

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIODIVERSIDADE, EVOLUÇÃO E MEIO AMBIENTE**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM UMA FLORESTA  
PALUDOSA NO PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI, MG.**

**VINÍCIUS LEANDRO TERROR**

**OURO PRETO, MG  
2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIODIVERSIDADE, EVOLUÇÃO E MEIO AMBIENTE**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM UMA FLORESTA  
PALUDOSA NO PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI, MG.**

**VINICIUS LEANDRO TERROR**

Dissertação apresentada ao Departamento de Evolução, Biodiversidade e Meio ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

**ORIENTADORA:** Dra. ALESSANDRA RODRIGUES KOZOVITS

**CO-ORIENTADOR:** Dr. HILDEBERTO CALDAS DE SOUSA

**OURO PRETO, MG  
2009**

**VINÍCIUS LEANDRO TERROR**

**CICLAGEM DE NUTRIENTES NO SISTEMA SOLO-PLANTA EM UMA FLORESTA  
PALUDOSA NO PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI, MG.**

Dissertação apresentada ao Departamento de Evolução, Biodiversidade e Meio ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Banca Examinadora:

---

Dra. Alessandra R. Kozovits (Orientadora) - UFOP

---

Dra. Dora M. Villela - UENF

---

Dr. Sebastião V. Martins - UFV

**Ouro Preto, 23 de outubro de 2009**

## **FICHA CATALOGRÁFICA:**

TERROR, Vinicius Leandro

Ciclagem de nutrientes no sistema solo planta em uma floresta paludosa no Parque Estadual do Itacolomi, MG.

Ouro Preto, UFOP, Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente, 2009.

xiv + 71 p.

Orientação: Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits

Dr. Hildeberto Caldas de Sousa (Co-orientador)

Dissertação de Mestrado: Programa de Pós Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais.

1- Floresta Paludosa 2- Ciclagem de nutrientes 3- Serapilheira 4- Taxa de decomposição.

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Alessandra Kozovits pela amizade e confiança, permitindo que eu encontrasse meus próprios caminhos ao longo da concepção e desenvolvimento deste projeto e pela orientação precisa na resolução dos problemas e dificuldades enfrentadas ao longo do trabalho.

Ao Professor Hildeberto Caldas de Souza pela amizade e ensinamentos e à equipe do Laboratório de Anatomia Vegetal da UFOP e pela disponibilização de infra-estrutura durante o processamento das coletas em laboratório.

À Simone de Fátima Carvalho Ribeiro, com amor, pelo carinho e apoio nos momentos difíceis e pela ajuda imprescindível nas campanhas de campo e no processamento das coletas em laboratório, tornando a realização deste trabalho um ato ainda mais prazeroso e divertido.

Ao grande amigo Francisco de Oliveira Andrade Lemos pela ajuda na coleta de dados e pela sincera amizade e companheirismo construídos durante os últimos anos e, em especial, pelas longas e inesquecíveis jornadas musicais... Chora cavaquinho, chora!

À coordenação e aos professores do Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente, pelo empenho e pela luta em prol do desenvolvimento científico que resultaram na criação do Programa de Pós Graduação em Ecologia de Biomas Tropicais.

Quando o sol,  
Se derramar em toda a sua essência,  
Desafiando o poder da ciência, pra combater o mal  
E o mar,  
Com suas águas bravias,  
Levar consigo o pó dos nossos dias,  
Vai ser um bom sinal  
Os palácios vão desabar sob a força de um temporal,  
E os ventos vão sufocar o barulho infernal.  
Os homens vão se rebelar dessa farsa descomunal,  
Vai voltar tudo ao seu lugar, afinal...  
Vai resplandecer, uma chuva de prata, do céu vai descer,  
O esplendor da mata vai renascer,  
E o ar de novo vai ser natural.  
Vai florir, cada grande cidade, o mato vai cobrir.  
Das ruínas um novo povo vai surgir, e vai cantar afinal...

*“As Forças da Natureza”*  
(Paulo César Pinheiro e João Nogueira)

# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	xi
<b>RESUMO</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<i>Ciclagem de Nutrientes</i> .....	1
<i>Florestas Paludosas</i> .....	3
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	5
<i>Hipóteses</i> .....	5
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	7
<b>3.1</b> Caracterização Geral – Parque Estadual do Itacolomi .....	7
<i>Área de estudo</i> .....	8
<b>3.2</b> Desenho Amostral .....	9
<b>3.3</b> Conteúdo de Água e Concentração de Nutrientes no Solo .....	10
<b>3.4</b> Produção de Serapilheira .....	11
<b>3.5</b> Concentração de Nutrientes na Serapilheira Foliar .....	12
<b>3.6</b> Decomposição da Serapilheira Foliar .....	12
<b>3.7</b> Retranslocação de Nutrientes em Folhas de <i>Myrcia laruotteana</i> .....	13
<b>3.8</b> Pluviometria .....	14
<b>3.9</b> Análises Estatísticas .....	14
<b>4. RESULTADOS</b> .....	15
<b>4.1</b> Conteúdo de Água no Solo Superficial .....	15
<b>4.2</b> Concentrações de N e P no Solo .....	16
<b>4.3</b> Produção de Serapilheira .....	17
<b>4.4</b> Concentração de Nitrogênio (N) na Serapilheira Foliar .....	22
<b>4.5</b> Concentração de Fósforo (P) na Serapilheira Foliar .....	25
<b>4.6</b> Razão N:P na Serapilheira Foliar .....	27
<b>4.7</b> Fluxo de Nutrientes Através da Serapilheira .....	28

<b>4.8</b>	<b>Decomposição da Serapilheira Foliar .....</b>	<b>31</b>
	<i>Experimento 1: maio de 2008 a maio de 2009 (366 dias) .....</i>	<b>31</b>
	<i>Experimento 2: novembro de 2008 a maio de 2009 (196 dias) .....</i>	<b>34</b>
	<i>Experimento 1 x experimento 2 .....</i>	<b>34</b>
<b>4.9</b>	<b>Concentração de Nutrientes em Folhas Maduras de <i>M. laruotteana</i> .....</b>	<b>36</b>
<b>4.10</b>	<b>Concentração de Nutrientes nas Folhas Senescentes de <i>Myrcia laruotteana</i> .....</b>	<b>38</b>
<b>4.11</b>	<b>Eficiência de Retranslocação de Nutrientes nas Folhas de <i>Myrcia laruotteana</i> .....</b>	<b>39</b>
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização do Solo Superficial .....</b>	<b>41</b>
<b>5.2</b>	<b>Produção de Serapilheira .....</b>	<b>43</b>
<b>5.3</b>	<b>Aporte de Nutrientes pela Serapilheira Foliar .....</b>	<b>47</b>
	<i>Fluxo de Nutrientes pela Serapilheira Foliar .....</i>	<b>50</b>
<b>5.4</b>	<b>Decomposição da Serapilheira Foliar .....</b>	<b>51</b>
<b>5.5</b>	<b>Nutrientes em Folhas de <i>M. laruotteana</i> .....</b>	<b>56</b>
	<i>Folhas Maduras .....</i>	<b>56</b>
	<i>Eficiência de Retranslocação .....</i>	<b>57</b>
	<i>Proficiência de Retranslocação .....</i>	<b>59</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1:** Localização do Parque Estadual do Itacolomi entre os municípios de Ouro Preto e Mariana e dentro do Estado de Minas Gerais .....7
- Figura 2:** (a) Aspecto geral da vegetação no trecho de floresta paludosa estudado. (b) ponto de afloramento do lençol freático. (c) transporte de água e sedimentos da floresta paludosa para o córrego do Manso. (d) aspecto geral da superfície do solo na área de estudo .....9
- Figura 3:** Desenho amostral utilizado no experimento, formado por nove unidades amostrais compostas por três pontos de amostragem cada uma .....10
- Figura 4:** (a) procedimento para coleta de solo, (b) coletor de serapilheira, (c) saco de decomposição utilizado, (d) amostras de solo para medição da massa seca .....11
- Figura 5:** Precipitação mensal nas proximidades do fragmento de floresta paludosa estudado entre abril de 2007 e março de 2008. Fonte: Pedreira (2008) .....14
- Figura 6:** Conteúdo médio mensal de água no solo superficial da floresta paludosa estudada entre junho/2008 e maio/2009 .....16
- Figura 7:** (a) Produção mensal média de serapilheira entre junho de 2008 e maio de 2009. (b) Produção anual média das diferentes frações da serapilheira e contribuição em porcentagem de cada fração em relação à serapilheira total .....18
- Figura 8:** (a) Produção mensal média de serapilheira foliar entre junho de 2008 e maio de 2009. (b) Produção média de serapilheira foliar durante as estações seca e chuvosa e durante o período de maior produção .....19
- Figura 9:** (a) Produção mensal média de serapilheira foliar de *Myrcia laruotteana* entre junho de 2008 e maio de 2009. (b) Produção média de serapilheira foliar durante as estações seca e chuvosa e durante o período de maior produção .....20
- Figura 10:** (a) Produção mensal média de serapilheira foliar das outras espécies que habitam a floresta paludosa estudada entre junho de 2008 e maio de 2009. (b) Produção média de serapilheira foliar durante as estações seca e chuvosa e durante o período de maior produção .....21
- Figura 11:** (a) Produção mensal média de miscelânea entre junho de 2008 e maio de 2009. (b) Comparação entre a produção média mensal das frações “miscelânea” e “folhas” na serapilheira produzida na floresta paludosa estudada entre junho de 2008 e maio de 2009 .....22
- Figura 12:** Concentrações médias de nitrogênio (N) na serapilheira foliar total nas zonas 1 e 2 durante o ano e durante as estações seca e chuvosa ..... 23
- Figura 13:** Concentrações de N na serapilheira foliar de *M. laruotteana* e das outras espécies que habitam a área estudada (a) durante o ano e durante as estações seca e chuvosa e (b) dentro das duas zonas ..... 24
- Figura 14:** Concentrações médias de nitrogênio (N) na serapilheira foliar (a) de *M. laruotteana* e (b) das outras espécies nas zonas 1 e 2 durante o ano e durante as estações seca e chuvosa ..... 25

<b>Figura 15:</b> Concentrações de fósforo na serapilheira foliar total produzida nas zonas 1 e 2 durante o ano e durante as estações seca e chuvosa .....	<b>26</b>
<b>Figura 16:</b> (a) Concentrações de P na serapilheira foliar de <i>M. laruotteana</i> nas zonas 1 e 2 durante o ano e as estações seca e chuvosa. (b) Concentrações de P na serapilheira foliar das outras espécies da floresta paludosa .....	<b>27</b>
<b>Figura 17:</b> (a) Razão N:P na serapilheira foliar total, de <i>M. laruotteana</i> e das outras espécies nas zonas 1 e 2. (b) Correlação entre concentração de P e razão N:P na serapilheira foliar .....	<b>28</b>
<b>Figura 18:</b> (a) Fluxo de N através da serapilheira foliar total e de <i>Myrcia laruotteana</i> durante o ano e durante as estações seca e chuvosa. (b) Quantidade de N transferido pela serapilheira foliar na área estudada .....	<b>29</b>
<b>Figura 19:</b> (a) Fluxo de P através da serapilheira foliar total e de <i>Myrcia laruotteana</i> durante o ano e durante as estações seca e chuvosa. (b) Variação mensal na quantidade de P transferido pela serapilheira foliar na área estudada .....	<b>30</b>
<b>Figura 20:</b> Taxa de decomposição da serapilheira foliar coletada na zona 1 quando decomposta em seu local natural (Zona 1) e em um local mais seco (Zona 2) e taxas de decomposição da serapilheira foliar coletada na zona 2 quando decomposta em seu local natural (Zona 2) e em um local mais úmido (Zona 1) .....	<b>32</b>
<b>Figura 21:</b> Taxa de decomposição da serapilheira foliar de <i>M. laruotteana</i> e das outras espécies entre novembro/ 2008 e maio/2009 .....	<b>36</b>
<b>Figura 22:</b> Teste de correlação de Pearson entre a proficiência de retranslocação de fósforo (PRP) e a razão N:P em folhas maduras de <i>M. laruotteana</i> .....	<b>38</b>
<b>Figura 23:</b> (a) Eficiência média de retranslocação de N (ERN %) dos indivíduos 1, 4, 6, 8 e 9 (grupo 1) e 2, 3, 5, 7 e 10 (grupo 2) (b) Eficiência média de retranslocação de P (ERP %) dos indivíduos 3, 4, 6 e 8 (grupo 1) e 1, 2, 5, 7, 9 e 10 (grupo 2) .....	<b>40</b>
<b>Figura 24:</b> Eficiência média de retranslocação de nitrogênio (ERN) e de fósforo (ERP) nas folhas de <i>Myrcia laruotteana</i> na floresta paludosa (total) e nas zonas 1 e 2 .....	<b>40</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Concentrações de N, P e razão N:P no solo da floresta paludosa estudada .....	17
<b>Tabela 2:</b> Concentração média de nitrogênio (N) na serapilheira foliar total, de <i>Myrcia laruotteana</i> e das outras espécies na floresta paludosa estudada .....	23
<b>Tabela 3:</b> Concentração média de fósforo (P) na serapilheira foliar total, de <i>Myrcia laruotteana</i> e das outras espécies na floresta paludosa estudada .....	26
<b>Tabela 4:</b> Razão N:P na serapilheira foliar total, de <i>Myrcia laruotteana</i> e das outras espécies na floresta paludosa estudada .....	28
<b>Tabela 5:</b> Fluxo médio de nutrientes através da serapilheira foliar total e de <i>M. laruotteana</i> nas zonas 1 e 2 durante o ano e durante as estações seca e chuvosa .....	31
<b>Tabela 6:</b> Coeficiente de decomposição (k), porcentagem de massa perdida (%MP) e tempo de meia vida da serapilheira foliar total e de <i>M. laruotteana</i> depositada em maio de 2008 durante 366 dias entre maio de 2008 e maio de 2009 .....	32
<b>Tabela 7:</b> Coeficiente de decomposição (k) e porcentagem de massa perdida (%MP) da serapilheira foliar total e de <i>M. laruotteana</i> depositada em maio de 2008, durante os primeiros 170 dias entre maio de 2008 e novembro de 2008 (estação seca) e durante os últimos 196 dias do experimento, entre novembro de 2008 e maio de 2009 (estação chuvosa) .....	33
<b>Tabela 8:</b> Coeficiente de decomposição (k), porcentagem de massa perdida (%MP) e tempo de meia vida da serapilheira foliar total e de <i>M. laruotteana</i> depositada em agosto de 2008 durante um período de 196 dias entre novembro de 2008 e maio de 2009 .....	35
<b>Tabela 9:</b> Taxa de decomposição (%MP) da serapilheira foliar total e de <i>M. laruotteana</i> depositada em maio de 2008 durante os primeiros 170 dias do experimento 1 (maio a novembro de 2008 - estação seca) e taxa de decomposição (%MP) da serapilheira foliar total e de <i>M. laruotteana</i> depositada em agosto de 2008 durante os primeiros 196 dias do experimento 2 (novembro de 2008 a maio de 2009 - estação chuvosa) .....	35
<b>Tabela 10:</b> Concentrações de nitrogênio, fósforo e carbono em folhas verdes e senescentes - proficiência de retranslocação - de indivíduos de <i>M. laruotteana</i> .....	37
<b>Tabela 11:</b> Razão N:P, C:N e C:P em folhas verdes (maio/2008) e senescentes (agosto/2008) de indivíduos de <i>M. laruotteana</i> .....	37
<b>Tabela 12:</b> Eficiência de retranslocação de nitrogênio (ERN) e fósforo (NRP) dos indivíduos de <i>Myrcia laruotteana</i> amostrados nas zonas 1 e 2 da floresta paludosa estudada .....	40
<b>Tabela 13:</b> Produção anual média de serapilheira foliar e porcentagem da fração foliar em relação à serapilheira total em alguns ecossistemas florestais tropicais .....	45
<b>Tabela 14:</b> Concentração de N e P ( $\text{g.kg}^{-1}$ ), fluxo de nutrientes pela serapilheira ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) foliar e razão N:P em alguns ecossistemas florestais tropicais .....	48

<b>Tabela 15:</b> Taxa de decomposição da serapilheira foliar expressa em porcentagem de massa perdida (%MP) e coeficiente de decomposição (k) de vários ecossistemas .....	<b>53</b>
<b>Tabela 16:</b> Taxa de decomposição expressa como porcentagem de massa perdida e coeficiente de decomposição de espécies de plantas em diversos ecossistemas .....	<b>55</b>
<b>Tabela 17:</b> Proficiência de retranslocação (PR; concentração de nutrientes em folhas senescentes) de N e P em algumas espécies de habitats tropicais e temperados .....	<b>61</b>
<b>Tabela 18:</b> Variações sazonais e espaciais das principais variáveis analisadas durante o estudo.....	<b>62</b>

## RESUMO

O presente estudo foi conduzido em uma floresta paludosa de altitude no Parque Estadual do Itacolomi, MG, com a finalidade de se caracterizar os principais processos envolvidos na ciclagem e possíveis variações associadas ao regime de inundação e saturação hídrica do solo nesse tipo de ecossistema. Foi estabelecido transecto ao longo de um gradiente de umidade no qual foram mensuradas a produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira, além da eficiência e proficiência de retranslocação de *Myrcia laruotteana*, espécie com maior importância fitossociológica no local. A floresta paludosa apresentou baixa taxa de ciclagem de nutrientes relacionada à baixa produção e à lenta decomposição da serapilheira. As regiões com menor conteúdo de água no solo apresentaram maior disponibilidade de P no solo, maior fluxo de nutrientes e melhor qualidade nutricional da serapilheira em relação a regiões mais úmidas. Por outro lado, a saturação hídrica acelerou o processo de decomposição. A floresta paludosa apresentou forte limitação por P nas regiões mais úmidas, com tendência em alguns indivíduos de *M. laruotteana* à co-limitação por N e P nas regiões com menor saturação hídrica. A espécie apresentou plasticidade fisiológica em resposta às diferenças de condições nutricionais e hídricas do solo, e em geral, os indivíduos tiveram maior eficiência e proficiência de retranslocação de P em relação ao N. A proficiência de retranslocação de P apresentou forte correlação com a limitação por P. *M. laruotteana* se mostrou a espécie de maior importância para a ciclagem de nutrientes na floresta paludosa, transferindo para o solo uma quantidade de nutrientes duas vezes maior em relação a todas as outras espécies da floresta paludosa. De maneira geral, a ciclagem de nutrientes na floresta paludosa é controlada por uma interação entre fatores ambientais e características bióticas da comunidade que variam em pequena escala de espaço na área, resultando em uma ciclagem mais eficiente nas regiões mais distantes do córrego, onde ocorre um balanço entre o uso e liberação de nutrientes que, aparentemente, ameniza a limitação por P nesses locais.

## ABSTRACT

This study was conducted in a swamp forest at Itacolomi State Park, MG, in order to characterize the main processes involved in nutrient cycling and possible variations associated with flooding and soil water saturation in this type of ecosystem. Along a soil moisture gradient were measured the production, decay and nutritional quality of leaf litter as well as resorption efficiency and proficiency in leaves of *Myrcia laruotteana*, the most important species at this site. The swamp forest showed low rate of nutrient cycling related to low production and the slow decomposition of litter. The regions with relatively lower water content in soil had a higher availability of P in soil, increased flow of nutrients from vegetation to soil and better nutritional quality of litter as compared to wetter regions. At a local spatial scale, soil water saturation enhanced leaf decomposition. The swamp forest showed a strong P-limitation in the wetter regions, with a tendency, in some individuals of *M. laruotteana*, to co-limitation by N and P in regions with lower water saturation. Individuals of *M. laruotteana* showed physiological plasticity in response to differences in soil nutritional status and moisture, and generally, showed higher P resorption efficiency and proficiency compared to N. P resorption proficiency was strongly correlated with P-limitation. *M. laruotteana* proved to be of greatest importance to nutrients cycling in the swamp forest, transferring to the soil two times more nutrients in relation to all other species together. In general, nutrient cycling in the swamp forest is controlled by an interaction between environmental factors and biotic characteristics of the community with significant variations at special scale, resulting in a more efficient cycling in the most distant stream, where a balance between use and release of nutrients seems to reduce the P-limitation at these sites.

# 1. INTRODUÇÃO

## *Ciclagem de Nutrientes*

A produtividade em ecossistemas terrestres está diretamente ligada à ciclagem de nutrientes entre os diversos componentes do sistema solo-planta. Em outras palavras, quando nutrientes são continuamente extraídos do solo pelas plantas e microrganismos ou transferidos para outros compartimentos do ecossistema, a velocidade com que essas perdas ocorrem é um fator chave para o ajuste da produtividade vegetal (Terror 2007). Em grande parte dos ecossistemas florestais, a ciclagem de nutrientes ocorre principalmente através da deposição de serapilheira, que determina a quantidade de nutrientes liberados pela vegetação, enquanto sua decomposição caracteriza o retorno efetivo desses nutrientes ao solo (Montagnini & Jordan 2002).

A serapilheira é formada por materiais vegetais decíduos depositados sobre o solo, sendo a fração foliar sua maior constituinte, podendo representar até 80% de toda a serapilheira depositada em ecossistemas florestais tropicais (Moraes *et. al.* 1994; Martins & Rogrigues 1999; Backes *et. al.* 2005; Hora *et. al.* 2008). Além do seu papel direto na ciclagem de nutrientes, o acúmulo de serapilheira reduz as amplitudes de variação de temperatura do solo e também a taxa de evaporação, aumentando a umidade local do solo e criando uma maior diversidade de habitats e microclimas que podem influenciar diretamente no desenvolvimento da macro e microfauna decompositora, aumentando conseqüentemente a taxa de retorno de nutrientes ao solo (Montagnini & Joradan 2002; Terror 2007).

A produção de serapilheira tem sido amplamente investigada nos mais diversos ecossistemas florestais em regiões temperadas e tropicais. Um padrão recorrente na grande maioria dos ecossistemas florestais é a sazonalidade da produção de serapilheira em resposta à variação em importantes fatores ambientais ao longo do ano. Diversos estudos mostram que a produção de serapilheira é regulada por uma série de fatores como a disponibilidade hídrica (Burghouts *et. al.* 1994; Moraes *et. al.* 1999, Montagnini & Jordan 2002; Dias 2002; Arato *et. al.* 2003;), duração do fotoperíodo (Pagano & Durigan 2000), temperatura (Pinto & Marques 2003; Pinto *et. al.* 2008), composição florística e estágio sucessional da vegetação (Pagano & Durigan 2000; Werneck *et. al.* 2001), ação mecânica de chuvas e ventos (Martins & Rodrigues 1999) e fertilidade do solo (Vitousek 1984; Silver 1994).

Estudos sobre a produção de serapilheira em florestas estacionais semidecíduais na região sudeste do Brasil apontam uma nítida tendência à maior produção durante o inverno

(final da estação seca) com picos entre os meses de julho e setembro enquanto ao longo da estação chuvosa (verão/outono) a produção atinge seus valores mínimos (Morellato 1992, Pagano & Durigan 2000, Werneck *et. al.* 2001; Arato *et. al.* 2003; Mitre 2008; Pinto *et. al.* 2008). Assim, a liberação de nutrientes pela vegetação é um processo fortemente sazonal e suas variações ao longo do ano são diretamente controladas pela sazonalidade da deposição de serapilheira (Pagano & Durigan 2000).

A velocidade com que esses nutrientes retornam ao solo depende da colonização da serapilheira por microrganismos que a utilizam como recurso energético, liberando CO<sub>2</sub> para a atmosfera e nutrientes inorgânicos para o solo (Berg & McLaugherty 2007). Segundo Chapin *et. al.* (2002), a decomposição da serapilheira resulta de três processos principais, sujeitos a diferentes formas de controle: (i) Lixiviação pela água, capaz de transferir compostos solúveis da serapilheira em decomposição para o solo, os quais podem ser reabsorvidos por outros organismos, reagir com minerais no solo, tornando-se imobilizados, ou podem ser perdidos para outros sistemas pelo escoamento da água superficial e sub superficial; (ii) fragmentação por macro invertebrados e outros animais, aumentando a superfície disponível para a colonização de microrganismos e auxiliando a mistura da matéria orgânica com o solo; e (iii) alterações químicas resultantes da atividade de microrganismos decompositores, principalmente fungos e bactérias que se desenvolvem sobre a serapilheira e no solo.

Diversos estudos sobre a decomposição em ecossistemas florestais indicam que os principais fatores que atuam em conjunto regulando a taxa de decomposição da serapilheira são (i) a umidade, (ii) a qualidade nutricional da serapilheira foliar, e (iii) a temperatura, os quais podem influenciar diretamente a decomponibilidade da serapilheira e a atividade da micro fauna decompositora (Hobbie & Vitousek 2000; Chapin *et. al.* 2002; Luizão 2004; Cleveland *et. al.* 2006; Berg & McLaugherty 2007; Kozovits *et. al.* 2007; Terror 2007). Assim, a decomposição deve ser analisada como um processo que evoluiu de forma a balancear a disponibilidade de recursos e as demandas nutricionais e energéticas dos microrganismos decompositores, e não para maximizar a ciclagem de nutrientes pela vegetação (Chapin *et. al.* 2002).

A vegetação também pode influenciar a ciclagem de nutrientes em determinado ambiente. A retranslocação de nutrientes, ou seja, a capacidade das plantas em transportar nutrientes essenciais como nitrogênio e fósforo de suas folhas para outros compartimentos internos antes da abscisão foliar é de grande importância para o entendimento da ciclagem de

nutrientes (Killingbeck 1996). A retranslocação é um dos mais importantes mecanismos utilizados pelas plantas para a conservação de nutrientes, levando a vantagens adaptativas em relação à competição, uso de nutrientes e produtividade, especialmente em solos pouco férteis e plantas sob limitação por N ou P (Killingbeck 1996; Güsewell 2005; Kobe 2005). A retranslocação tem um impacto direto sobre a ciclagem de nutrientes, uma vez que responde à disponibilidade de nutrientes no solo, além de alterar a qualidade nutricional da serapilheira depositada, influenciando a taxa de decomposição.

### *Florestas Paludosas*

As florestas ripárias, ou matas ciliares, apresentam uma alta heterogeneidade ambiental provocada por diferenças na topografia, na idade da formação, nas características edáficas e na flutuação do lençol freático (Durigan *et. al.* 2000). Nesse tipo de ecossistema, a fisionomia e a estrutura da comunidade vegetal são muitas vezes influenciadas e decorrentes de variações temporais e espaciais na frequência de inundações e saturação hídrica do solo, o que pode resultar em alteração no comportamento de determinadas populações vegetais (Rodrigues & Sheperd 2000). Segundo Pedreira (2008), estudos mostram que o teor de água no solo é o principal fator condicionante em vegetações ripárias e apresenta uma íntima relação com o regime pluviométrico, traçado e regime de inundação do rio, capacidade de drenagem e características físicas do solo.

As florestas paludosas são formações com ocorrência restrita a solos hidromórficos sujeitos à presença superficial de água em caráter temporário ou permanente devido ao afloramento do lençol freático (Torres *et al.* 1994; Toniato *et al.* 1998), o que confere ao ambiente o aspecto geral conhecido como “brejo”. Segundo Pedreira (2008), a diversidade e o estabelecimento da vegetação nessas áreas estão sujeitos a três critérios básicos: (i) saturação hídrica ou baixa oxigenação do solo; (ii) frequência, intensidade e duração da inundação e (iii) adaptação da vegetação às condições do solo, sendo o segundo critério denominado como hidroperíodo e considerado o fator mais importante na seletividade de espécies nesses ecossistemas. De acordo com Ferreira *et. al.* (2007), a umidade do solo é muitas vezes reconhecida como o principal recurso determinante da estrutura e organização da vegetação em diversos ecossistemas, podendo influenciar a distribuição espacial e densidade das populações vegetais, mesmo em uma escala de poucos metros.

A composição florística e a estrutura fitossociológica das florestas paludosas do sudeste do Brasil têm sido amplamente estudadas (Rocha *et. al.* 2005; Teixeira *et. al.* 2005; Loures *et. al.* 2007; Pedreira 2008), mas pouco se conhece acerca dos impactos da saturação hídrica do

solo sobre os principais processos ecológicos inerentes à interação solo-planta nesses ecossistemas. Haarner *et. al.* (2009) relatam que o transporte de nutrientes da serapilheira e do solo de zonas ripárias para os cursos d'água adjacentes é o principal meio de entrada de nutrientes e matéria orgânica em diversos sistemas fluviais. Além disso, a condição de saturação hídrica do solo pode exercer forte impacto sobre a ciclagem de nutrientes, levando a vegetação a desenvolver mecanismos eficientes no sentido de restringir a perda de nutrientes para outros ecossistemas (Pagano & Durigan 2000).

Durante as últimas décadas, as áreas úmidas, dentre elas as florestas paludosas, vêm sofrendo um intenso processo de degradação, especialmente pela drenagem de seus solos e transformação em terras agrícolas, industriais e urbanas, e estão desaparecendo sem que se conheça a suas funções ecológicas e sua importância para a manutenção dos recursos hídricos (Pedreira 2008). Dentro deste contexto, estudos relativos às florestas paludosas no sentido de ampliar os conhecimentos sobre os principais processos ecológicos e o papel desse tipo de ecossistema na manutenção e preservação dos recursos hídricos são de fundamental importância para a conservação e manejo das áreas úmidas florestais, reconhecidas em 1971 como “áreas prioritárias para conservação”, durante a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, em Ramsar, no Irã, com a participação de 132 países.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi caracterizar a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta em um fragmento de floresta paludosa de altitude no Parque Estadual do Itacolomi (PEIT), Minas Gerais, através de parâmetros como as taxas de produção e decomposição da serapilheira e as concentrações de N e P na serapilheira foliar e no solo superficial da área. O estudo buscou ainda estimar a contribuição da espécie *Myrcia laruotteana* Cambess. para os principais processos envolvidos na ciclagem de nutrientes do ecossistema em questão.

