguro *et al.*, 1980) e químicas do substrato, principalmente perda de N (Benhard-Reversat, 1993). Este resultado pode ser facilmente verificado pela alteração na velocidade de decomposição do material das moitas. Nos primeiros cinco meses, as taxas de decomposição acompanharam o padrão observado na MPI. O resultado observado corrobora o estudo de Bonadiman (2007), que avaliou o processo de decomposição em moitas do PARNA Restinga de Jurubatiba habitadas por indivíduos de *Clusia* adultos e senescentes. Bonadiman (2007) descreve que folhas de *Clusia* apresentam uma desaceleração na velocidade do processo de decomposição e que essa desaceleração varia entre indivíduos adultos e senescentes.

Com base no efeito da macrofauna sobre a decomposição da MPI e das moitas sem *Clusia*, em relação a MSC é possível afirmar que as folhas de *Clusia* apresentam alta resistência à ação da macrofauna, por apresentarem características como grande deposição de cera, camadas cuticulares espessas e elevada produção de substâncias tânicas (Schneider, 1985; Silva, 1999; Dias, 2009).

Com base em estudos anteriores, pode-se inferir que a fauna do solo desempenha um papel fundamental na regulação do processo de decomposição (Slade & Ruita, 2012; Ball *et al.*, 2013). Assim como a taxa de decomposição, as diferentes espécies pertencentes a fauna do solo como, macrofauna, micróbios, microfauna e mesofauna

podem atuar em diferentes estágios de decomposição, de maneira distinta em cada espécie vegetal, exibindo variações nos padrões de decomposição em um mesmo período, como demonstrado por Slade & Ruita (2012). Esses autores ainda verificaram que micróbios, micro e mesofauna poderiam ser importantes na decomposição de madeira, entretanto em espécies recalcitrantes estes animais contribuíram proporcionalmente menos. Diante disso, pode-se inferir que os agentes de decomposição no presente estudo foram semelhantes, mas devido a composição distinta das vegetações o resultado da decomposição apresentou variações pronunciadas. Gießelmann e colaboradores (2010), ao realizar um estudo na Mata Atlântica, verificam que a composição e não a riqueza foliar utilizadas nos *litterbags* é mais determinante no processo de decomposição.

5.4 Análises de nutrientes na água lixiviada

Os resultados das concentrações dos diferentes nutrientes na água confirmam que estes estavam presentes no sedimento. Sabe-se que este movimento desta matéria orgânica dissolvida dos solos florestais é regulado por um conjunto de processos biológicos e físico-químicos que retém, transforma e libera a matéria orgânica dissolvida (Scott & Rothstein, 2014). Logo, nota-se que alguns fatores podem limitar a lixiviação de certos nutrientes no sedimento, resultando na baixa quantificação do mesmo na água percolada, ou ainda liberar nutrientes que estão disponíveis no solo para outros compartimentos do ecossistema. Um exemplo disso é o P, um macronutriente muito importante para o desenvolvimento vegetal, cuja ausência pode acarretar no atrofiamento caluniar (baixo desenvolvimento) bem como morte das folhas (Raven *et al.*, 2001). A detecção de amônia e ortofosfato, formas de apresentação do fósforo, ainda que em baixas concentrações, denotam certa fertilidade do solo, uma vez que essa é a única forma de fósforo que pode ser assimilada pelos produtores primários (Esteves, 1998; Guerschi & Fonseca Gessner, 2000).

A diferença das concentrações de nutrientes entre as fitofisionomias (MPI e FAAC) e as áreas da FAAC consideradas reforçam o fato de que as formações vegetais contribuem de forma distinta para a entrada de nutrientes nos ecossistemas. Porém, as diferenças não se resumem às questões de concentração dos nutrientes, uma vez que as áreas apresentaram tamanhos moleculares distintos da MODC entre as áreas da FAAC e da MPI, o que pode ser atribuída à diferente composição e taxa de decomposição do material vegetal. A AN, diferentemente das outras áreas, apresentou alto valor da mediana da MODC, indicando que esta área possui tamanho molecular menor e alta razão entre os comprimentos de onda (255 a 365nm). O tamanho molecular da matéria orgânica dissolvida cromófora reduzido desta área pode ser explicado pela constante fotodegração da matéria orgânica, exposta demasiadamente a radiações solares. Entretanto os distintos valores do tamanho molecular da matéria orgânica cromófora dissolvida (MODC) desta área, permite inferir que este material seja proveniente de fonte alóctone, podendo ainda ser aportado pelo lençol freático durante períodos de oscilação do lençol, já que a AN é destituída de cobertura vegetal.

