



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**

Centro de Tecnologia e Ciências

Instituto de Geografia

Marcio Luiz Gonçalves D'Arrochella

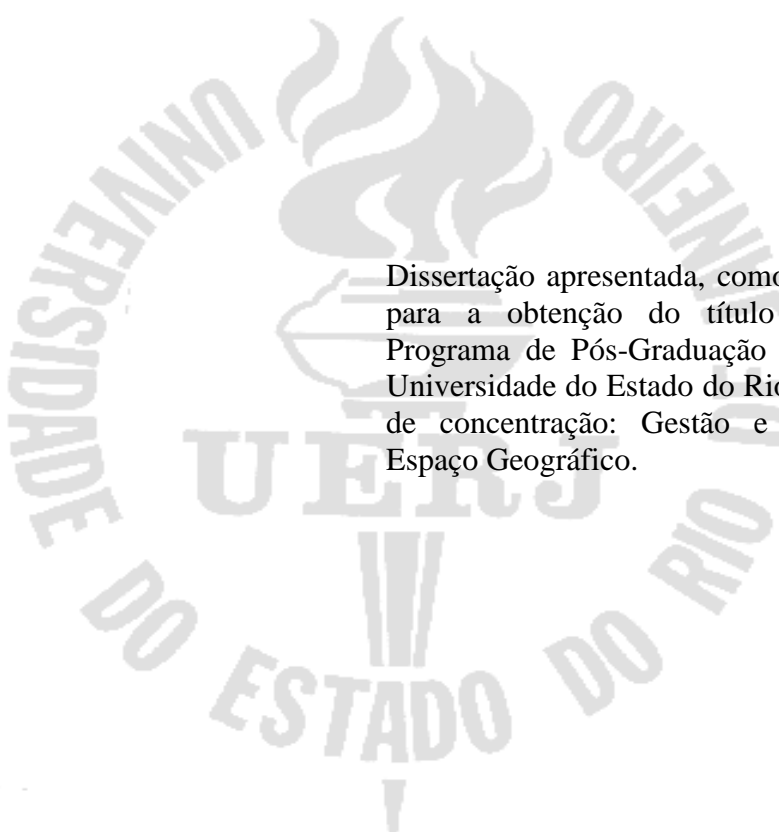
**Relação entre pluviosidade efetiva e estoque de matéria orgânica de  
superfície na ciclagem de nutrientes em floresta ombrófila urbana: Parque  
Nacional da Tijuca - RJ**

Rio de Janeiro

2013

Marcio Luiz Gonçalves D'Arrochella

**Relação entre pluviosidade efetiva e estoque de matéria orgânica de superfície na  
ciclagem de nutrientes em floresta ombrófila urbana: Parque Nacional da Tijuca - RJ**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Calheiros de Miranda

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

D225 D'Arrochella, Marcio Luiz Gonçalves.  
Relação entre a pluviosidade efetiva e estoque de matéria orgânica de superfície na ciclagem de nutrientes em floresta ombrófila urbana : Parque Nacional da Tijuca - RJ / Marcio Luiz Gonçalves D'Arrochella. – 2013.  
84 f. : il.

Orientador: Ricardo Augusto Calheiros de Miranda.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia.  
Bibliografia.

1. Florestas urbanas - Teses. 2. Parque Nacional da Tijuca (RJ) - Teses. 3. Matéria orgânica - Teses. 4. Húmus - Teses. 5. Lixiviação - Teses. 6. Chuvas - Teses. I. Miranda, Ricardo Augusto Calheiros de. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Geografia. III. Título.

CDU 630\*11(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

---

Assinatura

---

Data

Marcio Luiz Gonçalves D'Arrochella

**Relação entre pluviosidade efetiva e estoque de matéria orgânica de superfície na  
ciclagem de nutrientes em floresta ombrófila urbana: Parque Nacional da Tijuca - RJ**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre, ao Programa de  
Pós-graduação em Geografia, da Universidade do  
Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração:  
Gestão e Estruturação do Espaço Geográfico.

Aprovada em 30 de abril de 2013.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Ricardo Augusto Calheiros de Miranda (Orientador)  
Instituto de Geografia - UERJ

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Nadja Maria Castilho da Costa  
Instituto de Geografia - UERJ

---

Prof. Dr. Evaristo de Castro Junior  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2013

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta dissertação a Luciana Siqueira da Costa, a mulher que mais amei nessa vida e a todos os verdadeiros amigos que me apoiaram nos momentos de dificuldade. Dedico também a meu filho que virá (mas ainda não sei o sexo), que me deu uma nova perspectiva de vida.

Vamos precisar de todo mundo, um mais um é sempre mais que dois. Prá melhor juntar as nossas forças, é só repartir melhor o pão. Recriar o paraíso agora para merecer quem vem depois... Deixa nascer o amor! Deixa fluir o amor! Deixa crescer o amor! Deixa viver o amor! O sal da terra.

*Beto Guedes*

## RESUMO

D'ARROCHELLA, Marcio Luiz Gonçalves. *Relação entre pluviosidade efetiva e estoque de matéria orgânica de superfície na ciclagem de nutrientes em floresta ombrófila urbana*: Parque Nacional da Tijuca - RJ. 2013. 1 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

O estoque de matéria orgânica de superfície refere-se a todo material orgânico decomposto ou em decomposição sobreposto ao solo mineral, bem como ao material orgânico misturado às partículas minerais do horizonte A. Este serve como indicador da funcionalidade e integridade de ecossistemas florestais quando o analisamos sob a perspectiva das "Formas de Húmus". Nesta perspectiva o material orgânico se apresenta como disposto em camadas internas que variam no peso e espessura de acordo com a atuação dos agentes decompositores locais, e expressa a ciclagem de nutrientes que se dá a partir dos dois principais processos que sintetizam e/ou modulam o funcionamento dos ecossistemas, a produção e a decomposição da matéria orgânica. O modelo de formas de húmus segue uma classificação desenvolvida na Europa que não se aplica perfeitamente às áreas tropicais pela alta variabilidade de ambientes. Estima-se que fatores locais e particulares como características edáficas, estrutura e composição da vegetação, relevo e o microclima podem distorcer esta classificação e diferir significativamente do modelo global. Esta pesquisa buscou o refinamento deste modelo, buscando entender de que modo a pluviosidade efetiva (chuva que atravessa a copa das árvores e chega ao solo), como fenômeno de natureza microclimática, se relaciona com o estoque de matéria orgânica de superfície (sob a perspectiva das formas de húmus) em ambiente de floresta ombrófila montanhosa urbana. Para tal foram executadas análises físicas sobre o estoque de matéria orgânica de superfície, monitoramento da pluviosidade efetiva com pluviômetro experimentais adaptados para esta demanda e análises químicas sobre a água da chuva após lixiviação da matéria orgânica. Foi montada uma estrutura composta de quinze pluviômetros experimentais em uma encosta florestada no Parque Nacional da Tijuca (Rio de Janeiro - RJ) e instalação de pluviômetros eletrônicos em ambientes de céu aberto em áreas adjacentes a esta encosta pertencentes à área do parque. Os resultados indicam que da chuva que cai na floresta, cerca de 15% é interceptada pelas copas e o restante, parte é interceptada pela matéria orgânica do solo. A camada MFB (ou H) é a que retém mais água, indicando que, florestas que a decomposição é rápida no processo de fragmentação e lenta na mineralização, terão mais água retida no estoque de matéria orgânica. As diferentes camadas vão nutrir o solo de maneira diferenciada quando este processo deriva da lixiviação, como o cálcio que é liberado em a maior quantidade pelas camadas mais fragmentadas como a F e a MFB, o potássio e magnésio têm maior disponibilização quando deriva da camada L, indicando que durante este processo estes nutrientes são mais consumidos do que liberados. Foi perceptível que o sódio é bastante abundante na chuva antes mesmo de atingir a matéria orgânica, confirmando estudos anteriores. A utilização deste sistema proposto de pluviômetros experimentais possibilitou entender como esta estratificação interna do estoque de matéria orgânica de superfície acumula água, pois os métodos tradicionais não se baseiam no modelo de formas de húmus, e possibilitou ainda, o a análise do processo de lixiviação e liberação de nutrientes para o solo.

Palavras-chave: Estoque de matéria orgânica de superfície. Pluviosidade efetiva. Formas de húmus.

## ABSTRACT

The organic matter stocks surface refers to any organic material in decomposition or decomposed superimposed on mineral soil, and the mixed organic material to the mineral particles of the horizon A. This serves as an indicator of the functionality and integrity of forest ecosystems when analyzed from the perspective of "Humus Forms." In this perspective the organic material presents as layered internal ranging in weight and thickness according to the activities of agents decomposers local and express nutrient cycling that occurs from the two main processes that synthesize and / or modulate the functioning of ecosystems, production and decomposition of organic matter. The model forms humus follows a classification developed in Europe that does not apply perfectly to tropical areas by high environmental variability. It is estimated that local and particular factors as soil characteristics, vegetation structure and composition, topography and microclimate can distort this classification and differ significantly from the global model. This study sought to refine this model, seeking to understand how the effective rainfall (rain crossing the canopy and reaches the ground), as a phenomenon of nature microclimate, relates to the stock of organic matter from the surface (from the perspective forms of humus) in an environment of urban mountainous rainforest. For such analyzes were performed on the physical stock of organic matter from the surface, the effective monitoring of rainfall with rain gauges experimental adapted to this demand and chemical analyzes of rain water after leaching of organic matter. Has assembled a structure composed of fifteen experimental gauges on a forested hill in the Tijuca National Park (Rio de Janeiro - RJ) and installation of electronic gauges in environments of open areas adjacent to slopes belonging to this area of the park. The results indicate that the rain that falls in the forest, about 15% is intercepted by the canopy and the remaining portion is intercepted by soil organic matter. The MFB layer (or H) is that retains more water, indicating that forests that the decomposition is faster in the process of fragmentation and slow mineralization have more water retained in the stock of organic matter. The different layers will feed the soil differently when this process is derived from the leaching, as the calcium that is released in the greatest quantity by the layers more fragmented as F and MFB, potassium and magnesium are derived from more readily available when the layer L, during this process indicates that these nutrients are consumed more than released. It was noticeable that sodium is quite abundant in the rain before reaching the organic matter, confirming previous studies. The use of this proposed system gauges experimental possible to understand how this internal stratification of the stock of organic matter accumulated water surface, as the traditional methods are not based on the type of humus forms, and possible further analysis of the the leaching process and release nutrients to the soil.