### ***Hipóteses:***

O experimento foi conduzido de acordo com as seguintes hipóteses, elaboradas a partir de observações pessoais e estudos realizados neste e em outros dois fragmentos de floresta paludosa do PEIT:

1 - A condição permanente de alagamento ou saturação hídrica do solo pelo afloramento do lençol freático observada nas florestas paludosas do Parque Estadual do Itacolomi pode limitar importantes processos ligados à ciclagem de nutrientes, especialmente pela diminuição da produção de serapilheira e sua decomposição, que constituem o mais importante meio de retorno de nutrientes da vegetação para o solo em ecossistemas florestais tropicais.

2 - Apesar de todo o ecossistema apresentar condição de saturação hídrica no solo, as regiões mais próximas ao corpo d'água estão sujeitas ao regime de inundação, apresentando maior intensidade de alagamento. Assim, espera-se uma aceleração nos processos ligados à ciclagem de nutrientes de acordo com um gradiente de umidade em direção às regiões mais distantes do córrego do Manso.

3 - De acordo com a intensidade e progressão da estação seca, o conteúdo de água na superfície do solo deve cair abaixo do ponto de saturação hídrica durante os períodos mais secos do ano, permitindo a aeração do solo e desta forma acelerando os processos envolvidos na ciclagem de nutrientes dependentes de oxidação como a decomposição da serapilheira. Assim, a ciclagem de nutrientes na floresta paludosa deve responder à sazonalidade da disponibilidade de água no solo superficial, especialmente nas partes mais distantes do córrego onde, supostamente, a duração e a intensidade da inundação são mais amenas.

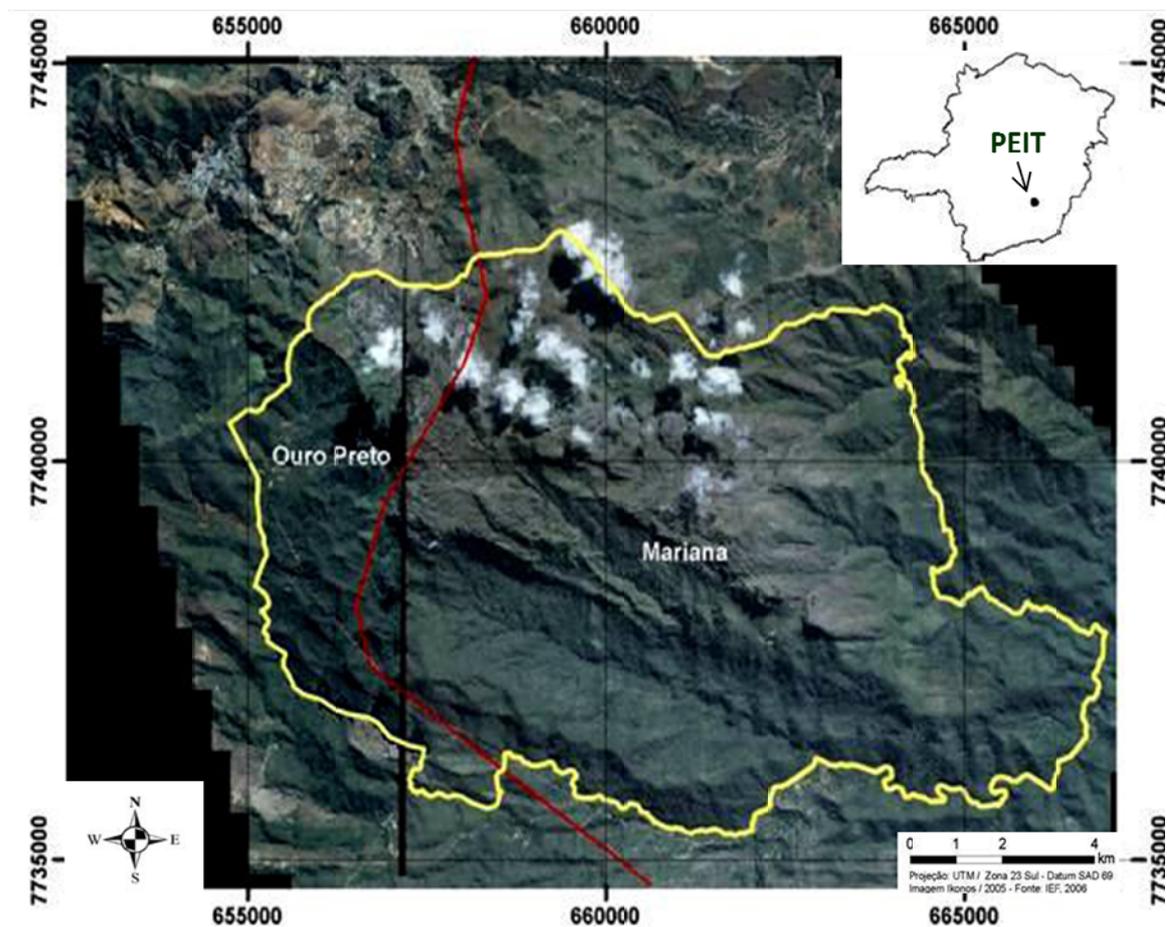
4 - Estudos prévios indicam que *Myrcia laruotteana* é a espécie de maior IVI (valor de importância) na floresta paludosa estudada, com maior frequência, densidade e dominância relativas. Assim, espera-se que a espécie tenha um importante papel no controle da liberação de nutrientes para o solo, principalmente em razão de uma maior produção de serapilheira, o principal meio de aporte de nutrientes em ecossistemas florestais.

5 - As zonas mais próximas ao córrego estão sujeitas ao carreamento da serapilheira e à lixiviação de nutrientes pela água que aflora do lenço freático e escoar em direção ao corpo d'água, o que pode refletir em uma menor concentração de nutrientes no solo em relação às zonas mais distantes. A menor disponibilidade de nutrientes deve ser reforçada pela menor produção e menor qualidade nutricional de serapilheira devido a eficientes mecanismos de translocação interna, diminuindo a qualidade nutricional e levando a uma redução da taxa de decomposição. Assim, espera-se que os indivíduos de *M. laruotteana* localizados próximos ao corpo d'água apresentem maiores taxas de retranslocação e eficiência na conservação de nutrientes em comparação aos indivíduos das zonas mais distantes, e desta forma, contribua para uma menor disponibilidade de nutrientes essenciais limitantes nesta zona.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização Geral – Parque Estadual do Itacolomi

O Parque Estadual do Itacolomi (PEIT) é uma Unidade de Conservação de proteção integral com 7.543 ha, localizada nos municípios de Ouro Preto e Mariana, MG, entre os meridianos 43°32'30"W e 42°22'30"W de longitude e os paralelos 20°22'30"S e 20°30'00"S (figura 1). O relevo é do tipo montanhoso e apresenta vertentes íngremes, com vales encaixados e profundos e altitudes que variam entre 700 e 1.772m. O Parque abriga diversas áreas de nascentes formadoras do ribeirão do Carmo e do rio Gualaxo do Sul, ambos componentes da bacia do Alto Rio Doce (SEMAD/IEF/PROMATA 2007).



**Figura 1:** Localização do Parque Estadual do Itacolomi entre os municípios de Ouro Preto e Mariana e dentro do Estado de Minas Gerais. Fonte: SEMAD/IEF/PROMATA (2007).

O PEIT encontra-se em uma região de transição entre dois grandes biomas brasileiros, o Cerrado e a Mata Atlântica. A vegetação local caracteriza-se pela ocorrência de duas fitofisionomias principais: os campos rupestres e as florestas estacionais alto-montanas. Ocorrem ainda, em menor proporção, formações monodominantes de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish) e eucalipto (*Eucalyptus citriodora* Hook) (SEMAD/IEF/PROMATA 2007).

### *Área de Estudo*

A área estudada está inserida às margens do córrego do Manso, em um fragmento de floresta estacional semidecidual alto-montana de aproximadamente 100 ha, a uma altitude média de 1.350m, sobre solo hidromórfico constantemente saturado devido ao afloramento do lençol freático ou sua proximidade da superfície. O córrego do Manso apresenta leito arenoso, raso e estreito, não ultrapassando dois metros de largura. O relevo local pode ser classificado como plano a plano-ondulado (Pedreira 2008).

De maneira geral, o lençol freático atinge os maiores níveis entre os meses de setembro e fevereiro, devido ao aumento na incidência de chuvas. Em razão do elevado nível do lençol freático e da baixa capacidade de drenagem dos solos hidromórficos, é possível encontrar água acumulada na superfície do solo, mesmo durante os períodos mais secos (figura 2). Há também áreas onde não se observa o afloramento do lençol freático, porém sua proximidade em relação à superfície aliada às características hidromórficas do solo mantém a umidade relativa constantemente elevada, uma característica fundamental para a classificação de áreas pantanosas (Pedreira 2008). O solo da floresta paludosa estudada é classificado conforme o sistema de classificação da EMBRAPA (1999) como Gleissolo Háptico e apresenta textura argilosa, com uma camada de folhas em decomposição e húmus variando entre 3 e 7 cm (figura 2d). O solo da área apresenta acidez elevada, com pH variando entre 4,29 a 5,38, concentração média de ferro (Fe) igual a 828 mg.dm<sup>3</sup>, teor de alumínio (Al) entre alto e muito alto e moderada fertilidade (Pedreira 2008).

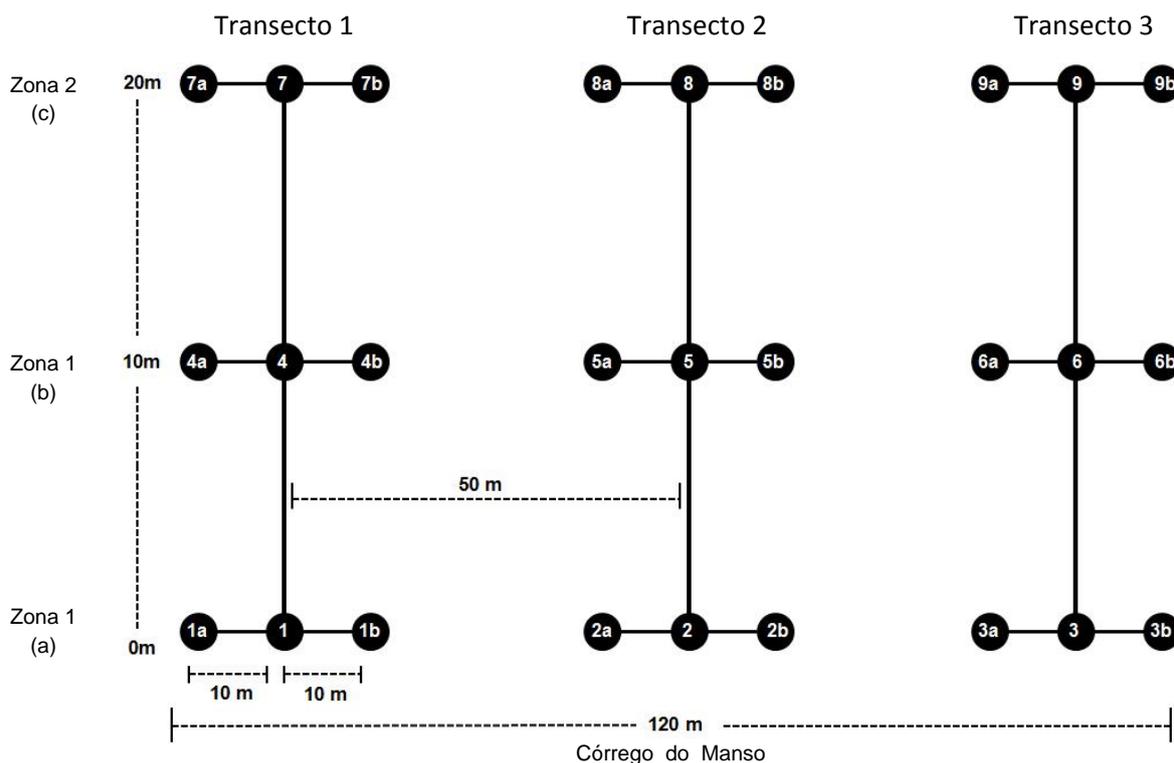
Segundo Pedreira (2008), *Myrcia laruotteana* Cambess. (Myrtaceae) é a espécie de maior índice de valor de importância (IVI) na área de estudo, apresentando os maiores valores de frequência relativa (FR), densidade relativa (DR) e dominância relativa (DoR). Outras espécies de importância na área são *Clethra scabra* Pers. e *Nectandra nitidula* Nees & Mart., porém com densidade e dominância relativas bem menores.



**Figura 2:** (a) Aspecto geral da vegetação no trecho de floresta paludosa estudado. (b) ponto de afloramento do lençol freático. (c) escoamento superficial de água e sedimentos da floresta paludosa para o córrego do Manso. (d) aspecto geral da superfície do solo na área de estudo.

### **3.2 Desenho Amostral**

O desenho amostral do experimento foi feito com três transectos de 20 m de comprimento distantes 50 m entre si, e perpendiculares a uma linha referencial de 120 m de comprimento traçada ao longo da margem direita do córrego (Figura 3). Em cada um dos transectos foram marcados três pontos de coleta (unidades amostrais) de dados, dispostos a 0 m (zona a), 10 m (zona b) e 20 m (zona c) na direção oposta à linha referencial com a intenção de se identificar um gradiente de umidade.. Por sua vez, cada unidade amostral era composta por três pontos amostrais, um central, um localizado a 10 m à esquerda e outro a 10 m à direita do transecto. Após a análise dos dados observou-se que apesar de o conteúdo de água no solo ter apresentado diferenças entre as três regiões, as demais variáveis estudadas não apresentaram diferenças entre as zonas a e b. Portanto, os resultados deste trabalho serão apresentados e discutidos com base em apenas duas zonas. As zonas a e b passam a ser denominadas “zona 1” e a zona c será denominada “zona 2” (Figura 3).

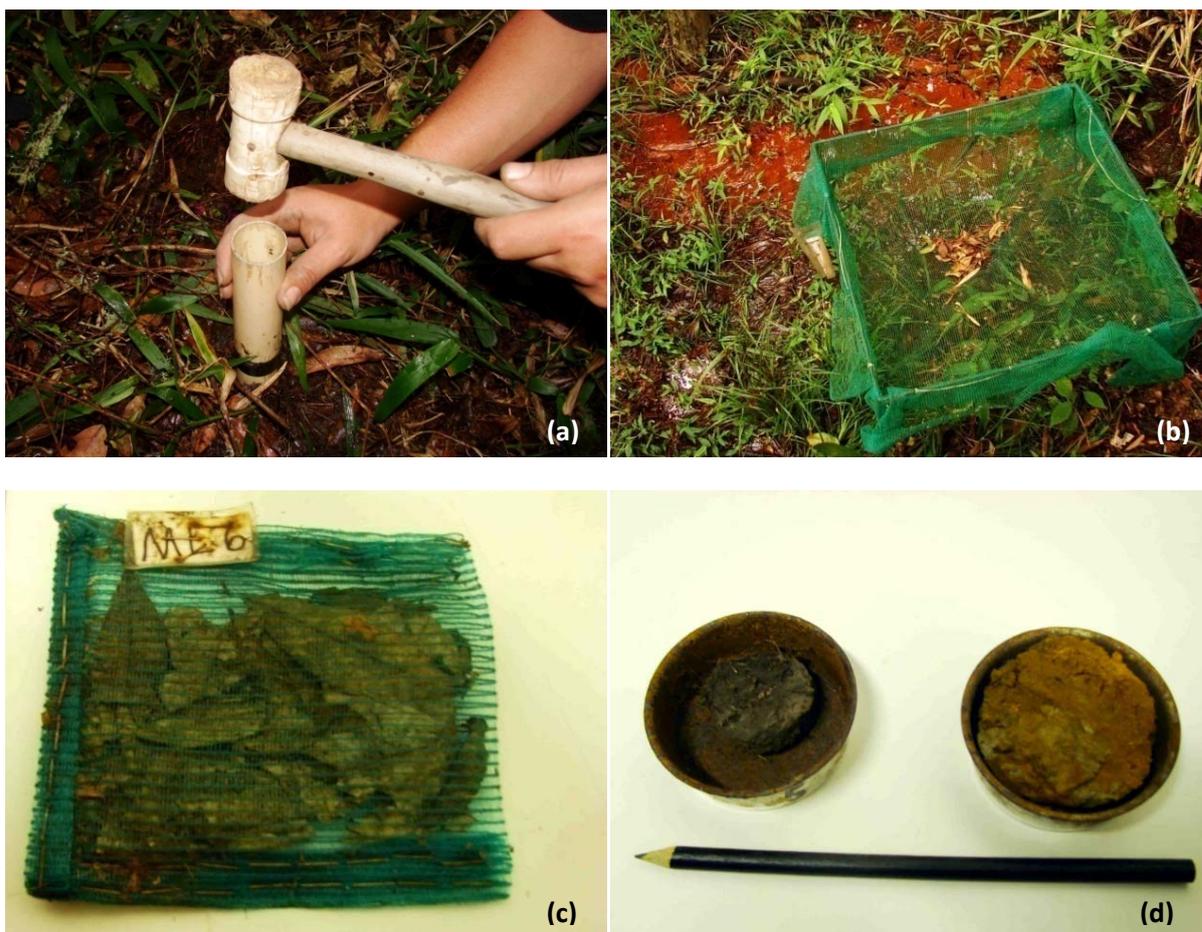


**Figura 3:** Desenho amostral utilizado no experimento, formado por nove unidades amostrais compostas por três pontos de amostragem cada uma. As unidades amostrais e seus respectivos pontos de amostragem estão enumerados de 1 a 9.

### 3.3 Conteúdo de água e concentração de nutrientes no solo superficial:

Para a determinação do conteúdo de água no solo superficial do fragmento de floresta paludosa estudado foram feitas coletas mensais dos 10 cm superficiais do solo em cada um dos pontos amostrais com auxílio de um tubo de PVC de 4,0 cm de diâmetro (figura 4a). As amostras foram colocadas em sacos plásticos vedados e mantidas em caixa de isopor com gelo durante o transporte para o laboratório. O conteúdo de água do solo superficial de cada ponto amostral foi calculado pelo método gravimétrico e expresso como a porcentagem de massa perdida em relação ao peso fresco da amostra de solo após sua secagem em estufa a 100°C por 48 horas. O conteúdo de água no solo superficial de cada unidade amostral foi calculado como as médias entre seus respectivos pontos amostrais (n=3).

Sub-amostras de solo mantidas em refrigerador a 4°C, relativas às coletas de agosto e novembro de 2008, e fevereiro e maio de 2009 foram enviadas ao Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Viçosa para determinação das concentrações de N-total e P-disponível. A concentração de nutrientes em cada unidade amostral foi calculada através de uma única amostra composta por material proveniente dos três pontos amostrais.



**Figura 4:** (a) Procedimento para coleta de solo, (b) coletor de serapilheira, (c) saco de decomposição utilizado no experimento, (d) amostras de solo preparadas para medição da massa seca.

### 3.4 Produção de Serapilheira

Para a coleta de serapilheira, em cada ponto amostral foi instalado um coletor com tela de náilon (malha de  $1 \text{ mm}^2$ ) de  $0,5 \times 0,5 \text{ m}$  a aproximadamente  $15 \text{ cm}$  do solo (figura 4b). A produção de serapilheira em cada unidade amostral foi calculada a partir da soma de seus respectivos pontos amostrais e expressa em  $\text{g.m}^{-2}$ . Foram realizadas 12 coletas mensais entre os meses de junho de 2008 e maio de 2009. Em cada coleta, o material acumulado nos coletores foi armazenado em um saco plástico etiquetado com o número do coletor e data de coleta. Em laboratório o material foi separado em três categorias: material foliar produzido pela espécie *Myrcia laruotteana*, material foliar produzido por outras espécies e miscelânea, composta por material reprodutivo, galhos e outras partes vegetais não identificáveis de qualquer espécie. *M. laruotteana* foi escolhida por ser a espécie de maior índice de valor de importância na área estudada (Pedreira 2008). Após a triagem, o material foi armazenado em sacos de papel devidamente identificados e levado para secagem em estufa a  $60^\circ\text{C}$  por 72

horas. Em seguida o peso seco de cada amostra foi determinado com a ajuda de uma balança de precisão da marca *Shimadzu* CE, modelo DL 3200.

### **3.5 Concentração de Nutrientes na Serapilheira Foliar**

Sub-amostras de serapilheira foliar coletadas em agosto (estação seca) e novembro (início da estação chuvosa) de 2008, e em fevereiro (estação chuvosa) e maio (início da estação seca) de 2009 foram enviadas ao Laboratório de Análise Foliar da Universidade Federal de Viçosa para determinação das concentrações de N e P. Para cada unidade amostral foi feita uma amostra composta com materiais provenientes dos três pontos amostrais. As concentrações de nutrientes na serapilheira foliar produzida por *M. laruotteana* e pelo conjunto das outras espécies presentes na área de estudo foram analisadas separadamente. O fluxo de nutrientes da planta para o solo através da serapilheira foliar foi calculado como o produto entre a produção média de serapilheira e a respectiva concentração de nutrientes (Vital *et. al.* 2004; Nardoto *et al.* 2006; Mariano *et. al.* 2007).

### **3.6 Decomposição da Serapilheira Foliar**

Para a estimativa da taxa de decomposição da serapilheira total e de *M. laruotteana* foram utilizados sacos de decomposição de 15 x 20 cm, feitos com tela de náilon (malha de 1mm<sup>2</sup>), cada um contendo 5g de folhas previamente secas em estufa a 60°C durante 72 h (figura 4c). Nos pontos centrais de cada unidade amostral foram dispostos 4 sacos de decomposição sendo 1 com folhas de *M. laruotteana* coletadas próximas ao córrego (0-10 m), 1 com folhas de *M. laruotteana* coletadas distantes do córrego (10-20 m), 1 com folhas da serapilheira total coletadas próximas ao córrego (0-10 m) e 1 com folhas da serapilheira total coletadas distantes do córrego (10-20 m). Tal combinação foi adotada a fim de se verificar os efeitos da umidade do solo sobre a decomposição de folhas com a mesma qualidade nutricional com uma margem de erro menor. Os experimentos de decomposição foram realizados em duas etapas.

Na primeira etapa (experimento 1), folhas coletadas durante o mês de maio de 2008 (início da estação seca) foram deixadas em decomposição durante 170 dias durante a estação seca, entre os meses de maio e novembro de 2008. Em seguida as folhas foram retiradas e secas em estufa a 60°C por 72 horas. Após a determinação do peso seco as amostras foram novamente deixadas para decomposição por mais 196 dias entre os meses de novembro de 2008 e maio de 2009 (estação chuvosa), totalizando um período de 366 dias.

Na segunda etapa (experimento 2), folhas coletadas durante os meses de agosto e setembro de 2008 (final da estação seca) foram deixadas para decomposição por 196 dias entre os meses de novembro de 2008 e maio de 2009 (estação chuvosa), de forma a caracterizar o processo de decomposição das folhas depositadas durante o período de maior produção de serapilheira na área estudada (Terror 2007).

A taxa de decomposição foi expressa pela porcentagem de massa seca perdida em relação à massa seca original. O coeficiente de decomposição (k) foi calculado através do modelo exponencial  $X_n = X_0 * e^{-kt}$ , onde  $X_n$  é o peso seco após n unidades de tempo,  $X_0$  é o peso seco inicial e t o tempo de decomposição (Olson 1963, Kozovits *et al* 2007). A meia-vida, ou seja, o tempo necessário para decomposição de 50% da serapilheira foi calculada pela equação proposta por Shanks & Olson (1961):  $T_{50\%} = -\text{Ln } 0,5/k$ .

### **3.7 Retranslocação de Nutrientes em Folhas de *Myrcia laruotteana***

Para o cálculo da taxa de retranslocação de nutrientes por *M. laruotteana* foram demarcados, de forma aleatória, 10 indivíduos da espécie, sendo cinco na região entre 0-10m (zona 1) e outros cinco na região entre 10-20m (zona 2) de distância do córrego do Manso. Para cada um dos indivíduos foram coletadas amostras de folhas maduras durante o mês de maio de 2008 (fim da estação chuvosa) e de folhas senescentes durante os meses de agosto e setembro de 2008 (auge da estação seca). O material coletado foi enviado ao Laboratório de Análise Foliar da Universidade Federal de Viçosa para determinação das concentrações de N, P e C-total.

A proficiência de retranslocação caracteriza a concentração mínima a que um nutriente é reduzido durante a senescência foliar e é expressa pela concentração do nutriente nas folhas senescentes (Killingbeck 1996; Kozovits *et. al.* 2007).

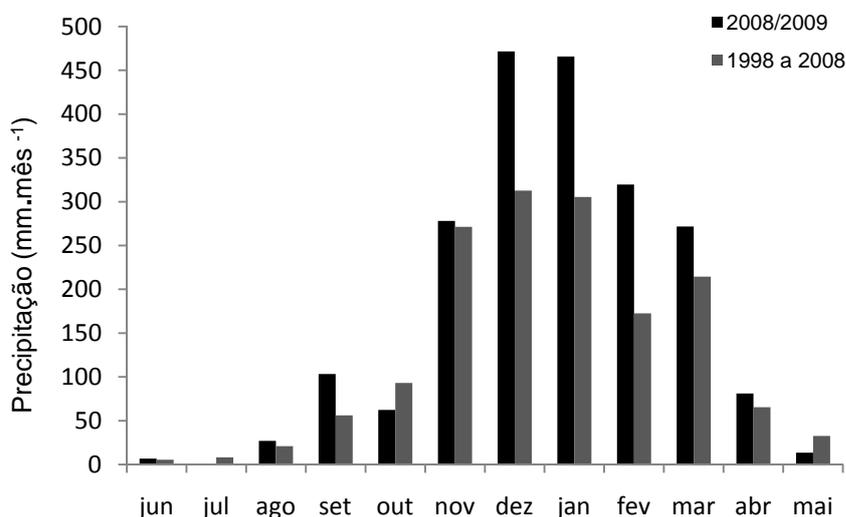
A eficiência de retranslocação, expressa como a diferença entre as concentrações do nutriente nas folhas maduras e senescentes em porcentagem relativa à concentração nas folhas maduras, foi calculada de acordo com Aerts (2007) através da seguinte fórmula:

$$ER = \left( \frac{[N]_{\text{maduras}} - [N]_{\text{senescentes}}}{[N]_{\text{maduras}}} \right) \times 100\%$$

Onde  $[N]_{\text{maduras}}$  e  $[N]_{\text{senescentes}}$  são as concentrações do nutriente (N ou P) nas folhas verdes e senescentes respectivamente.

### 3.8 Pluviometria

O clima da região é classificado como Cwa e Cwb de Köpen, com uma estação seca bem definida compreendendo os meses de abril a setembro. A pluviosidade média anual varia entre 1.100mm e 1.800mm, com os maiores índices durante os meses de dezembro e janeiro.



**Figura 5:** Precipitação mensal nas proximidades do Parque Estadual do Itacolomi entre junho de 2008 e maio de 2009 e médias mensais durante o período de 1998 a 2008 (Dados cedidos pela Novelis do Brasil Ltda, Unidade Ouro Preto, Estação Saramenha).