5.5 Análise no solo

Ao analisar os teores da matéria orgânica e carbono total obtido nas diferentes frações do solo, é possível verificar que as maiores concentrações são encontradas na porção superficial. Isso ocorre principalmente nas áreas que possuem cobertura vegetal, visto que o acúmulo de matéria orgânica, assim como raízes e material que ainda está sendo degradado fica acumulado na região mais superficial do solo. Nunes (1998), ao analisar o solo da vegetação da restinga do complexo Grussaí/Iquipari, RJ, verificou que o aumento da cobertura vegetal é proporcional ao aumento da umidade do solo, matéria orgânica e outros nutrientes. Silva (2003), estudando solos de moita de *Clusia* adulta, senescente e moitas sem *Clusia* no PNRJ, apesar de não encontrar diferença significativa no teor de matéria orgânica entre essas áreas, constatou uma relação proporcional do aumento da matéria orgânica com a concentração de cátions e capacidade de troca catiônica nestas moitas de *Clusia* senescente. Isso ainda confirma os dados de menor capacidade de retenção dos solos das áreas da FAAC, visto que tiveram as menores concentrações de matéria orgânica e carbono total.

De maneira inesperada, os solos das áreas AN e MPI apresentaram um aumento notável na quantidade de matéria orgânica e carbono total nas porções mais profundas do solo, próxima ao lençol freático, o que sugere um processo de adubação pelo lençol freático conforme sugerido por Brietz (1994). Brietz em um estudo de formações florestais de restinga alta e baixa na Ilha do Mel no Paraná verificou a importância do lençol freático como um reservatório de nutrientes e água, visto que a área de restinga baixa, mais distante do lençol e das raízes das plantas dependeu do regime de chuvas para manter a umidade das camadas superficiais do solo, local de absorção de nutrientes. Diferentemente da restinga alta, local de superfície mais próxima ao lençol, que obteve maior disponibilidade de nutrientes e água no sistema de raízes. Diante disso, este autor conclui que o lençol freático é uma via de saída e entrada de nutrientes e água para ambientes de restinga.

Ao comparar os valores obtidos para o percentual de matéria orgânica e carbono total no solo com o encontrado em outros ecossistemas da região sudeste e ecossistemas tropicais (Tabela 9), observa-se que os valores da AN são semelhantes aos encontrados nas restingas. Entretanto, os valores obtidos para MCC e MPI estão acima dos outros ecossistemas florestais de origem geológica distinta, do sudeste brasileiro.

Apesar dos valores de matéria orgânica e carbono total antes e depois da lixiviação serem distintos, isso não foi significativo estatisticamente. Logo, pode-se inferir que há certa dificuldade da matéria orgânica e do carbono total serem lixiviados nessas duas formações. Isso é corroborado por Silva (2003), ao verificar que o aumento da matéria orgânica no solo originada da produção de serapilheira contribui para o aumento na concentração de nutrientes, principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} , e aumento da capacidade de troca catiônica, o que minimiza a lixiviação de nutrientes (Ramos & Pellens, 1993). Valores significativamente diferentes foram registrados apenas para a área de MPI e de AN seguindo o esperado, visto que este último possui grãos maiores em relação aqueles encontrados nas frações mais profundas da MPI, permitindo a rápida passagem de água e do material orgânico.

Tabela 9: Concentração do percentual de Carbono total e matéria orgânica no solo de alguns ecossistemas da região Sudeste do Brasil e de outros ecossistemas tropicais, adaptado de Silva (2003).

Local	Tipo de Vegetação	Profundidade do solo (cm)	MO%	C (%)	Referências
Sudeste do Brasil Carapebus, RJ	Restinga				
Restinga de Jurubatiba	<i>Antes de Passar água</i>				
	Formação de <i>Clusia</i> (com <i>Clusia</i>)	0-10	4,8	10,9	Este estudo
	Formação de <i>Clusia</i> (sem <i>Clusia</i>)	0-10	1,9	0,37	Este estudo
	Mata Periodicamente Inundada	0-10	7,9	3,22	Este estudo
	Areia Nua	0-10	0,59	0,11	Este estudo
	<i>Após passagem de água</i>				
	Formação de <i>Clusia</i> (com <i>Clusia</i>)	0-10	8,1	7,69	Este estudo
	Formação de <i>Clusia</i> (sem <i>Clusia</i>)	0-10	1,9	1,6	Este estudo
	Mata Periodicamente Inundada	0-10	12,8	7,5	Este estudo
	Areia Nua	0-10	0,20	0,04	Este estudo
Restinga de Jurubatiba	Formação de <i>Clusia</i> (interior da moitaMCA)	0-10	4	3	Silva, 2003
	Formação de <i>Clusia</i> (interior da moitaMCS)	0-10	6	3,7	Silva, 2003
	Formação de <i>Clusia</i> (interior da moitaMSC)	0-10	6	3,7	Silva, 2003
	Formação de <i>Clusia</i> (área entre moitas)	0-6	***	0,2	Henriques <i>et al.</i> (1986)
	Formação de Ericacea (área entre moitas)	0-2	***	0,7	Henriques <i>et al.</i> (1986)