Keywords: Organic matter stocks surface. Effective rainfall. Nutrient cycling.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Esquema 1 -	Representação esquemática do paradigma em cascata da decomposição.....	5
Quadro 1 -	Tipos e características de Formas de Húmus.....	11
Esquema 2 -	Representação esquemática dos três tipos de Formas de Húmus.....	12
Figura 1 -	Escalas de análise climatológicas.....	17
Figura 2 -	Ciclo Hidrológico.....	22
Figura 3 -	Interceptação da chuva em ambiente florestal.....	23
Esquema 3 -	Processo de interação chuva/matéria orgânica.....	26
Mapa 1 -	Parque Nacional da Tijuca.....	29
Mapa 2 -	Bacia do rio Cachoeira.....	30
Esquema 4 -	Perfil topográfico do Morro do Archer.....	32
Figura 4 -	Modelo Digital de Elevação da Bacia do rio Cachoeira.....	32
Gráfico 1 -	Distribuição da riqueza nas dez famílias com maior representatividade.....	34
Esquema 5 -	Fluxograma de execução dos protocolos de pesquisa.....	37
Esquema 6 -	Modelo de parcela delimitada em campo.....	38
Fotografia 1 -	Pluviômetro Digital.....	38
Mapa 3 -	Localização dos pluviômetros.....	39
Fotografia 2 -	Spherical Densimeter.....	40
Figura 5 -	Aparelhagem proposta para mensuração da água da chuva interceptada pela serapilheira.....	42
Fotografia 3 -	Teste do método baseado em Blow.....	43
Fotografia 4 -	Sistema de pluviômetros na Calibração Metodológica.....	44
Fotografia 5 -	Sistema de pluviômetros no Experimento de Campo.....	45
Fotografia 6 -	Sistema de pluviômetros no Método Final.....	46
Figura 6 -	Comprimento de onda- Luz Visível.....	47
Figura 7 -	Forno de grafite com aquecimento longitudinal.....	48
Figura 8 -	Funcionamento de um espectrômetro de absorção por chama.....	49
Gráfico 2 -	Proporção entre as partes componentes da serapilheira.....	53
Gráfico 3 -	Médias Totais das partes componentes da serapilheira no Parque Nacional da Tijuca.....	54
Gráfico 5 -	Média da altura da chuva medida por cada pluviômetro.....	61
Gráfico 6 -	Porcentagem média da retenção hídrica por cada camada da serapilheira.....	61
Gráfico 7 -	Gráfico da relação Pluviosidade Efetiva/Estoque Total de Serapilheira.....	63
Gráfico 8 -	Relação entre Pluviosidade e Material Fino Bruto.....	64
Gráfico 9 -	Relação entre Pluviosidade e as camadas L e F.....	65
Gráfico 10 -	Média do comprimento de onda do Sódio.....	68

Gráfico 11 -	Média do comprimento de onda do Potássio.....	69
Gráfico 12 -	Média do comprimento de onda do Cálcio.....	70
Gráfico 13 -	Média do comprimento de onda do Magnésio.....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Média de temperatura e umidade relativa do ar na área do Morro do Archer	36
Tabela 2 -	Distribuição da chuva por altitude.....	50
Tabela 3 -	Chuva externa e interna de março a maio.....	51
Tabela 4 -	Triagem da Serapilheira.....	52
Tabela 5 -	Média total da triagem da serapilheira na área do Morro do Archer.....	53
Tabela 6 -	Comportamento médio da serapilheira ao longo do tempo.....	54
Tabela 7 -	Razão L/F.....	55
Tabela 8 -	Altura da chuva depositada nos garrafões após atravessamento da serapilheira em campo.....	56
Tabela 9 -	Altura da chuva depositada nos garrafões após atravessamento da serapilheira em campo.....	57
Tabela 10 -	Altura da chuva depositada nos garrafões após atravessamento da serapilheira.....	59
Tabela 11 -	Média da altura da chuva depositada nos garrafões após atravessamento da serapilheira.....	60
Tabela 12 -	Comparação entre Serapilheira Total e Pluviosidade Efetiva.....	62
Tabela 13 -	Comparação entre MFB e Pluviosidade Efetiva.....	63
Tabela 14 -	Comparação entre L, F e Pluviosidade Efetiva.....	64
Tabela 15 -	Potencial de molhamento da serapilheira pelo método Blow.....	66
Tabela 16 -	Estimativa do pH para cada pluviômetro.....	66
Tabela 17 -	Frequência de radiação (nm) de cada amostra de água retirada dos garrafões.....	67

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MFB	Material Fino Bruto
MFO	Material Fino Orgânico
L	Camada L da serapilheira
F	Camada F da serapilheira
T	Serapilheira Total
V	Pluviômetro Vazio
FAAS	Espectrofotometria de absorção atômica com chama
GFAAS	Espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite
Pex	Pluviômetro experimental
Pel	Pluviômetro eletrônico
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

## SUMÁRIO

	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
1	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
1.1	<b>O Ecossistema e seu funcionamento</b> .....	4
1.2	<b>Indicadores Funcionais Globais</b> .....	6
1.3	<b>A Matéria Orgânica como Indicador Funcional Global</b> .....	7
1.4	<b>As Formas de Húmus</b> .....	8
1.5	<b>A Relação entre Ciclagem de Nutrientes e Clima</b> .....	12
1.6	<b>Escala e Clima</b> .....	15
1.7	<b>O Microclima Florestal</b> .....	19
1.8	<b>Interceptação de Chuvas pelas copas arbóreas em Ambiente Florestal</b> .....	21
1.9	<b>Interceptação da chuva pela serapilheira em ambiente florestal</b> .....	24
1.10	<b>Chuva e Ciclagem de Nutrientes</b> .....	25
2	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	28
2.1	<b>O Parque Nacional da Tijuca</b> .....	28
2.2	<b>Área Piloto: Morro do Archer</b> .....	31
2.3	<b>Aspectos Geo-biofísicos</b> .....	33
2.3.1	<u>Aspectos Florestais</u> .....	33
2.3.2	<u>Aspectos Geológicos, Pedológicos e Geomorfológicos</u> .....	34
2.3.3	<u>Aspectos Climáticos</u> .....	35
3	<b>OPERACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA</b> .....	37
3.1	<b>Levantamento do comportamento pluviométrico florestal</b> .....	38
3.2	<b>Levantamento da abertura de dossel arbóreo</b> .....	40
3.3	<b>Análises da estruturação física da serapilheira</b> .....	40
3.4	<b>Avaliação da retenção hídrica da serapilheira</b> .....	41
3.4.1	<u>Calibração Metodológica</u> .....	43
3.4.2	<u>Experimento de Campo</u> .....	44
3.4.3	<u>Método Final</u> .....	45
3.5	<b>Análise nutricional da água resultante da lixiviação da serapilheira</b> .....	46
4	<b>RESULTADOS</b> .....	50
4.1	<b>Resultado do levantamento pluviométrico florestal</b> .....	50
4.2	<b>Resultado do levantamento da abertura do dossel arbóreo</b> .....	52
4.3	<b>Resultados da triagem da serapilheira</b> .....	52
4.4	<b>Resultados da calibração metodológica</b> .....	56
4.5	<b>Resultados do experimento de campo</b> .....	57
4.6	<b>Resultados do Método Final</b> .....	58

4.7	<b>Cruzamento de Dados</b> .....	62
4.8	<b>Resultados das Análises Químicas</b> .....	66
4.9	<b>Análise crítica sobre a operacionalização da pesquisa</b> .....	71
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	72
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	75

## INTRODUÇÃO

Os ecossistemas são definidos como o conjunto das inter-relações entre elementos bióticos e abióticos de uma dada área que geram níveis tróficos e a partir deles há um fluxo de energia e uma ciclagem de matéria. Esta definição demonstra também que o ecossistema pode ser entendido como uma unidade espacial, já que, as inter-relações ocorrem em uma determinada área que fornece elementos abióticos, ou seja, influencia diretamente sobre o sistema. Desse modo podemos executar um estudo de natureza geográfica tendo o funcionamento do ecossistema como foco, já que ele funciona a partir de uma dimensão espacial.

Entendendo o ecossistema como o que pressupõe a etimologia da palavra, este é um sistema e, é definido como o conjunto de elementos com atributos e funções específicas, que interagem entre si e com o meio externo de forma organizada, conformando assim um ente funcional, ou seja, um todo diferenciado (ODUM, 1988).

Dessa forma, para entender o funcionamento de um ecossistema podemos seguir o que recomenda Castro Junior (2009) em que não precisamos fazer um levantamento exaustivo de cada espécie que nele está contida e sim utilizarmos os Indicadores Funcionais Globais, os quais são variáveis que sintetizam e/ou modulam o funcionamento de um ecossistema, notadamente a produtividade e a decomposição. Assim podemos analisar seu funcionamento a partir do conjunto de seus fenômenos que se expressam no sistema, ou seja uma análise sob o sistema como um todo (análise holística).

Um dos Indicadores Funcionais Globais mais eficientes para a análise intra e inter ecossistêmica é o estoque de matéria orgânica de superfície, presente em diversos estudos tais como os de Castro Junior (2002), D'Arrochella (2008), Duchaufour (1977), Duchaufour e Toutain (1985), Garay e Silva (1995), Green et al.. (1993), Jordan e Herrera (1989), Kindel (1996), Kindel (2001), Kindel e Garay (1999), Pereira (2005), Swift et al.. (1979).

Estes indicadores tiveram ampla utilização em pesquisas na Europa e portanto, foram modelados sob a ótica dos ambientes de clima temperado. Assim os domínios tropicais quando analisados sob a ótica de seus indicadores globais de síntese do status funcional do processo de decomposição, têm sido negligenciados pela excessiva simplificação dos modelos de dinâmica da matéria orgânica nesses ambientes. Onde a hipótese básica tem sido que as altas temperaturas médias e as condições hídricas não limitantes são responsáveis por altas taxas de decomposição (DUCHAUFOR e TOUTAIN, 1985).

O estoque de matéria orgânica do solo apresenta padrões de deposição e decomposição identificáveis na literatura como “Formas de Húmus” (KINDEL, 2001; KINDEL e GARAY, 1999) que integram uma classificação. Como esta classificação é de origem européia baseada em um clima temperado, subestima-se o processo ocorrido nos trópicos o que contraria pesquisas como as de D’Arrochella (2008), D’Arrochella et al. (2008), Kindel e Garay (2002) em que foram encontrados padrões intermediários que não se encaixam perfeitamente no modelo.

Numa escala regional o clima condiciona tanto a presença de grandes zonas de vegetação como também influencia as taxas de decomposição da matéria orgânica e de ciclagem de nutrientes ( JORDAN e HERRERA, 1989; SWIFT et al., 1979), tornando possível identificar formas de húmus fortemente associados às zonas de vegetação clímax (DUCHAUFOR, 1977; DUCHAUFOR e TOUTAIN, 1985). Por outro lado, numa escala local as formas de húmus estão principalmente condicionadas por interações particulares entre a vegetação e as características edáficas. De forma, que em determinadas circunstâncias, uma relação vegetação-húmus-solo pode ser mais significativa que as condições climáticas regionais na determinação das formas de húmus (DUCHAUFOR e TOUTAIN, 1985).

Diversos fatores bióticos e abióticos como as condições edáficas e climáticas, a topografia, o estado sucessional da floresta, a qualidade química da serapilheira e a comunidade de organismos decompositores podem condicionar o processo de ciclagem e as taxas de decomposição (MIRANDA et al., 2009; Swift et al., 1979).

Deste modo esta pesquisa por ser de cunho microclimático insere-se diretamente na busca pelo entendimento de como ocorrem as interações particulares intra florestais enfatizadas por Duchaufour e Toutain (1985) buscando contribuir para que se possa inferir sobre tais inter-relações e propor um modelo que explique como elas influenciam na ciclagem de nutrientes em áreas tropicais.



**Objetivos:****Geral:**

Esta pesquisa de dissertação de mestrado busca entender como variáveis ambientais presentes na escala local podem influenciar, bem como divergir de modelos globais no processo de decomposição da matéria orgânica do solo, que em última instância pode servir ao próprio refinamento desses modelos. Neste caso, a variável local escolhida é a pluviosidade efetiva (aquela que atravessa a copa das árvores e efetivamente chega ao solo) do ambiente microclimático florestal de encosta montanhosa e sua relação com a liberação de nutrientes para o solo pela serapilheira.

**Específicos:**

- Investigar se há uma relação direta entre a altura da pluviosidade efetiva e a estruturação da serapilheira ao longo de seu período de decomposição.
- Monitorar a interceptação das chuvas pelas copas das árvores.
- Investigar se há retenção hídrica diferenciada entre as camadas internas da serapilheira.
- Analisar se há diferenças nutricionais entre as camadas internas da serapilheira no que tange sua relação com o processo de decomposição.
- Propor uma metodologia de análise hídrica da serapilheira sob a perspectiva do modelo de Formas de Húmus.

# 1 REFERENCIAL TEÓRICO

## 1.1 O Ecossistema e seu funcionamento

O Fluxo de energia e sua eficiência de transferência resumem certos aspectos da estrutura de um ecossistema como o número de níveis tróficos, a importância relativa dos detritívoros e herbívoros, os valores de regime estacionário para a biomassa e detritos acumulados, e as taxas de trocas de matéria orgânica na comunidade (RICKLEFS, 1996).