### 3.9 Análises Estatísticas

A distribuição de cada conjunto de dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Os dados relativos à produção de serapilheira foram logaritimizados a fim de ajustá-los à distribuição normal. Variações mensais foram testadas por ANOVA, utilizando-se o teste de Tukey como *post hoc*. Diferenças entre médias foram testadas através do teste T de Student. Para testar possíveis correlações entre variáveis usou-se o índice de correlação de *Pearson* e análises de regressão exponencial. Devido à grande variabilidade dos dados e a limitação do espaço amostral o nível de significância adotado foi  $\alpha = 0,1$  com a intenção de aumentar o poder dos testes estatísticos e reduzir a probabilidade de ocorrência de um erro tipo II (Kozovits *et. al.* 2007, Terror 2007), assegurando que algumas variações importantes não fossem descartadas. As análises foram geradas pelo programa SPSS 15.0 for Windows, Evaluation Version. Em todos os gráficos as barras de erro representam o Erro Padrão da média.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Conteúdo de Água no Solo Superficial

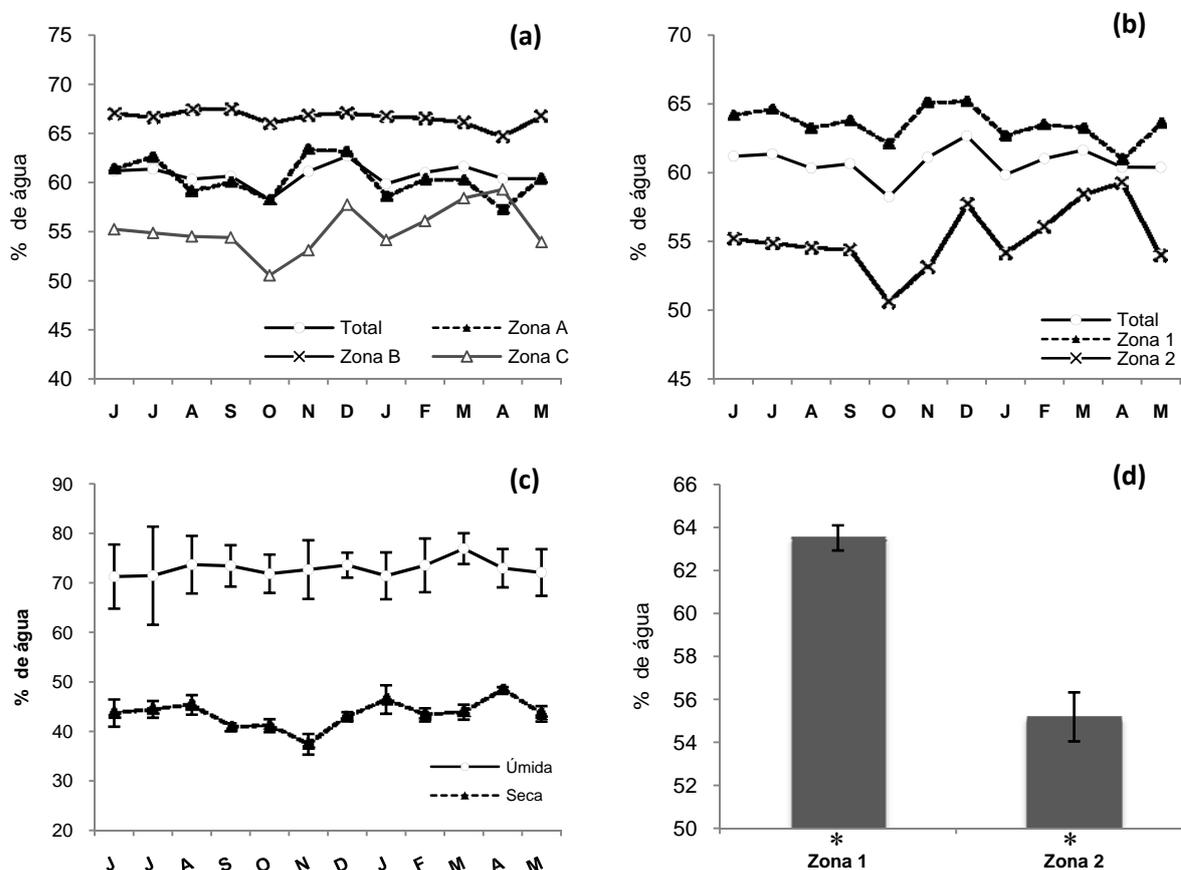
O conteúdo médio anual de água no solo superficial (0-10cm) da área estudada foi de  $61 \pm 11\%$  e se manteve relativamente constante durante todo o ano, variando entre 58 % em outubro e 63 % em dezembro (Figuras 6a e 6b). Não houve diferença significativa entre as estações seca e chuvosa.

A floresta paludosa estudada pôde ser dividida em três zonas distintas com relação ao conteúdo de água no solo superficial ( $F_{2,321} = 39,325$ ;  $p = 0,000$ ) (figuras 3 e 6a). A zona A apresentou um conteúdo médio de água superficial de  $60 \pm 8\%$  durante o ano, com médias mensais variando entre 57 % em abril e 63 % em novembro e foi a região com conteúdo médio de água no solo mais próximo da média total da área estudada. A zona B apresentou o maior conteúdo de água em seu solo superficial, com média anual de  $67 \pm 8\%$  e médias mensais variando entre 65 % em abril e 68 % em setembro. A zona C foi a região com menor conteúdo de água no solo superficial com uma média anual de  $55 \pm 12\%$  e médias mensais variando entre 51 % em outubro e 59 % em abril.

Apesar de o conteúdo superficial de água ter se diferenciado em três zonas distintas, nenhuma das demais variáveis estudadas (produção, decomposição e qualidade da serapilheira, por exemplo), apresentou diferenças significativas entre as zonas A e B. Portanto os resultados e a discussão do trabalho a seguir, serão baseados em apenas duas zonas onde foram observadas diferenças significativas entre as diversas variáveis (figura 3), sendo as zonas A e B, que são mais úmidas, chamadas de “Zona 1” e a zona C, mais seca, denominada zona 2. A zona 1 apresentou um conteúdo médio anual de  $64 \pm 9\%$  durante o período estudado, um valor 16% maior em relação à zona 2 que apresentou uma média de  $55 \pm 12\%$  ( $t_{322} = 7,209$ ,  $p = 0,000$ ; Figura 6d). Nenhuma das duas zonas apresentou variações mensais significativas ou diferenças no conteúdo médio de água no solo entre as estações seca e chuvosa.

A região central da área estudada, composta pela unidade amostral 5 (figura 3), apresentou condição de alagamento permanente durante todo o ano (observação pessoal) e conteúdo médio de água no solo superficial igual a  $73 \pm 8\%$  com alguns pontos amostrais apresentando valores superiores a 80% durante os meses de junho, julho, fevereiro e março. Por outro lado, uma parte da zona 2 (unidade amostral 7; figura 3) não apresentou condição de alagamento em nenhum momento (observação pessoal). O conteúdo médio de água no solo

dessa região foi de  $44 \pm 4$  %, com média mensal de 37 % durante o mês de novembro. As duas regiões foram respectivamente as regiões mais úmida e menos úmida da área estudada, com uma diferença de 45 % entre o conteúdo médio de água no solo superficial ( $F_{26;297} = 28,146$ ;  $p = 0,000$ ; figura 6c).



**Figura 6:** Conteúdo médio mensal de água no solo superficial da floresta paludosa estudada entre junho/2008 e maio/2009 (a) nas três zonas inicialmente delimitadas (A, B e C), (b) dentro das duas zonas estudadas (1 e 2), (c) entre a região mais úmida, composta amostra 5 e a região menos úmida, composta pela amostra 7 (figura 3), e (d) diferença entre o conteúdo médio anual de água superficial nas duas zonas estudadas (1 e 2). Asteriscos indicam diferenças significativas entre as médias (Teste t;  $p < 0,1$ ).

#### 4.2 Concentrações de N e P no solo

A concentração média de nitrogênio total (N) no solo superficial (0-10cm) da floresta paludosa foi de  $6,5 \pm 2,3$  g.kg<sup>-1</sup> e não apresentou qualquer variação sazonal significativa. A zona 1 apresentou uma concentração média de N em torno de  $6,9 \pm 2,3$  g.kg<sup>-1</sup>, enquanto os valores da zona 2 seguiram uma média de  $5,7 \pm 2,0$  g.kg<sup>-1</sup>, não havendo, entretanto, diferença significativa entre as duas médias (tabela 1).

A concentração de fósforo disponível (P) no solo superficial da área de estudo variou em torno de  $3,6 \pm 1,8 \text{ mg.kg}^{-1}$  e também não apresentou diferenças entre as estações seca e chuvosa. A zona 2 apresentou concentração média de P disponível de  $4,3 \pm 1,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ , valor 42% maior em relação à média observada na zona 1, em torno de  $3,2 \pm 1,7 \text{ mg.kg}^{-1}$  ( $t_{34} = -1,893$ ,  $p = 0,067$ ; tabela 1).

A razão N:P no solo superficial foi, em média,  $2155 \pm 944$  e não variou significativamente entre as estações seca e chuvosa. O solo da zona 1 apresentou razão N:P 64% maior que a zona 2 ( $t_{34} = 3,269$ ;  $p = 0,002$ ). A maior diferença entre as razões N:P nas duas zonas foi observada durante a estação chuvosa, quando a zona 1 apresentou N:P 89% maior em relação à zona 2 (tabela 1).

**Tabela 1:** Concentrações de N, P e razão N:P no solo da floresta paludosa estudada. Asteriscos indicam diferenças significativas entre médias dentro de uma mesma coluna.

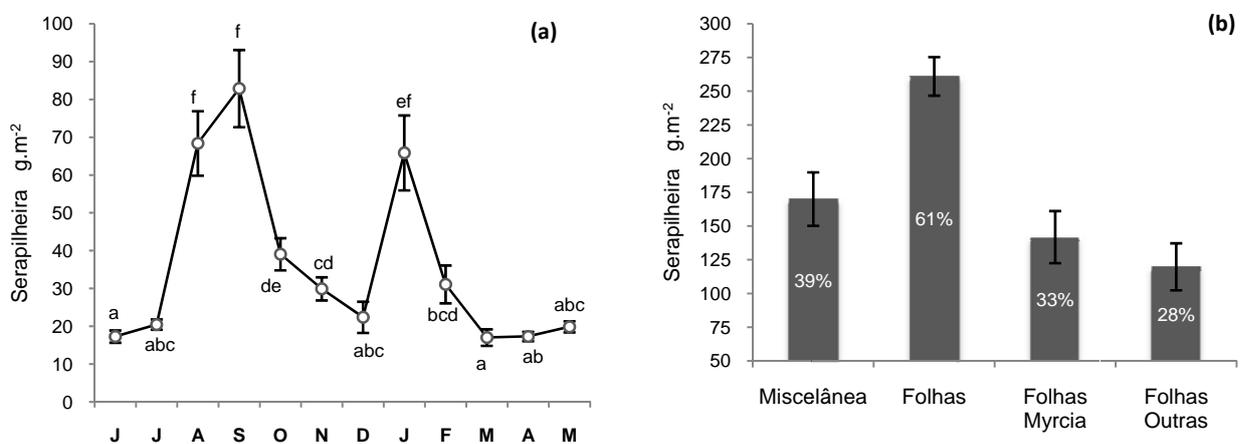
<b>N g.kg<sup>-1</sup></b>							
	<b>Ago/08</b>	<b>Nov/08</b>	<b>Fev/09</b>	<b>Mai/09</b>	<b>Anual</b>	<b>Seca</b>	<b>Chuvosa</b>
<b>Total</b>	6,3 ± 2,6	5,6 ± 1,5	7,7 ± 2,3	6,3 ± 2,2	6,5 ± 2,3	6,3 ± 2,4	6,7 ± 2,2
<b>Zona 1</b>	7,2 ± 2,9	5,7 ± 1,8	8,4 ± 1,6	6,2 ± 2,3	6,9 ± 2,3	6,7 ± 2,6	7,1 ± 2,1
<b>Zona 2</b>	4,6 ± 0,6	5,2 ± 1,0	6,4 ± 3,3	6,6 ± 2,4	5,7 ± 2,0	5,6 ± 1,9	5,8 ± 2,3
<b>P mg.kg<sup>-1</sup></b>							
	<b>Ago/08</b>	<b>Nov/08</b>	<b>Fev/09</b>	<b>Mai/09</b>	<b>Anual</b>	<b>Seca</b>	<b>Chuvosa</b>
<b>Total</b>	2,9 ± 1,4	3,6 ± 1,9	4,3 ± 2,1	3,5 ± 1,7	3,6 ± 1,8	3,2 ± 1,5	4,0 ± 1,9
<b>Zona 1</b>	2,6 ± 0,9	3,0 ± 1,8	3,9 ± 2,2	3,2 ± 1,9	3,2 ± 1,7 *	2,9 ± 1,4 *	3,5 ± 1,9 *
<b>Zona 2</b>	3,4 ± 2,3	4,9 ± 1,6	5,0 ± 2,1	4,1 ± 1,0	4,3 ± 1,7 *	3,7 ± 1,6 *	4,9 ± 1,7 *
<b>N:P</b>							
	<b>Ago/08</b>	<b>Nov/08</b>	<b>Fev/09</b>	<b>Mai/09</b>	<b>Anual</b>	<b>Seca</b>	<b>Chuvosa</b>
<b>Total</b>	2441 ± 910	1943 ± 1030	2143 ± 1061	2091 ± 859	2155 ± 944	2266 ± 877	2043 ± 1020
<b>Zona 1</b>	2793 ± 783	2328 ± 1039	2517 ± 1039	2268 ± 907	2476 ± 908*	2531 ± 853*	2422 ± 996*
<b>Zona 2</b>	1736 ± 811	1173 ± 464	1396 ± 741	1738 ± 784	1511 ± 658*	1737 ± 714*	1285 ± 566*

### 4.3 Produção de Serapilheira

A produção anual média de serapilheira na floresta paludosa estudada foi de  $431,7 \pm 98,2 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  e não apresentou diferenças significativas entre as estações seca e chuvosa ou entre as zonas 1 e 2. A maior produção ocorreu durante o final da estação seca (agosto e setembro), após um aumento de quatro vezes entre a produção média dos meses de julho ( $20,5$

$\pm 4,1 \text{ g.m}^{-2}$ ) e setembro ( $82,9 \pm 30,6 \text{ g.m}^{-2}$ ; figura 7a). Em seguida a produção sofreu uma queda de 73% entre os meses de setembro e dezembro. Durante o mês de janeiro foi observado um segundo pico de produção com um aumento de três vezes em relação ao mês de dezembro. Em fevereiro a produção sofreu nova queda, permanecendo relativamente constante entre os meses de março e julho. Os menores valores para a produção de serapilheira foram registrados nos meses de março e junho, com médias mensais de  $17 \pm 6,6 \text{ g.m}^{-2}$  e  $17,3 \pm 4,9 \text{ g.m}^{-2}$  respectivamente ( $F_{11,96} = 23,326$ ;  $p = 0,000$ ; figura 7a).

A serapilheira total produzida no fragmento de floresta paludosa apresentou a seguinte proporção entre seus componentes: folhas de *M. laruotteana* (33%), folhas de outras espécies (28%) e miscelânea (39%) (figura 7b).



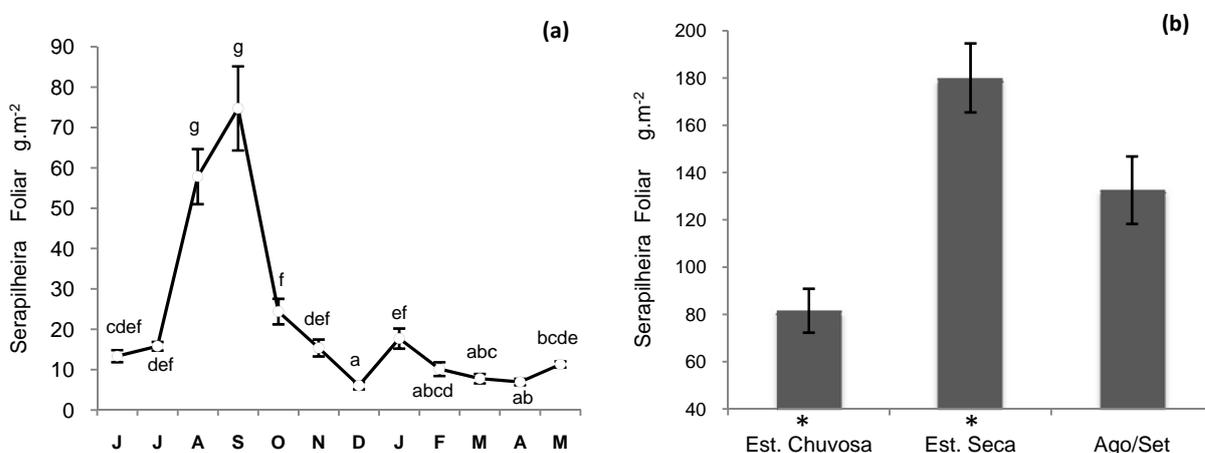
**Figura 7:** (a) Produção mensal média de serapilheira entre junho de 2008 e maio de 2009. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais ( $F_{11,96} = 23,326$ ;  $p = 0,000$ ) (b) Produção anual média das diferentes frações da serapilheira e contribuição em porcentagem (valores dentro das barras) de cada fração em relação à serapilheira total. Barras de erro representam o erro padrão das médias.

A produção média anual de serapilheira foliar foi de  $261,1 \pm 42,9 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  e representou 61% da serapilheira total produzida na floresta paludosa estudada. Não houve diferença significativa na produção de serapilheira foliar entre as duas zonas ou qualquer diferenciação espacial entre os pontos amostrais dentro da área estudada.

A maior produção de folhas ocorreu no final da estação seca, durante os meses de agosto ( $57,9 \pm 20,5 \text{ g.m}^{-2}$ ) e setembro ( $74,8 \pm 31,3 \text{ g.m}^{-2}$ ), que juntos representaram 51% de toda a serapilheira foliar e 31% da serapilheira total produzida durante o ano (figuras 8a e 8b). A partir do mês de outubro, início da estação chuvosa, a produção de serapilheira foliar sofreu uma queda significativa, atingindo seu menor valor durante o mês de dezembro, com média

de  $6,1 \pm 2,7 \text{ g.m}^{-2}$ . Em janeiro foi registrado um ligeiro aumento, porém significativo, seguido de nova queda. A produção seguiu relativamente constante com uma tendência de queda durante a estação chuvosa. A partir do mês de junho a produção sofreu aumento significativo em relação ao final da estação chuvosa precedendo o pico de produção no final da estação seca ( $F_{11,96} = 30,509$ ;  $p = 0,000$ ; figura 8a).

Comparando-se as estações seca e chuvosa (Figura 8b), a produção média de serapilheira foliar durante a seca apresentou uma média de  $180,1 \pm 43,8 \text{ g.m}^{-2}$ , o equivalente a 69% da serapilheira foliar produzida durante todo o ano. A produção média durante a estação chuvosa foi de  $81,6 \pm 27,9 \text{ g.m}^{-2}$ , sendo 55% inferior àquela da estação seca ( $t_{16} = 5,690$ ;  $p = 0,000$ ).

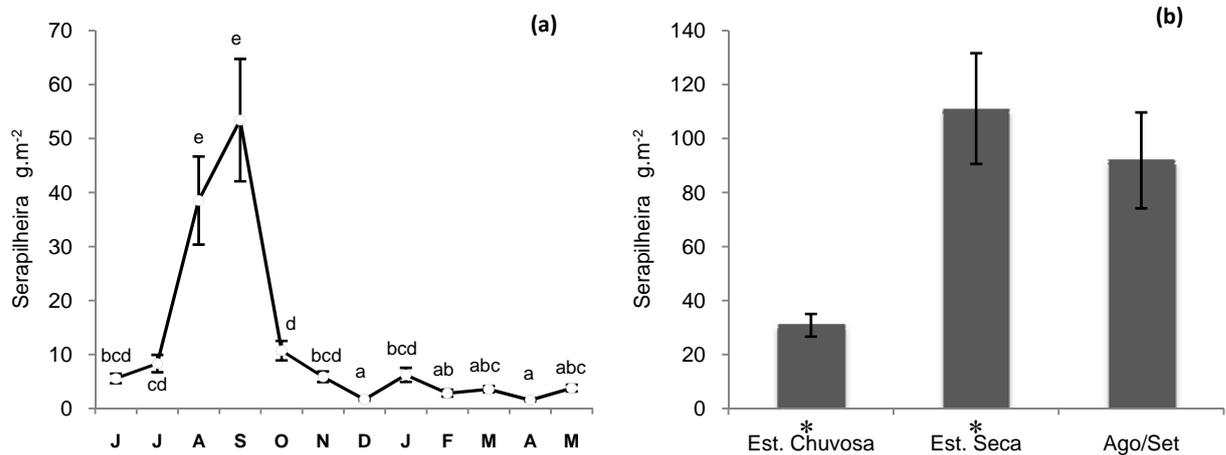


**Figura 8:** (a) Produção mensal média de serapilheira foliar entre junho de 2008 e maio de 2009. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais ( $F_{11,96} = 31,363$ ;  $p = 0,000$ ). (b) Produção média de serapilheira foliar durante as estações seca e chuvosa e durante o período de maior produção. Asteriscos indicam diferenças significativas entre as médias de cada estação ( $t_{16} = 5,690$ ;  $p = 0,000$ ).

As folhas da espécie *Myrcia laruotteana* foram responsáveis por 54% de toda a serapilheira foliar produzida, com produção média de  $141,9 \pm 57,9 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Não houve diferenças significativas entre as duas zonas.

A produção de serapilheira foliar por *M. laruotteana* apresentou padrão semelhante à serapilheira foliar total, com pico durante os meses de agosto ( $38,5 \pm 24,5 \text{ g.m}^{-2}$ ) e setembro ( $53,4 \pm 34 \text{ g.m}^{-2}$ ), seguido de uma queda significativa a partir de outubro e atingindo a média de  $1,7 \pm 0,6 \text{ g.m}^{-2}$  em dezembro. Durante o mês de janeiro foi observado um ligeiro aumento na produção que se manteve relativamente constante durante todo o período restante. O menor valor foi observado em abril, início da estação seca ( $F_{11,96} = 15,831$ ;  $p = 0,000$ ; figura 9a).

A produção média de folhas por *M. laruotteana* durante a estação seca foi 261% maior em relação à média da estação chuvosa ( $t_{16}= 3,834$ ;  $p=0,001$ ; figura 9b). A deposição de folhas por *M. laruotteana* durante os meses de agosto e setembro (figura 9b) foi equivalente a 35% da serapilheira foliar produzida durante o ano, e representou 21% da produção anual de serapilheira total.

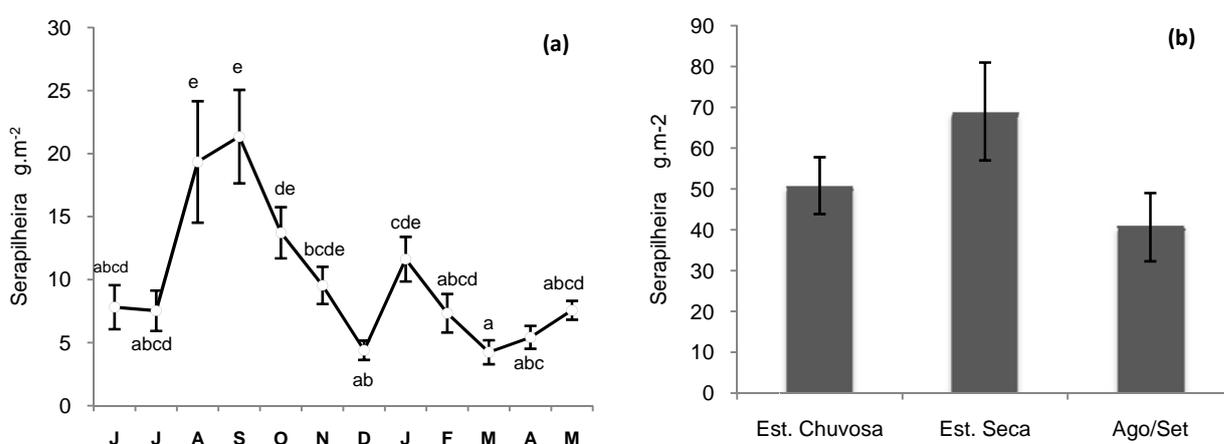


**Figura 9:** (a) Produção mensal média de serapilheira foliar de *Myrcia laruotteana* entre junho de 2008 e maio de 2009. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais ( $F_{11,96}= 15,831$ ;  $p= 0,000$ ). (b) Produção média de serapilheira foliar durante as estações seca e chuvosa e durante o período de maior produção. Asteriscos indicam diferenças significativas entre as médias de cada estação ( $t_{16}= 3,834$ ;  $p=0,001$ ).

A produção média de serapilheira foliar pelo conjunto das demais espécies da floresta paludosa estudada foi de  $119,9 \pm 52,3 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ , valor equivalente a 46% da serapilheira foliar total produzida no fragmento de floresta paludosa estudado. O padrão mensal de deposição das folhas de outras espécies (figura 10a) apresentou algumas diferenças em relação aos outros componentes (serapilheira total, folhas e folhas de *M. laruotteana*; figuras 7a, 8a, 9a). A produção média aumentou em quase três vezes entre os meses de julho ( $7,5 \pm 4,8 \text{ g.m}^{-2}$ ) e agosto ( $19,3 \text{ g.m}^{-2}$ ) e atingiu o pico durante o mês de setembro, com uma média de  $21,3 \pm 11,1 \text{ g.m}^{-2}$ . Entre os meses de outubro e dezembro a produção de folhas de outras espécies sofreu uma queda significativa de 68%, atingindo uma média de  $4,4 \pm 2,3 \text{ g.m}^{-2}$ . Durante o mês de janeiro houve um aumento significativo na produção em relação ao mês anterior. Durante os últimos meses da estação chuvosa a produção sofreu nova queda significativa, atingindo o menor valor em março, com média de  $4,2 \pm 2,9 \text{ g.m}^{-2}$ . A produção de serapilheira foliar por outras espécies se manteve relativamente constante durante quase toda a estação seca, diferenciando-se apenas nos meses de agosto e setembro, quando a

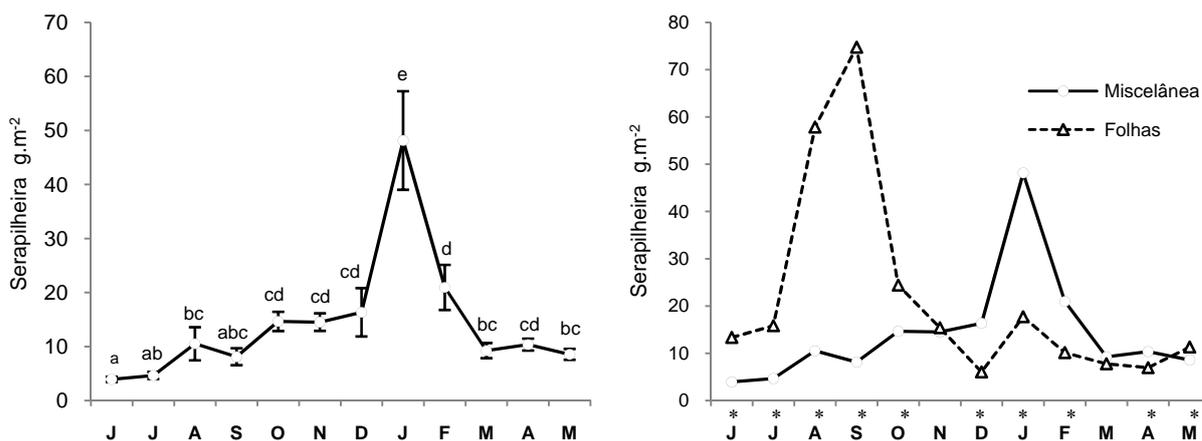
produção foi equivalente a 34% de toda a serapilheira foliar produzida durante o ano pelas outras espécies na floresta paludosa estudada ( $F_{11;96} = 6,725$ ;  $p = 0,000$ ) (figura 10a).

Durante a estação chuvosa a produção média de serapilheira foliar por outras espécies foi de  $50,8 \pm 20,9 \text{ g.m}^{-2}$ , um valor 26% menor em relação à média da estação seca ( $69 \pm 36 \text{ g.m}^{-2}$ ). Tal diferença, entretanto, não foi significativa ( $t_{16} = 1,311$ ;  $p = 0,209$ ) (figura 10b), e foi menos pronunciada do que a observada para os outros componentes (serapilheira foliar total e serapilheira foliar de *M. laruotteana*). Não houve diferença significativa entre a produção de serapilheira foliar por outras espécies nas duas zonas estudadas.



**Figura 10:** (a) Produção mensal média de serapilheira foliar das outras espécies que habitam a floresta paludosa estudada entre junho de 2008 e maio de 2009. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais ( $F_{11;96} = 6,725$ ;  $p = 0,000$ ). (b) Produção média de serapilheira foliar durante as estações seca e chuvosa e durante o período de maior produção. Não houve diferenças significativas entre as duas estações ( $t_{16} = 1,311$ ;  $p = 0,209$ ).

A fração miscelânea apresentou uma produção média de  $170,1 \pm 59,5 \text{ g. m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$  e foi responsável por 39,4% da produção total de serapilheira na área estudada. A produção de miscelânea sofreu um pequeno aumento durante o final da estação seca, entre os meses de junho e agosto, seguindo relativamente constante até o mês de janeiro, quando atingiu um pico de  $48,2 \pm 27,4 \text{ g.m}^{-2}$ . Em janeiro a fração miscelânea foi responsável por 73% da serapilheira total depositada e também foi equivalente a 28% de toda a miscelânea depositada ao longo do período estudado. Em seguida, a produção sofreu uma queda de 81% entre os meses de janeiro e março ( $9,3 \pm 4,2 \text{ g.m}^{-2}$ ) ( $F_{11;96} = 13,431$ ;  $p = 0,000$ ; figura 11a). A deposição de miscelânea apresentou um padrão diferente em relação à deposição de folhas, com maior produção durante a estação chuvosa ( $123,9 \pm 55,5 \text{ g.m}^{-2}$ ) em relação à estação seca ( $46,2 \pm 15,8 \text{ g.m}^{-2}$ ) ( $t_{16} = -4,041$ ;  $p = 0,003$ ; figura 11b). A deposição de miscelânea não apresentou diferenças entre as duas zonas.