	Formação de Mata de Restinga	0-20	***	13,9	Henriques <i>et al.</i> (1986)
	Formação Graminóide com Arbustos	0-3	***	2,6	Henriques <i>et al.</i> (1986)
Norte Fluminense, Grussaí	Área sem vegetação	0-10	0,2	***	Nunes (1998)
	Vegetação rasteira	0-10	0,9	***	Nunes (1998)
	Formação de Moitas	0-10	1,3	***	Nunes (1998)
	Mata de Restinga	0-10	4,2	***	Nunes (1998)
Norte Fluminense, São Francisco de Itapoana, RJ	Mata de Tabuleiro	5-10	***	1,9	Aragão (1998)
Sul da Bahia	Mata de Tabuleiro	0-5	***	2,5	Gama-Rodriguez, 1997
	Mata de Tabuleiro	5-10	***	1,4	Gama-Rodriguez, 1997
Sudeste do Brasil Campos, RJ	Atlântica de Enc. (Alt. 50 m)	0-10	***	3,4	Mazurec (1998)
	Atlântica de Enc.(Alt. 250m)	0-10	***	9	Mazurec (1998)

.*** ausência de informação.

6. Considerações finais

A análise da produção da serapilheira, bem como da decomposição do material vegetal das diferentes fitofisionomias da restinga e da forma de disponibilização destes no solo permitiu a construção de um modelo conceitual capaz de inferir a importância relativa das áreas de FAAC e MPI para o ciclo interno de nutrientes no ecossistema de restinga. Conforme Farjalla e colaboradores (2009), em um estudo realizado em lagoas da restinga de Jurubatiba sugeriram que carbono orgânico dissolvido presente nas lagoas Compridas, Cabiúnas e Garças são provenientes de material vegetal alóctone, presente em formações vegetais próximas. O restante tem origem a partir da dissolução de matéria orgânica presente nos sedimentos do fundo das lagoas, originado a partir de material vegetal soterrado e das pequenas bacias de drenagem que ainda confluem para elas. Isso significa que pode se considerar a ocorrência de três compartimentos básicos no ecossistema de restinga, sendo eles a vegetação, o solo e as lagoas, e duas vias principais de aporte de nutrientes, uma de origem atmosférica e outra de origem aluvionar.

Sobre as formas autóctones de aporte de nutrientes nas lagoas, podemos inferir que 1ha de MPI produziu uma quantidade muito maior de nutrientes que 1ha da área de FAAC. Logo, a contribuição alóctone das FAAC para o lençol freático e, conseqüentemente, para as lagoas é muito baixa. Porém, se considerada a contribuição da vegetação para as condições de nutrientes do lençol freático, é importante reparar que apesar da decomposição das áreas de FAAC ser 2,5 vezes menor que a decomposição na MPI, a liberação de nutrientes do solo não segue a mesma proporção. Considerado que as áreas da FAAC tem, aproximadamente, 1/3 de sua área coberta com vegetação, era de se esperar que a lixiviação de nutrientes no solo da FAAC para 1ha fosse bem menor do que os observados para o nitrogênio total (2,2 vezes menor) e para nitrogênio dissolvido (2,6 vezes menor). Isso significa que a contribuição relativa da vegetação da FAAC para as lagoas é muito maior, provavelmente devido às condições do solo ou composição sedimento nas áreas da FAAC.

Quanto a dinâmica de nutrientes no interior das moitas de restinga, é importante considerar que existe uma grande probabilidade de haver um processo de adubação ou disponibilização de nutrientes para as plantas durante os períodos de elevação do nível do lençol freático. Outros autores já relacionavam a ocorrência das fitofisionomias do PARNA Jurubatiba aos diferentes regimes de alagamento (Araujo *et al.*,1998; Scarano

et al., 2004). Nessa perspectiva, a FAAC se encontra nas áreas de topografia mais alta, sujeitas a condições severas de estresse hídrico e necessitando de diversas estratégias que aumentariam a eficiência de uso e conservação de recursos. Seria importante considerar as condições nutricionais dos tecidos vegetais antes e depois da abscisão para verificar o grau de eficiência no uso de recursos pela vegetação.

As moitas da FAAC parecem se apresentar como sistemas com entradas de nutrientes alóctones específicos: (1) da atmosfera, (2) da troca de material por meio de eventos de dispersão ou outros vetores, como o vento, e (3) pelo lençol freático. Qualquer conjunto de condições iniciais, que permitem uma maior concentração de nutrientes em uma determinada região de AN pode criar condições para o estabelecimento de um ciclo fechado e bastante conservativo de acumulação e crescimento da moita. Como mencionado por Zaluar (1997), esses processos são guiados por grupos de plantas ou espécies dominantes que por meio de sua fisiologia ditam o ritmo dos processos de desenvolvimento das moitas.

Entender como ocorre a dinâmica de nutrientes através da entrada e saída desses nas diferentes fitofisionomias do ecossistema da restinga do Norte Fluminense é uma etapa fundamental para conservar os processos biológicos nesse ambiente.