Ricklefs (1996) afirma que o “orçamento” global de energia do ecossistema representa o equilíbrio entre “despesa” e “receita”, o mesmo que representa para uma conta bancária. O ecossistema ganha energia através da assimilação fotossintética da luz pelas plantas verdes e o transporte da matéria orgânica para dentro e para fora do sistema.

As plantas fabricam a sua própria matéria orgânica a partir dos materiais inorgânicos brutos, são chamadas de *autotróficas* (literalmente, “auto-alimentados”). Já os animais e a maioria dos microorganismos, que obtêm sua energia e a maioria de seus nutrientes comendo plantas ou animais, ou ainda os restos mortais de um ou outro, são chamados *heterotróficos* (literalmente, “alimentados de outros”). Os papéis duais das formas de vida como produtores de alimentos e como consumidores de alimento dão ao sistema uma estrutura trófica, determinada pelas relações de alimentação, através da qual a energia flui e os nutrientes circulam.

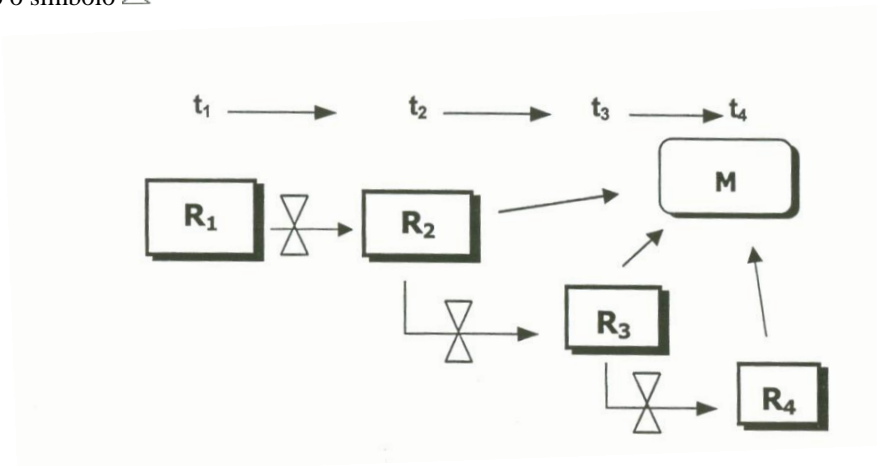
Além do mais, as plantas também têm a capacidade de fixar energia luminosa e transformam em energia química de ligação nos carboidratos. A glicose e outros compostos orgânicos podem ser transportados através das plantas ou armazenados convenientemente para posterior liberação de sua energia pela respiração. Elas demandam energia para fabricar e manter os tecidos. Pelo fato de utilizarem muito da energia que assimilam via fotossíntese para suprir suas necessidades, os seus tecidos sempre contêm substancialmente menos energia do que o total assimilado (RICKLEFS, 1996).

Segundo Swift et al. (1979) os ecossistemas são mantidos por meio da transferência de matéria e energia entre seus componentes (Figura 1). Quando essa energia chega à terra vinda do sol, ela é estocada, por meio da fixação do CO<sub>2</sub>, na forma de biomassa vegetal (subsistema de produtores primários). A maior parte da biomassa vegetal produzida (80%), ou seja, a que não é consumida pelos herbívoros, entra no subsistema decompositor na forma de detritos orgânicos, constituídos, principalmente, por folhas. Os detritos orgânicos ao se decomporem permitem que os nutrientes sejam reciclados, isto é, reabsorvidos pelo sistema.

Assim, quando Odum (1985) define ecossistema, deixa claro que seu funcionamento se dá a partir de um fluxo de energia e da ciclagem de matéria, que se expressam claramente como processos integrantes de um sistema aberto definido por Christofolletti (1999) apoiado por dois sub-sistemas, o de produção e o de decomposição (ODUM e BARRET, 2011).

Após a morte dos órgãos vegetais aéreos, a matéria orgânica que ora constituía esses órgãos entra em contato com o solo, onde começa a se decompor (no sub-sistema de decomposição), formando a serapilheira (SWIFT et al., 1979). Aliás, é desde o momento de abscisão que a folha começa a sofrer senescência. No entanto, este processo é bruscamente acentuado depois que o material foliar cai, pois é aí que os agentes da decomposição, fundamentalmente biológicos, intensificam a transformação dos aportes orgânicos. Concomitantemente, processos químicos e físicos tais como lixiviação, hidratação do substrato vegetal ou mesmo ataque por solutos orgânicos, aceleram também o processo de decomposição. A partir deste momento, a matéria orgânica passa por vários processos simultâneos (fragmentação, mineralização e humificação) que farão com que progressivamente se incorpore ao primeiro horizonte mineral do solo. Sendo assim, tanto diferentes estádios de material decomposto como diferentes categorias de matéria orgânica podem coexistir (KINDEL, 2001).

Esquema 1 - Representação esquemática do paradigma em cascata da decomposição. **R**: Recurso, substrato ou matéria orgânica; **M**: Compostos liberados (minerais); **t**: Tempo; para a representação da chave de regulação foi usado o símbolo  $\otimes$



Fonte: SWIFT et al., 1979.

## 1.2 Indicadores Funcionais Globais

Considerando os efeitos sinérgicos e/ou não monotônicos que os elementos da paisagem apresentam frente ao processo de degradação, torna-se necessário buscar indicadores globais que permitam avaliar de forma mais rápida e simplificada o nível de integridade estrutural e funcional do geossistema afetado (FIGUEIRÒ, 2005; GARAY, 2001; MURCIA, 1995; PRIMACK e RODRIGUES, 2001).

Em função do caráter hierárquico dos componentes da diversidade biológica, é razoável supor que, se o status da biodiversidade encontra-se resguardado ao nível da integridade dos ecossistemas e da sua diversidade, as populações e comunidades encontram-se também resguardadas (ANDERSEN, 1981). Nesse sentido, a idéia de alguma forma de organização hierárquica da diversidade biológica, possibilita a avaliação do status da biodiversidade inter-sistemas em condições mesológicas semelhantes, a partir de variáveis que expressam os processos fundamentais do funcionamento da dimensão da vida: diagnósticos das integridades funcionais de áreas de ecossistemas nativos.

Ao avaliarmos a diversidade ao nível de ecossistemas, devemos levar em consideração tanto à diversidade inter ecossistêmica, como a diversidade intra ecossistêmica. Nestas análises, podemos vir a utilizar os chamados Indicadores Funcionais Globais, os quais são variáveis que sintetizam o funcionamento do ecossistema, notadamente os dois processos maiores que o definem: produtividade e decomposição (GARAY, 2001).

Um indicador ecológico que seja reflexo da interação dos componentes bióticos e abióticos, como a decomposição, parece interessante, pois resume um processo básico de funcionamento do ecossistema. Desse modo, segundo as considerações de Kindel (2001), a estrutura e a qualidade da matéria orgânica do solo e dos padrões de distribuição dos nutrientes funcionam como diagnóstico de integridade do ecossistema, a partir do momento em que estão em relação direta com sua biodiversidade, servindo assim como indicador de sistemas perturbados (KINDEL, 2001). A taxa de transferência da matéria orgânica da biomassa epígea para a superfície do solo e a sua evolução temporal, pode refletir o estado de funcionamento do ecossistema possibilitando estudos comparativos (LOUZADA et al., 1995).

### 1.3 A Matéria Orgânica como Indicador Funcional Global

Os detritos componentes do estoque de matéria orgânica de superfície ao entrarem em contato com o solo sofrem a influência dos processos químicos, físicos e bióticos, sendo eles: lixiviação, fragmentação e catabolismo (CASTRO JUNIOR, 2002). Estes dois primeiros consistem, respectivamente, na perda dos materiais mais solúveis pela ação de fluxos d'água e na ruptura dos detritos em função, tanto de fatores físicos da natureza atmosférica, quanto pela ação biológica ( CASTRO JUNIOR, 2002; KINDEL, 2001; PEREIRA, 2005). O terceiro pode ser considerado como a etapa mais importante da decomposição e se dá pela ação de microorganismos decompositores, principalmente fungos e bactérias, através da oxidação dos detritos iniciando os processos de mineralização e humificação ( ADL, 1964; SWIFT et al., 1979).

A matéria orgânica edáfica resulta de transformações dos aportes orgânicos ao solo, fundamentalmente de caráter biológico, a humificação. Este processo cuja conseqüência maior é a formação de uma matéria orgânica coloidal, de coloração escura, resulta freqüentemente de neoformação microbiana, não podendo descartar processos químicos de condensação de fenólicos , que pode originar-se do ataque à lignina pelos microorganismos. É esta matéria orgânica coloidal que possui a capacidade de ligar-se, de maneira mais ou menos estável aos elementos minerais do solo como as argilas. Assim, quando integrada ao primeiro horizonte do solo orgânico-mineral representa a manifestação constante (quando o ecossistema se encontra em relativo equilíbrio) de um conjunto de processos dinâmicos próprios do sub-sistema de decomposição. A mineralização, junto a novas sínteses da matéria orgânica no solo se cruza e se transforma nas etapas de transformação biológica, garantindo a ciclagem de nutrientes e a manutenção da produtividade (GARAY e SILVA, 1995).

A decomposição, segundo Odum (1985) resulta de processos tanto abióticos como bióticos. Ocorre através de transformações de energia dentro e entre os organismos, sendo uma função absolutamente vital. Se não ocorresse, todos os nutrientes estariam detidos em cadáveres e nenhuma vida nova poderia ser produzida. Dentro das células bacterianas e dos fungos existem conjuntos de enzimas necessárias para a realização de reações químicas específicas. Estas enzimas são secretadas para dentro da matéria morta; alguns dos produtos da decomposição são absorvidos como alimento pelo organismo, outros produtos permanecendo no ambiente ou sendo excretados das células (RICKLEFS, 1996).

Simplificando o conjunto descrito acima Odum (1985) complementa:

se a decomposição for considerada num senso lato como sendo qualquer oxidação biótica liberadora de energia, então vários tipos de decomposição são aproximadamente paralelos aos tipos de fotossíntese, no que se refere às necessidades de oxigênio.

A contribuição das espécies com o aporte foliar e sua posterior decomposição são importantes considerações na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. A falta de determinados grupos pode afetar, assim, o processo de decomposição. É válido questionar se o processo de decomposição responde à perda de espécies vegetais arbóreas, que a princípio, pode ser causada pela fragmentação. Estas espécies podem pertencer a um determinado tipo funcional, como, por exemplo, espécies com diferentes graus de esclerofilia (KIEL, 1979).

Como nas regiões tropicais a fertilidade do solo é, em muito, comprometida pelas altas taxas pluviométricas, com grande perda de nutrientes pela lixiviação, desta forma, a elevada produtividade e diversidade biológica de seus sistemas florestais depende muito da eficiência de reabsorção dos nutrientes disponibilizados pelo próprio sistema através da ciclagem (PEREIRA, 2005). Normalmente, as plantas têm dificuldade de absorver os nutrientes na forma orgânica, dando assim, importância destacada à ação dos microorganismos que atuam no processo de mineralização (KIEHL, 1979; KINDEL, 2001).

#### **1.4 As Formas de Húmus**

A classificação das “formas de húmus”, adotada no presente estudo segue a metodologia apresentada por Kindel e Garay (2001), baseada no grupo de trabalho da Associação de Estudos de Solo Francês (Association Française pour l'Étude des Sols - Groupe de Réflexion sur la Classification des Humus) e relatada por Berthelin et al.. (1994). Nesta classificação, somada a diferenciação entre mull e moder dada pela presença ou não do horizonte (ou camada) diagnóstico MFB (ou H) e sua magnitude e pela relação C/N do horizonte A, utilizam-se também como características distintivas os atributos químicos do solo (V% e pH).