**Figura 11:** (a) Produção mensal média de miscelânea entre junho de 2008 e maio de 2009. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais ( $F_{11,96} = 13,431$ ;  $p = 0,000$ ). (b) Comparação entre a produção média mensal das frações “miscelânea” e “folhas” na serapilheira produzida na floresta paludosa estudada entre junho de 2008 e maio de 2009. Asteriscos indicam diferenças entre as médias mensais dos dois componentes (teste t,  $p < 0,1$ )

#### 4.4 Concentração de Nitrogênio (N) na Serapilheira Foliar

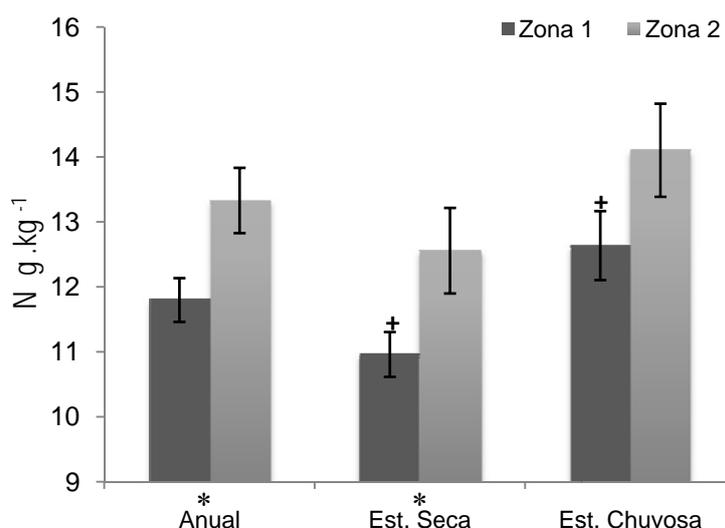
A concentração média de nitrogênio (N) na serapilheira foliar total foi de  $12,3 \pm 2,5$   $\text{g.kg}^{-1}$  (Tabela 2). A zona 2 ( $13,3 \pm 2,5$ ) apresentou concentração anual média de nitrogênio 13% mais alta em relação à zona 1 ( $11,8 \pm 2,3$   $\text{g.kg}^{-1}$ ) ( $t = -2,582$ ;  $p = 0,012$ ). Entretanto, durante a estação chuvosa não houve diferença significativa entre as duas zonas (Figura 12).

Dentre os meses analisados, os menores valores foram observados em agosto, com média de  $10,8 \pm 1,6$   $\text{g.kg}^{-1}$ , seguidos de um aumento de 29 % em novembro, quando atingiu um pico de  $13,9 \pm 2,6$   $\text{g.kg}^{-1}$  ( $F_{3,68} = 5,631$ ;  $p = 0,002$ ; tabela 2).

Os teores médios de N na serapilheira foliar foram 14% mais altos durante a estação chuvosa (média dos valores de fevereiro e maio;  $13,1 \pm 2,6$   $\text{g.kg}^{-1}$ ), em relação à seca (média entre agosto e novembro,  $11,5 \pm 2,0$   $\text{g.kg}^{-1}$ ) ( $t_{70} = -2,958$ ;  $p = 0,004$ ; Tabela 2). Por outro lado, a zona 2 não apresentou diferenças significativas entre duas estações, apesar de uma diferença de 13%. (figura 12).

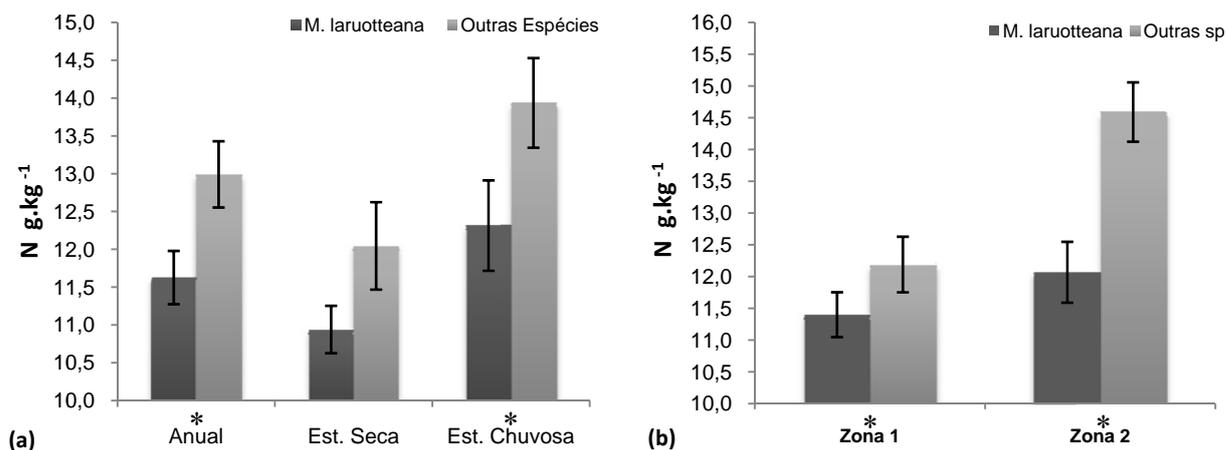
**Tabela 2:** Concentração média de nitrogênio (N) na serapilheira foliar total, de *Myrcia laruotteana* e das outras espécies na floresta paludosa estudada. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais em cada coluna (ANOVA,  $p < 0,1$ ). Asteriscos indicam diferenças significativas nas médias de cada grupo entre as estações seca e chuvosa (Teste t,  $p < 0,1$ ).

	<i>N g.kg<sup>-1</sup></i>		
	Serapilheira foliar Total	Serapilheira foliar <i>M. laruotteana</i>	Serapilheira foliar Outras sp.
Agosto/08	$10,8 \pm 1,6$ a	$10,5 \pm 1,3$ a	$11,1 \pm 1,9$ a
Novembro/08	$13,9 \pm 2,6$ b	$13,7 \pm 2,8$ b	$14,1 \pm 2,4$ b
Fevereiro/09	$12,4 \pm 2,5$ ab	$10,9 \pm 1,1$ a	$13,8 \pm 2,7$ ab
Mai/09	$12,2 \pm 2,2$ ab	$11,4 \pm 1,3$ a	$13,0 \pm 2,7$ ab
<b>Média anual</b>	$12,3 \pm 2,5$	$11,7 \pm 2,1$	$13,0 \pm 2,6$
<b>Média seca</b>	$11,5 \pm 2,0$ *	$10,9 \pm 1,3$ *	$12,0 \pm 2,5$ *
<b>Média chuvosa</b>	$13,1 \pm 2,6$ *	$12,3 \pm 2,5$ *	$13,9 \pm 2,5$ *



**Figura 12:** Concentrações médias de nitrogênio (N) na serapilheira foliar total nas zonas 1 e 2 durante o ano e durante as estações seca e chuvosa. \* indica diferenças entre as concentrações médias das duas zonas dentro de cada período. + indica diferenças significativas na concentração média da zona 1 entre as estações seca e chuvosa (Teste t,  $p < 0,1$ ).

A concentração média anual de N na serapilheira foliar de *M. laruotteana* foi significativamente menor em relação às outras espécies ( $t_{70} = -2,426$ ;  $p = 0,018$ ; figura 13a, tabela 2). Entretanto, as diferenças entre as concentrações de N na serapilheira foliar de *M. laruotteana* e das outras espécies não foram significativas dentro da zona 1. (figura 13b).

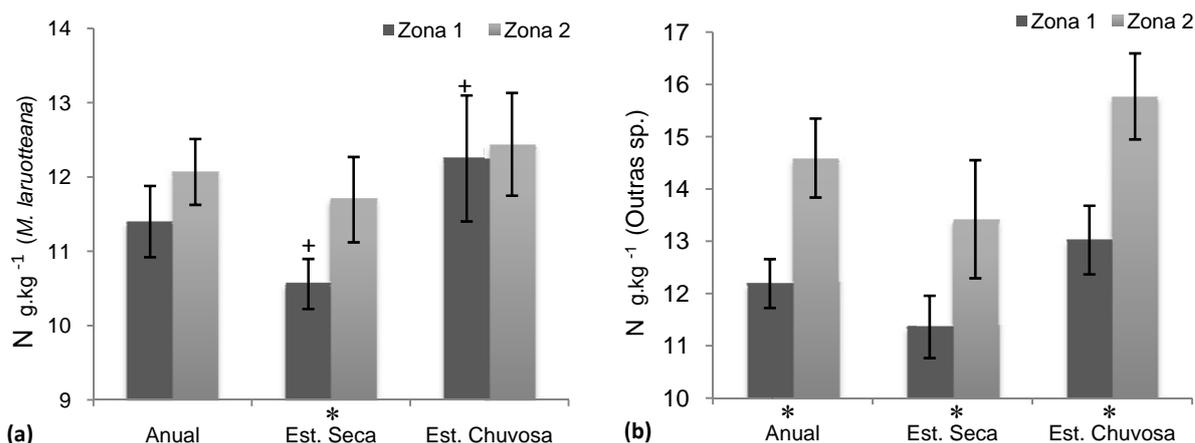


**Figura 13:** Concentrações de N na serapilheira foliar de *M. laruotteana* e das outras espécies que habitam a área estudada **(a)** durante o ano e durante as estações seca e chuvosa e **(b)** dentro das duas zonas. Asteriscos indicam diferenças significativas entre as médias (Teste t;  $p < 0,1$ ).

A concentração média anual de N na serapilheira foliar produzida por *Myrcia laruotteana* foi de  $11,7 \pm 2,1 \text{ g.kg}^{-1}$  (tabela 2). Apesar de os valores terem sido ligeiramente mais altos na zona 2 ( $12,1 \pm 1,5 \text{ g.kg}^{-1}$ ), não houve diferença significativa em relação à zona 1 ( $11,4 \pm 2,4 \text{ g.kg}^{-1}$ ). Por outro lado, durante a estação seca a concentração média de N tornou-se significativamente maior na zona 2 ( $11,7 \pm 1,4 \text{ g.kg}^{-1}$ ) em relação à zona 1, que apresentou média de  $10,6 \pm 1,2 \text{ g.kg}^{-1}$  ( $t_{16} = -1,816$ ;  $p = 0,088$ ; Figura 14a).

O padrão de variação sazonal foi semelhante ao observado para a serapilheira total, com menores valores em agosto ( $10,5 \pm 1,3 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e pico de  $13,7 \pm 2,8 \text{ g.kg}^{-1}$  em novembro ( $F_{3,32} = 5,887$ ;  $p = 0,003$ ; tabela 2). A serapilheira foliar de *M. laruotteana* apresentou concentrações de N significativamente mais altas durante a estação chuvosa em comparação com a estação seca ( $t = -2,037$ ;  $p = 0,05$ ; tabela 2).

A concentração média anual de N na serapilheira foliar produzida pelo conjunto das outras espécies (tabela 2) foi igual a  $13,0 \pm 2,6 \text{ g.kg}^{-1}$  e foi 20% maior na zona 2 ( $14,6 \pm 2,6 \text{ g.kg}^{-1}$ ) em relação à zona 1 ( $12,2 \pm 2,3 \text{ g.kg}^{-1}$ ) ( $t_{34} = -2,832$ ;  $p = 0,008$ ; figura 14b). O padrão de variação sazonal foi idêntico ao observado para a concentração de N na serapilheira foliar total (tabela 2).



**Figura 14:** Concentrações médias de nitrogênio (N) na serapilheira foliar (a) de *M. laruotteana* e (b) das outras espécies nas zonas 1 e 2 durante o ano (anual) e durante as estações seca e chuvosa. \* indicam diferenças significativas entre as concentrações médias das duas zonas em cada período. + indicam diferenças significativas na concentração média da zona 1 entre as estações seca e chuvosa. (Teste t,  $p < 0,1$ ).

#### 4.5 Concentração de Fósforo (P) na Serapilheira Foliar

A concentração anual média de fósforo (P) na serapilheira foliar produzida na floresta paludosa foi de  $0,648 \pm 0,236 \text{ g.kg}^{-1}$  (tabela 3). A zona 2 apresentou concentração média de P na serapilheira foliar 40% maior em relação à zona 1 ( $t_{70} = -4,375$ ;  $p = 0,000$ ; figura 15).

Os menores valores foram observados em agosto, com média de  $0,524 \pm 0,215 \text{ g.kg}^{-1}$ . Houve um aumento de 37% entre os meses de agosto e novembro ( $0,718 \pm 0,2 \text{ g.kg}^{-1}$ ), mas os maiores valores foram observados em maio ( $0,727 \pm 0,267 \text{ g.kg}^{-1}$ ), representando uma diferença de 39% em relação ao mês de agosto ( $F_{3,68} = 3,180$ ;  $p = 0,029$ ). Não houve diferenças significativas entre as estações seca e chuvosa (tabela 3).

Não houve diferenças significativas entre as concentrações de P na serapilheira por *M. laruotteana* e pelas outras espécies que habitam a área (tabela 3).

A concentração anual média de P na serapilheira foliar produzida por *Myrcia laruotteana* (tabela 3) foi igual a  $0,626 \pm 0,2271 \text{ g.kg}^{-1}$  e foi 36% mais alta na zona 2 ( $0,765 \pm 0,244 \text{ g.kg}^{-1}$ ) quando comparada à zona 1 ( $0,561 \pm 0,191 \text{ g.kg}^{-1}$ ) ( $t_{34} = -2,633$ ;  $p = 0,013$ ; figura 16a).

A menor média foi observada durante o mês de agosto ( $0,475 \pm 0,246 \text{ g.kg}^{-1}$ ), seguida de um aumento de 63% em novembro ( $0,773 \pm 0,208 \text{ g.kg}^{-1}$ ), caracterizando o final da estação seca e o início da estação chuvosa. Entretanto, comparando-se as médias das estações seca e chuvosa, não foram encontradas diferenças significativas (tabela 3).

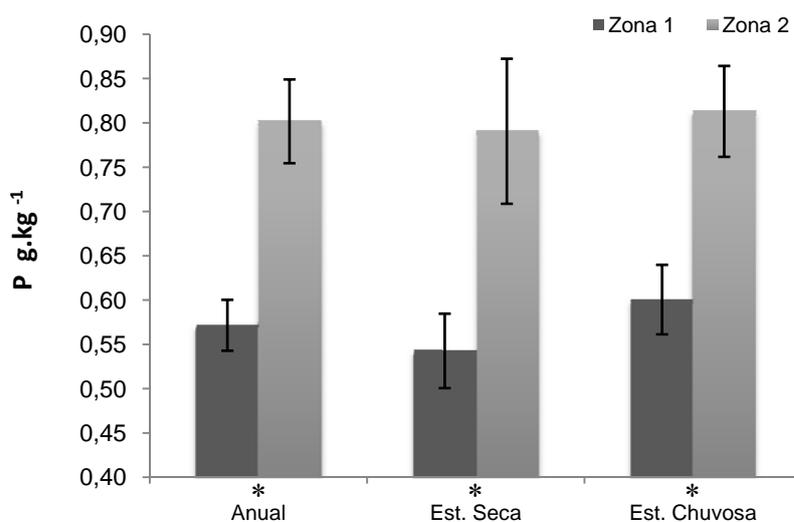
A concentração anual média de P na serapilheira foliar produzida pelo conjunto das outras espécies que habitam a área estudada foi igual a  $0,671 \pm 0,245 \text{ g.kg}^{-1}$ . Não houve qualquer variação sazonal significativa na concentração anual média de P na serapilheira foliar produzida pelas outras espécies da área (tabela 3)

A serapilheira foliar das outras espécies teve concentração média de fósforo 45% mais alta na zona 2 ( $0,848 \pm 0,22 \text{ g.kg}^{-1}$ ) em relação à zona 1 ( $0,583 \pm 0,21 \text{ g.kg}^{-1}$ ) ( $t_{34} = -3,514$ ;  $p = 0,001$ ) (figura 16b).

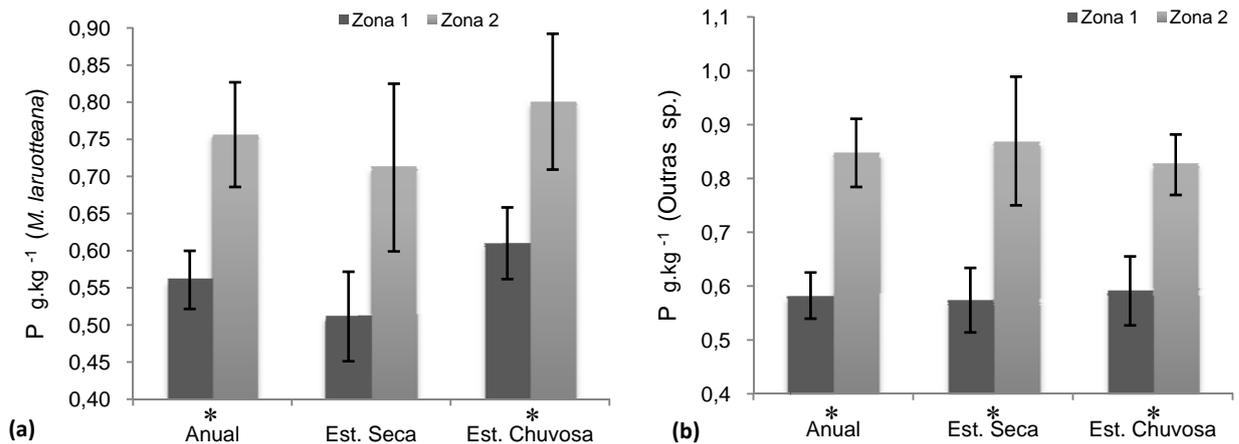
**Tabela 3:** Concentração média de fósforo (P) na serapilheira foliar total, de *Myrcia laruotteana* e das outras espécies na floresta paludosa estudada. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais de cada grupo (ANOVA,  $p < 0,1$ ). Asteriscos indicam diferenças significativas nas médias de cada grupo entre as estações seca e chuvosa (Teste t,  $p < 0,1$ ).

*P g.kg<sup>-1</sup>*

	Serapilheira foliar Total	Serapilheira foliar <i>M. laruotteana</i>	Serapilheira foliar Outras sp.
Agosto/08	$0,524 \pm 0,215$ a	$0,475 \pm 0,246$ a	$0,573 \pm 0,179$ a
Novembro/08	$0,718 \pm 0,200$ b	$0,773 \pm 0,208$ b	$0,664 \pm 0,185$ a
Fevereiro/09	$0,624 \pm 0,218$ ab	$0,574 \pm 0,141$ ab	$0,675 \pm 0,269$ a
Mai/09	$0,727 \pm 0,267$ b	$0,681 \pm 0,207$ ab	$0,772 \pm 0,320$ a
Média anual	$0,648 \pm 0,236$	$0,626 \pm 0,227$	$0,671 \pm 0,245$
Média seca	$0,625 \pm 0,259$	$0,578 \pm 0,245$	$0,672 \pm 0,271$
Média chuvosa	$0,671 \pm 0,211$	$0,674 \pm 0,203$	$0,669 \pm 0,224$



**Figura 15:** Concentrações de fósforo na serapilheira foliar total produzida nas zonas 1 e 2 durante o ano e durante as estações seca e chuvosa. Asteriscos indicam diferenças significativas entre as médias (Teste t;  $p < 0,1$ ).



**Figura 16:** (a) Concentrações de P na serapilheira foliar de *M. laruotteana* nas zonas 1 e 2 durante o ano e as estações seca e chuvosa. (b) Concentrações de P na serapilheira foliar das outras espécies da floresta paludosa. Asteriscos indicam diferenças significativas entre as duas zonas (Teste t;  $p < 0,1$ ).

#### 4.6 Razão N:P na Serapilheira Foliar

A razão N:P anual média da serapilheira foliar total foi de  $21 \pm 6$  (tabela 4) e foi significativamente maior na zona 1 ( $22 \pm 7$ ) em relação à zona 2 ( $17 \pm 4$ ) ( $t_{70} = 3,264$ ;  $p = 0,000$ ), padrão observado também para a serapilheira foliar de *M. laruotteana* ( $t_{34} = 2,374$ ;  $p = 0,023$ ) e das outras espécies ( $t_{34} = 2,873$ ;  $p = 0,007$ ; figura 17a).

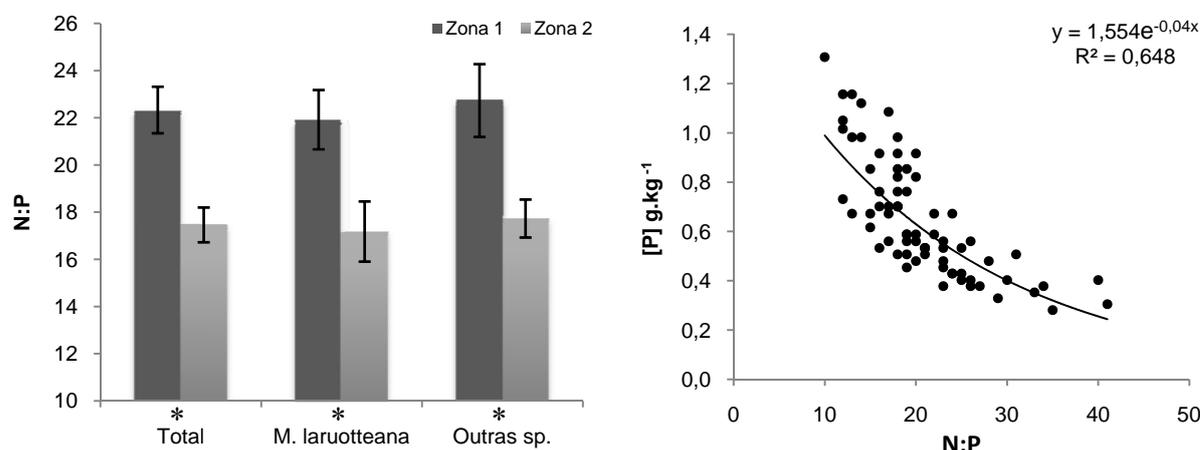
Não houve diferenças significativas entre as razões N:P na serapilheira foliar de *M. laruotteana* e das outras espécies.

Não houve qualquer variação sazonal significativa na razão N:P da serapilheira foliar total e das outras espécies. Entretanto, a razão N:P da serapilheira foliar de *M. laruotteana* atingiu em agosto um pico de  $25 \pm 7$  e se diferenciou significativamente em relação aos meses de novembro e maio ( $F_{3,32} = 3,129$ ;  $p = 0,039$ ; tabela 4)

As variações na concentração de P na serapilheira foliar explicaram cerca de 65% das variações na razão N:P de acordo com o modelo de regressão exponencial ( $r^2 = 0,648$ ;  $p = 0,000$ ; figura 17b). Essa relação foi ainda mais expressiva para a serapilheira foliar de *M. laruotteana* ( $r^2 = 0,742$ ;  $p = 0,000$ ) em relação às outras espécies ( $r^2 = 0,600$ ;  $p = 0,000$ ). Não houve correlação significativa entre as concentrações de N e a razão N:P na serapilheira foliar.

**Tabela 4:** Razão N:P na serapilheira foliar total, de *Myrcia laruotteana* e das outras espécies na floresta paludosa estudada. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais de cada grupo (ANOVA,  $p < 0,1$ ).

	<b>N:P</b>		
	<b>Serapilheira foliar Total</b>	<b>Serapilheira foliar <i>M. laruotteana</i></b>	<b>Serapilheira foliar Outras sp.</b>
Agosto/08	$23 \pm 7$	$25 \pm 7$ <b>b</b>	$21 \pm 6$
Novembro/08	$20 \pm 5$	$19 \pm 6$ <b>a</b>	$22 \pm 4$
Fevereiro/09	$22 \pm 8$	$20 \pm 4$ <b>ab</b>	$23 \pm 10$
Maio/09	$18 \pm 5$	$18 \pm 4$ <b>a</b>	$19 \pm 5$
<b>Média anual</b>	$21 \pm 6$	$20 \pm 6$	$21 \pm 7$
<b>Média seca</b>	$20 \pm 6$	$21 \pm 7$	$20 \pm 6$
<b>Média chuvosa</b>	$21 \pm 7$	$19 \pm 5$	$23 \pm 7$



**Figura 17:** (a) Razão N:P na serapilheira foliar total, de *M. laruotteana* e das outras espécies nas zonas 1 e 2. Asteriscos indicam diferenças significativas entre as duas zonas dentro de um mesmo grupo (Teste t,  $p < 0,1$ ). (b) Correlação entre concentração de P e razão N:P na serapilheira foliar.

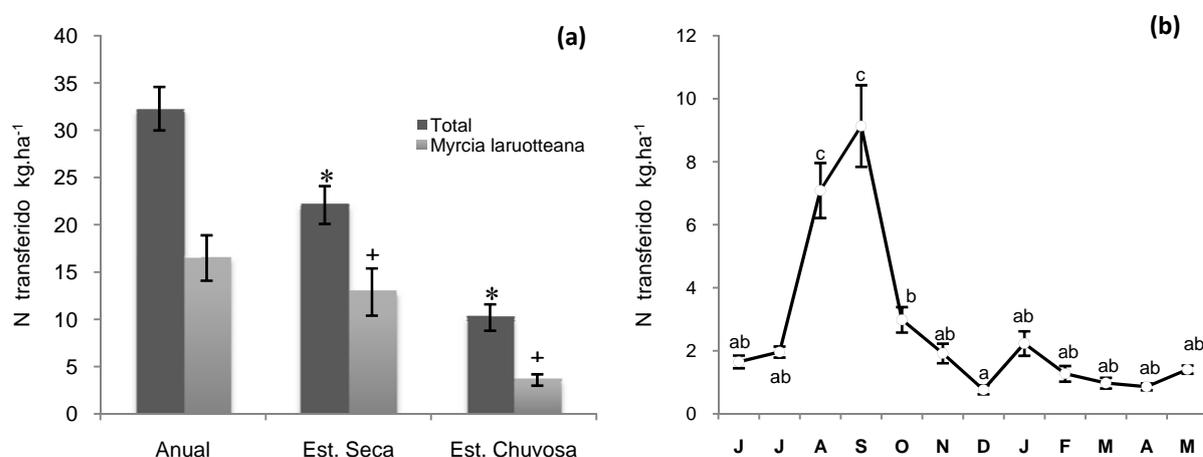
#### 4.7 Fluxo de Nutrientes Através da Serapilheira

A serapilheira foliar produzida na floresta paludosa foi responsável pela transferência média de  $32,3 \pm 7,0$  kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de nitrogênio. O fluxo de N pela serapilheira foliar de *Myrcia laruotteana* foi igual a  $16,5 \pm 7,2$  kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, o equivalente a 51% de todo o nitrogênio transferido pela serapilheira foliar na floresta paludosa (figura 18a). Não houve diferenças significativas entre as zonas 1 e 2 (tabela 5).

Durante a estação seca, o fluxo de N pela serapilheira total foi igual a  $22,1 \pm 6,0$  kg.ha<sup>-1</sup>, representando 68% de todo o N transferido durante o ano. A serapilheira foliar de *M. laruotteana* transferiu uma quantidade média de N de  $12,9 \pm 7,5$  kg.ha<sup>-1</sup>, ou seja, 58% do N

liberado pela serapilheira foliar total no mesmo período (figura 18a). O fluxo de N pela serapilheira foliar apresentou seus maiores valores durante o final da estação seca, (agosto e setembro), quando foi equivalente a 50% de todo o N transferido ao longo do ano (figura 18b).

Durante a estação chuvosa, o fluxo médio de N pela serapilheira foi igual a  $10,2 \pm 4,3$   $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , valor 54% mais baixo em relação ao observado durante a estação seca ( $t_{16}= 4,869$ ;  $p=0,000$ ) (figura 18a), padrão observado também para a serapilheira foliar de *M. laruotteana*. Durante os primeiros meses da estação chuvosa, o fluxo de N sofre uma queda significativa, atingindo seus menores valores em dezembro (figura 18b).



**Figura 18:** (a) Fluxo de N através da serapilheira foliar total e de *Myrcia laruotteana* durante o ano e durante as estações seca e chuvosa. Asteriscos indicam diferenças significativas entre duas médias. + indica diferenças significativas entre duas médias (Teste t;  $p < 0,1$ ). (b) Quantidade de N transferido pela serapilheira foliar na área estudada. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais ( $F_{11,96} = 27,450$ ;  $p = 0,000$ ).

A quantidade de fósforo (P) transferida pela serapilheira foliar na floresta paludosa estudada foi igual a  $1,68 \pm 0,5$   $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ . O fluxo médio de P através da serapilheira foliar de *Myrcia laruotteana* foi de  $0,87 \pm 0,37$   $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  e representou 52% de todo o fósforo transferido pela serapilheira foliar durante o ano (figura 19a).

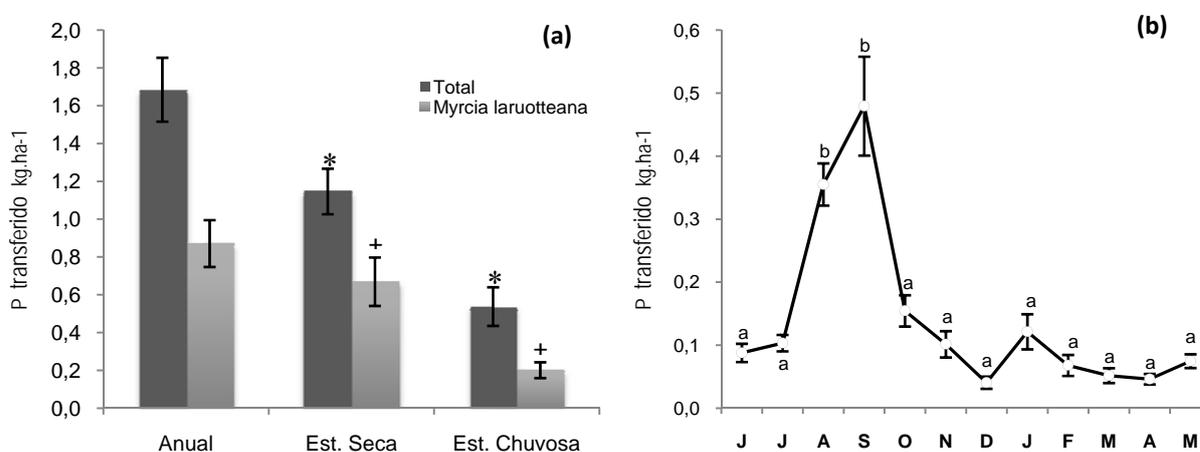
O fluxo médio de P pela serapilheira foliar foi 37% maior na zona 2 ( $2,05 \pm 0,16$   $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) em relação à zona 1 ( $1,50 \pm 0,53$   $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ), porém não houve diferença significativa entre as duas médias (tabela 5).