7. Referências Bibliográficas

- Aerts, R. 1997. "Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: A triangular relationship". *Oikos* 79, 439-449
- Andrade, F., & Krapfenbauer, A. 1983. Distribuição de raízes finas do pinheiro bravo (*Podocarpos lambertii*) e do pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*). In: *Pesquisas Austro Brasileiras* (1973-1982), Santa Maria. Anais. Santa Maria: UFSM. 56-67.
- Arato, H. D., Martins, S. V., Ferrari, S.H.S. 2003. Produção e decomposição da serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Revista Árvore* 27 (5), 715-721.
- Araujo, D. S. D., Scarano F. R., SÁ, C. F. C., Kurtz, B. C., Zaluar, H. T. L., Montezuma, R.C.M., Oliveira, R.C. 1998. Comunidades vegetais do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba. In: Esteves F.A; Lacerda L.D; (eds). *Ecologia de restingas e lagoas costeiras. Rio de Janeiro: Nupem - UFRJ*. Pp. 39-62.
- Araujo, D. S. D. 2000. *Análise florística e fitogeográfica das "restingas" do estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Ball, B. A., Carrillo, Y., Molina, M. 2013. "The influence off litter composition across the litter-soil interface on mass loss, nitrogen dynamisc and the decomposore community". *Soil Biology & Biochemistry* 69, 71-82.
- Barnes, B. V., Zak, D. R., Denton, S. R., Spurr, S. H. 1998. *Forest Ecology*. Editora John Wiley, New York.
- Barros, E., Curmi, P., Hallaire, V., Chauvel, A., Lavelle, P. 2001. "The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion". *Geoderma* 100, 193-213.
- Benhard-Reversat, F. 1993. "Dynamics of litter and organic matter at the soil- litter interface in fast -growing tree plantations on sandy ferrallitic soils (Congo)". *Acta Oecologia* 14 (2), 179-95.
- Bonadiman, G. S. L. 2007. *Decomposição e liberação de nutrientes de folhas de Clusia hilariana Schlttl. (Clusiaceae) em moitas da formação arbustiva aberta de Clusia no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- Bozelli, R. L., Santos, L. M. F. 2003. Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, conhecendo sua história e seu valor. *Cadernos do Nupem*. UFRJ.

- Britez, R. M. 1994. *Ciclagem de nutrientes em duas florestas da planície litorânea da Ilha do Mel, Paranaguá, PR*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Brietz, R. M., Pires, L. A., Resissmann, C. B., Pagano, S. N., Silva, S. M., Athayde, S. F., Lima, R. X. 2005. Ciclagem de nutrientes na planície costeira. 145-168. In: MCM. Marques & R.M Brietz (orgs.). *História Natural e Conservação da Ilha do Mel*. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná.
- Brun, E. J., Schumacher, M. V., Spathelf, P. 2001. Relação entre a produção de serrapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9 (2), 227-285.
- Cornejo, F. H., Varela, A., Wright, S. J. 1994. "Tropical forest litter decomposition under seasonal drought: nutrient release, fungi and bacteria". *Oikos* 70, 183-190.
- Davies, B. E. 1974." Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter". *Soil Science Society* 38, 347-353.
- De Haan, H., & De Boer, T. 1987. "Applicability of light absorbance and fluorescence as measures of concentration and molecular size of dissolved organic carbon in humic Laken Tjeukemeer". *Water Research*. 21, 731-734.
- de Mattos, E. A., Braz, M. I. G., Cavalin, P.O., Rosado, B. H. P., Gomes, J. M., Martins, L. S. T., & Arruda, R. C. O. 2004. Variação espacial e temporal em parâmetros fisiocológicos de plantas. In *Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba* (eds C.F.D. Rocha, F.A. Esteves & F.R. Scarano), 99-116. Editora Rima, São Carlos.
- Delitti, W. B.C. 1984. *Aspectos comparativos da ciclagem de nutrientes minerais na mata ciliar, no campo cerrado e na floresta implantada de Pinus elliottii Engelm. var.elliottii (Mogi-Guaçu, SP)*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Dias, H. C. T., & Oliveira Filho, A. T. 1997. Variação temporal e espacial da produção de serrapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Larvas-MG. *Revista Árvore* 21, 11-26.
- Dias, A. T. C. & Scarano, F. R. 2007. "Clusia as nurse plant". In *Clusia – a woody neotropical genus with remarkable plasticity and diversity* (ed U. Lüttge), pp. 55-72. Springer, Heidelberg
- Dias, A.T.C. 2009. *O papel das espécies da restinga aberta arbustiva de Clusia no funcionamento do ecossistema*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Del Castillo, C.E.; Coble, P.G.; Morell, J.M.& Corredor, J.E. 1999. Analysis of the optical properties of the Orinoco River plume by absorption and fluorescence spectroscopy. *Marine Chemistry*, 66:35-51.