Segundo Kindel e Garay (2001) o termo “forma de húmus” refere-se ao material orgânico não decomposto sobreposto ao solo mineral, bem como ao material orgânico misturado às partículas minerais do horizonte A (GREEN et al., 1993). Por isso, as formas de húmus são subdivididas em horizontes inteiramente orgânicos, ou horizontes holorgânicos, e em horizontes compostos, tanto de material orgânico como de material mineral, ou horizontes hemiorgânicos (GREEN et al., 1993; TOUTAIN, 1981). Essa diferenciação permite o reconhecimento de um “perfil das formas de húmus”, com a presença ou ausência de determinados horizontes em distintos estádios de decomposição, o que serve como base para a diferenciação das formas de húmus em dois grandes grupos: mull e moder.

O termo húmus em sentido amplo, refere-se ao material orgânico não decomposto (camada holorgânica) sobreposto ao solo mineral, bem como o material orgânico misturado às partículas minerais do horizonte A (a chamada serapilheira) (GREEN et al., 1993). Nesta perspectiva a estrutura das camadas orgânicas do solo reflete a dinâmica da decomposição e as modalidades de ciclagem de elementos essenciais à manutenção da vegetal (GARAY et al., 1995).

Segundo Kindel e Garay (2001) o que diferencia basicamente uma forma de húmus de outra é a velocidade de decomposição, maior no Mull e menor no Moder e menor ainda no Dysmoder (também chamado de Mor).

A maior velocidade de decomposição é percebida por meio da descontinuidade entre as camadas de serapilheira e o horizonte  $A_i^1$ . No húmus tipo Mull essa descontinuidade é mínima. Já no Moder e num quadro radicalizado de Dysmoder ou Mor, por causa de uma incorporação mais lenta do material orgânico no solo mineral, são encontradas mais camadas estratificadas com distintos estágios de decomposição da camada holorgânica.

As formas de húmus estão intimamente relacionadas com diferentes formas de funcionamento dos ecossistemas florestais, já que resumem a produtividade e a decomposição (os dois processos fundamentais que caracterizam a operacionalidade dos mesmos); ou seja: interrelações entre qualidade do aporte epígeo, estrutura e composição da biota edáfica, natureza do solo e clima.

---

1 O sub horizonte  $A_i$  refere-se a interface entre a parte predominantemente mineral do horizonte pedológico A e a camada H da serapilheira, sendo tradicionalmente considerado como os 3 primeiros centímetros do topo do solo.

Além de caracterizar ecossistemas nativos, por meio do estudo das formas de húmus, é possível detectar diferenças no processo de decomposição num sistema padrão e outro interferido (KINDEL et al. 1999).

De acordo com Duchaufor (1979) e Toutain (1981), a aplicação da variabilidade de formas de húmus com objetivo de identificar os diversos padrões funcionais do subsistema de decomposição se baseia na estruturação do húmus a partir de processos físico-químicos e biológicos, sendo sua estrutura um reflexo das interrelações dos componentes bióticos (que inclui a vegetação e os organismos decompositores) e abióticos (características pedológicas e geomorfológicas, além da distribuição hídrica e dos fatores climáticos), o que permite compreender o papel da vegetação e do meio ambiente físico no processo de decomposição e, portanto, no funcionamento do ecossistema florestal.

Existem duas abordagens de estudiosos sobre as formas de húmus segundo Swift e Anderson (1979):

A primeira trabalha o termo húmus em sentido restrito, referindo-se a um componente da matéria orgânica do solo, o qual é quimicamente e morfologicamente distinto das outras frações. A segunda refere-se ao termo Formas de húmus ... dos micromorfologistas de solo, que trabalham com um termo mais amplo, incluindo toda a matéria orgânica do solo, podendo ser consideradas também as partículas facilmente reconhecíveis, como resíduos de plantas, material fecal de animais e etc.



O quadro 1 apresenta a classificação de Formas de Húmus, com suas classes e características:

Quadro1 - Tipos e características de Formas de Húmus

<b><u>Classificação</u></b>	<b><u>Características</u></b>
<b>Mull</b>	É caracterizado pelo desaparecimento rápido das folhas, criando-se uma descontinuidade entre as folhas inteiras e o horizonte A <sub>i</sub> . Presença de complexos argilo-húmicos, evidenciado pela presença de agregados. É característica de áreas tropicais, onde há alta produção de serapilheira o ano todo e rápida decomposição. No entanto, características ambientais adversas podem não fazer disto uma regra (KINDEL e GARAY, 2001).
<b>Moder</b>	Caracterizado pela passagem progressiva entre horizontes Holorgânicos e o horizonte A <sub>i</sub> , com ausência de complexo argilo-húmico, no caso, com justaposição de partículas orgânicas e minerais. É bem comum encontrá-lo em áreas temperadas, mas esse não é um fator preponderante, visto que, já foram diagnosticados solos tropicais recobertos por Mata Atlântica como Moder (KINDEL, 2001).
<b>Dysmoder ou Mor</b>	Constitui uma forma acentuada do húmus tipo Moder, apresentando um acúmulo de matéria orgânica bem maior e uma quase ausência de atividade da fauna. A fauna é pouco abundante em decorrência das condições edáficas pouco favoráveis para o seu desenvolvimento, pois o húmus tipo dysmoder está, geralmente, associado a solos com baixas porcentagens de argila e maiores de areia, onde as variações microclimáticas são mais intensas, assim, o crescimento da fauna é muito dificultado. A matéria orgânica é geralmente ácida e apresenta alta relação C/N. O acúmulo de matéria orgânica observado nesse tipo de húmus representa um estoque de nutrientes, que é lentamente liberado para o uso pelas plantas (KINDEL, 2001). Para Klinka e Fons (1998) o dysmoder representa uma forma de húmus menos biologicamente ativa, com alto acúmulo de matéria orgânica.
<b>Mull-Moder</b>	O Mull Moder ou o Moder Mull são classificações de formas de húmus que caracterizam-se por possuírem alguma estratificação das camadas, mas possuem uma grande porcentagem de material fino (< 2 mm), este seria um Moder Mull; o Mull Moder tende a se mostrar de maneira que não haja muita estratificação de camadas, no entanto percebe-se a presença de grande malha de raízes finas (KINDEL e GARAY, 2002).

Fonte: adaptado do Autor, 2008.

Para a identificação destes tipos de Formas de Húmus devemos considerar o estoque de matéria orgânica de superfície (camada holorgânica) como uma camada tridimensional composta por sub-horizontes que expressam os diferentes processos que ocorrem durante a decomposição (D'ARROCHELLA et al., 2012).

A camada Holorgânica ou horizonte Holorgânico caracteriza-se por ser inteiramente composto por material orgânico, dividido em camadas. Babel (1971) (apud, PEREIRA, 2005) caracteriza a camada holorgânica da seguinte forma:

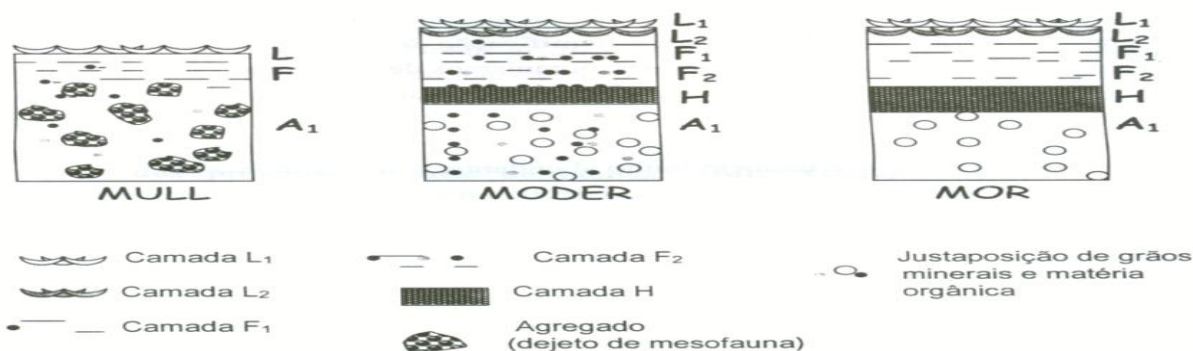
**A camada L** – Composta por folhicho fresco, formado por folhas praticamente inteiras, seja com ou sem ataque fungico. Kindel e Garay (2001) indicam que pode ser subdividido em Camada L 1 de folhas recém caídas, não fragmentadas e não apresentando alteração na coloração e L 2 onde o folhicho está levemente alterado, evidenciado pela parcial ou total descoloração;

**A camada F** – Segundo Pereira (2005) é composta por folhiço em decomposição, formado por restos foliares fragmentados, caracterizando uma certa quantidade de matéria orgânica fina. Kindel e Garay (2001) subdividem em camada F 1, onde o folhiço é composto por fragmentos de fácil identificação, apresentando quantidades pequenas de material fino (< 2mm) e camada F 2, com quantidades equilibradas de folhiço fragmentados e material fino (< 2 mm). Além das raízes finas, galhos, frutos, flores e sementes que podem passar por todo esse processo de decomposição. Neste estudo considerar-se-á todo o material fragmentado como camada F, inclusive, galhos e miscelânea (material reprodutivo – frutos, flores e sementes).

**A camada MFB (Material Fino Bruto) ou H** – Segundo Kindel e Garay (2001) é composta inteiramente por material orgânico e mineral fino (< 2 mm). Inclui-se também as raízes e agregados, pois estes localizam-se nesta camada.

Esta composição de sub-horizontes pode conter outras subdivisões tais como L1 e L2, F1 e F2, ao passo que a decomposição for mais lenta. Esta proporção entre os subhorizontes permitem a caracterização das Formas de Húmus conforme o esquema de Kindel (2001) expresso no esquema 2.

Esquema 2 - Representação esquemática dos Três tipos clássicos de húmus.



Fonte: KINDEL (2001).

### 1.5 A Relação entre Ciclagem de Nutrientes e Clima

A ciclagem de nutrientes compreende a trajetória cíclica dos elementos essenciais à vida dentro dos ecossistemas. Resulta de um conjunto de processos interconectados, de forma que os mesmos recursos nutricionais são utilizados em sucessivos períodos de fixação de energia (DELITTI, 1995). Assim, reflete o metabolismo integrado da comunidade e depende das

propriedades de cada elemento químico e de sua interação com o ambiente. Deste processo decorre uma íntima relação entre a circulação de materiais e o fluxo de energia nos ecossistemas (GOLEY et al., 1978).

A quantidade de nutrientes num ecossistema florestal é representada pela somatória de nutrientes contida nos diferentes compartimentos da biomassa arbórea (folhas, ramos, casca, lenho, etc.), vegetação do sub-bosque, serapilheira e solo (POGGIANI e SHUMACHER, 2000).

Em ecossistemas de florestas temperadas o uso da variabilidade de formas de húmus para identificar diferentes padrões funcionais do subsistema de decomposição e portanto, a ciclagem de nutrientes, baseia-se no fato da estrutura da matéria orgânica, ou húmus em sentido amplo, ser uma resultante direta dos processos físico-químicos e biológicos que ocorrem no subsistema de decomposição dos ecossistemas, que, por sua vez, reflete as interações entre formas de cobertura vegetal e solo (DUCHAUFOR, 1977; TOUTAIN, 1981).

Numa escala regional o clima condiciona tanto a presença de grandes zonas de vegetação como também influencia as taxas de decomposição da matéria orgânica e de ciclagem de nutrientes (JORDAN e HERRERA, 1989; SWIFT et al., 1979), tornando possível identificar formas de húmus fortemente associados às zonas de vegetação clímax (DUCHAUFOR, 1977; DUCHAUFOR e TOUTAIN, 1985). Por outro lado, numa escala local as formas de húmus estão principalmente condicionadas por interações particulares entre a vegetação e as características edáficas. De forma, que em determinadas circunstâncias, uma relação vegetação-húmus-solo-microclima pode ser mais significativa que as condições climáticas regionais na determinação das formas de húmus (DUCHAUFOR e TOUTAIN, 1985).