O fluxo de P através da serapilheira foliar foi significativamente maior durante a estação seca ( $1,15 \pm 0,36$   $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em relação à estação chuvosa ( $0,54 \pm 0,1$   $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), padrão observado também para a serapilheira foliar de *M. laruotteana* (figura 19a).

Durante a estação seca, o fluxo médio de P através da serapilheira foliar foi equivalente a 68% de todo o P transferido durante o ano (figura 19a) e apresentou média 42% maior na zona 2 ( $1,39 \pm 0,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) em relação à zona 1 ( $0,95 \pm 0,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) ( $t_7 = -1,888$ ;  $p = 0,100$ ) (tabela 5). A quantidade média de P transferida pela serapilheira foliar de *Myrcia laruotteana* durante a estação seca (figura 19a), foi igual a  $0,67 \pm 0,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , o equivalente a 58% do fósforo liberado durante o período em questão.

O fluxo de P se manteve relativamente constante entre abril e julho e aumentou de forma brusca durante os meses de agosto e setembro ( $F_{11,96} = 14,287$ ;  $p = 0,000$ ). A quantidade média de P transferido pela serapilheira foliar durante os meses de agosto e setembro foi equivalente a 49% da média anual (figura 19b).

Durante a estação chuvosa a quantidade média de P transferida pela serapilheira foliar total representou 32% da média anual e não apresentou diferenças significativas entre as duas zonas (tabela 5) ou entre as médias mensais durante o período (figura 19b). Durante o período, a serapilheira foliar de *M. laruotteana* transferiu uma quantidade média de P igual a  $0,2 \pm 0,13 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (figura 19a), valor equivalente a 37% do P liberado pela serapilheira foliar durante este período na área estudada



**Figura 19:** (a) Fluxo de P através da serapilheira foliar total e de *Myrcia laruotteana* durante o ano e durante as estações seca e chuvosa. Asteriscos indicam diferenças significativas entre duas médias. + indica diferenças significativas entre duas médias (Teste t;  $p < 0,1$ ). (b) Variação mensal na quantidade de P transferido pela serapilheira foliar na área estudada. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias mensais ( $F_{11,96} = 14,287$ ;  $p = 0,000$ ).

**Tabela 5:** Fluxo médio de nutrientes através da serapilheira foliar total e de *M. laruotteana* nas zonas 1 e 2 durante o ano e durante as estações seca e chuvosa. Asteriscos indicam diferenças entre as médias (Teste t,  $p < 0,1$ ).

<b>Serapilheira foliar total</b>				
	<b>Fluxo de N (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>		<b>Fluxo de P (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	
	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>
<b>Anual</b>	31,15 ± 8,5	34,52 ± 1,5	1,5 ± 0,53	2,05 ± 0,16
<b>Est. Seca</b>	21,13 ± 6,4	24,09 ± 5,7	1,01 ± 0,31*	1,43 ± 0,33*
<b>Est. Chuvosa</b>	10,02 ± 3,7	10,43 ± 6,18	0,49 ± 0,28	0,62 ± 0,4

<b>Serapilheira foliar de <i>Myrcia laruotteana</i></b>				
	<b>Fluxo de N (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>		<b>Fluxo de P (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	
	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>
<b>Anual</b>	17,21 ± 7,3	15,19 ± 8,1	0,85 ± 0,37	0,92 ± 0,44
<b>Est. Seca</b>	13,41 ± 7,2	11,87 ± 9,8	0,65 ± 0,34	0,71 ± 0,55
<b>Est. Chuvosa</b>	3,80 ± 1,9	3,32 ± 1,7	0,20 ± 0,13	0,21 ± 0,14

#### **4.8 Decomposição da serapilheira foliar**

*Experimento 1: maio de 2008 a maio de 2009 (366 dias).*

A taxa de decomposição anual da serapilheira foliar total depositada em maio de 2008, expressa em porcentagem de massa perdida, foi de  $41,9 \pm 8,5\%$ . O coeficiente de decomposição ( $k_{366}$ ) foi  $0,00152 \pm 0,0004$  e o tempo estimado para a decomposição de 50% do material foliar depositado sobre o solo ( $T_{50\%}$ ) foi de  $493 \pm 157$  dias (tabela 6).

A taxa de decomposição anual apresentou diferenças significativas entre as duas zonas ( $t_{16} = 2,711$ ;  $p = 0,015$ ), sendo 28% maior na zona 1. O tempo necessário para a decomposição de 50% da serapilheira depositada sobre o solo foi de  $618 \pm 204$  dias na zona 2, enquanto na zona 1 esse valor caiu para  $430 \pm 81$  dias (tabela 6).

A serapilheira foliar de *M. laruotteana* depositada em maio de 2008 apresentou uma taxa de decomposição anual de  $43,8 \pm 10,2\%$  (tabela 6) com coeficiente de decomposição  $k_{366}$  igual a  $0,00162 \pm 0,00052$  e tempo médio estimado para decomposição de 50% do material igual a  $471 \pm 156$  dias. A taxa de decomposição anual de *M. laruotteana* foi 36% maior na zona 1 ( $48 \pm 9,2\%$ ) em relação à zona 2 ( $35,3 \pm 6,4$ ) ( $t_{16} = 3,026$ ;  $p = 0,008$ ; tabela 6).

A taxa de decomposição da serapilheira foliar de *M. laruotteana*, apesar de ligeiramente mais alta, não apresentou diferenças significativas em relação à serapilheira foliar total em nenhum momento ou local (tabela 6).

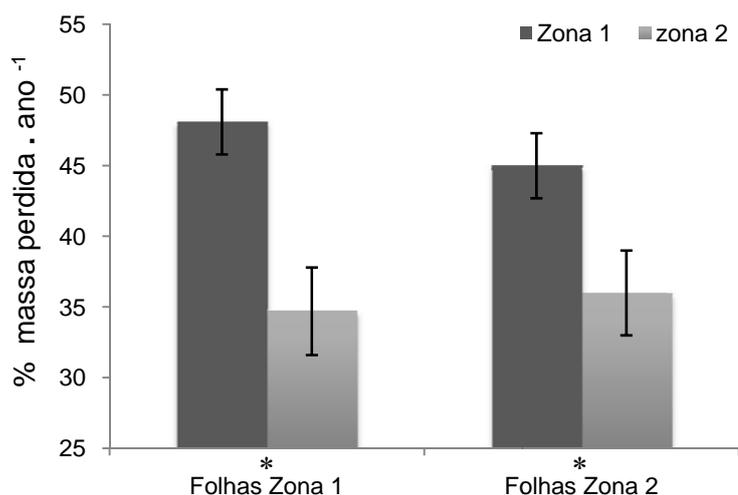
Folhas coletadas na zona 1 apresentaram uma taxa de decomposição 28% mais lenta quando decompostas na zona 2 ( $34,7 \pm 7,5\%$ ) em relação à taxa de decomposição na zona 1, seu local natural ( $48,1 \pm 8,0\%$ ) ( $t_{16} = 3,427$ ;  $p=0,003$ ). Por sua vez, as folhas provenientes da zona 2 tiveram sua taxa de decomposição acelerada em 25% quando decompostas na zona 1 ( $45,2 \pm 8,1\%$ ) em relação à taxa de decomposição em seu local natural ( $36,0 \pm 7,4\%$ ) ( $t_{16} = 2,334$ ;  $p= 0,033$ ; figura 20).

**Tabela 6:** Coeficiente de decomposição (k), porcentagem de massa perdida (%MP) e tempo de meia vida da serapilheira foliar total e de *M. laruotteana* depositada em maio de 2008 durante 366 dias entre maio de 2008 e maio de 2009. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias das duas zonas (Teste t,  $p < 0,1$ ).

<b>Serapilheira foliar total</b>			
	<b>k<sub>366</sub></b>	<b>%MP<sub>366</sub></b>	<b>T50%</b>
<b>Total</b>	,00152 ± ,00040	41,9 ± 8,5	493 ± 157
<b>Zona 1</b>	,00167 ± ,00036 <b>a</b>	45,2 ± 6,7 <b>a</b>	430 ± 81 <b>a</b>
<b>Zona 2</b>	,00122 ± ,00035 <b>b</b>	35,4 ± 8,4 <b>b</b>	618 ± 204 <b>b</b>

<b>Serapilheira foliar de <i>M. laruotteana</i></b>			
	<b>k<sub>366</sub></b>	<b>%MP<sub>366</sub></b>	<b>T50%</b>
<b>Total</b>	,00162 ± ,00052	43,8 ± 10,2	471 ± 156
<b>Zona 1</b>	,00183 ± ,00049 <b>a</b>	48,0 ± 9,2 <b>a</b>	405 ± 112 <b>a</b>
<b>Zona 2</b>	,00120 ± ,00026 <b>b</b>	35,3 ± 6,4 <b>b</b>	603 ± 152 <b>b</b>



**Figura 20:** Taxa de decomposição da serapilheira foliar coletada na zona 1 quando decomposta em seu local natural (Zona 1) e em um local mais seco (Zona 2) e taxas de decomposição da serapilheira foliar coletada na zona 2 quando decomposta em seu local natural (Zona 2) e em um local mais úmido (Zona 1). Asteriscos indicam diferenças significativas entre as médias de cada grupo (Teste t,  $p < 0,1$ ).

A taxa de decomposição média da serapilheira foliar produzida durante o mês de maio/2008 não apresentou quaisquer diferenças significativas entre os primeiros 170 e os últimos 190 dias de decomposição.

Durante os primeiros 170 dias (estação seca) a taxa de decomposição da serapilheira foliar total depositada em maio de 2008 foi igual a  $22,3 \pm 7,1\%$ , com coeficiente de decomposição  $k_{170}$  igual a  $0,00150 \pm 0,00055$  (tabela 7). Durante esse período a perda de massa foliar foi equivalente a 53% de toda a massa perdida durante o ano. Durante a estação seca, a taxa de decomposição foi ligeiramente mais alta na zona 1, especialmente para a serapilheira foliar total (tabela 7). Entretanto, não houve diferenças significativas entre as duas zonas tanto para a serapilheira foliar total quanto para a serapilheira foliar de *M. laruotteana*.

Durante os últimos 196 dias (estação chuvosa) a taxa de decomposição da serapilheira foliar depositada em maio de 2008 foi igual a  $19,7 \pm 7,5\%$ , com coeficiente  $k_{196}$  igual a  $0,00152 \pm 0,00062$  (tabela 7), representando uma perda de massa seca equivalente a 47% de toda a massa perdida ao longo do ano. A taxa de decomposição durante a estação chuvosa foi significativamente maior na zona 1, tanto para a serapilheira foliar total, quanto para a serapilheira foliar de *M. laruotteana* (tabela 7).

**Tabela 7:** Coeficiente de decomposição (k) e porcentagem de massa perdida (%MP) da serapilheira foliar total e de *M. laruotteana* depositada em maio de 2008, durante os primeiros 170 dias entre maio de 2008 e novembro de 2008 (estação seca) e durante os últimos 196 dias do experimento, entre novembro de 2008 e maio de 2009 (estação chuvosa). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias das duas zonas (Teste t,  $p < 0,1$ )

<b>Serapilheira foliar total</b>				
	<b>k<sub>170</sub></b>	<b>%MP<sub>170</sub></b>	<b>k<sub>196</sub></b>	<b>%MP<sub>196</sub></b>
<b>Total</b>	,00150 ± ,00055	22,3 ± 7,1	,00152 ± ,00063	19,7 ± 7,5
<b>Zona 1</b>	,00162 ± ,00055	23,7 ± 6,7	,00171 ± ,00061 <b>a</b>	21,5 ± 6,3 <b>a</b>
<b>Zona 2</b>	,00128 ± ,00057	19,3 ± 7,5	,00115 ± ,00052 <b>b</b>	16,1 ± 5,8 <b>b</b>

<b>Serapilheira foliar de <i>M. laruotteana</i></b>				
	<b>k<sub>170</sub></b>	<b>%MP<sub>170</sub></b>	<b>k<sub>196</sub></b>	<b>%MP<sub>196</sub></b>
<b>Total</b>	,00140 ± ,00037	21,1 ± 4,9	,00180 ± ,00089	22,7 ± 9,2
<b>Zona 1</b>	,00147 ± ,00030	22,0 ± 4,0	,00214 ± ,00089 <b>a</b>	26,1 ± 9,2 <b>a</b>
<b>Zona 2</b>	,00127 ± ,00047	19,3 ± 6,2	,00114 ± ,00036 <b>b</b>	16,0 ± 5,0 <b>b</b>

### *Experimento 2: novembro de 2008 a maio de 2009 (196 dias)*

A serapilheira foliar depositada durante os meses de agosto e setembro apresentou taxa de decomposição média igual a  $27,1 \pm 15,1$  %, com coeficiente de decomposição  $k_{196}$  igual a  $0,00172 \pm 0,0011$  e tempo médio para decomposição de 50% do material estimado em  $683 \pm 563$  dias (tabela 8). Na zona 1 a serapilheira foliar total apresentou taxa de decomposição igual a  $29,4 \pm 15,5$  %, um valor 32% mais alto em relação à zona 2, cuja média foi igual a  $22,3 \pm 14,5$  %. Entretanto, a diferença entre as duas médias não foi significativa (tabela 8).

A serapilheira foliar de *M. laruotteana* produzida entre agosto e setembro de 2008 apresentou uma taxa de decomposição 34% maior em relação à serapilheira foliar total ( $t_{34} = 1,808$ ;  $p = 0,079$ ). Entretanto, na zona 2 a diferença entre as taxas de decomposição da serapilheira foliar de *M. laruotteana* e total caiu para 12%, deixando de ser significativa (figura 21).

A serapilheira foliar de *M. laruotteana* depositada em agosto e setembro de 2008 apresentou uma taxa de decomposição média de  $36,3 \pm 17,7\%$  com coeficiente de decomposição  $k_{196}$  igual a  $0,00249 \pm 0,00145$  e tempo médio estimado para decomposição de 50% do material igual a  $447 \pm 352$  dias. A taxa de decomposição anual de *M. laruotteana* foi 67% maior na zona 1 ( $41,9 \pm 15,9$  %) em relação à zona 2 ( $25,1 \pm 16,6$  %) ( $t_{16} = 2,094$ ;  $p = 0,053$ ; tabela 8).

Folhas coletadas na zona 1 apresentaram uma taxa de decomposição 31% mais lenta quando decompostas na zona 2 em relação à taxa de decomposição na zona 1 enquanto as folhas coletadas na zona 2, tiveram a taxa de decomposição acelerada em 62% quando decompostas na zona 1, porém as diferenças não foram significativas.

### *Experimento 1 x experimento 2*

Considerando apenas os primeiros 6 meses de decomposição, a serapilheira foliar total depositada em agosto de 2008 apresentou uma taxa de decomposição 22% mais alta quando comparada à serapilheira depositada em maio de 2008, entretanto, essa diferença não foi significativa (tabela 9).

A taxa de decomposição da serapilheira foliar de *M. laruotteana* coletada em agosto de 2008 foi 72% maior em relação ao material coletado em maio de 2008 ( $t_{34} = -3,524$ ;  $p = 0,002$ ). Entretanto, na zona 2 essa diferença caiu para 14%, deixando de ser significativa (tabela 9).

**Tabela 8:** Coeficiente de decomposição (k), porcentagem de massa perdida (%MP) e tempo de meia vida da serapilheira foliar total e de *M. laruotteana* depositada em agosto de 2008 durante um período de 196 dias entre novembro de 2008 e maio de 2009. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias das duas zonas (Teste t,  $p < 0,1$ ).

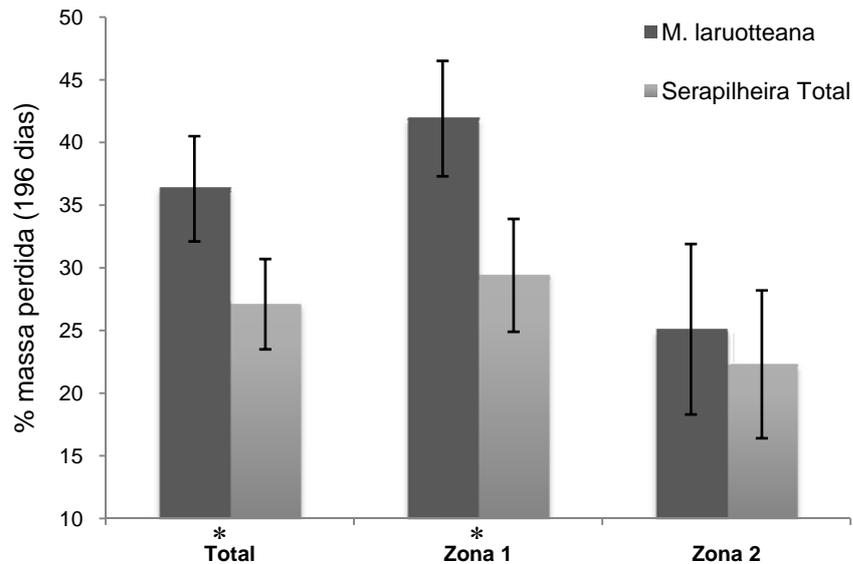
<b>Serapilheira foliar total</b>			
	<b>k<sub>196</sub></b>	<b>%MP<sub>196</sub></b>	<b>T50%</b>
<b>Total</b>	,00211 ± ,00132	27,1 ± 15,1	683 ± 563
<b>Zona 1</b>	,00189 ± ,00113	29,4 ± 15,5	639 ± 624
<b>Zona 2</b>	,00137 ± ,00101	22,3 ± 14,5	771 ± 454

<b>Serapilheira foliar de <i>M. laruotteana</i></b>			
	<b>k<sub>196</sub></b>	<b>%MP<sub>196</sub></b>	<b>T50%</b>
<b>Total</b>	,00249 ± ,00145	36,3 ± 17,7	447 ± 352
<b>Zona 1</b>	,00294 ± ,00136 <b>a</b>	41,9 ± 15,9 <b>a</b>	324 ± 224
<b>Zona 2</b>	,00159 ± ,00124 <b>b</b>	25,1 ± 16,6 <b>b</b>	694 ± 448

**Tabela 9:** Taxa de decomposição (%MP) da serapilheira foliar total e de *M. laruotteana* depositada em maio de 2008 durante os primeiros 170 dias do experimento 1 (maio a novembro de 2008 - estação seca) e taxa de decomposição (%MP) da serapilheira foliar total e de *M. laruotteana* depositada em agosto de 2008 durante os primeiros 196 dias do experimento 2 (novembro de 2008 a maio de 2009 - estação chuvosa). Asteriscos centrais indicam diferenças significativas entre as médias na mesma linha (Teste t,  $p < 0,1$ ).

	----- <b>Total</b> -----		----- <b>Myrcia laruotteana</b> -----	
	Material coletado em Maio/2008	Material coletado em Ago-set /2008	Material coletado em Maio/2008	Material coletado em Ago-set /2008
	<b>%MP<sub>170</sub></b>	<b>%MP<sub>196</sub></b>	<b>%MP<sub>170</sub></b>	<b>%MP<sub>196</sub></b>
<b>Total</b>	22,3 ± 7,1	27,1 ± 15,1	21,1 ± 4,9 <b>a</b>	36,3 ± 17,7 <b>b</b>
<b>Zona 1</b>	23,7 ± 6,7	29,4 ± 15,5	22,0 ± 4,0 <b>a</b>	41,9 ± 15,9 <b>b</b>
<b>Zona 2</b>	19,3 ± 7,5	22,3 ± 14,5	19,3 ± 6,2 <b>a</b>	25,1 ± 16,6 <b>a</b>



**Figura 21:** Taxa de decomposição da serapilheira foliar de *M. laruotteana* e das outras espécies entre novembro/ 2008 e maio/2009. Asteriscos indicam diferenças significativas entre as médias das duas zonas (Teste t,  $p < 0,1$ ).

#### 4.9 Concentração de Nutrientes em Folhas Maduras de *Myrcia laruotteana*

A concentração média de nitrogênio (N) nas folhas maduras de *M. laruotteana* foi de  $16,2 \pm 2,1 \text{ g.dm}^{-3}$  (Tabela 10). Os indivíduos da zona 1 apresentaram concentração média de N igual a  $16,8 \pm 1,6 \text{ g.dm}^{-3}$ , sem diferenças significativas em relação aos indivíduos da zona 2, cuja concentração média foi igual a  $15,6 \pm 2,5 \text{ g.dm}^{-3}$ .

A concentração média de fósforo (P) nas folhas maduras de *M. laruotteana* foi de  $1,1 \pm 0,3 \text{ g.dm}^{-3}$  (tabela 10). Os indivíduos na zona 2 apresentaram concentração média de fósforo igual a  $1,26 \pm 0,3 \text{ g.dm}^{-3}$ , um valor 37% mais alto em relação aos indivíduos da zona 1 que apresentaram concentração média igual a  $0,92 \pm 0,1 \text{ g.dm}^{-3}$  ( $t_8 = -2,348$ ;  $p = 0,047$ ; tabela 10).

A razão N:P nas folhas maduras de *M. laruotteana* variou em torno de  $16 \pm 4$ . As folhas dos indivíduos localizados na zona 1 apresentaram razão N:P maiores ( $20 \pm 4$ ) que as folhas na zona 2 ( $14 \pm 3$ ;  $t_8 = 4,054$ ;  $p = 0,004$ ; tabela 11).

A porcentagem média de carbono total nas folhas maduras foi de  $53,0 \pm 0,6 \%$  e não variou significativamente entre as duas zonas (tabela 6). A razão C:N média variou em torno de  $33 \pm 4$  e também não apresentou diferenças significativas entre as duas zonas. A razão C:P média foi igual a  $511 \pm 109$  e foi significativamente maior na zona 1 ( $586 \pm 7,7$ ) quando comparada à zona 2 ( $436 \pm 8,2$ ) ( $t_8 = 2,975$ ;  $p = 0,018$ ; tabela 11).

**Tabela 10:** Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P) e carbono (C) em folhas verdes (maio/2008) e senescentes (agosto/2008) - proficiência de retranslocação (PR) - de indivíduos de *M. laruotteana*. Indivíduos 1 a 5 pertencem à zona 1 e indivíduos 6 a 10 pertencem à zona 2. Asteriscos indicam diferenças significativas entre duas médias em uma mesma coluna (teste t;  $p < 0,1$ ). CV= Coeficiente de Variação.

	[N] g.dm <sup>-3</sup>		[P] g.dm <sup>-3</sup>		C%	
	Maduras	PRN	Maduras	PRP	Maduras	PRC
Ind. 1	16,38	14,37	0,88	0,48	52,3	52,2
Ind. 2	18,08	10,36	0,92	0,40	53,4	52,7
Ind. 3	15,77	10,51	0,79	0,56	54,0	52,1
Ind. 4	14,99	10,66	0,88	0,62	53,3	52,5
Ind. 5	18,86	11,13	1,12	0,64	52,5	52,3
Ind. 6	13,29	10,97	1,12	0,85	53,0	53,1
Ind. 7	14,99	10,51	1,19	0,50	53,4	52,9
Ind. 8	14,22	11,90	1,02	0,85	52,0	51,5
Ind. 9	16,23	12,52	1,79	0,92	53,0	52,9
Ind. 10	19,63	12,67	1,19	0,70	53,7	52,4
<b>Zona 1</b>	16,8 ± 1,6	11,4 ± 1,7	0,92 ± 0,1 *	0,54 ± 0,1 *	53,1 ± 0,7	52,4 ± 0,2
<b>Zona 2</b>	15,6 ± 2,5	11,7 ± 0,9	1,26 ± 0,3 *	0,76 ± 0,2 *	53,0 ± 0,6	52,6 ± 0,6
<b>Média Total</b>	16,2 ± 2,1	11,6 ± 1,3	1,09 ± 0,3	0,65 ± 0,2	53,0 ± 0,6	52,5 ± 0,5
<b>CV</b>	13%	11%	26%	26%	1%	1%

**Tabela 11:** Razão N:P, C:N e C:P em folhas verdes (maio/2008) e senescentes (agosto/2008) de indivíduos de *M. laruotteana*. Indivíduos 1 a 5 pertencem à zona 1 e indivíduos 6 a 10 pertencem à zona 2. Asteriscos indicam diferenças significativas entre duas médias em uma mesma coluna (teste t;  $p < 0,1$ ). CV= Coeficiente de Variação.

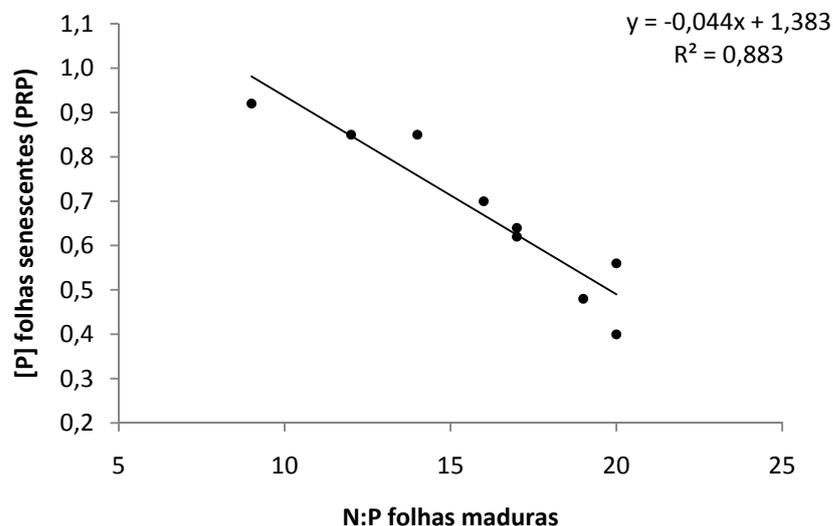
	N:P		C:N		C:P	
	Verdes	Senescentes	Verdes	Senescentes	Verdes	Senescentes
Ind. 1	19	30	32	36	590	1089
Ind. 2	20	26	30	51	583	1307
Ind. 3	20	19	34	50	683	930
Ind. 4	17	17	36	49	603	852
Ind. 5	17	17	28	47	469	813
Ind. 6	12	13	40	48	473	622
Ind. 7	12	20	36	50	447	992
Ind. 8	14	14	37	43	512	604
Ind. 9	9	14	33	42	296	577
Ind. 10	16	18	27	41	450	747
<b>Zona 1</b>	20 ± 4 *	22 ± 6 *	32 ± 3	47 ± 6	585 ± 77 *	998 ± 203 *
<b>Zona 2</b>	14 ± 3 *	16 ± 3 *	34 ± 5	45 ± 4	436 ± 82 *	708 ± 171 *
<b>Média</b>	16 ± 4	19 ± 5	33 ± 4	46 ± 5	511 ± 109	853 ± 234
<b>CV</b>	24%	29%	12%	11%	21%	27%

#### 4.10 Concentração de Nutrientes nas Folhas Senescentes de *Myrcia laruotteana*: Proficiência de Retranslocação (PR)

As concentrações de N e P nas folhas senescentes de *M. laruotteana* apresentaram concentrações médias de N e P significativamente menores em relação às folhas maduras (N -  $t_{18} = 6,101$ ;  $p = 0,000$ ; P -  $t_{18} = 4,145$ ;  $p = 0,001$ ; tabela 10). Entretanto, a razão N:P não apresentou diferenças significativas entre as folhas maduras e senescentes.

A Proficiência de Retranslocação de nitrogênio (PRN), medida como a concentração média de nitrogênio (N) nas folhas senescentes de *M. laruotteana* foi de  $11,6 \pm 1,3 \text{ g.dm}^{-3}$  (Tabela 10). e não foram observadas diferenças significativas entre os indivíduos da zona 1 ( $11,4 \pm 1,7 \text{ g.kg}^{-1}$ ) e da zona 2 ( $11,7 \pm 1,0 \text{ g.kg}^{-1}$ ).

A Proficiência de Retranslocação de fósforo (PRP) nas folhas senescentes de *M. laruotteana* foi de  $0,65 \pm 0,2 \text{ g.dm}^{-3}$  (tabela 10). Os indivíduos na zona 2 apresentaram PRP média igual a  $0,76 \pm 0,2 \text{ g.dm}^{-3}$ , um valor 42% mais alto em relação aos indivíduos da zona 1 que apresentaram concentração média igual a  $0,54 \pm 0,1 \text{ g.dm}^{-3}$  ( $t_8 = -2,803$ ;  $p = 0,023$ ; tabela 10). A PRP apresentou forte correlação com a razão N:P das folhas maduras ( $r^2 = 0,883$ ;  $p = 0,000$ ; figura 22)



**Figura 22:** Teste de correlação de Pearson entre a proficiência de retranslocação de fósforo (PRP) e a razão N:P em folhas maduras de *M. laruotteana*. (Menores concentrações de P indicam maior PRP).

A razão N:P nas folhas senescentes de *M. laruotteana* variou em torno de  $18,7 \pm 5,4$  (tabela 11). As folhas dos indivíduos localizados na zona 1 apresentaram razão N:P em média 39% maiores em comparação com a zona 2 ( $t_8 = 2,118$ ;  $p = 0,067$ ; tabela 11).