- Edwards, P. J. 1977. "Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. II The production and disappearance of litter". *Journal of Ecology* 65, 971-92.
- Esteves, F. A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. Editora Interciência, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Esteves, F.A. 2012. Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração. Edital de MCTI/CNPq/FAPs nº34.
- Farjalla, V. F., Marinho, C. C., Esteves, F. de A. 1999. "Aspects of the uptake of dissolved oxygen in the initial stages of decomposition of aquatic macrophytes and detritus from terrestrial vegetation in a tropical coastal lagoon". *Acta Limnologica Brasiliensia* 11 (2), 185-193.
- Farjalla, V. F., Amado, A. M., Laque, T., Faria, B. M., Esteves, F.A. 2004. O estado da arte e perspectiva do estudo das bactérias planctônicas nas Lagoas da restinga de Jurubatiba. In Pesquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba (eds C.F.D. Rocha, F.A. Esteves & F.R. Scarano), 255-272. Editora Rima, São Carlos.
- Farjalla, V.F., Amado, A. M., Suhett, A. L., Pereira, F.M. 2009. "DOC removal paradigms in highly humic aquatic ecosystems". *Environ Science Pollut Res* 16:531–538 DOI 10.1007/s11356-009-0165-x
- Fernandes, M. M., Pereira, M. G., Magalhães, L. M. S., Cruz, A. R., Giácomo, R. G. 2006. Aporte e decomposição da serrapilheira em área de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth). E andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na Flona Mario Xavier, RJ. *Ciência Florestal* 16 (2), 163-175.
- Figueiredo, A. F., Ferreira, G. M., Budant, L.S., Figueiredo, D.J. 2003. Avaliação estacional da deposição da serrapilheira em uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Estado do Paraná. *Ciência Florestal* 13 (1), 11-18.
- Gartner, T. B. & Cardon, Z. G. 2004. "Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter". *Oikos* 104, 230-246.
- Gieβelmann, U. C., Martins, K. G., Brandle, M., Schadler, M., Marques, R. 2010. "Divessity ecosystem function: Litter decomposition dynamics in the Altantic Rainforest". *Applied Soil Ecology* 46, 283-290.
- Golley, F.B. 1978. Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida. São Paulo, EPU: EDUSP.
- Golterman, H.L., Clymo, R. S., Ohnstado, M. A. M. 1978. IBP Handbook nº8: "Methods of physical and chemical analysis of freshwater". 2.ed. Oxford: Blackwell Scientific Publishers.
- Guereschi, R. M. & Fonseca-Gessner, A. A. 2000. Análise de variáveis físicas e químicas da água e do sedimento de três córregos da Estação Ecológica de Jataí (Luís Antônio, SP, Brasil). In: Santos, J. E. D. & Pires, J. S. R. (Ed.). Estudos

integrados em ecossistemas: Estação ecológica do Jataí. (2). Análise de variáveis físicas e químicas da água e do sedimento de três córregos da Estação Ecológica de Jataí (Luís Antônio, SP, Brasil), 387-482.

- Handa, T., Aerts, R., Berendse, F., Berg, M.P., Bruder, A., Butenschoen, O., Chauve, E., Gessner, M.O., Jabiol, J., Makkonen, M., McKie, B.G., Bjorn, M., Peeters, E.T.H.M., Scheu, S., Schmid, B., Jasper, v.R., Vos, V.C.A., & Hättenschwiler, S. 2014. "Consequences of biodiversity loss for litter decomposition across biomes". *Nature* 509, 218-233.
- Hättenschwiler, S., Tiunov, A.V., & Scheu, S. 2005. "Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems". *Annual Review of Ecology and Systematics* 36, 191-211.
- Hay, J. D. & Lacerda, L. D. 1984. Ciclagem de Nutrientes no Ecossistema de Restinga. In: Lacerda, L.D., Araújo, D.S.D., Cerqueira, R. & Turq, B.(orgs). Restingas: origem, estrutura, processos. CEUFF. Niterói. 459-473.
- Henriques, R. P. B., Araújo, D. S. D. & Hay, J. D. 1986. Descrição e classificação dos tipos de vegetação da restinga de Carapebús, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Botânica* 9, 173-189.
- Irlmer, U. 2000. "Changes in the fauna, and its contribution to mass loss and N release during leaf litter decomposition in two deciduous forests". *Pedobiologia* 44, 105-118.
- Jackson, J. F. 1978. "Seasonality of flowering and leaf-fall in a Brazilian subtropical lower montane moist forest". *Biotropica* 10 (1), 38-42
- Jordan, C. F. 1985. "Nutrient cycling in tropical forest ecosystems" *Chichester: John Wiley & Sons*. 190
- Kerbauy, G.B., 2012. Fisiologia Vegetal. 2ª Edição, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.
- Knops, J.M.H., Koenig, W.D., Nash III, T.H. 1997. "On the relationship between nutrient use efficiency and fertility in forest ecosystems". *Oecologia* 110, 550-556.
- Lavelle, P., Spain, A.V. 2001. *Soil ecology*. Amsterdam: Kluwer Scientific.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Martin, S., Spain, A., Toutain, F., Barois, I., & Schaefer, R. 1993. "A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems - application to soils of the humid tropics". *Biotropica* 25, 130-150.
- Malavolta, E. 1980. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos.