A ciclagem recebe subsídios energéticos naturais representados pelo transporte de nutrientes pelos elementos do clima. A água das precipitações e as massas de ar que atravessam os ecossistemas são importantes agentes transportadores de nutrientes e se relacionam intimamente com a atividade biológica (LEMEE, 1974 *apud*. DELITTI, 1995).

Os fatores climáticos (temperatura e precipitação) tornam-se de extrema importância para a definição do funcionamento de florestas tropicais uma vez que influenciam sobre o ciclo de nutrientes na interface vegetação/solo, já que podem regular a lixiviação e a perda de nutrientes, influenciando sobre a funcionalidade da floresta. Nesse contexto uma ciclagem eficiente dos nutrientes tem papel fundamental para entendê-los. É a partir do processo de

decomposição da matéria orgânica que estes serão reutilizados e mantidos dentro do sistema (LOUZADA et al., 1995).

As áreas tropicais úmidas são as que de maneira geral apresentam maior velocidade de decomposição, já que a seca tem um efeito depressor sobre a decomposição. No entanto, desvios dessa tendência ocorrem devido às variações locais dos elementos do clima, que podem afetar o processo de maneira direta ou indireta, promovendo variações na decomposição sob diferentes condições microambientais, como as condições microclimáticas. Isto é percebido nos diferentes ecossistemas tropicais, que apresentam variações drásticas entre si (DELITTI, 1985).

Nos domínios tropicais a análise das formas de húmus, enquanto “indicador global de síntese” do status funcional do processo de decomposição, tem sido negligenciada pela excessiva simplificação ao húmus tipo mull clímax, com escassa acumulação superficial de camadas orgânicas no perfil húmico. Garay et al. (1995a) afirma que estes estudos são muito rarefeitos em florestas tropicais e que praticamente nada se conhece sobre suas estruturas húmicas em relação à dinâmica dos ecossistemas, pois os estudos existentes limitam-se à análise da matéria orgânica amorfa integrada nos horizontes pedológicos clássicos.

Apesar de nos ecossistemas de florestas tropicais o subsistema de decomposição funcionar geralmente com um ciclo de nutrientes praticamente fechado<sup>2</sup>, o que permite o desenvolvimento de uma floresta com uma alta diversidade sem sintomas aparentes de déficit de nutrientes em solos com baixa fertilidade natural (DEMAMATTÊ, 1988) é o processo de decomposição desta matéria orgânica produzida pela vegetação. Diversos estudos têm mostrado que a hipótese generalizada de um padrão de decomposição rápida deve ser descartada no âmbito do complexo da Floresta Atlântica, ou seja: Floresta Atlântica de Tabuleiros, a floresta de Encosta da Serra do Mar e as Florestas arbustivo-arbóreas (GARAY et al., 1995; GARAY e KINDEL, 1995; KINDEL, 1996).

Delitti (1995) concorda com esta hipótese quando afirma que apesar da ciclagem de nutrientes ser um processo comum a todos os ecossistemas, as quantidades de elementos estocados nos diferentes compartimentos (folhas, galhos, tronco, etc.) e os fluxos que ocorrem entre esses compartimentos são particulares a cada ecossistema. Desse modo o padrão de

---

<sup>2</sup> Ocorrência de fungos micorrízicos que transferem os nutrientes diretamente do folhíço em decomposição para as raízes (JANOS, 1983); concentração de raízes de absorção junto à superfície do solo, onde nutrientes em solução podem ser recuperados antes de serem lixiviados para camadas mais profundas (JORDAN e ESCALANTE, 1980); existência de uma expressiva biomassa de raízes concentrada no metro superior do solo para explorar os limites do solo rico em nutrientes (CHAPIN, 1980) e presença de uma significativa biomassa microbiana edáfica (YANG e INSAM, 1991), são exemplos de características adaptativas ao nível do ecossistema que auxiliam a eficiência da ciclagem de nutrientes em florestas tropicais.

ciclagem resultante é peculiar a cada unidade funcional e reflete a somatória das respostas adaptativas da biocenose frente aos elementos ambientais presentes em cada região.

Haveria uma diversidade de formas de húmus associadas às fisionomias vegetais como uma síntese das relações vegetação-solo-clima. Além disso, a estrutura da matéria orgânica do solo pode servir também como indicador da diversidade funcional de fragmentos remanescentes (GARAY e SILVA, 1995; KINDEL, 1996; KINDEL, 2001).

Os diferentes padrões de acumulação orgânica, associados às diversas formas de húmus encontradas na Floresta Atlântica refletem uma diversidade funcional do subsistema de decomposição. Esta diversidade é encontrada também em outras florestas tropicais, por exemplo: na seqüência Floresta de Terra Firme-Caatinga (CUEVAS e MEDINA, 1988) e no complexo florestal do rio Amazonas ligado a inundações periódicas (FURCH e KLINGE, 1989). Sendo que estas distintas modalidades de decomposição nestes complexos florestais são adaptações à alta variabilidade de condições ambientais própria dos trópicos.

No entanto, as variáveis que sintetizam a funcionalidade dos ecossistemas apresentam geralmente valores similares como respostas a impactos pouco drásticos, mesmo que acompanhados de forte mudança na estrutura específica das comunidades, o que expressa uma compensação funcional (GARAY e KINDEL, 2001). Como consequência deste fato, para que o caráter de indicador global das formas de húmus seja validado, é necessário esclarecer os mecanismos envolvidos no determinismo das variáveis das formas de húmus bem como delimitar os limites de flutuação destas variáveis tanto em condições naturais como em resposta a impactos, principalmente os de origem antrópica (GARAY e KINDEL, 2001).

## **1.6 Escala e Clima**

A escala é um fator preponderante para os estudos geográficos, pois mostra-se como uma estratégia para aproximação do real, que inclui a inseparabilidade entre tamanho e fenômeno tornando-o dimensional. O tamanho seria, a princípio, intrínseco à análise espacial e os recortes escolhidos são aqueles dos fenômenos que são privilegiados por ela (CASTRO, 2006).

Quando afirmamos que “um sistema é uma totalidade” estamos afirmando que é parte de um todo maior limitado por nossa perspectiva, que por sua vez está determinada pelo objetivo (explícito ou implícito, consciente ou inconsciente) de nossa observação.

Conseqüentemente, cada vez que nos referirmos a um sistema, estaremos incluindo automaticamente nossa perspectiva, que coloca limites ao sistema. É de considerável importância definir claramente esses limites toda vez que nosso interesse seja entender ou gerenciar um determinado sistema e, mais ainda, se pretendemos representá-lo ou construir um modelo (seja este qualitativo ou quantitativo), principalmente se nossa intenção é realizar alguma forma de simulação do sistema real através do modelo (FALLEDO, 2000).

Esta delimitação pode ser entendida como escala no sentido de Santos (2006) onde pressupõe uma medida que dá visibilidade a um fenômeno. Em Ecologia a escala terá sentido também de hierarquia, como limite de alcance do nível de análise. Odum e Barret (2011) afirmam que o ecossistema é a primeira unidade da hierarquia ecológica que é completa, ou seja, que tem todos os componentes biológicos e físicos necessários para a manutenção da vida. No entanto, se queremos trabalhar em uma escala de maior amplitude espacial que expresse outras interações externas ao ecossistema, podemos utilizar um nível hierárquico acima como o de *paisagem*, ou ainda mais generalista com uma dimensão espacial mais abrangente e menos detalhada como a de *bioma*.

Sotchava (1977;1978) introduzia a idéia de *hierarquia taxonômica* também nos estudos geográficos pois as manifestações espaciais prevêm uma variação que se dá desde o nível planetário ao topológico, passando por uma ordem de grandeza regional. Toda categoria dimensional de geossistema (topológica, regional, planetária, intermediária) possui escalas próprias e princípios organizativos peculiares. Troppmair (2004) propõe que o geossistema se aproxima do conceito de paisagem, tanto numa concepção de forma e/ou significado, como em escala.

Metzger (2001) lembra que as definições tradicionais de paisagem, associam em geral, como uma escala de análise mais próxima do global e a um nível hierárquico acima dos ecossistemas, no entanto, em estudos de Ecologia da Paisagem não devemos nos limitar a elas, pois estas definições limitaram durante muito tempo o caráter das pesquisas geocológicas. Para o autor, a escala é definida pelo observador resultando em análises em micro ou macro escalas de acordo com a extensão dos processos e fenômenos.

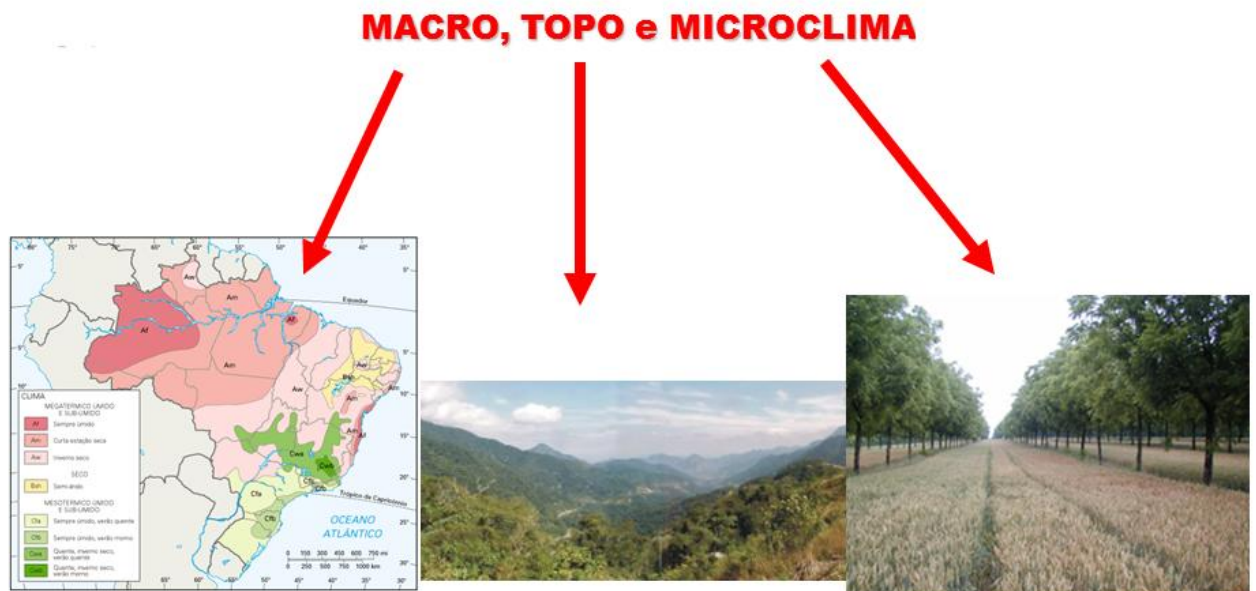
Segundo Nunes (1998) assim como nas demais geociências, a escala de abordagem é um dos aspectos mais importantes das ciências atmosféricas, definindo numa pesquisa não apenas a área e período de abrangência, mas também as técnicas e os métodos a serem empregados em busca de seus objetivos. Ribeiro (1992) destaca que a integração de fenômenos num dado tempo e espaço criaria unidades, sendo que a cada nível escalar

corresponderia uma abordagem específica, coerente com a extensão espacial, duração do fenômeno e técnicas analíticas empregadas.

Podemos perceber que diversas ciências consideram a escala como um fator preponderante para a análise de um dado objeto ou fenômeno, que se torna perceptível a partir de uma delimitação. Esta, vista também como “recorte” nos permite uma melhor apreensão do sistema, ou seja do “todo” que considerarmos.

O clima é determinado pela sucessão de eventos atmosféricos que expressam suas variações por meio das flutuações dos meios meteorológicos que atuam de maneira interdependente pelos padrões prevalentes do tempo em um local ou região. Assim, o homem com o apoio da tecnologia, considera os elementos meteorológicos como indicadores das condições ambientais. Estes indicadores funcionam aplicados a determinadas escalas, que em estudos climatológicos são divididas em macroclima, topoclima (escala regional) e microclima (figura 1).