A porcentagem média de carbono total nas folhas senescentes foi de  $52,5 \pm 0,5$  e não variou significativamente entre as duas zonas (tabela 10). Não houve diferenças significativas entre a porcentagem de C nas folhas maduras e senescentes.

A razão C:N média variou em torno de  $46 \pm 5$  e também não apresentou diferenças significativas entre as duas zonas. A razão C:P média foi igual a  $511 \pm 109$  e foi significativamente maior na zona 1 ( $998 \pm 91$ ) quando comparada à zona 2 ( $708 \pm 77$ ) ( $t_8 = 2,443$ ;  $p = 0,04$ ). As razões C:N e C:P foram significativamente maiores nas folhas senescentes (tabela 11).

#### ***4.11 Eficiência de Retranslocação de Nutrientes (ER) nas Folhas de Myrcia laruotteana***

As folhas de *Myrcia laruotteana* apresentaram eficiência média de retranslocação de Nitrogênio (ERN) de  $28 \pm 10,5$  % (tabela 12). Apesar de a quantidade de N retranslocado ter sido 30% maior nos indivíduos da zona 1 ( $31,6 \pm 12,2\%$ ) em relação aos indivíduos da zona 2 ( $24,4 \pm 8,2\%$ ) essa diferença não foi significativa (tabela 12).

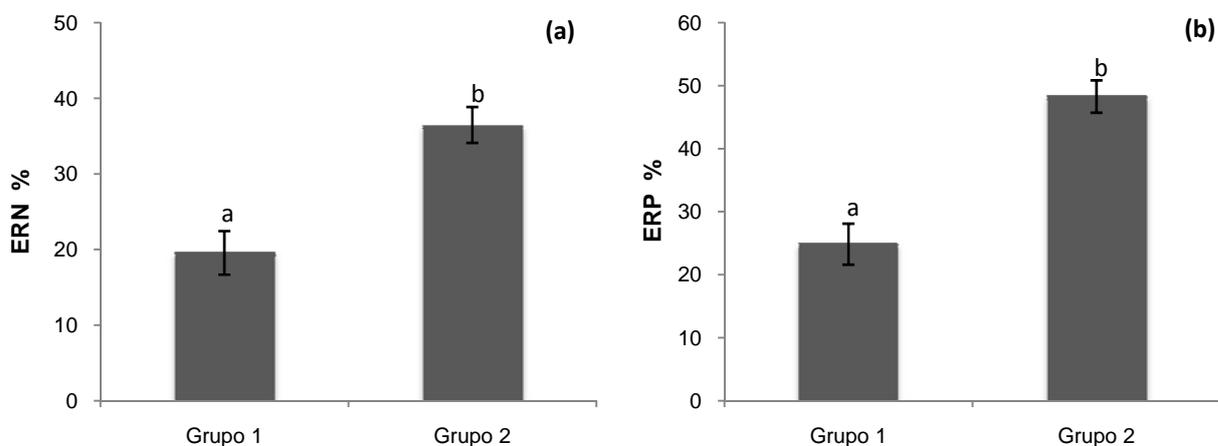
Analisando-se a distribuição de frequência para os valores de ERN dos 10 indivíduos amostrados percebeu-se que 50% dos valores encontravam-se entre 12,3% e 28,9% e os outros 50% entre 29,9% e 42,7%. Dessa forma, os indivíduos de *M. laruotteana* estudados foram divididos em dois grupos com eficiências médias de retranslocação de N distintas. O primeiro grupo, formado pelos indivíduos 1, 4, 6, 8 e 9 apresentou ERN igual a  $19,6 \pm 6,4\%$ . A ERN dos indivíduos 2, 3, 5, 7 e 10 foi igual a  $36,5 \pm 5,0\%$ , um valor 86% mais alto em relação à média do grupo 1 ( $t_8 = -4,528$ ,  $p = 0,002$ ) (figura 23a).

As folhas de *M. laruotteana* apresentaram eficiência de retranslocação de fósforo (ERP) igual a  $38,9 \pm 13,5\%$  e não houve diferenças significativas entre os indivíduos localizados nas zonas 1 e 2 (tabela 12). Os indivíduos 1, 2, 5, 7, 9 e 10 formaram um grupo distinto com eficiência média de retranslocação de P igual a  $48,3 \pm 6,3\%$ . Esse valor é 94% mais alto quando comparado à média dos indivíduos 3, 4, 6 e 8 ( $24,9 \pm 6,5$  %) ( $t_8 = -5,676$ ;  $p = 0,000$ ) (figura 23b).

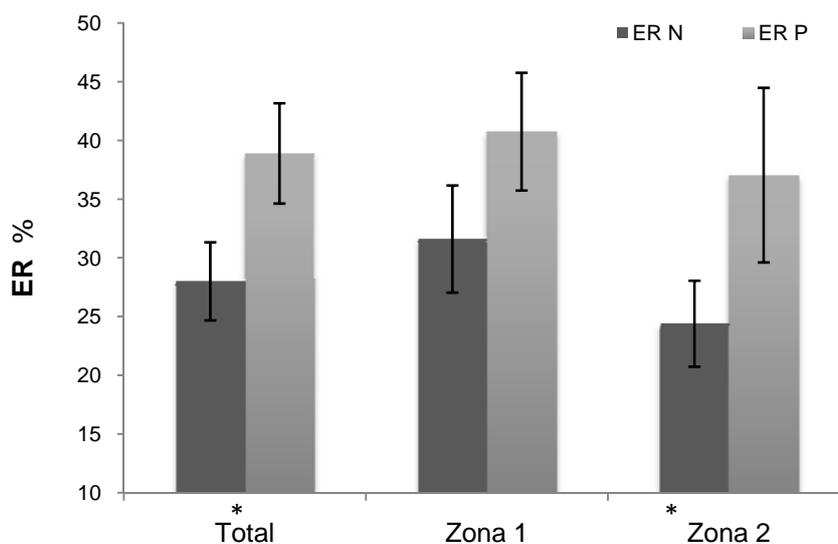
De maneira geral as folhas de *M. laruotteana* apresentaram ERP significativamente maior em relação à ERN ( $t_9 = -2,642$ ;  $p = 0,027$ )(tabela 12, figura 24).

**Tabela 12:** Eficiência de retranslocação de nitrogênio (ERN) e fósforo (NRP) dos indivíduos de *Myrcia laruotteana* amostrados nas zonas 1 e 2 da floresta paludosa estudada. Asteriscos indicam diferenças significativas entre duas médias em uma mesma linha ( $t_9 = -2,642$ ;  $p = 0,027$ ).

Ind.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Zona 1	Zona 2
ER N (%)	12,3	42,7	33,4	28,9	41,0	17,5	29,9	16,3	22,9	35,5	28,0 ± 10,5	31,7 ± 12,2	24,4 ± 8,2
ER P (%)	45,7	56,0	29,2	30,3	42,5	23,8	55,3	16,0	48,8	41,2	39,0 ± 13,5	40,7 ± 11,2*	37,0 ± 16,6*



**Figura 23:** (a) Eficiência média de retranslocação de N (ERN %) dos indivíduos 1, 4, 6, 8 e 9 (grupo 1) e 2, 3, 5, 7 e 10 (grupo 2) ( $t_8 = -4,528$ ,  $p = 0,002$ ). (b) Eficiência média de retranslocação de P (ERP %) dos indivíduos 3, 4, 6 e 8 (grupo 1) e 1, 2, 5, 7, 9 e 10 (grupo 2) ( $t_8 = -5,676$ ;  $p = 0,000$ ). Letras diferentes indicam diferenças significativas entre duas médias.



**Figura 24:** Eficiência média de retranslocação de nitrogênio (ERN) e de fósforo (ERP) nas folhas de *Myrcia laruotteana* na floresta paludosa (total) e nas zonas 1 e 2. Asteriscos indicam diferenças significativas entre as médias em cada local (Teste t,  $p < 0,1$ ).

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização do solo superficial

O solo da floresta paludosa estudada apresentou conteúdo médio de água relativamente alto durante todo o período estudado (em média, acima de 50 %), com valores similares aos observados por outros autores trabalhando na mesma área (Pedreira 2008, Soares 2008) e em outras manchas de florestas paludosas do Parque Estadual do Itacolomi (Terror 2007). Soares (2008) observou para um fragmento de floresta estacional semidecídua adjacente à floresta paludosa estudada um conteúdo médio de água no solo 64% menor em relação ao observado no presente estudo.

Não houve diferenças significativas no conteúdo médio de água no solo ao longo do período estudado descartando-se, portanto, a relação sugerida na hipótese 3, entre as variações em processos da ciclagem de nutrientes e variações sazonais no conteúdo de água no solo. Em um estudo anterior na mesma área, Pedreira (2008) registrou padrão semelhante, com valores de umidade do solo altos e constantes durante todo o ano, inclusive em períodos com precipitação mensal nula.

Por outro lado, o conteúdo médio de água no solo apresentou forte variação espacial, com uma diferença de 16% entre o conteúdo médio de água no solo da região mais próxima do corpo d'água (Zona 1) e a região mais afastada (Zona 2). De acordo com a classificação proposta por Junior (2003), os solos da floresta paludosa estudada podem ser classificados como “saturado” na zona 1 ( $\geq 61\%$ ) e “semi saturado” na zona 2 ( $\geq 35\%$ ;  $\leq 60\%$ ). Estudos realizados nas florestas paludosas do PEIT confirmam a diferenciação espacial no conteúdo de água no solo, mesmo em escalas pequenas de distância entre os pontos, variando de metros a dezenas de metros (Terror 2007, Pedreira 2008). Segundo Pedreira (2008), pequenas variações no conteúdo de água no solo foram suficientes para diferenciar trechos da floresta paludosa estudada quanto à riqueza e diversidade de espécies. Ferreira *et. al.* (2007), observaram que características estruturais como a distribuição e densidade de espécies são fortemente influenciadas pelas variações espaciais em pequena escala no conteúdo de água nas camadas superficiais do solo em um ecossistema de cerrado em Brasília, DF.

Com relação aos nutrientes normalmente considerados limitantes da produção vegetal em sistemas tropicais, a concentração média de N-total no solo da floresta paludosa apresentou distribuição espacial relativamente uniforme, sem variações sazonais e se mostrou 224% mais alta nas camadas superiores do solo (0-10cm) em relação aos valores obtidos por Pedreira (2008) que analisou o solo da mesma área no horizonte entre 0-30cm. De fato,

maiores concentrações de N são esperadas nas camadas superficiais do solo, onde o processo de decomposição e liberação de nutrientes é mais intenso (Chapin *et. al.* 2002). O solo superficial da floresta paludosa apresentou teores de N relativamente mais altos quando comparados com os valores obtidos por Moraes *et. al.* (1998) em uma floresta tropical úmida na Ilha do Cardoso (0,3 g.kg<sup>-1</sup>) e por Luizão (2004) em uma floresta tropical úmida em Manaus (< 4,0 g.kg<sup>-1</sup>).

Os teores médios de P-disponível no solo da floresta paludosa, assim como o N, mantiveram-se relativamente constantes durante o período e também foram mais altos nas camadas superiores do solo quando comparados ao estudo de Pedreira (2008). O conteúdo médio anual de P-disponível (3,6 mg.kg<sup>-1</sup>) foi ligeiramente maior na floresta paludosa em comparação aos valores observados por outros autores em ecossistemas florestais. Os valores encontrados por Espírito-Santo (2002) e Brotel *et. al.* (2002) para florestas estacionais semidecíduas em Minas Gerais foram, respectivamente, 72% e 17% menores em relação a este estudo. Pedreira (2008) classificou a fertilidade dos solos da floresta paludosa estudada, como moderada, principalmente quando considerados os teores de P e N. Em um solo hidromórfico em floresta de galeria no estado de Minas Gerais, Moreno (2001) registrou valores 48% maiores em relação ao presente estudo e Moraes *et. al.* (1998), em uma floresta tropical úmida na Ilha do Cardoso, encontraram valores de P em torno de 5,3 mg.g<sup>-1</sup>, valor extremamente alto em relação ao observado no presente estudo.

A maior disponibilidade de P no solo foi observada na região mais distante do curso d'água (zona 2). Apesar de o conteúdo de água no solo ter sido menor na zona 2, não houve correlação significativa entre o conteúdo de água e disponibilidade de P. Os menores teores de P na zona 1 podem estar relacionados ao carreamento de nutrientes em direção ao corpo d'água em decorrência do afloramento constante do lençol freático, registrado por Pedreira (2008). Além disso, a deposição de folhas com menores concentrações de P sobre o solo na zona 1 em relação à zona 2 possivelmente contribui para a manutenção de um nível mais reduzido deste elemento na superfície do solo. Killingbeck (1996) e McGroddy *et. al.* (2004), chamam a atenção para o papel da vegetação sobre o controle efetivo da ciclagem de nutrientes no ambiente. Em solos distróficos, espera-se uma tendência das plantas a concentrar nutrientes limitantes como N e P em sua biomassa viva através da retranslocação para outros compartimentos antes da abscisão foliar, reduzindo as perdas para o ambiente. Exemplo clássico foi demonstrado por Hedin, *et. al.* (2003) estudando uma cronoseqüência de vegetação em ilhas do Havaí, onde nas ilhas mais jovens, ainda com pouca cobertura vegetal e com maiores concentrações de P no solo, as concentrações de P nas plantas foram

relativamente menores em comparação às ilhas mais antigas, que apresentavam densa cobertura vegetal e baixa disponibilidade de P no solo, porém com altos teores de P na biomassa vegetal viva.

A razão N:P no solo da floresta paludosa apresentou valores extremamente altos, o que a princípio poderia indicar concentrações de P muito baixas. A variação espacial na razão N:P provavelmente está relacionada com os teores de P, visto que a concentração de N não variou significativamente entre as duas zonas. Entretanto, para o cálculo da razão N:P, foram utilizadas as concentrações de P-disponível e de N-total, o que pode tornar a razão N:P superestimada.

## ***5.2 Produção de Serapilheira***

A produção anual média de serapilheira na floresta paludosa foi semelhante à observada por Mitre (2008) em estudo realizado na mesma área entre janeiro e dezembro de 2007. Terror (2007) observou valores ligeiramente mais altos em um fragmento de floresta paludosa próximo à área estudada (tabela 13). De maneira geral, a deposição de serapilheira nas florestas paludosas do PEIT pode ser considerada baixa quando comparada a outros ecossistemas florestais situados em regiões tropicais (tabela 13), o que parece ser um padrão comum a diversas áreas sujeitas a alagamento permanente ou temporário do solo (Pagano & Durigan 2000), corroborando a hipótese 1. A porcentagem de folhas na serapilheira total foi de 61%, valor situado nos limites mais baixos observados para florestas tropicais no Brasil (tabela 13). Portanto, como as florestas paludosas estão menos sujeitas a déficit hídrico, é de se esperar que a queda de folhas em resposta à queda na disponibilidade de água no solo seja menos acentuada quando comparada a ecossistemas com maiores variações na disponibilidade hídrica (Pagano & Durigan 2000).

Além disso, de acordo com Pagano & Durigan (2000), florestas sobre solos com regime permanente de inundação apresentam menor deposição de serapilheira em relação a áreas adjacentes sujeitas a déficit hídrico. Segundo os autores, a vegetação situada sobre solos permanentemente alagados ou inundados periodicamente é capaz de apresentar ajustes adaptativos no sentido de restringir a perda de nutrientes através da serapilheira foliar, que durante os períodos de inundação, seria levada em direção ao corpo d'água pela água aflorada do lençol freático ou pela inundação do próprio corpo d'água. Sendo a serapilheira foliar a principal via de ciclagem de nutrientes em florestas tropicais, perdas desse tipo podem ser de grande importância para a manutenção da fertilidade do solo no ecossistema.

Estudos realizados em diversas florestas tropicais (Vitousek 1984; Silver 1994) apontam uma forte correlação entre a concentração de P-disponível no solo e a produção de serapilheira. Dessa maneira, a moderada disponibilidade de P encontrada no solo da floresta paludosa estudada pode ter sido um fator importante para a menor deposição de serapilheira na área em relação a outros ecossistemas florestais.

A produção de serapilheira apresentou um padrão de variação sazonal comum a diversos ecossistemas tropicais, com maior deposição durante a transição entre as estações seca e chuvosa, e em alguns períodos dentro da estação chuvosa. A fração foliar foi o componente mais importante da serapilheira, influenciando fortemente o padrão de variação da serapilheira total (figuras 7 e 8). Tal padrão já foi observado em estudos anteriores nas florestas paludosas do PEIT (Mitre 2008; Terror 2007), florestas estacionais semidecíduas no sudeste brasileiro (Mitre 2008; Pinto *et. al.* 2008; Dias 2002; Werneck *et. al.* 2001; Pagano & Durigan 2000), matas ciliares (Aidar & Joly 2003; Vital *et. al.* 2004; Pagano & Durigan 2000), áreas reflorestadas em Minas Gerais (Moreira & Silva 2004; Arato *et. al.* 2003), florestas alagáveis no Pantanal mato-grossense (Haase 1999) e em cerrados do centro-oeste e sudeste brasileiros (Kozovits *et. al.* 2007; Cianciaruso *et. al.* 2006).

Diversos autores relacionam o pico de produção de serapilheira foliar durante a estação seca com a diminuição da precipitação pluviométrica (Pinto *et. al.* 2008; Mitre 2008; Moreira & Silva 2004; Werneck *et. al.* 2001; Pagano & Durigan 2000). Entretanto, segundo Martins & Rodrigues (1999), a deposição de serapilheira não apresenta correlação direta com os índices de precipitação pluviométrica e sim com a capacidade de retenção de água no solo. Durante o início da estação seca, solos com alta capacidade de retenção ainda encontram-se supridos de água em decorrência das últimas chuvas e a queda de folhas em resposta ao déficit hídrico ocorre apenas ao final do período de estiagem (Pagano & Durigan 2000).

Burghouts *et. al.* (1994) indicaram a umidade do solo como o principal fator determinante da deposição de serapilheira em uma floresta tropical na Malásia. Apesar de as variações sazonais na produção de serapilheira não apresentarem relação com a umidade do solo na floresta paludosa, Mitre (2008) observou maior deposição de serapilheira em um fragmento de floresta estacional semidecídua localizado na margem oposta do córrego do Manso, adjacente à floresta paludosa estudada. Comparando o conteúdo de água no solo das duas áreas, Soares (2008) observou que a umidade do solo foi 64% menor na floresta estacional semidecidual que na paludosa. Portanto, como predito na hipótese 1, o excesso de

água na floresta paludosa pode realmente estar limitando a produção de serapilheira em comparação com sistemas florestais,

**Tabela 13:** Produção anual média de serapilheira foliar e porcentagem da fração foliar em relação à serapilheira total em alguns ecossistemas florestais tropicais. FES= Floresta Estacional Semidecídua; SAF = Sistema Agro Florestal.

<b>Ecossistema /Local</b>	<b>Serapilheira g.m<sup>-2</sup></b>	<b>Folhas</b>	<b>Autor</b>
FES / São Carlos – SP	1.222,1	63%	Hora <i>et. al.</i> 2008
FES / Botucatu – SP	1.064,6	---	Vital <i>et. al.</i> 2004
SAF (10 anos) / Viçosa – MG	1.016,5	67%	Arato <i>et. al.</i> 2003
Floresta amazônica / Manaus – AM	890,0	78%	Luizão 2004
FES / Viçosa – MG	881,9	56%	Pinto <i>et. al.</i> 2008
FES / Pantanal – MT	770,0	66%	Haase 1999
Flor. Ombrófila Densa / Paranaguá - PR	761,7	---	Pinto & Marques 2003
Floresta inundável / Amazônia – Peru	693,0	59%	Nebel <i>et. al.</i> 2001
FES / Ouro Preto – MG	678,0	78%	Werneck <i>et. al.</i> 2001
Reflorestamento (6 anos) / Limeira – SP	663,2	79%	Moreira & Silva 2004
Mata atlântica / Ilha do Cardoso – SP	631,0	70%	Moraes <i>et. al.</i> 1999
FES / Campinas – SP	596,8	76%	Martins & Rodrigues 1999
FES / Ouro Preto – MG	580,0	72%	Mitre 2008
Mata ciliar (solo úmido) / Assis – SP	534,8	79%	Pagano & Durigan, 2000
Floresta Paludosa / Ouro Preto – MG	568,6	57%	Terror 2007
<b>Floresta Paludosa / Ouro Preto – MG</b>	<b>431,7</b>	<b>61%</b>	<b>Este Estudo</b>
Floresta Paludosa / Ouro Preto – MG	430,0	68%	Mitre 2008
Restinga / Ilha do Cardoso – SP	393,0	74%	Moraes <i>et. al.</i> 1999
Cerrado <i>sensu stricto</i> / Brasília – DF	151,0	---	Kozovits <i>et. al.</i> 2007

Outro fator que pode estar relacionado à variação sazonal na produção de serapilheira, especialmente da fração foliar, é a ocorrência de dias mais curtos durante o inverno (Soares 2008; Pagano & Durigan 2000). Segundo Zeiger (2002), o etileno é um dos principais hormônios relacionados aos processos de senescência e abscisão foliar e sua produção varia em ritmo circadiano, com pico de produção durante o dia e mínima durante o período noturno. Assim, em razão da ausência de variações significativas na disponibilidade de água no solo da floresta paludosa, a resposta às variações na quantidade de horas de luz / ausência de luz ao longo do ano pode ser um fator de grande importância para a regulação da deposição de biomassa foliar no ecossistema estudado.

Alguns autores consideram ainda a temperatura como um importante fator capaz de influenciar a deposição de serapilheira ao longo do ano através de alterações nos padrões de abscisão foliar (Pinto *et. al.* 2008; Pinto & Marques 2003; Pagano & Durigan 2000). Segundo Larcher (2006), temperaturas baixas podem promover a abscisão foliar em espécies arbóreas, enquanto temperaturas mais altas podem retardar o processo. As florestas paludosas do PEIT estão inseridas em uma região de altitude elevada e inverno rigoroso com ocorrência de temperaturas próximas a 0° ou até mesmo negativas (Castañeda 1993; Pedreira 2008). Assim, as variações sazonais no fotoperíodo associadas às baixas temperaturas durante o inverno são, aparentemente, o sinal ambiental predominante para a queda de folhas na floresta paludosa em relação a outros fatores como precipitação e umidade do solo.

O aumento na produção de serapilheira durante o mês de janeiro (auge da estação chuvosa) pode estar relacionado com a ação mecânica das fortes chuvas características desse período (Martins & Rodrigues 1999) e também com a alta proporção de frutos e ritidomas da espécie dominante encontrada nos coletores durante esse período.

A serapilheira foliar produzida por *Myrcia laruotteana* foi equivalente a 54% da serapilheira foliar depositada na floresta paludosa e se apresentou como uma fração de grande importância, representando 33% da serapilheira total, com padrão de variação mensal influenciando fortemente as variações sazonais na serapilheira foliar e total. Portanto, além de ser a espécie de maior importância fitossociológica da floresta paludosa estudada, *M. laruotteana*, de acordo com a hipótese 4, é também a espécie de maior importância para a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta através da deposição de serapilheira foliar.

A análise da produção de serapilheira na floresta paludosa e sua relação com as mais diversas variáveis ambientais confirmam a afirmação de Pagano & Durigan (2000) de que a quantidade de serapilheira depositada pela vegetação na maioria dos ecossistemas florestais é determinada não apenas pela disponibilidade hídrica, mas por uma complexa rede de fatores locais, incluindo a fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, temperatura, fotoperíodo, além de fatores bióticos como mecanismos genéticos ligados à abscisão foliar. Tal informação parece ser verdadeira, principalmente no caso das florestas paludosas, as quais não experimentam déficit hídrico severo capaz de determinar por si só os padrões de deposição da serapilheira, mesmo durante períodos de estiagem.

### **5.3 Aporte de Nutrientes pela Serapilheira Foliar**

As concentrações de nutrientes na serapilheira foliar produzida nas florestas paludosas do PEIT encontram-se, de maneira geral, abaixo da faixa observada para ecossistemas florestais na região tropical (tabela 14). Baixas quantidades de nutrientes na serapilheira podem ser um reflexo da moderada fertilidade do solo (Pedreira 2008), levando as plantas a desenvolverem mecanismos para evitar a perda de nutrientes, como por exemplo, altas taxas de retranslocação antes da abscisão foliar. As concentrações de nutrientes na serapilheira foliar da floresta paludosa encontram-se próximas às observadas em solos com baixa fertilidade como os das florestas tropicais na Amazônia e ambientes de savana (tabela 14). Pagano & Durigan (2000) ressaltam a influência da fertilidade do solo na concentração final de nutrientes na serapilheira produzida em matas ciliares e florestas estacionais no sudeste do Brasil. Além disso, a condição de alagamento permanente devido ao afloramento do lençol freático pode resultar na lixiviação de nutrientes das folhas e do solo pela água que escoar para o corpo d'água, reduzindo tanto a concentração de nutrientes na serapilheira quanto a fertilidade do solo. Segundo Berg & McClaugherty (2007), diversos estudos mostram que até 30% dos compostos encontrados na serapilheira foliar são solúveis em água e facilmente lixiviados, como açúcares, fenóis, hidrocarbonetos e glicérides.

A concentração de N na serapilheira foi maior na zona 2, com solo mais seco. Como as concentrações de N no solo não diferiram significativamente entre as duas zonas, a lixiviação de íons nitrogenados, especialmente nitrato, pela água aflorada do lençol freático nas regiões mais próximas do córrego (zona 1) pode ser um importante fator determinante das concentrações de N na serapilheira foliar. Além disso, é importante lembrar que solos com maiores conteúdos de água podem conter uma comunidade de microrganismos com características bioquímicas e fisiológicas distintas em relação àquelas encontradas em solos menos úmidos, e que tal diferença pode levar a usos diferenciados dos íons  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  pelos microrganismos decompositores nas duas regiões do estudo (Montagnini & Jordan 2005). As concentrações de P na serapilheira foliar também foram maiores na zona 2, onde o solo apresentou menor umidade e maiores concentrações de P em relação à zona 1. Assim, tanto a lixiviação dos nutrientes pelo afloramento do lençol freático quanto a fertilidade do solo podem influenciar a quantidade de P na serapilheira foliar produzida na floresta paludosa estudada. Segundo Wood *et. al.* (2005), a lixiviação de nutrientes do solo pode reduzir os teores de P no solo e, conseqüentemente, nos tecidos vegetais.

**Tabela 14:** Concentração de N e P ( $\text{g.kg}^{-1}$ ), fluxo de nutrientes ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) e razão N:P da serapilheira foliar em alguns ecossistemas florestais tropicais. FES = Floresta Estacional Semidecídua; FTU = Floresta Tropical Úmida.

<b>Serapilheira Foliar</b>						
<b>Ecossistema / Local</b>	<b>[N]</b>	<b>[P]</b>	<b>Fluxo (N)</b>	<b>Fluxo (P)</b>	<b>N:P</b>	<b>Autor</b>
FES solo úmido / Marília – SP	21,5	0,7	185,0	6,0	30	Pagano & Durigan 2000
FES solo seco / Marília – SP	20,9	0,7	220,0	7,0	31	Pagano & Durigan 2000
FES / Jundiá – SP	--	--	174,0	5,0		Morellato 1992
FES / Rio Claro – SP	--	---	198,0	7,0		Pagano 1989
FES / Anhembi – SP	--	---	203,0	6,4		César 1993
FES / Ouro Preto – MG	15,6	0,5	65,1	2,0	31	Mitre 2008
FES / SP	22,0	1,1	186,0	9,4	20	Meguro 1979
FES / Botucatu – SP	21,6	1,4	217,8	11,6	15	Vital 2004
FES inundável / Pantanal – MT	18,8	1,9	140,0	14,2	10	Haase 1999
FES inundável / Pantanal – MT	16,0	1,8	123,0	14,1	9	Haase 1999
Floresta Inundável / Pantanal – MT	15,8	1,5	144,3	13,5	11	Haase 1999
FTU primária / Amazônia	13,3	0,5	115,0	3,6	27	Dantas & Phillipson 1989
FTU secundária / Amazônia	14,9	0,8	76,0	3,9	19	Dantas & Phillipson 1989
FTU / Amazônia	18,0	0,2	151,0	31,1	90	Luizão 1989
FTU / Amazônia	14,0	0,3	109,0	3,7	47	Luizão 1989
FTU / Amazônia	14,4	---	---	---		Luizão 2004
FTU / Ilha do Cardoso – SP	16,1	0,5	102,0	4,0	32	Moraes 1994
Cerrado / Brasília – DF	7,3	0,2	12,7	0,4	37	Nardoto 2006
Cerrado / Brasília – DF	8,5	0,3	---	---	28	Kozovits 2007
Cerradão (solo úmido) / Assis – SP	15,2	0,6	80,0	2,3	25	Pagano & Durigan 2000
Cerradão (solo seco) / Assis – SP	19,5	0,7	110,0	4,2	28	Pagano & Durigan 2000
Floresta Paludosa / Ouro Preto - MG	11,3	0,5	33,0	1,3	23	Mitre 2008
Floresta Paludosa / Ouro Preto - MG	12,8	0,6	41,5	1,9	21	Terror 2007
<b>Floresta Paludosa / Ouro Preto - MG</b>	<b>12,3</b>	<b>0,6</b>	<b>32,3</b>	<b>1,7</b>	<b>21</b>	<b>Este estudo</b>

As concentrações de N e P na serapilheira foliar apresentaram um padrão de variação sazonal comum a alguns ecossistemas tropicais, com menores concentrações durante o final da estação seca (agosto) e um aumento significativo durante o início do período de chuvas (Wood *et. al.* 2005; Vital *et. al.* 2004). Entretanto, as diferenças foram mais expressivas entre os meses de agosto e novembro. Apesar de tanto o N quanto o P terem sido encontrados em maiores concentrações durante a estação chuvosa, apenas o N apresentou diferenças significativas entre as duas estações.