- Martins, S.V.& Rodrigues, R. R. 1999. Produção de serrapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no Município de Campinas, SP. *Revista Brasileira de Botânica* 22 (3) 405-412.
- Meentemeyer, V.; Box, E.O.; Thompson, R. 1982. "World patterns and amounts of terrestrial plant litter production". *BioScience* 32 (2), 125-128.
- Meguro, M., Vinueza, G. N., Delitti, W. B. C. 1980. Ciclagem de nutrientes na mata mesófila secundária - São Paulo. III- Decomposição do material foliar e liberação dos nutrientes minerais. *Boletim de Botânica* - Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 8, 7-20.
- Moraes, R. M.; Rabelo, C. F.; Deliti, W. B. C.; Vuono, Y. S. 1993. Serapilheira acumulada em um trecho de mata atlântica de encosta, no Parque Estadual da Ilha do Cardoso. In: Simpósio de Ecologia da Costa Brasileira, 3, São Paulo. *Anais*. São Paulo: ACIESP, 94-99.
- Moraes, R. M., Delitti, W. B. C., Struffaldi-De-Vuono, Y.1999. "Litterfall and litter nutriente contente two Brazilian Tropical Forests". *Revista Brasileira de Botânica* 22 (1), 9-16
- Ndakara, O. E. 2011. "Litterfall and nutriente returns isolated satnds of *Persea gratissima* (avocate pear) in the rainforest zone of southern Nigeria. Ethiop. J. Environ". *Stud. Manage* (4), 42-50.
- Nunes, J. A. A. 1998. *Caracterização estrutural fisionômica e florística da vegetação de restinga do complexo lagunas Grussaí/Iquipari, São João da Barra, RJ*. Tese de Mestrado em Biociência e Biotecnologia – Campos dos Goytacazes-, Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF.
- Oliveira, R. C., Kurtz, B. C. 1997. Fitossociologia do componente arbóreo de um trecho de mata de restinga em Carapebus, RJ. In: LIV Reunião Científica da Sociedade Botânica do Brasil-RJ, Rio de Janeiro. Resumos da LIII Reunião Científica da Sociedade Botânica do Brasil-RJ e LIV Reunião Científica da Sociedade Botânica do Brasil-RJ, 14-14.
- Olson, J.S.1963. "Energy storage and the balance of producers and decoposers in ecological systems". *Ecology* 44, 223-331.
- Paula, R. R, Pereira, M. G., Menezes, L. F. T. 2009. Aporte de nutrientes e decomposição da serapilheira em três fragmentos florestais periodicamente inundados da ilha da Marambia, RJ. *Ciência Florestal*, 19 (2), 139-148.
- Pereira, M. G.; Silva, A. N., Paula, R. R.; Menezes, L. F. T. 2012. Aporte e decomposição de serapilhiera em floresta periodicamente inundável na restinga da Marambaia, Rio de Janeiro. *Ciência Florestal* 22(1), 59-67.
- Pimentel, M. C. P., Barros, M. J., Cirne, P., de Mattos, E. A., Oliveira, R. C., Pereira, M. C.A., Scarano, F. R., Zaluar, H. L. T., & Araujo, D. S. D. 2007. "Spatial