Figura 1- Escalas de análise climatológicas



A escala climática diz respeito à dimensão, ou ordem de grandeza, espacial (extensão) e temporal (duração), segundo a qual os fenômenos climáticos são estudados. As escalas espaciais ganham maior destaque na abordagem geográfica do clima, e as mais conhecidas são as escalas macroclimática, mesoclimática e microclimática; as escalas temporais mais utilizadas são as escalas geológica, histórica e contemporânea (MENDONÇA e DANNI-

OLIVEIRA, 2007). Esta noção implica uma ordem hierárquica das grandezas climáticas, tanto espaciais quanto temporais. O microclima está inserido no mesoclima, que por sua vez, está inserido no macroclima; bem como nas escalas temporais.

Ribeiro (1992) propõe uma taxonomia dos fenômenos climáticos em três escalas, sendo:

1. Macroclima – interação entre a radiação solar, curvatura da Terra e movimentos de rotação e translação;
2. Mesoclima – interação entre a energia disponível para processos de evaporação e geração de campos de pressão e feições do meio terrestre;
3. Microclima – interação entre os sistemas ambientais particulares na modificação dos fluxos de energia, umidade e massa.

Já Linacre (1981) propõe seis níveis escalares hierarquizados, em que cada escala corresponde a um espaço tridimensional, havendo reciprocidade dos fenômenos entre as escalas. Sua taxonomia se divide em:

1. Clima Planetário – 40.000 Km de extensão horizontal máxima com altitude da camada de uniformidade horizontal de 15 Km, com prazo característico de um ano;
2. Clima Sinótico – 4.000 Km de extensão horizontal máxima, com altitude da camada de uniformidade horizontal de 2 a 15 Km e prazo característico de uma semana;
3. Mesoclima – abrangendo área regional (200 km), com altitude da camada horizontal de 500 m a 2 Km e duração típica de 8 horas;
4. Topoclima – estendendo-se horizontalmente por 10 km, com altitude de 10 m a 500 m, com prazo característico de 20 minutos;
5. Microclima – extensão horizontal de 100 m com altitude da camada uniforme horizontal de 10 cm a 10 m e prazo de 20 minutos;
6. Clima superficial – com extensão da ordem de 10 cm, altitude de até 10 cm, com prazo característico de 1 segundo.

É perceptível que a adoção do microclima como escala preferencial para a execução de algum projeto pesquisa requer um conjunto de tecnologias que só nos dias atuais, com o



avanço dos sensores atmosféricos digitais, são possíveis, o que há 20 anos não era uma realidade. O instrumental específico aumenta a probabilidade de se perseguir o comportamento do microclima, pois suas características só podem ser conhecidas por meio de uma aparelhagem de emprego delicado (DAJOZ, 1978).

### 1.7 O Microclima Florestal

Segundo Sorre (1951) a existência e a distribuição dos seres vivos dependem de fatores físicos e químicos que, inter-relacionados, dão as características do ambiente físico. Entre os fatores abióticos o clima tem importância fundamental, não somente em macro escala, responsável pelas faixas ou zonas de vegetação no globo como também em meso e micro escala quando, associado aos fatores edáficos, formam os mosaicos da vegetação. O clima que é a sucessão habitual do tempo em determinado local resulta da conjugação da insolação, temperatura, umidade, vento, precipitação, evaporação, teor de CO<sub>2</sub>, os quais interagem de forma dinâmica e produzem variações contínuas nos estados de tempo que podem ser analisados em diferentes intervalos: diários, mensais, sazonais e anuais.

A temperatura influencia diretamente na vida de vegetais e animais, pois os mesmos, desenvolvem-se entre diferentes parâmetros de temperatura, uma vez que processos fisiológicos nos organismos vivos seguem a Lei de Vant' Hoffsch segundo a qual a velocidade de reação na transformação de substâncias inorgânicas em orgânicas dobra com a elevação da temperatura (TROPMAIR, 1995).

A complexidade estrutural da vegetação tropical, geralmente, aumenta a variabilidade espacial das condições microclimáticas, bem como pode propiciar no espaço e no tempo variações qualitativas e quantitativas nos aportes foliares. Tal característica conforma o subsistema de decomposição como um mosaico funcional, onde se justapõem espacialmente processos de decomposição rápida e lenta que resultam na existência, em vários graus, de heterogeneidades verticais e horizontais na serapilheira e no topo do solo (GARAY, 1989 apud. CASTRO JÚNIOR, 2002).

Mendonça e Danni-Oliveira (2007) definem o microclima como a menor e mais imprecisa unidade escalar climática, em que sua extensão pode ir de alguns centímetros a algumas dezenas de m<sup>2</sup>. Os fatores que caracterizam essa unidade dizem respeito ao

movimento turbulento do ar na superfície, a determinados obstáculos à sua circulação, detalhes do uso e ocupação do solo, a estruturação florestal, entre outros.

Drew (1996) define o microclima florestal como o clima na proximidade da superfície do solo e da vegetação, cujas áreas muito reduzidas (GEIGER, 1961) permitem um manuseio amplo de instrumental para coletar um grande número de dados. Em estudos primários sobre microclima D'Arrochella et al.. (2009) definiram a partir de Geiger (1961) o microclima florestal como o espaço entre o topo do solo e a copa das árvores, que possui características climáticas diferenciadas.

Geiger (1961) lembra que a vegetação interpõe-se entre a superfície da terra e a atmosfera. Uma cobertura vegetal fechada constitui, não só no espaço mas também quanto as suas propriedades, uma zona de transição, porque cada um dos órgãos da planta, tais como as folhas, as agulhas, os ramos, se tornam a superfície de reflexão da luz solar, recebendo e emitindo radiação, evaporando e efetuando trocas de calor com o ar circundante.

O microclima de uma floresta, caracteriza-se, primeiramente, pela modificação sofrida na luz que penetra através da cobertura das árvores (DAJOZ, 1978; KOLM, 2001). Nas áreas com árvores tipo coníferas a luz é fortemente reduzida, mas pouco modificada qualitativamente. Já nas áreas com árvores tipo folhosas, a luz sofre uma grande absorção seletiva que lhe dá uma tonalidade amarelo esverdeada quando as árvores estão com folhas. Numa floresta temperada, a iluminação ao nível do solo, pode descer a 2 % da iluminação de um terreno descoberto. Na floresta tropical, a iluminação varia entre 0,1 e 1% (SHUMACHER e POGGIANI, 1993). Segundo Whatley e Whatley (1982), parte da radiação solar que chega ao dossel florestal é refletida de volta para o céu aberto, parte é absorvida pelas copas e, posteriormente, transmitida para o interior da floresta na forma de ondas longas e, finalmente, uma última parte penetra diretamente na floresta. Há inclusive, uma variação durante o dia e ao longo do ano de entrada de radiação solar. Ou seja, a densidade das copas é o que condiciona a entrada de radiação solar.

A fotossíntese é afetada pela quantidade e qualidade da luz. A estrutura, crescimento e inclusive a sobrevivência das plantas em uma floresta são afetados pela iluminação. A estrutura da comunidade tanto afeta a luz como é afetada por ela. Na floresta a presença de folhas funciona como um filtro: a luz que atinge as folhas mais altas da copa difere tanto em intensidade como um espectro daquela que atinge as folhas das plantas mais próximas ao solo (KOLM, 2001).

A temperatura dentro do microclima florestal também tem grande influência sobre a fisiologia das plantas (KOLM, 2001) e sobre os microrganismos, pelo fato de que somada a radiação solar pode promover maior ou menor evaporação da água no solo (PRIMAVESI, 2002). De acordo com Jacobs (1988) a temperatura no interior de florestas tropicais pode ser de 7 a 10° C menor que fora dela, o que tem grande importância biológica. O dossel arbóreo, o sub-bosque e a serapilheira reduzem os extremos de temperatura pela interceptação de ondas longas de radiação e mantém um maior conteúdo de umidade na superfície do solo.

### **1.8 Interceptação de Chuvas pelas copas arbóreas em Ambiente Florestal**

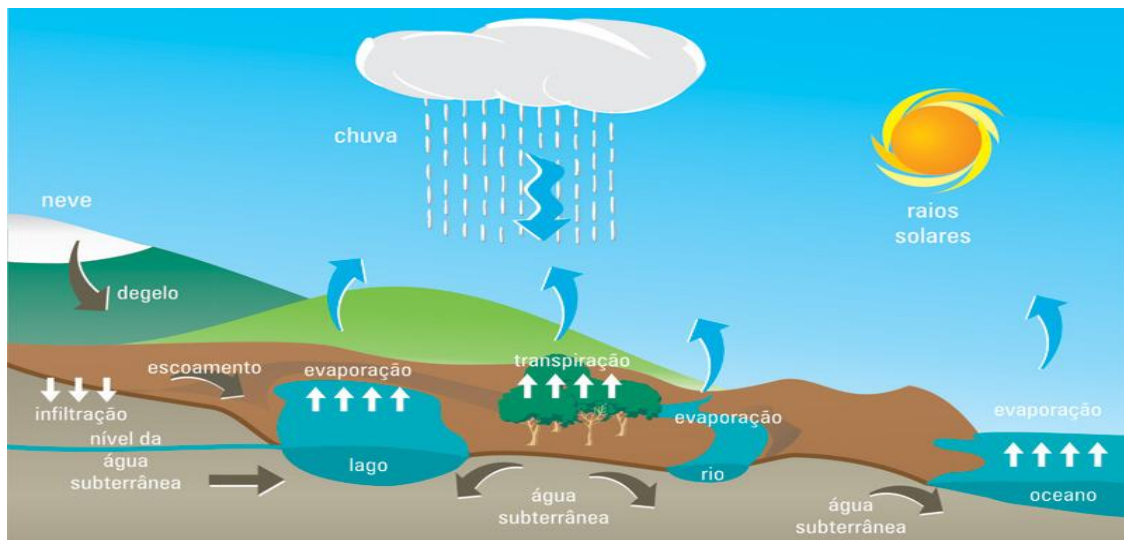
Para entendermos sobre a interceptação de chuvas, primeiro dever-se-á estabelecer que este seja um processo que ocorre no interior do ciclo hidrológico que pode ser definido por Mendonça (2009) como a sequência fechada de fenômenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera, na fase de vapor, e regressa àquele, nas fases líquida e sólida (figura 2) . A interceptação representa, uma importante parcela das precipitações que se precipitam sobre um ecossistema, retornando parte desta à atmosfera por evaporação antes de atingir ao solo, contribuindo assim diretamente para a massa de vapor de água precipitável na atmosfera (MIRANDA, 2011). Entende-se por precipitação a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre de qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada (PINTO et al.,1973). Segundo Miranda (1987) da chuva precipitada sobre uma comunidade vegetal, parte é interceptada pela copa para, subsequente, retornar, à atmosfera pela evaporação.

A chuva interceptada pela parte aérea de uma planta tem importância marcante no regime hídrico de uma determinada comunidade vegetal, desde o seu início – quando a totalidade do volume precipitado é interceptada – até que, pela saturação das camadas superiores do dossel, a chuva é distribuída por percolação direta pela copa e escoamento superficial ao longo de ramos e troncos (MIRANDA, 1985).

Segundo Coelho Netto (2007) e Miranda (1992) a cobertura vegetal intercepta a água das chuvas pelas copas arbóreas e/ou arbustivas de onde é perdida para a atmosfera por evapotranspiração durante e após eventos chuvosos. A natureza dessa cobertura vegetal (tipo, forma, densidade e declive da superfície), assim como as características físicas das chuvas, constitui importante variável-controle do processo de interceptação. Estes autores alertam que

há grande variabilidade na quantidade de água interceptada pela vegetação em ambientes tropicais, e em estudos executados no Parque Nacional da Tijuca, Coelho Netto (1985), Coelho Netto et al. (1986) e Miranda (1992) encontraram resultados de interceptação de 11%, 17 % e 24 % (respectivamente).

Figura 2 - Ciclo Hidrológico



Fonte: MENDONÇA (2009).