Segundo Escudero *et. al.* (1992), a umidade do solo afeta a difusão de nutrientes do solo para as raízes das plantas. Com o início das chuvas, a disponibilidade efetiva de nutrientes no solo aumenta, levando a um acréscimo nas concentrações de nutrientes nos tecidos foliares. Entretanto, a floresta paludosa apresentou alta umidade no solo durante todo o ano, sem qualquer variação sazonal significativa, o que indica que a variação sazonal na concentração de nutrientes na serapilheira foliar não responde diretamente ao aumento na umidade do solo.

A relação entre altos índices de precipitação e maiores concentrações de nutrientes na serapilheira pode ainda ser conseqüência do aumento de folhas maduras derrubadas pela ação mecânica das fortes chuvas e ventos e que geralmente apresentam maiores concentrações de nutrientes em relação às folhas em processo de senescência (Wood *et. al.* 2005). Quando a planta produz novas folhas, frutos ou outros tecidos, uma quantidade considerável de nutrientes móveis pode ser retranslocada dos tecidos velhos para a formação de novas partes. Assim, segundo Wood *et. al.* (2005), a concentração de nutrientes na serapilheira pode sofrer um decréscimo durante períodos de produção de novas folhas, flores ou frutos. De fato, segundo Soares (2008), *Clethra scabra*, espécie com o segundo maior IVI na área estudada (Pedreira 2008), apresentou maiores intensidades de floração e frutificação entre dezembro e março e entre fevereiro e maio, respectivamente, o que, de acordo com Wood *et. al.* (2005) poderia explicar as menores concentrações de nutrientes na serapilheira foliar durante os meses de fevereiro (N e P) e maio (N), caso este padrão seja comum a outras espécies que habitam a área.

Wood *et. al.* (2005) propõem uma ligação entre picos de produção de serapilheira em resposta ao déficit hídrico, taxa de decomposição da serapilheira e concentração de nutrientes na serapilheira depositada em períodos subseqüentes. Os altos índices de deposição durante o final da estação seca fornecem uma maior quantidade de nutrientes que são liberados para o solo através da decomposição, aumentando a fertilidade do solo e conseqüentemente, a concentração de nutrientes nos tecidos vivos da vegetação local. Esse aumento na fertilidade do solo está relacionado à velocidade com que a matéria orgânica depositada sobre o solo é decomposta. Em seu trabalho, realizado em uma floresta tropical da Costa Rica, o autor define um tempo mínimo de 12 semanas para que esse tipo de resposta torne-se aparente. Como as maiores concentrações de P no solo da floresta estudada foram observadas em fevereiro (embora sem diferenças significativas), seria esperado um aumento nas concentrações de P na serapilheira foliar a partir desse período. De fato, as maiores concentrações de P na serapilheira foliar foram observadas durante o mês de maio.

Apesar de as concentrações de N e P na serapilheira foliar terem sido em geral favorecidas pela chegada das chuvas, as regiões mais secas da floresta paludosa (zona 2) foram as que apresentaram maiores concentrações de nutrientes. Assim, a umidade e fertilidade do solo, associados à maior exposição da serapilheira foliar à lixiviação e carreamento de nutrientes pela água em direção ao córrego do Manso, independentemente do período ou estação do ano, parecem ser os principais fatores responsáveis pela variação espacial nas concentrações de nutrientes na serapilheira foliar depositada na floresta paludosa.

A razão N:P da serapilheira foliar na floresta paludosa estudada (21; Tabela 4) aponta uma forte limitação por fósforo durante todo o ano, padrão comum à maioria dos ecossistemas florestais tropicais, que tendem a apresentar forte limitação por P devido às baixas concentrações de P nos solos antigos e altamente intemperizados dessas regiões (Aerts & Chapin 2000; Chapin 2002; Davidson & Howarth 2007). A razão N:P na serapilheira foliar está diretamente ligada à taxa de retranslocação de N e P nos tecidos foliares durante a abscisão foliar, mecanismo que se acredita ter evoluído de maneira a conservar nutrientes em ambientes com fortes limitações nutricionais (Killingbeck 1996; McGroddy *et. al.* 2004).

Os maiores valores de N:P nas regiões mais úmidas (zona 1, N:P= 22, figura 18a), associados à forte correlação positiva entre N:P e a concentração de P na serapilheira foliar indicam que estes locais são mais sensíveis às variações na disponibilidade de P quando comparados às regiões mais secas da floresta paludosa (zona 2 N:P= 17).

A serapilheira foliar de *M. laruotteana* apresentou maior razão N:P associada a uma queda significativa na concentração de fósforo durante o mês de agosto, reforçando a hipótese de limitação por P e indicando que *M. laruotteana* possa ser mais sensível às variações na disponibilidade de P em relação às outras espécies, cuja razão N:P permaneceu relativamente constante apesar da variação sazonal na concentração de nutrientes na serapilheira.

#### *Fluxo de Nutrientes Pela Serapilheira:*

A baixa taxa de deposição associada às baixas concentrações de nutrientes na serapilheira foliar resulta em uma transferência de N e P da vegetação para a serapilheira relativamente pequena em comparação com outros ecossistemas florestais brasileiros (tabela 14). Montagnini & Jordan (2005) propuseram um valor médio para o fluxo de nutrientes através da serapilheira em torno de 42,0 kg.ha<sup>-1</sup> para N e 2,6 kg.ha<sup>-1</sup> para P em solos de fertilidade extremamente baixa, valores relativamente mais altos em comparação com as florestas paludosas do PEIT (tabela 14).

Os padrões de transferência de N e P através da serapilheira foliar na floresta paludosa estudada seguem, basicamente, os padrões de deposição. A maior liberação de nutrientes para a superfície do solo ocorreu durante o final da estação seca (agosto e setembro; figuras 19b e 20b), com uma quantidade equivalente a cerca de 50% das quantidades de N e P transferidas durante o ano. Portanto, o maior fluxo de nutrientes da vegetação para a serapilheira foi registrado durante o período em que a serapilheira foliar apresentou as menores concentrações de N e P. Entretanto, deve-se lembrar que a liberação desses nutrientes para o solo não é imediata e depende da velocidade em que a serapilheira é decomposta.

De acordo com o encontrado no presente estudo, outros trabalhos indicam que em ecossistemas florestais tropicais, a transferência de nutrientes da vegetação para a superfície do solo está mais intimamente relacionada à taxa de deposição de serapilheira do que com as concentrações de N e P na serapilheira foliar, que tendem a apresentar pouca variação sazonal nesses ecossistemas (Moraes *et. al.* 1999; Pagano & Durigan 2000; Dias 2002; Vital *et. al.* 2004).

Por outro lado, o fluxo de nutrientes, especialmente de P, apresentou uma tendência a ser maior nas regiões mais secas (zona 2) durante períodos de estiagem (tabela 5). Como não houve diferença entre a deposição de serapilheira foliar nas duas zonas, a qualidade nutricional parece ser um fator importante na determinação de variações espaciais na transferência de P da vegetação para a serapilheira foliar, podendo apresentar uma relação com a menor disponibilidade de P no solo da zona 1 (tabela 1).

*Myrcia laruotteana*, apesar de ter apresentado concentrações de nutrientes mais baixas em relação à serapilheira foliar de outras espécies foi responsável por mais de 50% das quantidades de P e N transferidos pela serapilheira foliar, demonstrando a importância da espécie para a manutenção da fertilidade do solo na floresta paludosa.

#### **5.4 Decomposição da Serapilheira Foliar**

A serapilheira foliar depositada na floresta paludosa apresentou decomposição lenta em comparação com outros sistemas florestais, com valores próximos aos observados em ecossistemas sujeitos a situações de déficit hídrico como o cerrado e a caatinga e que geralmente apresentam taxas de decomposição lentas (Souto 2006, Cianciaruso 2006) (tabela 15). Segundo Harner *et. al.* (2009), valores de  $k < 0,005$  caracterizam decomposição lenta;  $k > 0,01$  caracterizam decomposição rápida, sendo os valores de  $k$  entre 0,005 e 0,01 intermediários. Entretanto, devido a diferenças entre os métodos utilizados para estimar a taxa

de decomposição *in situ*, a comparação entre diversos estudos realizados em ecossistemas florestais brasileiros não foi possível em razão da grande discrepância entre os valores de k.

Terror (2007) propôs que as baixas taxas de decomposição observadas em um fragmento de floresta paludosa próximo ao estudado são resultado da saturação hídrica nos solos hidromórficos característicos dessas formações. A condição de alagamento permanente pode criar uma situação de hipoxia, prejudicando os processos de decomposição dependentes de oxigênio. Segundo Chapin *et. al.* (2002), diversos estudos demonstram queda significativa na taxa de decomposição em solos com excesso de umidade ou condições de alagamento, concluindo que a limitação por O<sub>2</sub> é bastante pronunciada nesses ecossistemas. Ainda segundo o autor, solos argilosos, como o da floresta paludosa estudada, estão ainda mais propensos à limitação por O<sub>2</sub> em áreas úmidas. Tal fato decorre da alta capacidade de retenção de água por esses solos, reduzindo o suprimento de oxigênio necessário ao crescimento e metabolismo de microrganismos decompositores aeróbios.

Outro fator que pode ser responsável pela decomposição relativamente lenta na floresta paludosa em relação a outros ecossistemas florestais tropicais são as baixas temperaturas registradas na região, podendo ocorrer, durante o inverno, temperaturas próximas a zero grau Celsius. Segundo Chapin *et. al.* (2002), a temperatura afeta diretamente a decomposição da matéria orgânica, exercendo forte influência sobre a atividade microbiana no solo, além de, indiretamente alterar condições microclimáticas de umidade.

Diversos estudos mostram que a qualidade nutricional da serapilheira desempenha um importante papel na regulação da taxa de decomposição em diversos ecossistemas florestais, especialmente em solos com baixa disponibilidade de nutrientes (Hobbie & Vitousek 2000; Luizão 2004; Cleveland *et. al.* 2006; Berg & McLaugherty 2007; Kozovits *et. al.* 2007; Harner 2009). Nitrogênio e fósforo orgânicos são os elementos mais importantes para o crescimento de microrganismos envolvidos no processo de decomposição da matéria orgânica. Assim, baixas concentrações desses nutrientes podem limitar o crescimento dos microrganismos, retardando consideravelmente a taxa de decomposição do material (Chapin *et. al.* 2002). Hobbie & Vitousek (2000) observaram forte limitação do processo de decomposição pelas concentrações de P, tanto no solo quanto na serapilheira foliar, em uma floresta tropical montana no Havaí. Berg & McLaugherty (2007) relatam a importância das concentrações de manganês (Mn) para o controle da decomposição. O Mn é um elemento essencial para a produção e atividade da manganês-peroxidase, enzima que catalisa a degradação da lignina, um dos compostos mais resistentes da matéria orgânica, além de atuar

na regulação da atividade da lignina-peroxidase, outra enzima relacionada à degradação da lignina.

A taxa de decomposição foi mais alta nas regiões mais úmidas, independentemente da qualidade nutricional da serapilheira, indicando que, aparentemente, a umidade do solo é o fator mais importante na determinação de variações espaciais dentro da floresta paludosa.

A maioria dos estudos sobre decomposição da serapilheira foliar *in situ* demonstram que o processo de decomposição raramente é controlado por um único fator (Hobbie & Vitousek 2000; Carnevale & Lewis 2001; Arato *et. al.* 2003; Cianciaruso *et. al.* 2006; Cleveland *et. al.* 2006; Berg & McLaugherty 2007). Segundo Chapin *et. al.* (2002), a decomposição da serapilheira é controlada basicamente por três tipos de fatores: (i) características físico-químicas do ambiente, (ii) qualidade nutricional e quantidade do substrato e (iii) características e diversidade de microrganismos decompositores.

**Tabela 15:** Taxa de decomposição da serapilheira foliar expressa em porcentagem de massa perdida (%MP) e coeficiente de decomposição (k) de vários ecossistemas. Asteriscos indicam valores próximos aos observados neste estudo.

<b>Ecosistema /Local</b>	<b>% MP</b>	<b>Dias</b>	<b>k</b>	<b>Autor</b>
Floresta Tropical / Costa Rica	50%	150	--	Cleveland 2006
Floresta Tropical / Costa Rica	90%	300	--	Cleveland 2006
Argisolo vermelho amarelo eutrofizado	50%	60	0,0082	Gama-Rodrigues 2007
Planície Inundável do Rio Grande / USA	40% *	365	0,0012 *	Harner 2009
Planície Inundável do Rio Grande / USA	70%	365	0,0034	Harner 2009
Floresta dominada por Myrtaceas / Hawaii – USA	25% *	365	--	Hobbie 200
Cerradão / Luiz Antônio – SP	43% *	365	--	Cianciaruso 2006
Mata Ciliar / SP	44% *	365	--	Aidar 2003
Floresta Secundária / RJ	---	120	0,00194	Fernandes 2006
Caatinga / Paraíba	41% *	365	0,0048	Souto 2006
Floresta Ombrófila Densa / PR	50%	365	--	Sheer 2008
Floresta Ombrófila Densa / PR	62%	365	--	Sheer 2008
Floresta Atlântica / Marambaia – RJ	40%	210	0,0023	Pereira 2008
Floresta Paludosa / Ouro Preto - MG	36%	170	0,0030	Terror 2007
<b>Floresta Paludosa / Ouro Preto - MG</b>	<b>42%</b>	<b>365</b>	<b>0,0015</b>	<b>Este Estudo</b>
<b>Floresta Paludosa / Ouro Preto - MG</b>	<b>27%</b>	<b>196</b>	<b>0,0017</b>	<b>Este Estudo</b>

A velocidade de decomposição foi 22% mais lenta nas regiões menos úmidas da floresta paludosa (zona 2), indicando que apesar de limitar a decomposição no ecossistema como um todo, a umidade do solo aparentemente favorece o processo em uma escala local. De acordo

com Andersen & Nelson (2006), o alagamento do solo promove a rápida lixiviação de componentes solúveis da serapilheira, e a retenção dessa água possibilita a formação de um biofilme composto por microrganismos, exoenzimas e outros metabólitos e detritos, criando condições microclimáticas que favorecem a decomposição, além de atrair uma série de macro invertebrados detritívoros. Tais condições microclimáticas podem ser encontradas em diversos pontos da floresta paludosa estudada. Cleveland *et. al.* (2006) observaram em uma planície inundável nos EUA, que a alta umidade do solo após fortes chuvas resultava em uma alta taxa de lixiviação da matéria orgânica dissolvida na serapilheira acelerando os processos iniciais de decomposição mesmo com a redução em potencial da atividade microbiana no solo em razão da alta umidade.

Segundo Harner *et. al.* (2009), a serapilheira representa o mais importante meio de transferência de energia e nutrientes entre sistemas florestais e aquáticos, e sistemas florestais ribeirinhos estão sujeitos a regimes temporários ou permanentes de inundação, quando grandes quantidades matéria orgânica e nutrientes solúveis são carreados pela água em direção ao solo ou aos corpos d'água.

Além disso, como grande parte do solo das florestas paludosas encontra-se sob condições permanentes de alagamento ou saturação hídrica, a micro-biota envolvida no processo de decomposição da matéria orgânica pode suportar uma grande diversidade de organismos de metabolismo anaeróbio, que seriam favorecidos pela maior umidade na zona 1.

As maiores taxas de decomposição observadas na região mais úmida, mesmo essa região apresentando as menores concentrações de nutrientes na serapilheira indicam que, do ponto de vista espacial, a umidade do solo representa um papel mais importante na regulação da taxa de decomposição do que a qualidade nutricional da serapilheira. Assim, a umidade é um importante fator na regulação da taxa de transferência de nutrientes ao solo pela decomposição da serapilheira foliar, influenciando negativamente a decomposição global na floresta paludosa e favorecendo o processo pelas variações locais.

Além disso, a serapilheira depositada em agosto apresentou taxa de decomposição mais rápida em relação ao material depositado em maio, mesmo com as menores concentrações de nutrientes na serapilheira. Uma possível explicação é a de que o material depositado em agosto foi exposto à decomposição durante a estação chuvosa, e apesar de o conteúdo de água no solo não ter apresentado variações sazonais, a ação mecânica das chuvas pode contribuir consideravelmente na lixiviação de compostos solúveis na serapilheira durante as primeiras fases do processo de decomposição (Cleveland *et. al.* 2006).

**Tabela 16:** Taxa de decomposição expressa como porcentagem de massa perdida e coeficiente de decomposição de espécies de plantas em diversos ecossistemas. FES= Floresta Estacional Semidecídua.

<b>Espécie</b>	<b>Habitat/Local</b>	<b>% MP</b>	<b>Dias</b>	<b>k</b>	<b>Autor</b>
<i>Bauhinia forficata</i> (Pata-de-vaca)	FES / Viçosa - MG	92%	180	---	Arato 2006
<i>Mabea fistulifera</i> (Canudo-de-pito)	FES / Viçosa - MG	82%	180	---	Arato 2006
<i>Aegiphila sellowiana</i> (Tamanqueira)	FES / Viçosa - MG	37%	180	---	Arato 2006
<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Ipê-felpudo)	FES / Viçosa - MG	89%	180	---	Arato 2006
<i>Luehea grandiflora</i> (Açoita-cavalo)	FES / Viçosa - MG	50%	180	---	Arato 2006
<i>Croton floribundus</i> (Capoeira-preta)	FES / Viçosa - MG	67%	180	---	Arato 2006
<i>Trema micrantha</i> (Pau-pólvora)	FES / Viçosa - MG	44%	180	---	Arato 2006
<i>Cassia ferrugine</i> (Acácia-dourada)	FES / Viçosa - MG	89%	180	---	Arato 2006
<i>Senna macranthera</i> (Fedegoso)	FES / Viçosa - MG	88%	180	---	Arato 2006
<i>Schinus terebinthifolius</i> (Aroeirinha)	FES / Viçosa - MG	89%	180	---	Arato 2006
<i>Arachis pintoii</i> (Amendoim forrageiro)	Sistema agro florestal / Seropédica - RJ	---	150	0,020	Espíndola 2006
<i>Pueraria phaseoloides</i> (Cudzu tropical)	Sistema agro florestal / Seropédica - RJ	---	150	0,010	Espíndola 2006
<i>Macroptilium atropurpureum</i> (Siratro)	Sistema agro florestal / Seropédica - RJ	---	150	0,010	Espíndola 2006
<i>Acacia auriculiformis</i> (Acácia auriculada)	Sistema agro florestal / Seropédica - RJ	---	125	0,006	Silva 2008
<i>Inga semialata</i> (Ingá margoso)	Sistema agro florestal / Seropédica - RJ	---	125	0,003	Silva 2008
<i>Erythrina poeppigiana</i> (Mulungu do alto)	Sistema agro florestal / Seropédica - RJ	---	125	0,036	Silva 2008
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> (Sabiá)	Floresta Nacional Mário Xavier / RJ	---	120	0,00497	Fernandes 2006
<i>Carapa guianensis</i> (Andiroba)	Floresta Nacional Mário Xavier / RJ	---	120	0,00385	Fernandes 2006
<i>Peltogyne sp.</i> (Fabaceae)	Ilha pluvial de Maracá / Boa Vista - RR	40%	180	---	Vilela 2002
<i>Ecclinusa guianensis</i> (Sapotaceae)	Ilha pluvial de Maracá / Boa Vista - RR	30-60%	180	---	Vilela 2002
<i>Lueheopsis duckeana</i> (Tiliaceae)	Ilha pluvial de Maracá / Boa Vista - RR	40-60%	180	---	Vilela 2002
<i>Centrolobium tomentosum</i> (Araribá)	Mata ciliar / SP	44%	365	---	Aidar 2003
<i>Elaeagnus angustifolia</i> (Russian olive)	Planície inundável do Rio Grande / USA	---	357	0,003	Harner 2009
<i>Populus deltóides</i> (Fremont cottonwood)	Planície inundável / Colorado - USA	60-90%	653	0,00176	Andersen 2006
<b><i>Myrcia laruotteana</i></b>	<b>Floresta paludosa</b>	<b>41,9%</b>	<b>366</b>	<b>0,00152</b>	<b>Este estudo</b>

O tempo de retorno dos nutrientes ao solo pela decomposição da serapilheira foliar pode ser estimado de maneira aproximada pelo tempo de meia vida da serapilheira ( $T_{50\%} = 493$  dias), visto que a maior liberação de nutrientes ocorre preferencialmente durante as primeiras fases da decomposição (Torres *et. al.* 2005; Berg & McClaugherty 2007). Dessa forma, a maior parte dos nutrientes aportados pela serapilheira na floresta paludosa retornam ao solo durante os primeiros 1,4 anos de decomposição.

*Myrcia laruotteana* apresentou taxa de decomposição abaixo da faixa observada em ecossistemas florestais tropicais (tabela 16). Entretanto a espécie mostrou grande importância na liberação de nutrientes ao solo na floresta paludosa estudada.

Apesar de a taxa de decomposição anual (maio/2008 a maio/2009) da serapilheira produzida pela espécie não ter apresentado diferenças significativas em relação à serapilheira total, o material coletado em agosto/setembro, apresentou taxa de decomposição 34% mais rápida nas folhas de *M. laruotteana* em relação à serapilheira total. Assim, após o período de maior de maior produção de serapilheira, a contribuição da espécie para o retorno de nutrientes ao solo pela decomposição do material foliar é expressivamente maior em relação à serapilheira total, reforçando a importância de *M. laruotteana* para a ciclagem de nutrientes na floresta paludosa.

## **5.5 Nutrientes em folhas de *Myrcia laruotteana***

### *Folhas maduras*

As concentrações de nutrientes nas folhas maduras de indivíduos de *Myrcia laruotteana* seguiram um padrão de variação espacial semelhante ao observado para as concentrações de nutrientes no solo. Assim, apenas as concentrações de P variaram significativamente entre indivíduos localizados nas zonas 1 e 2, sendo 37% mais altas na zona 2, que apresentou maior disponibilidade de P no solo. Os teores de P encontram-se dentro da faixa estabelecida por (Denton *et. al.* 2007) para solos com baixa disponibilidade de P, que varia entre 0,38 e 1,1  $\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Nardoto *et. al.* (2006) observou valores entre 7,2 e 17,8  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  (N) e entre 0,43 e 0,72 em 10 espécies em ambiente de cerrado.

Diversos autores têm usado a razão N:P em tecidos vegetais para determinar se uma espécie ou um ecossistema é limitado por P ou N (Bedford *et. al.* 1999; Aerts & Chapin 2000; Güsewell 2004; McGroddy *et. al.* 2004; Güsewell 2005; Nardoto *et. al.* 2006; Kozovits *et. al.* 2007). Para comparação com outros dados disponíveis na literatura, foram adotados os limites

propostos por Aerts & Chapin (2000), em que valores de N:P < 14 indicam limitação por nitrogênio, N:P > 16 indicam limitação por fósforo e valores entre 14 e 16 indicam co-limitação por N e P.

Assim, a análise das razões N:P nos permite inferir que a população de *M. laruotteana* na floresta paludosa estudada encontra-se em geral sob limitação por P. Como já foi observado, a limitação por P é amplamente encontrada em florestas tropicais que crescem sobre solos antigos e altamente intemperizados (Aerts & Chapin 2000). Entretanto, houve grande variação entre os indivíduos analisados (CV= 24%). Na região mais úmida (zona 1), todos os indivíduos apresentaram forte limitação por P (N:P=20), enquanto na zona 2, nenhum indivíduo apresentou limitação por P, com razões N:P variando entre 9 (limitação por N) e 16 (co-limitação por N e P), indicando que as variações na disponibilidade de P entre as duas regiões é suficiente para amenizar a limitação por P em indivíduos de *M. laruotteana*.

Güsewell (2004) relata a influência das atividades humanas sobre a regulação de processos ligados à ciclagem de nutrientes em diversos ecossistemas. Uma associação entre fatores como a queima de combustíveis fósseis e o uso de fertilizantes agrícolas praticamente dobraram a taxa de entrada de N na biosfera terrestre em formas disponíveis à maioria dos seres vivos. Por outro lado, as perdas anuais de P em ecossistemas terrestres devido a atividades humanas são cada vez maiores com o passar do tempo. Como resultado, esses ecossistemas têm se tornado cada vez mais limitados por P.

A forte limitação por P pode ainda estar relacionada com os teores de Fe e Al no solo, considerados altos de acordo com Pedreira (2008), o que pode influenciar diretamente a disponibilidade de P. Segundo Montagnini & Jordan (2005) o fósforo reage com esses elementos formando no solo mineral fosfatos insolúveis em formas indisponíveis para absorção pelas plantas. O processo de decomposição da matéria orgânica depositada sobre o solo é de extrema importância para a regulação da disponibilidade de P em solos florestais. A matéria orgânica depositada fornece recursos aos microrganismos decompositores que durante seu metabolismo liberam ácidos orgânicos que solubilizam o P nos fosfatos de alumínio e ferro, tornando o elemento disponível para as plantas e reduzindo a toxicidade do solo por Al e Fe.

### *Eficiência de Retranslocação*

Em ecossistemas com baixa disponibilidade de nutrientes, a vegetação é capaz de exibir mecanismos capazes de minimizar as perdas de nutrientes através da serapilheira (Pagano &

Durigan 2000; vanHeerwaarden *et. al.* 2003; Güsewell 2005). A retranslocação de nutrientes é uma das mais importantes estratégias usadas pelas plantas para a conservação de elementos essenciais, especialmente N e P, que são reabsorvidos durante a senescência foliar e realocados para o crescimento de novos tecidos ou estocados para uso futuro (Aerts 1996; Killingbeck 1996; Güsewell 2005). Assim, a vegetação torna-se menos dependente da disponibilidade de nutrientes no solo, adquirindo importantes vantagens em termos de adaptabilidade e competição por nutrientes em solos pouco férteis (van Heerwaarden *et. al.* 2003). Como a maioria dos organismos depende direta ou indiretamente dos nutrientes liberados pela vegetação na serapilheira, a retranslocação é um processo de grande importância para a ciclagem de nutrientes na grande maioria dos ecossistemas terrestres (Killingbeck 1996). A Eficiência de Retranslocação de Nutrientes (ER) é um dos parâmetros mais utilizados para se medir a quantidade de nutrientes reabsorvidos pela planta antes da abscisão foliar, com base na diferença entre as concentrações de determinado nutriente nas folhas maduras e senescentes (vanHeerwaarden *et. al.* 2003; Kobe 2005).

Tanto a ER de N, quanto a ER de P em folhas senescentes de *M. laruotteana* (28 e 39%, respectivamente, tabela 12) encontram-se abaixo da média global proposta para espécies arbóreas por Aerts (1996) em extensa revisão bibliográfica sobre o assunto (ERN= 50% e ERP= 52%). Entretanto, houve uma forte variação intra específica (tabela 12; figura 23) com ERP variando entre 16 e 56% e ERN na faixa de 12 a 43%. Escudero (1992), estudando um grupo de espécies arbóreas observou valores de ERN entre 24 e 70% e de ERP entre 29 e 76%.

Um dos mais difundidos paradigmas da ecologia vegetal é o de que plantas que crescem sobre solos pouco férteis apresentam maior ER (Aerts 1996; Killingbeck 1996; Denton *et. al.* 2007). Entretanto, durante as últimas décadas, diversos estudos têm mostrado resultados contraditórios, mostrando que a ER pode tanto aumentar, diminuir ou se manter inalterada diante de variações na fertilidade do solo (Aerts 1996). Como a retranslocação é um processo que envolve custos à vegetação, cada espécie deve otimizar o processo, ajustando as taxas de retranslocação a partir de um balanço entre os custos e os benefícios envolvidos (Güsewell 2005). Escudero (1992) observou que em diversas espécies arbóreas a limitação por determinados nutrientes não promove a ER, mas ocasiona um aumento significativo no tempo de vida das folhas. Portanto, as baixas taxas de retranslocação observadas nas folhas de *M. laruotteana* não excluem necessariamente a possibilidade de limitação por P. Não obstante, a ERP foi 39% maior em relação à ERN, e significativamente maior na zona 1, que apresentou as menores concentrações do nutriente no solo em comparação à zona 2.

vanHeerwaarden *et. al.* (2003) ressaltam que durante a senescência foliar, a retranslocação de nutrientes e outros compostos estruturais podem causar uma queda expressiva na massa foliar levando a uma sub estimativa de aproximadamente 20% da ER, sendo necessária a correção dos valores de acordo com as variações na área foliar. Estudos com espécies arbóreas registram perda de massa foliar entre 4 e 22% durante a senescência foliar (vanHeerwaarden *et. al.* 2003; Güsewell 2005). Entretanto, durante o presente estudo não foi possível corrigir os valores de ER devido à ausência de dados relativos à área foliar.

Killingbeck (1996) sugere que o cálculo da ER com base na concentração de nutrientes em folhas maduras possa levar a interpretações errôneas e confusas, uma vez que variações temporais na concentração de nutrientes nas folhas maduras e a época de coleta do material podem influenciar drasticamente os resultados, tornando a comparação com outros estudos, muitas vezes inviável.