- variation in the structure and floristic composition of “restinga” vegetation in southeastern Brazil”. *Revista Brasileira de Botânica* 30, 543-551.
- Pimentel, M. 2002. *Variação espacial na estrutura de comunidades vegetais da formação aberta de Clusia no parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Pires, L. A. 2000. *Aspectos da ciclagem de nutrientes em uma formação de restinga na Ilha do Mel, Paranaguá, PR*. Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas. Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro da Universidade Estadual Paulista, São Paulo.
- Pires, L. A., Brites, R. M., Martel, G. & Pagano, S. N. 2006. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. *Acta Botânica Brasilica* 20 (1), 173-184.
- Poggiani, F. 1986. Produção de biomassa e balanço nutricional em plantas de eucaliptos e pinheiros. Implicações siveculturas. Piracicaba. *ESALQ, DCF*, 20.
- Printchett, W.L.1987. *Properties and management of forest soils*. New York: John Wiley and Sons.
- Proctor, J.; Anderson, J. M.; Fogden, S. C. L. & Vallack, H. W. 1983. Ecological studies in four contrasting lowland rain forests in Gunung Mulu National Park, Sarawak. II. Litterfall, litter standing crop and preliminary observations on herbivory. *Journal of Ecology* 71 (1), 261-283
- Ramos, M. C. L. & Pellens, R. 1993. Produção de serapilheira em ecossistemas de restinga em Maricá, Rio de Janeiro. III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira, ACIESP.
- Raven, P. H., Evert, R. F. & Eichhorn, S. E. 2001. *Biologia Vegetal*, 6a. ed. Coord. Trad. J.E.Kraus. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.
- Ribeiro, L.1998. *Dinâmica de nutrientes na serrapilheira, em um trecho de mata ciliar alagável com ninhal de aves do Rio Cuiabá, no Pantanal Barão de Melgaço-MT*. Monografia de graduação. Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Biociências, Cuiabá, Mato Grosso.
- Ricklefs, R. E. 2012. *A Economia da Natureza*. 6. ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan.
- Rizzini, C. T. 1979 *Tratado de fitogeografia do Brasil*. São Paulo, HUCITEC. 2v. (2): Aspectos sociológicos e florísticos.
- Scarano, F. R., Cirne, P., Nascimento, M. T., Sampaio, M. C., Villela, D. M., Wendt, T., & Zaluar, H. L. T. 2004. *Ecologia vegetal: integrando ecossistema, comunidades, populações e organismos*. In *Persquisas de longa duração na Restinga de Jurubatiba* (eds C.F.D. Rocha, F.A. Esteves & F.R. Scarano). Editora Rima, São Carlos.

- Scheer, M. B. 2008. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira Foliar em um Trecho de Floresta Ombrófila Densa Aluvial em Regeneração, Guaraqueçaba (PR). *Floresta* 38 (2), 253-266.
- Schneider, S. Z. 1985. *Anatomia Foliar de Clusia hilariana Schlechtendal e Clusia spiritu-santensis (Guttiferae), ocorrentes no Estado do Espírito Santo*. Dissertação de Mestrado. Museu Nacional/UFRJ.
- Scott, E. E. & Rothstein, D. E. 2014. "The dynamic exchange of dissolved organic matter percolating through six diverse soils". *Soil & Biochemistry* 69, 83-92.
- Silva, B. A. O. .1999. *Mosaicos Nutricionais na Interrelação Vegetação/Solos/Termiteiros em um Ecossistema de Restinga – Formação Aberta de Ericácea, RJ*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo.
- Silva, A. P. 2003. *Caracterização química do solo superficial, produção de serapilheira e aporte de nutrientes em moitas da Formação Arbustiva Aberta de Clusia da Restinga de Carapebus, no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ*. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- Silva, S. M. & Britez, R. M. 2005. A vegetação da planície costeira. 49-84. In: M.C.M.; Marques & R.M. Britez (orgs.). *História Natural e Conservação da Ilha do Mel*. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná.
- Silva, C. J., Sanches, L.; Bleich, M. E.; Lobo, F. A.; Nogueira, J. S. 2007. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro Oeste-Brasileiro. *Acta Amazônica*. Vol. 37 (4): 543-548.
- Sioli, H. 1991. *Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. Editora Vozes, Petrópolis, Rio de Janeiro. 72pp.
- Slade, E. M., & Riutta, T. 2012. "Interacting effects of leaf litter species and macrofauna on decomposition in different litter environments". *Basic and Applied Ecology* 13, 423-431.
- Stedmon, C.A. & Markager, S. 2003. Behaviour of the optical properties of coloured dissolved organic matter under conservative mixing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57: 973-979.
- Suguiu, K., Tesseler, M. 1984. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: Lacerda, L.D. et al. (orgs) *restingas: origem, estruturas, processos*. Niterói, CEUFF, 15-25.
- Swift, M. J., & Anderson, J. M. 1989. Decomposition. In: Lieth, H. & Weger, M.J.A. *Ecosystems of the world 14b. Tropical Rain Forest Ecosystems* Elsevier.