Nas regiões tropicais, Jackson (1971) verificou que o volume e a intensidade das chuvas têm efeitos diferenciados sobre os valores interceptados pela cobertura arbórea de um determinado ecossistema. Em estudos sobre interceptação de chuvas por agrossistema de cacauzeiros na Bahia, Miranda (1994) observa que das chuvas precipitadas a partir da primavera e verão os percentuais das perdas por interceptação dos cacauzeiros são da ordem de 17% a 13%, respectivamente. Em estudos em floresta tropical no Panamá Goley et al.. (1978) sugerem que há uma relação diretamente proporcional, onde quanto maior a densidade das copas, maior a interceptação. Mensurando as chuvas perceberam que chuvas de até 8 mm tinham em média 80 % da água interceptada. Oliveira Junior e Dias (2005) encontraram 18,3 % de perda de água por interceptação em uma floresta secundária de Mata Atlântica no município de Viçosa (MG) e Coelho Netto et al.. (1986) concluíram que, da precipitação total incidente sobre a área do Domínio geo-hidroecológico do Archer no maciço da Tijuca (Rio de Janeiro), 11% são interceptados pela cobertura vegetal.

Miranda (1992) em seus estudos no Parque Nacional da Tijuca observou que chuvas de até 10 mm podem ser totalmente interceptadas pelas copas florestais, aumentando linearmente com o aumento da intensidade das chuvas.

É necessário identificar que tal interceptação ocorre basicamente a partir de dois tipos de fluxos que são identificados por Coelho Netto e Avelar (2002) como *Fluxo de atravessamento* (Throughfall) e *Fluxo de tronco* (Stemflow) o qual corrobora com os estudos de Coelho Netto *at al* (1986), Miranda (1994) e Miranda (1992) e são expressos na figura 3.

Figura 3 - Interceptação da chuva em ambiente florestal.



Chamaremos de *Precipitação Efetiva*, *Pluviosidade Efetiva* ou *Chuva Efetiva* aquela que atravessa efetivamente o dossel e chega ao solo seja pelo *Fluxo de Atravessamento* e/ou *Fluxo de Tronco* (OLIVEIRA JUNIOR e DIAS, 2005).

Quando a chuva excede a demanda da vegetação, a água atinge o solo por meio das copas e por meio do caminho preferencial oferecido pelos troncos, que ao chegarem ao solo deverão ser interceptadas pela serapilheira (COELHO NETTO, 2007).

A mesma autora chama atenção para o fato de que o mecanismo de atravessamento da chuva explica em grande parte a variabilidade espacial das características físicas da chuva abaixo das copas: num lado extremo estão os espaços vazios por meio dos quais as chuvas atingem diretamente a superfície e, no outro, estão os grandes adensamentos de vegetação florestal decorrentes da superposição de estratos. No entanto Goley et al.. (1978) alertam que

o fluxo de tronco representa em geral apenas 1% da água que chega ao solo e Miranda (1985) em agrossistema de cacau encontrou valor de 2%. A chuva resultante do fluxo de atravessamento e do fluxo de tronco será chamada de precipitação efetiva que será interceptada pela serapilheira (MIRANDA, 1987).

### **1.9 Intercepção da chuva pela serapilheira em ambiente florestal**

Os estudos sobre a presença da serapilheira no solo e sua relação com a chuva têm uma maior tradição no âmbito dos sistemas agrícolas de plantio direto e/ou que se utilizam de técnicas conservacionistas. Isto ocorre primordialmente por que a serapilheira é importante elemento que inviabiliza a ocorrência do *Splash* (salpicamento) que segundo Guerra (1995) é a retirada de partículas de solo pelo impacto mecânico da queda de gotas de chuva, bem como a quebra de agregados do solo diminuindo a capacidade de infiltração e aumentando a erosão laminar. Sobre esse processo e quebra dos agregados do solo, Shaefer et al. (2002) as partículas menores em suspensão penetram no solo e obstruem os poros, diminuindo a permeabilidade e promovendo o selamento superficial influenciando na infiltração do solo. Rosolen et al. (2003) enfatizam que a manutenção de restos vegetais na superfície do solo em sistemas de produção agrícola com semeadura direta, além de proteger o solo da radiação solar, dissipa a energia de impacto das gotas de chuva, reduz a evaporação de água e ajuda no controle de plantas daninhas, consistindo ainda em reserva de nutrientes considerável, cuja disponibilização pode ser rápida e intensa, dependendo, dentre outros fatores, do regime de chuvas.

Coelho Netto (2007; 1987; 1984) afirma que quanto ao armazenamento de água na serapilheira florestal, estudos realizados no Parque Nacional da Tijuca indicaram que sua capacidade de retenção de água varia entre 130% a 330% em relação ao peso seco. A autora sugere que a composição e a estrutura da serapilheira controlam a capacidade de retenção ou armazenamento de água. No entanto em seus estudos a serapilheira é reduzida a condição de horizonte pedológico O, dividido em O<sub>1</sub> de folhas recém caídas e O<sub>2</sub> de folhas em decomposição, desconsiderando toda a perspectiva de pesquisa da Ecologia de Solos que considera a existência de “Formas de Húmus” com diferentes padrões de estruturação da serapilheira nos diferentes ambientes, como é apresentado em pesquisas de Douchaufor (1979), Douchaufor e Toutain (1985), Garay e Silva (1995), Kindel (1996), Kindel (2001) e Kindel e Garay (2001).

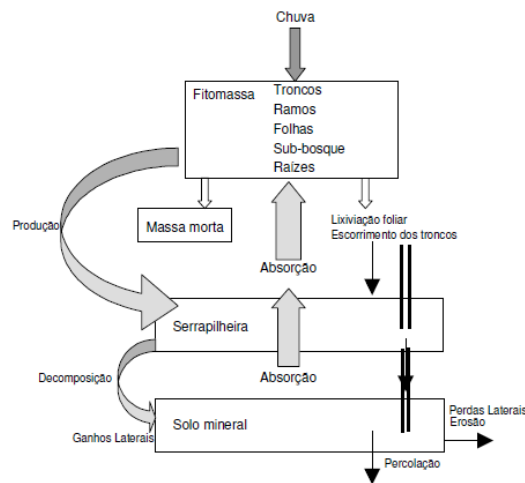
Além do mais, para mensurar tal retenção, se utilizaram do método sugerido por Blow (1965) em que considera-se para a análise apenas o material foliar. Nesse sentido é importante salientar que os estudos de Miranda (1994) que analisam metodologias para monitoramento de superfícies vegetais concluíram que a persistência de água sobre os troncos é maior que sobre as folhas, de modo que sua secagem é mais lenta. Isto ocorre pelo fato das cascas dos materiais lenhosos conterem maior rugosidade que as folhas. Desse modo, desconsiderar tal elemento pode em muito comprometer os resultados desse tipo de análise.

De qualquer forma Coelho Netto (2007) concorda com os demais autores de que com a fragmentação da serapilheira, há um aumento de superfície específica, o que pode promover maior retenção hídrica. Botelho e Silva (2010) lembram ainda que a serapilheira em ambiente florestal aumenta a capacidade de infiltração dos solos e os protege contra do *Splash*. Esta água que chega a serapilheira vai percolar por seus espaços vazios lentamente até chegar ao solo promovendo a lixiviação (lavagem química e retirada de elementos mais solúveis) das partes componentes do estoque de matéria orgânica. Outra parte ficara retida e pode ser perdida também para a atmosfera via evaporação.

### **1.10 Chuva e Ciclagem de Nutrientes**

Em uma floresta podem ocorrer dois circuitos na ciclagem de nutrientes. Há um externo chamado de geoquímico que inclui as entradas e saídas de nutrientes do ecossistema, e um interno, denominado de ciclo biológico que abrange a ação dos elementos internos ao ecossistema. Este ciclo pode ser dividido em dois: o ciclo bioquímico que se refere à movimentação dos nutrientes dentro dos vegetais e o ciclo biogeoquímico que abrange a ciclagem de nutrientes entre o solo e a biomassa arbórea (PRITCHETT, 1987; ZAIA e GAMA-RODRIGUES, 2004) como pode ser observado no esquema 3.

Esquema 3- Processo de interação chuva/matéria orgânica.



Fonte: FASSBENDER, 1985

De acordo com Rosolem (2003) depois do nitrogênio, o potássio é o nutriente mineral requerido em maior quantidade pelas espécies vegetais. Este nutriente tem alta mobilidade na planta, em qualquer nível de concentração, seja dentro da célula. O cátion  $K^+$  não é metabolizado na planta e forma ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade. A translocação de K nas plantas é facilitada pelo fato de mais de 80 % dele estar presente nos tecidos vegetais em forma solúvel.

A atmosfera constitui, indiscutivelmente um importante caminho para a ciclagem de nutrientes minerais utilizados pelas plantas. São encontrados em partículas de cinza, de poeira, de aerossóis, etc. Permanecem em suspensão no ar, ou são depositados sobre as partes aéreas das plantas ou são arrastados pela chuva (BACKES, 2007).

As reservas orgânicas e inorgânicas encontram-se localizadas na fitomassa da floresta, distribuídas nos compartimentos dos troncos, folhas ramos, raízes e, de acordo com a estrutura e aspectos ecológicos da floresta, no sub-bosque e epífitas, bem como na serrapilheira acumulada e no próprio solo (PRITCHETT, 1987). Os processos de transferências dentro dos compartimentos processam-se por meio da água (chuva, escoamento dos troncos, lavagem das folhas e da serrapilheira, percolação e escoamento lateral) e através da matéria orgânica (produção de resíduos vegetais, decomposição e liberação de nutrientes) (FASSBENDER, 1985). Backes (2007) corrobora com o postulado, afirmando que a chuva pode ser considerada como uma significativa entrada de nutrientes minerais para os ecossistemas, pois, além de carrear elementos diretamente da atmosfera, atua também como principal agente de lixiviação dos nutrientes depositados sobre as copas das árvores. A chuva não atua somente como veiculador, mas atua em todo o processo de



ciclagem de elementos minerais, sobretudo como veículo de transferência das copas para a serapilheira. Em consequência da deposição seca, quantidades variáveis de materiais acumulam-se sobre as superfícies expostas das plantas. As florestas constituem um filtro atmosférico particularmente importante e retêm quantidades significativas de partículas atmosféricas. A remoção de substâncias minerais das copas das árvores pela chuva refere-se, principalmente, à remoção de nutrientes depositados sobre as folhas.

Pereira et al. (2008) enfatiza que a fertilidade do solo em áreas de vegetação natural sobre solos ácidos se dá devido ao acréscimo de *inputs* de resíduos orgânicos que transferem nutrientes para o solo via queda de folhas, senescência das raízes, *Fluxo de Atravessamento* e *Fluxo de Tronco*.

A liberação de nutrientes da folhagem de um ecossistema florestal, causada pela chuva incidente, é atribuída a fatores associados com a planta e o ambiente, tais como idade das folhas, seu estágio de senescência, propriedades físicas e químicas da superfície foliar, concentração de nutrientes no tecido foliar e na água da chuva, temperatura e luminosidade (PARKER, 1983; TUKEI Jr., 1970). Entretanto, alguns nutrientes como nitrogênio na forma inorgânica ou orgânica não é facilmente removido das folhas pela água da chuva (Eaton et al., 1973; Parker, 1983), sendo que com frequência pode ocorrer a sua absorção pelas folhas (CARLISLE et al., 1966; VOLGT, 1960).

O papel da copa das árvores na modificação das características químicas da precipitação tem sido documentado em vários estudos referentes a diversas espécies florestais, em que o fluxo de nutrientes através do *Fluxo de Atravessamento* é frequentemente atribuído à precipitação, deposição seca e lixiviação dos solutos intracelulares da folhagem. No entanto, alguns nutrientes não mostram esse enriquecimento porque são absorvidos pela folhagem e líquenes. A discriminação dos processos que ocorrem na copa torna-se importante, uma vez que a deposição húmida e seca corresponde frequentemente a *inputs* externos para o sistema, enquanto que a lixiviação representa a recirculação de nutriente dentro do sistema (PEREIRA et al., 2008). A água de chuva, ao atravessar o dossel, arrasta e carrega material particulado depositado sobre a superfície das folhas, tronco e tecidos vegetais durante os períodos de seca, o que acarreta modificações na composição química da água de percolação (PEREZ-MARTIN e MENEZES, 2008).