### *Proficiência de Retranslocação*

Em razão dos problemas relacionados ao cálculo da ER, Killingbeck (1996) propôs um método para se estimar a retranslocação potencial (a maior quantidade de nutrientes que uma espécie é capaz de reabsorver antes da abscisão foliar) com base nas concentrações finais de nutrientes nas folhas senescentes ou na serapilheira. Assim, a Proficiência de Retranslocação (PR) reflete os limites bioquímicos de reabsorção de nutrientes entre espécies adaptadas a diferentes condições de fertilidade do solo e disponibilidade de nutrientes, independentemente da concentração de nutrientes nas folhas maduras (Killingbeck 1996; vanHeerwaarden 2003; Kobe 2005). A tabela 17 apresenta valores de proficiência de retranslocação de P e N para diversas espécies em diferentes locais.

Killingbeck (1996), a partir de uma meta análise sobre a proficiência de retranslocação de N e P em mais de 80 espécies arbóreas decíduas e perenes em diversos locais, propôs um modelo de classificação em que a PR (expressa em  $\text{g.kg}^{-1}$ ) de uma espécie pode ser considerada “completa” quando  $\text{PRN} \leq 7,0$  ou  $\text{PRP} \leq 0,5$  e “incompleta” quando  $\text{PRN} \geq 10,0$  ou  $\text{PRP} \geq 0,8$ . Valores entre as duas categorias indicam PR “intermediária”.

**Tabela 17:** Proficiência de retranslocação (PR; concentração de nutrientes em folhas senescentes) de N e P em algumas espécies de habitats tropicais e temperados. (adaptado de Killingbeck, 1996).

<b>Espécie</b>	<b>Local</b>	<b>PRN</b>	<b>PRP</b>	<b>Autor</b>
<i>Myrcia laruotteana</i>	<b>Brasil</b>	<b>11,6</b>	<b>0,66</b>	<b>Este estudo</b>
<i>Brosimum lactescens</i>	Brasil	13,0	0,5	Scott 1992
<i>Duguetia lucida</i>	Brasil	16,4	0,6	Scott 1992
<i>Lecythis corrugata</i>	Brasil	11,3	0,6	Scott 1992
<i>Licania kunthiana</i>	Brasil	12,3	0,5	Scott 1992
<i>Pouteria hispida</i>	Brasil	11,7	0,4	Scott 1992
<i>Tetragastris panamensis</i>	Brasil	8,9	0,4	Scott 1992
<i>Acer monospessulanum</i>	Espanha	11,4	0,5	Escudero 1992
<i>Betula pubescens</i>	Espanha	6,5	0,3	Escudero 1992
<i>Crataegus monogyna</i>	Espanha	10,2	0,9	Escudero 1992
<i>Frangula alnus</i>	Espanha	11,3	0,3	Escudero 1992
<i>Fraxinus angustifolia</i>	Espanha	13,9	0,9	Escudero 1992
<i>Populus nigra</i>	Espanha	6,7	0,4	Escudero 1992
<i>Quercus pyrenaica</i>	Espanha	9,8	0,6	Escudero 1992
<i>Byrsonima crassifolia</i>	Venezuela	5,7	0,2	Montes 1977
<i>Curatella americana</i>	Venezuela	4,6	0,1	Montes 1977
<i>Genipa caruto</i>	Venezuela	9,7	0,5	Montes 1977
<i>Godmania macrocarpa</i>	Venezuela	7,7	0,3	Montes 1977
<i>Luehea candida</i>	Venezuela	9,9	0,8	Montes 1977
<i>Symplocos ramosissima</i>	Índia	18,0	0,3	Ralhan 1987
<i>Viburnum cotinifolium</i>	Índia	15,0	0,1	Ralhan 1987
<i>Quercus leuchotricophora</i>	Índia	15,0	1,1	Ralhan 1987
<i>Shorea robusta</i>	Índia	13,0	1,0	Ralhan 1987
<i>Betula alleghaniensis</i>	USA	11,7	1,1	Hoyle 1965
<i>Fouquieria splendens</i>	USA	12,0	0,2	Killingbeck 1992
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	USA	10,0	1,4	Killingbeck 1984
<i>Quercus alba</i>	USA	12,3	0,8	Grizzard 1976
<i>Quercus macrocarpa</i>	USA	10,0	1,4	Killingbeck 1984
<i>Quercus muhlenbergii</i>	USA	10,0	1,5	Killingbeck 1984
<i>Nothofagus truncata</i>	Nova Zelândia	11,1	1,0	Miller 1963
<i>Calluna vulgaris</i>	Países Baixos	12,1	0,2	vanHeerwaarden 2003
<i>Erica tetralix</i>	Países Baixos	12,4	0,3	vanHeerwaarden 2003
<i>Pinus sylvestris</i>	Países Baixos	13,4	0,3	vanHeerwaarden 2003
<i>Betula pubescens</i>	Países Baixos	16,7	1,0	vanHeerwaarden 2003
<i>Lonicera periclymenum</i>	Países Baixos	13,5	1,3	vanHeerwaarden 2003
<i>Salix cinerea</i>	Países Baixos	13,2	0,6	vanHeerwaarden 2003
<i>Blepharocalyx salicifolius</i>	Brasil	7,5	0,3	Kozovits 2007
<i>Caryocar brasiliense</i>				
<i>Qualea parviflora</i>				
<i>Schefflera macrocarpa</i>				
<i>Ouratea hexasperma</i>				

De acordo com essa classificação, 70% dos indivíduos analisados apresentaram PRP entre completa (30%) e intermediária (40%), enquanto todos os indivíduos apresentaram PRN incompleta (tabela 10). A PRN foi virtualmente idêntica entre as duas zonas, que também não apresentaram diferença quanto à disponibilidade de N no solo. Já a PRP foi significativamente maior nas regiões com menor disponibilidade de P no solo (zona 1, tabela 10). Assim, aparentemente, a retranslocação de nutrientes (ER e PR) apresenta uma relação negativa com a disponibilidade de nutrientes no solo. Entre os indivíduos analisados, a proficiência máxima de retranslocação (em g.dm<sup>3</sup>) foi de 0,4 para o P e de 10,36 para o N.

Güsewell (2005) observou que plantas sob condições de limitação por P tendem a apresentar maior ERP. No presente estudo, a ERP foi mais alta na zona 1, onde a razão N:P das folhas de *M. laruotteana* indica limitação por P. Entretanto, não houve correlação significativa entre as duas variáveis. Por outro lado, a PRP apresentou forte correlação com a razão N:P das folhas maduras, indicando uma ligação entre PRP e limitação por P em *M. laruotteana*. De maneira geral, quando a razão N:P das folhas maduras indicou limitação por P, a PRP variou entre completa e intermediária, dependendo do grau de limitação, enquanto razões N:P indicando limitação por N tendem a resultar em PRP incompleta.

A comparação entre os valores de ERP e PRP mostra que o uso da ER como medida da capacidade de retranslocação de nutrientes deve ser empregado com cautela. Por exemplo, observou-se que o indivíduo 9 apresentou maior ERP em relação ao indivíduo 1 (tabela 12). Entretanto, a concentração de P nas folhas senescentes do indivíduo 9 foram 92% maiores, indicando que o indivíduo 1, apesar de ter apresentado menor ERP, se mostrou mais eficiente na conservação do nutriente em seus tecidos. Killingbeck (1996) considera a análise do nível a que um nutriente pode ser reduzido durante a senescência foliar (PR) o método prioritário mais confiável para a análise da retranslocação de nutrientes, sugerindo ainda que a ER é um método válido quando analisado em conjunto com a PR.

A tabela 18 resume os principais padrões de variação espacial e sazonal das variáveis estudadas na floresta paludosa.

**Tabela 18:** Variações sazonais e espaciais das principais variáveis analisadas durante o estudo.

Varável	Zona 1	Zona 2	Seca	Chuvosa
Umidade do solo	>	<	=	=
N-total <sub>(Solo)</sub>	=	=	=	=
P-disponível <sub>(Solo)</sub>	<	>	=	=
Produção de Serapilheira Foliar	=	=	>	<
N <sub>(Serapilheira)</sub>	<	>	<	>
P <sub>(Serapilheira)</sub>	<	>	=	=
N:P <sub>(Serapilheira)</sub>	>	<	=	=
Fluxo de nutrientes pela serapilheira	<	>	>	<
Decomposição	>	<	=	=
N em folhas maduras de <i>M. larotteana</i>	=	=	---	---
P em folhas maduras de <i>M. larotteana</i>	<	>	---	---
N:P em folhas maduras de <i>M. larotteana</i>	>	<	---	---
ERP	=	=	---	---
ERN	=	=	---	---
PRP	<	>	---	---
PRN	=	=	---	---

## 6. CONCLUSÃO

A floresta paludosa estudada apresentou uma taxa de ciclagem relativamente lenta em comparação a outros ecossistemas florestais, principalmente em razão das baixas quantidades de nutrientes transferidos pela serapilheira e da lenta decomposição desse material. Como previsto pela hipótese 1, o elevado conteúdo de água no solo desempenha um importante papel na regulação da ciclagem de nutrientes na floresta paludosa, influenciando negativamente a fertilidade do solo, a produção e a decomposição da serapilheira em uma escala global. Entretanto, outros fatores como baixas temperaturas, menor foto-período durante o inverno, moderada fertilidade do solo, além de características bioquímicas e fisiológicas específicas da vegetação provavelmente atuam em conjunto com a umidade do solo na regulação desses processos.

Variações espaciais, em escala de poucos metros de distância, na umidade do solo da floresta paludosa mostraram forte influência sobre a velocidade de decomposição da serapilheira. Entretanto, enquanto a taxa de decomposição global da floresta paludosa é afetada negativamente pela saturação hídrica do solo, a umidade favorece o processo em escala local. Apesar de as regiões mais úmidas apresentarem decomposição mais rápida, o maior fluxo de nutrientes pela serapilheira, a melhor qualidade nutricional da serapilheira foliar e, possivelmente, as menores perdas para outros ecossistemas garantem uma ciclagem mais eficiente nas regiões mais distantes do curso d'água, confirmando a hipótese 2.

Os meses de agosto e setembro (final da estação seca) representam o período de maior fluxo de nutrientes da vegetação para a serapilheira, enquanto os períodos subsequentes (estação chuvosa) caracterizam a maior liberação efetiva desses nutrientes para o solo, devido ao aumento na velocidade de decomposição da serapilheira durante esse período. Assim, o maior retorno de nutrientes ao solo ocorre durante estação chuvosa. Entretanto, os resultados obtidos indicam que as variações sazonais nos padrões de ciclagem sofrem pouca ou nenhuma influência direta da umidade do solo superficial, que se manteve relativamente constante durante todo o ano. Refuta-se, em parte, a hipótese 3.

*Myrcia laruotteana*, além de ser a espécie de maior importância fitossociológica na floresta paludosa estudada demonstrou grande importância para a ciclagem de nutrientes (hipótese 4), determinando os padrões sazonais de produção e decomposição da serapilheira e transferindo uma quantidade de N e P para a serapilheira duas vezes maior em relação à serapilheira total. A serapilheira foliar depositada por *M. laruotteana* durante o período de

maior produção corresponde a um terço de toda a produção anual, além de apresentar maior velocidade de decomposição em relação à serapilheira total.

Em geral, a vegetação da floresta paludosa cresce sob forte limitação por P nas regiões mais próximas do corpo d'água levando os indivíduos de *M. laruotteana* a ajustarem seu metabolismo no sentido de conservar o nutriente limitante em seus tecidos vivos, resultando em um menor retorno de nutrientes ao solo nessas regiões, mesmo com maior taxa de decomposição da serapilheira.

A proficiência de retranslocação (PR) se mostrou o parâmetro mais confiável na avaliação da capacidade de reabsorção de nutrientes pelos indivíduos de *M. laruotteana* antes da abscisão foliar. A PRP foi relativamente maior que a PRN e variou entre completa e intermediária conforme a disponibilidade de P no solo, enquanto 100% dos indivíduos analisados apresentaram PRN incompleta, confirmando a hipótese 5 e reforçando a indicação de limitação por fósforo.

Assim, a partir de uma visão ecossistêmica, o retorno de nutrientes ao solo pela decomposição da serapilheira foliar na floresta paludosa provavelmente é regulado por uma interação entre fatores ambientais (umidade, temperatura, fertilidade e características físicas do solo) e características bióticas da comunidade que habita o local (capacidade de retranslocação de nutrientes, transferência de nutrientes pela serapilheira, qualidade nutricional do material foliar e demanda nutricional da microfauna decompositora), que resultam em resultam em uma ciclagem mais eficiente nas regiões mais distantes do córrego, onde ocorre um balanço entre o uso e liberação de nutrientes, aparentemente, amenizando a limitação por P nesses locais.

Os pulsos de inundação devido ao afloramento do lençol freático podem resultar em perdas importantes para outros ecossistemas através da lixiviação e carreamento de nutrientes dissolvidos e matéria orgânica em direção ao curso d'água, sendo possivelmente um dos principais fatores limitantes da ciclagem de nutrientes na floresta paludosa. Portanto, o presente estudo levanta novas indagações sobre a influência do regime de inundação do córrego do Manso sobre a ciclagem de nutrientes na floresta paludosa, sugerindo também que as florestas paludosas são uma importante fonte de entrada de nutrientes nos ecossistemas aquáticos adjacentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerts, R. (1996). Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns. *Journal of Ecology*, 84, 597-608.
- Aerts, R., & Chapin, F. (2000). The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advanced Ecological Research*, 30, 1-67.
- Aerts, R., Cornelissen, J. H., van Logtestijn, R. S., & Callaghan, T. V. (2007). Climate change has only a minor impact on nutrient resorption parameters in a high-latitude peatland. *Oecologia*, 151(1), 132-9.
- Aidar, M., & Joly, C. (2003). Dinâmica da produção e decomposição da serapilheira do araribá (*Centrolobium tomentosum* Guill. ex Benth.–Fabaceae) em uma mata ciliar, Rio Jacaré-Pepira, São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica*, 26(2), 193–202.
- Andersen, D., & Nelson, S. (2006). Flood pattern and weather determine *Populus* leaf litter breakdown and nitrogen dynamics on a cold desert floodplain. *Journal of Arid Environments*. 64(4), 626-650.
- Arato, H. D. (2006). Caracterização química e decomposição de folhas de espécies arbóreas nativas da mata atlântica. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG.
- Arato, H. D., Martins, S. V., & Ferrari, S. H. (2003). Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em viçosa-MG. *Revista Árvore*, 27(5), 715-721.
- Backes, A., Prates, F. L., & Viola, M. G. (2005). Produção de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19(1), 155-160.
- Bedford, B., Walbridge, M., & Aldous, A. (1999). Patterns in nutrient availability and plant diversity of temperate North American wetlands. *Ecology*, 80(7), 2151–2169. Ecological Society of America.
- Berg, B., & McClaugherty, C. (2007). *Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration*, 2nd. 338p. Springer Verlag.
- Botrel, R. T., Oliveira Filho, A. T., Rodrigues, L. A., & Curi, N. (2002). Influência do solo e topografia sobre as variações da composição florística e estrutura da comunidade arbóreo-arbustiva de uma floresta estacional semidecidual em Ingaí, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, 25, 195-213.
- Burghouts, T. B. A., Campbell, E. J. F. (1994) Effects of tree species heterogeneity on leaf fall in primary and logged dipterocarp forest in the Ulu Segama Forest Reserve, Sabah, Malaysia. *Journal of Tropical Ecology*, 10, 1-26.

- Carnevale, N. J., & Lewis, J. P. (2001). Litterfall and organic matter decomposition in a seasonal forest of the eastern Chaco (Argentina). *Revista de biología tropical*, 49(1), 203-12.
- César, O. (1993) Produção de serapilheira na mata mesófila semidecídua da fazenda Barreiro Rico, município de Anhembi, SP. *Revista Brasileira de Biologia* 53(4), 671-681.
- Chapin, F., Matson, P., & Mooney, H. (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. 436p. Springer Verlag.
- Cianciaruso, M. V., Pires, J. S., Delitti, W. B., & Silva, E. F. (2006). Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 20(1), 49-59.
- Cleveland, C. C., Reed, S. C., & Townsend, A. R. (2006). Nutrient regulation of organic matter decomposition in a tropical rain forest. *Ecology*, 87(2), 492-503.
- Dantas, M. & Phillipson, J. (1989). Litterfall and litter nutrient content in primary and secondary amazonian terra-firme forest. *Journal of Tropical Ecology*, 5, 27-36.
- Davidson, E. A. & Howarth, R. W. (2007) Nutrients in synergy. *Nature*, 449. 1000-1001.
- Denton, M. D., Veneklaas, E. J., Freimoser, F. M., & Lambers, H. (2007). Banksia species (Proteaceae) from severely phosphorus-impoverished soils exhibit extreme efficiency in the use and re-mobilization of phosphorus. *Plant, cell & environment*, 30, 1557-1565.
- Dias, H. C., Figueira, M. D., Silveira, V., Oliveira-filho, A. T., & Scolforo, J. R. (2002). Variação temporal de nutrientes na serapilheira de um fragmento de floresta estacional semidecidual montana em lavras, MG. *CERNE*, 8(2), 1-16.
- Durigan, G., Rodrigues, R.R. & Schiavini, I. (2000). A heterogeneidade ambiental definindo a metodologia de amostragem da floresta ciliar. In *Matas ciliares: conservação e recuperação* (R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho, eds.). Editora da USP/Fapesp, São Paulo, 159-167.
- EMBRAPA (1999). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Empresa Brasileira de Pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, RJ.
- Escudero, A., Arco, J. M., Sanz, I. C., & Ayala, J. (1992). Effects of leaf longevity and retranslocation efficiency on the retention time of nutrients in the leaf biomass of different woody species. *Oecologia*, 90(1), 80-87.
- Espindola, J. A., Guerra, J. G., Almeida, L. A., Teixeira, M. G., & Urquiaga, S. (2006). Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30(2), 321-328.
- Espirito-Santo, F. D., Oliveira-Filho, A. T., Machado, E. L., Souza, J. S., & Fontes, M. A. (2002). Variáveis ambientais e a distribuição de espécies arbóreas em um remanescente de floresta estacional semidecidual montana no campus da Universidade Federal de Lavras, MG. *Acta bot. bras.*, 16(3), 331-356.

- Fernandes, M. M., Pereira, M. G., Magalhães, L. M., Cruz, A. R., & Giácomo, R. G. (2006). Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal, Santa Maria*, 16, 163-175.
- Ferreira, J. N., Bustamante, M., Garcia-Montiel, D. C., Caylor, K. K., & Davidson, E. A. (2007). Spatial variation in vegetation structure coupled to plant available water determined by two-dimensional soil resistivity profiling in a Brazilian savanna. *Oecologia*, 153(2), 417-30.
- Gama-Rodrigues, A. C., Gama-Rodrigues, E. F., & Brito, E. C. (2007). Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31(6), 1421-1428.
- Güsewell, S. (2004). N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist*, 164, 243-266.
- Güsewell, S. (2005). Nutrient resorption of wetland graminoids is related to the type of nutrient limitation. *Functional Ecology*. 19, 344–354. Blackwell Science Ltd.
- Güsewell, S., Bailey, K., Roem, W., & Bedford, B. (2005). Nutrient limitation and botanical diversity in wetlands: can fertilisation raise species richness? *Oikos*, 109, 71-80.
- Haase, R. (1999). Litterfall and nutrient return in seasonally Flooded and non Flooded forest of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 117, 129-147.
- Harner, M. J., Crenshaw, C. L., Abelho, M., Stursova, M., Shah, J. J., Sinsabaugh, R. L., et al. (2009). Decomposition of leaf litter from a native tree and an actinorhizal invasive across riparian habitats. *Ecological applications*, 19(5), 1135-46. Ecological Society of America.
- Hora, R. C., Primavesi, O., & Soares, J. J. (2008). Contribuição das folhas de lianas na produção de serapilheira em um fragmento de floresta estacional semidecidual em São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, 31(2), 277-285.
- Junior, L. R., Fisch, S. T., & Ballesteros, S. D. (2003). Influência da umidade do solo no desenvolvimento inicial de plantas do palmitheiro *Euterpe edulis* Mart. em floresta nativa. *Rev. Biociênc.*, 9(1), 7-13.
- Killingbeck, K. T. (1996). Nutrients in senesced leaves: keys to the search for potential resorption and resorption proficiency. *Ecology*, 77, 1716–1727. Ecological Society of America.
- Kobe, R. K., Lepczyk, C. A., & Iyer, M. (2005). Resorption efficiency decreases with increasing green leaf nutrients in a global data set. *Ecology*. 86, 2780–2792. Ecological Society of America.
- Kozovits, A. R., Bustamante, M. M., Garofalo, C. R., Bucci, S., Franco, A. C., Goldstein, G., et al. (2007). Nutrient resorption and patterns of litter production and decomposition in a Neotropical Savanna. *Functional Ecology*. 21, 1034-1043.

- Larcher, W. (2000). *Ecofisiologia vegetal*. Rima. São Carlos, SP. 550p.
- Loures, L., Carvalho, D. A., Machado, E. L., & Marques, J. J. (2007). Florística, estrutura e características do solo de um fragmento de floresta paludosa no sudeste do Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 21(4), 885-896.
- Luizão, F. J. (1989). Litter production and mineral element input to the forest floor in a central Amazonian forest. *Geo Journal*, 19, 407-417.
- Luizao, R. C., Luizao, F. J., Paiva, R., Monteiro, T. F., Sousa, L. S., Kruijt, B., et al. (2004). Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. *Global Change Biology*, 10, 592-600.
- Mariano, K. R., Amorim, S. M., Mariano, C. A., & Silva, K. K. (2007). Produção de serapilheira e retorno de nutrientes ao solo pela espécie *Coccoloba ramosissima* Wedd. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(1), 381-383.
- Martins, S. V., & Rodrigues, R. R. (1999). Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, 22(3), 405-412.
- McGroddy, M. E., Daufresne, T., & Hedin, L. O. (2004). Scaling of C: N: P stoichiometry in forests worldwide: implications of terrestrial Redfield-type ratios. *Ecology*, 85, 2390–2401. Ecological Society of America.
- Meguro, M., Vinneza, G. N., & Delitti, W. B. C. (1979) Ciclagem de nutrientes minerais na mata mesófila secundária – São Paulo. Produção e conteúdo de nutrientes minerais na serapilheira. *Bol. bot.*, 7, 11-31. USP.
- Mitre, S. K. (2008). Produção e decomposição da serapilheira em floresta estacional semidecidual e em floresta higrófila no Parque Estadual do Itacolomi, municípios de Ouro Preto e Mariana, MG. Monografia. Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.
- Montagnini, F., & Jordan, C. (2005). *Tropical forest ecology: the basis for conservation and management*, 295 p. Springer-Verlag.
- Moraes, R. M., Delitti, W. B., & Vuono, Y. S. (1994). Litterfall and litter nutrient content in two Brazilian Tropical Forests. *Revista Brasileira de Botânica*, 22(1), 9-16.
- Moreira, P., & SILVA, O. (2004). Produção de serapilheira em área reflorestada. *Revista Árvore*, 28(1), 49–59.
- Morellato, L.P.C. (1992). Sazonalidade e dinâmica de ecossistemas florestais na Serra do Japi. In *História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil*. (L.P.C. Morellato, ed.). Editora UNICAMP, Campinas, 98-109.
- Moreno, M. I., & Schiavini, I. (2001). Relação entre vegetação e solo em um gradiente florestal na Estação Ecológica do Panga, Uberlândia (MG). *Revista Brasileira de Botânica*, 24(4). 537-544.

- Nardoto, G. B., Bustamante, M. M., Pinto, A. S., & Klink, C. A. (2006). Nutrient use efficiency at ecosystem and species level in savanna areas of Central Brazil and impacts of fire. *Journal of Tropical Ecology*, 22, 1-11.
- Nebel, G., Dragsted, J., & Vega, A. S. (2001). Litter fall, biomass and net primary production in food plain forests in the Peruvian Amazon. *Forest Ecology and Management*, 150, 93-102.
- Olson J.S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44, 322-331. Ecological Society of America.
- Pagano, S.N. & Durigan, G. (2000) Aspectos da ciclagem de nutrientes em Matas Ciliares do oeste do Estado de São Paulo, Brasil. In *Matas ciliares: conservação e recuperação* (R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho, eds.). Editora da USP/Fapesp, São Paulo, 109-123
- Pagano, S.N. (1989) Produção de folheto em mata mesófila semidecídua no Município de Rio Claro, São Paulo. *Revista Brasileira de Biologia*. 49, 633-639.
- Pedreira, G. L. (2008). Avaliação do Regime Hídrico, Geológico e Geomorfológico das Florestas Paludosas do Parque Estadual do Itacolomi: Influencia dos fatores abióticos sobre a composição florística e fitossociológica. Dissertação de mestrado. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG.
- Pereira, M. G., Menezes, L. F., & Schultz, N. (2008). Aporte e decomposição da serapilheira na floresta atlântica, Ilha da Marambaia, Mangaratiba, RJ. *Ciência Florestal*. 18(4), p.443-454.
- Pinto, C. B., & Marques, R. (2003). Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da floresta atlântica. *Revista Floresta*, 33(3), 257-264.
- Pinto, S. I., Martins, S. V., & Dias, H. C. (2008). Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual na reserva mata do paraíso, em viçosa, MG. *Revista Árvore*, 32(3), 545-556.
- Rocha, C. T., Carvalho, D. A., Fontes, M. A., Oliveira-filho, A. T., Berg, E. V., Marques, J. J., *et al.* (2005). Comunidade arbórea de um continuum entre floresta paludosa e de encosta em Coqueiral, Minas Gerais, Brasil. *Revista brasileira de Botânica*, 28(2), 203-218.
- Rodrigues, R.R. & Sheperd, G. J. (2000) Fatores condicionantes da vegetação ciliar: In *Matas ciliares: conservação e recuperação* (R.R. Rodrigues & H.F. Leitão Filho, eds.). Editora da USP/Fapesp, São Paulo, 159-167.
- Scheer, B. (2008). Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). *Rev. Floresta*, 38(2), 253-266.
- Scott, D. A., Proctor, J. and Thompson, J. (1992). Ecological studies on a lowland evergreen rain forest on Maracá Island, Brazil II. Litter and nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 80, 705-717.

- SEMAD, IEF, PROMATA (2007). *Plano de Manejo do Parque Estadual do Itacolomi*. Encarte 1. 87p.
- Shanks, R.; Olson, J. (1961). First-year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian Forests. *Science*, *134*, 194-195.
- Silva, G. T., Matos, L. V., Nóbrega, P. D., Carneiro, E. F., & Resende, A. S. (2008). Chemical composition and decomposition rate of plants used as green manure. *Scientia Agricola*, *65*(3), 298-305.
- Silver, W. L. (1994). Is nutrient availability related to plant nutrient use in humid tropical forests? *Oecologia*, *98*, 336-343.
- Soares, S. C. (2008). Fenologia comparativa de *Alibertia elliptica* (Rubiaceae) e *Clethra scabra* (Clethraceae) co-ocorrentes em mata higrófila e mata estacional no Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto. Monografia. Departamento de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG.
- Souto, P. C. (2006). Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil. Tese de doutorado. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2002) *Fisiologia vegetal*, 3ª Ed. Artmed.
- Teixeira, A. P., & Assis, M. A. (2005). Caracterização florística e fitossociológica do componente arbustivo-arbóreo de uma floresta paludosa no Município de Rio Claro (SP), Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, *28*(3), 467-476.
- Terror, V. L. (2007) Produção e decomposição da serapilheira em um trecho de floresta higrófila no Parque Estadual do Itacolomi, Ouro Preto, MG. Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Ciências Biológicas.
- Toniato, M.T.Z., Leitão Filho, H.F. & Rodrigues, R.R. (1998) Fitossociologia de um remanescente de floresta higrófila (mata de brejo) em Campinas, SP. *Revista Brasileira de Botânica*. *21*, 197-210.
- Torres, J. L., Pereira, M. G., Andrioli, I., Polidoro, J. C., & Fabian, A. J. (2005). Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, *29*(4), 609-618.
- Torres, R.B, Matthes, L.A.F. & Rodrigues, R.R. (1994) Florística e estrutura do componente arbóreo de mata de brejo em Campinas, SP. *Revista Brasileira de Botânica*, *17*, 189-194.
- van Heerwaarden, L.M., Toet, S. & Aerts, R. (2003) Current measures of nutrient resorption efficiency lead to a substantial underestimation of real resorption efficiency: facts and solutions. *Oikos*, *101*, 664-668.
- Villela, D., & Proctor, J. (2002). Leaf litter decomposition and monodominance in the Peltogyne forest of Maracá Island, Brazil. *Biotropica*, *34*(3), 334-347.

- Vital, A. R., Guerrini, I. A., Franken, W. K., & Fonseca, R. C. (2004). Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. *Rev. Árvore*, 28(6), 793-800.
- Vitousek, P. M. (1984) Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology*, 65(1), 285-298.
- Vitousek, P., & Hobbie, S. (2000). Heterotrophic nitrogen fixation in decomposing litter: patterns and regulation. *Ecology*, 81(9), 2366–2376.
- Werneck, M. D., Pedralli, G., & Gieseke, L. F. (2001). Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, 24(2), 195-198.
- Wood, T. E., Lawrence, D., & Clark, D. A. (2005). Variation in leaf litter nutrients of a Costa Rican rain forest is related to precipitation. *Biogeochemistry*, 73, 417-437.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)