- Varjabedian, R. & Pagano, S. N. 1989. Produção e decomposição de folheto em um trecho de Mata Atlântica de encosta no Município do Guarujá, SP. *Acta Botanica Brasilica* 1 (2 supl.), 243-256.
- Villela, D. M. & Proctor, J. 1999. "Litterfall mass and chemistry and nutrient retranslocation in a monodominant forest on Maracá Island, Roraima, Brazil". *Biotropica* 31 (2), 198-211.
- Vitousek, P. M. 1984. "Litterfall, nutrient cycling and nutrient limitation in tropical forests". *Ecology* 65 (1), 285-298.
- Vitousek, P.M. & Sanford Jr., R.L. 1986. "Nutrient cycling in moist tropical forest". *Annual Review of Ecology and Systematics* 17, 137-167.
- Vos, V.C. A., Van Ruijven, J., Berg, M. P., Peeters, E. T. H. M., & Berendse, F. 2011. "Macro-detritivores identify drivers leaf litter effects". *Oikos* 120, 1092-1098.
- Waiser, M.J. & Robarts, R.D. 2004. Photodegradation of DOC in a shallow prairie wetland: evidence from seasonal changes in DOC optical properties and chemical characteristics. *Biogeochemistry*, 69: 263-284.
- Wardle, D. A., Bonner, K. I., & Nicholson, K.S. 1997. "Biodiversity and plant litter: Experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function". *Oikos* 79, 247-258.
- Wardle, D.A. 2002 "Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components". *Princeton University Press*, New Jersey.
- Zaluar, H. L. T. 1997. *Espécies focais e a formação de moitas na restinga aberta de Clusia*. Dissertação de Mestrado, PPGE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Zaluar, H. L. T. & Scarano, F. R. 2000. Facilitação em restingas de ilhas: Um século de buscas por espécies focais. In: Esteves, F. A. & Lacerda, L.D. (orgs). *Ecologia das restingas e lagoas costeiras*. UFRJ, Rio de Janeiro.
- Zhang, H., Yaun, W., Dong, W., & Liu, S. 2014. "Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide". *Ecol.Complex.*, (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecocom.2014.01.003>)
- Zimmermann, S., Braun, S., Conedera, M., Blaser, P. 2002. "Macronutrient inputs by litterfall as opposed to atmospheric deposition into two contrasting chestnut forest stands in southern Switzerland". *Forest Ecology and Management* 161, 289-302.

8. Anexos

Anexo 1

Tabela 10: Concentração em mg/l dos elementos analisados na água lixiviada em cada ponto das diferentes áreas estudadas do PARNA Restinga de Jurubatiba.

Área	COD	Amônia	Ortofosfato	Nd	Nt	Pt
Areia Nua	2,879	0,51072	1,218827	4,471	5,60656	0,141887
Areia Nua	13,134	0,93982	1,316787	4,131	4,42576	0,228067
Areia Nua	18,574	2,34192	0,258137	4,565	4,75056	0,143437
Areia Nua	31,384	1,79872	0,383687	4,658	5,61936	0,603477
Areia Nua	14,294	2,30132	1,749857	4,705	4,61456	0,144367
Areia Nua	15,714	1,42212	1,889357	3,205	3,96496	0,135067
Moita com <i>Clusia</i>	66,854	1,21142	0,899837	4,715	4,68816	0,313627
Moita com <i>Clusia</i>	33,454	3,49272	0,878447	6,841	6,05456	1,008027
Moita com <i>Clusia</i>	69,034	3,38632	1,645387	6,552	6,83536	1,766287
Moita com <i>Clusia</i>	38,894	2,09272	1,173877	5,581	5,39216	1,422187
Moita com <i>Clusia</i>	51,444	2,02272	1,464037	6,547	8,08336	1,611287
Moita com <i>Clusia</i>	55,114	3,55432	2,003747	6,756	6,92176	1,973367
Moita sem <i>Clusia</i>	19,834	3,88682	0,751502	15,953	6,70576	3,900947
Moita sem <i>Clusia</i>	17,594	1,73852	0,895187	4,675	14,42256	0,877827
Moita sem <i>Clusia</i>	158,274	3,45492	3,526095	11,053	5,04816	4,033627
Moita sem <i>Clusia</i>	34,564	5,34632	1,159059	7,333	12,63216	1,523867
Moita sem <i>Clusia</i>	46,364	3,07692	1,163027	8,399	7,07536	1,454427
Moita sem <i>Clusia</i>	31,384	2,48332	1,469431	6,507	6,09616	1,251067
Mata Periodicamente Inundada	118,274	5,63542	0,630137	21,203	25,84176	8,688587
Mata Periodicamente Inundada	79,924	5,91612	4,154527	26,283	22,54576	11,504627
Mata Periodicamente Inundada	101,174	3,41152	1,025697	8,26	15,47376	1,869827
Mata Periodicamente Inundada	143,274	4,49232	2,717367	7,937	21,18576	5,604707
Mata Periodicamente Inundada	163,874	8,89952	4,515367	14,923	15,90576	4,803667
Mata Periodicamente Inundada	309,174	13,86392	6,859587	26,713	29,29776	7,245227

Anexo 2

Tabela 11: Os resultados de Kruskal Wallis com Mann-Whitney pairwise para os três sistemas (correção de Bonferroni); MCC: MSC, MPI;* para a malha de 5mm.

K	g.l	p
Entre os grupos	2	0,00
Dentro dos grupos:	27	
Total:	29	

Meia vida	g.l	p
Entre os grupos	2	0,0000
Dentro dos grupos:	27	
Total:	29	

* para o teste dois dos primeiros dados foram omitidos, porque o período é interpretado como período de adaptação.

Anexo 3 Análise do teste estatístico para os litterbags de malha 0,02

Tabela 12: Resultados de Kruskal Wallis com Mann-Whitney aos pares (Bonferroni corrigido (expoentes na Tabela 3) 0,02mm.

	g.l	p
Entre os grupos	2	0.04592
Dentro dos grupos:	9	
Total:	11	