A contribuição do escoamento superficial de água ao longo do tronco na quantidade de nutrientes (Kg/ha), de um modo geral, é pequena (GAMA-RODRIGUES e MIRANDA,

1991). Isto é devido ao fato que, somente 1% a 5% da chuva que atravessa a copa das árvores seja através do tronco (EATON et al., 1973). Todavia, o escoamento de água ao longo do tronco pode ser muito importante, porque a água é depositada numa pequena área ao redor da base do tronco. Além de nutrientes, material orgânico também é removido pela água da chuva ao longo do tronco. Isso proporciona significativas alterações nas propriedades morfológicas, físicas e químicas do solo (GERSPERS e HOLOWAYCHUCK, 1970), afetando provavelmente, a população microbiana e, por conseguinte, a dinâmica dos nutrientes no solo.

Desse modo podemos perceber que há uma forte ligação entre os processos hidrológicos do interior do ambiente florestal e a ciclagem de nutrientes, o que merece um estudo mais aprofundado de integração entre metodologias advindas da Ecologia de Solos e Micrometeorologia, no entanto vemos diversos estudos fragmentados entre ciências que veem tal processo de maneira diferenciada.

## **2. ÁREA DE ESTUDO**

### **2.1 O Parque Nacional da Tijuca**

O Parque Nacional da Tijuca é gerido pela parceria entre o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e a Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, tendo sido criado oficialmente em 6 de julho de 1961, através do Decreto Federal nº 50.92, sendo que em 08 de fevereiro de 1967, o Decreto Federal nº 60.183, alterou o nome do Parque Nacional do Rio de Janeiro para Parque Nacional da Tijuca, e definiu seus limites de 3.953,22 hectares. Abarcam alguns dos principais bairros residenciais do município tais como o Jardim Botânico, Gávea, São Conrado, Alto da Boa Vista, Tijuca, Grajaú, Jacarepaguá e Itanhangá (PEIXOTO et al., 2005) onde sobressai a interface floresta-urbana, cujas relações funcionais atuais se sobrepõem às heranças por um passado marcado por ciclos econômicos que devastaram a floresta original. Encontra-se hoje amplamente integrado ao tecido urbano da cidade do Rio de Janeiro, constituindo-se num dos principais marcos da paisagem, reconhecido nacional e internacionalmente. Segundo Chirol, et al (2007) o Maciço da Tijuca está localizado na porção oriental do município do Rio de Janeiro, entre os paralelos de 22°55' e 23°00' S e os meridianos 43°10' W e 43°20'.

É constituído por três setores (mapa 2 ), o 1º setor corresponde à Serra dos Três Rios, também chamado de Floresta da Tijuca, o 2º setor corresponde à Serra da Carioca, pelo

Morro do Sumaré e pelo Pico do Corcovado e 3º setor corresponde a uma área de encostas íngremes, dominada pela Pedra da Gávea e pela Pedra Bonita ( FERNANDES et al., 1999). A partir de 2004 o Parque Lage foi adicionado ao Parque Nacional da Tijuca, tornando-se o 4º setor (RIBEIRO, 2006). Posteriormente o Parque Lage foi incluído ao 2º setor e o 4º setor passou a corresponder ao Covanca/Pretos Forros, mas não há infraestrutura adequada à visitação instalada.

O Parque ocupa as encostas do Maciço da Tijuca e é composto por uma floresta tropical de Mata Atlântica secundária. Esta área era recoberta por mata primária que foi desmatada para a implantação de fazendas de café, cana, chá e gado. A partir de problemas de abastecimento de águas na cidade do Rio de Janeiro no século XIX houve iniciativa, por parte da coroa, de desapropriação destas fazendas e do reflorestamento por espécies nativas (NEGREIROS, 2006). Drummond (1988) enfatiza o caráter pioneiro desta iniciativa, sendo, sobretudo, uma experiência que extrapola o reflorestamento e a proteção de mananciais, considerando como uma ação de planejamento urbano. Como resultante, temos uma floresta em estado contínuo de regeneração, apesar de estar em meio urbano caótico e em crescimento (DRUMMOND, 1988).

Mapa 1- Parque Nacional da Tijuca. A – Floresta da Tijuca, B – Serra da Carioca, C – Pedra Bonita e da Gávea, D – Covanca/ Pretos Forros



Fonte: <http://www.parquedatijuca.com.br>.

De acordo com Francisco (1996) o Parque Nacional da Tijuca representa um resíduo de Mata Atlântica que ocupava todo o litoral centro-sul do país até o século XVIII. A dificuldade em ocupar as encostas mais íngremes do Maciço da Tijuca, onde encontra-se o parque, aliado ao esforço de reflorestamento aí executado no século XIX, são fatores fundamentais que garantiram a sua existência. Oliveira (1987) afirma que este esforço de reflorestamento é, em boa parte, atribuído às necessidades de abastecimento de água, forçando o governo a realizar diversos trabalhos ligados à preservação dos mananciais como desapropriações e a nomeação em 18 de dezembro de 1860 do Major Manoel Archer (sob a companhia de 6 escravos) para o reflorestamento que durara 13 anos. Teriam sido plantadas cerca de 60.000 árvores com espaçamento médio de 5 metros entre elas, e um índice de 10% de replantio cobrindo uma extensão na ordem de 135 hectares. Posteriormente o Barão d'Escragnolle teria ocupado seu lugar plantando cerca de 30.000 árvores.

O estudo será executado na localidade do “Morro do Archer” identificado como pertencente ao Domínio Geo-hidroecológico do Archer localizado na Bacia Experimental do Alto Cachoeira no interior do Parque Nacional da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro (Mapa 1). Quanto a classificação de Formas de Húmus, Kindel e Garay (2002) classificam a área como de Mull-Moder.

Mapa 2 - Bacia do rio Cachoeira



Fonte: MONTEZUMA, 2005.

Esta área possui histórico de pesquisas de mais de 25 anos no âmbito da Hidrologia Florestal, sendo lócus de diversas pesquisas de dissertação de mestrado e teses de doutorado. Trabalhos de doutorado como os de Coelho Netto (1985), Figueiró (2005), Montezuma (2005), Silveira (2004); e de mestrado como os de Basile (2004), Chirol (2003), Clevelário Júnior (1988), Cruz (2000), Freitas (2000), Jansen (2001), Miranda (1992), Negreiros (2006) e Silva Fliho (1985) tornaram esta bacia o lócus de boa parte da construção teórica em ecologia e hidrologia florestal no âmbito da Geografia.

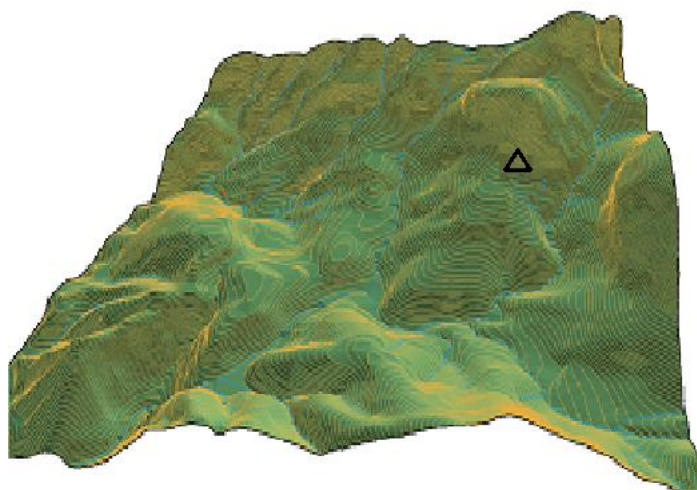
## **2.2 Área Piloto: Morro do Archer**

A área piloto foi montada na localidade denominada de Morro do Archer a partir de um transecto instalado em 2006 às margens da Estrada Major Archer no interior do Parque Nacional da Tijuca para atender ao projeto de Tese de Doutorado de Zaú (2010). Esta se encontra inserida no domínio geoecológico de Archer, o qual seu comportamento hidrológico foi caracterizado por Castro Junior (1991) e Coelho Netto (1985) como um vale não canalizado (bacia de ordem zero), em um ambiente com energia potencial relativamente alta (influenciado parcialmente por paredão rochoso), onde predominam os fluxos subsuperficiais. Em função das características do vale do Archer (solos relativamente profundos) o ambiente torna-se relativamente mais permeável.

Os domínios geo-hidroecológicos podem ser caracterizados como o conjunto das inter-relações ambientais que podem ser espacializadas dando origem a um diagnóstico integrado em base geo-hidroecológica, ou seja, um levantamento que leve em consideração os fatores que em conjunto atuam como principais forças reguladoras dos mecanismos e magnitudes dos processos hidrológicos e erosivos, caracterizando assim, uma análise geoecológica (FERNANDES et al., 2006).

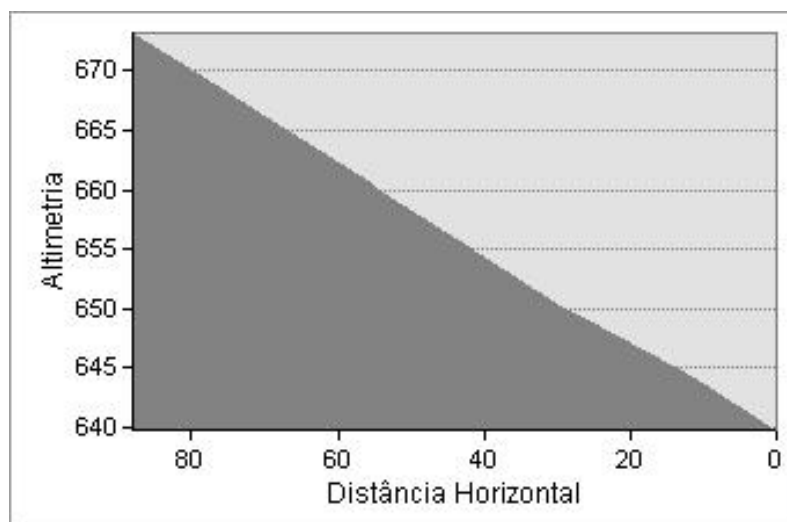
Zaú (2010) executou o levantamento do posicionamento do Morro do Archer como de 22°56'972" de latitude Sul e 43°17'254" de longitude Oeste estando a uma altitude de 620 m e orientação NE (figura 4). Miranda (2010) encontrou declividades médias para esta encosta na ordem de 22,16° e construiu seu perfil topográfico, expresso no esquema 4.

Figura 4- Modelo Digital de Elevação da Bacia do rio Cachoeira. O símbolo  $\Delta$  representa a área piloto do Morro do Archer.



Fonte: Adaptado de MIRANDA, 2010.

Esquema 4 - Perfil topográfico do Morro do Archer.



Fonte: MIRANDA (2010).

A figura 4 nos permite ter uma ideia aproximada de como é a área de estudo, utilizando-se de uma parcela triangular que foi instalada na encosta florestada do Morro do Archer. A instalação desta parcela será melhor explicada na capítulo 3 de operacionalização da pesquisa.



## 2.3 Aspectos Geo-biofísicos

### 2.3.1 Aspectos Florestais

Atualmente o Parque Nacional da Tijuca está constituído por áreas em contínua regeneração natural de formação secundária, com resquícios de formação primária em terrenos degradados (SILVA FILHO, 1985).

A comunidade vegetal constitui uma floresta latifoliada perene que se destaca pela diversidade de espécies (FERNANDES et al., 2006). Apesar das imensas pressões exercidas pela matriz à qual está inserida, a Floresta da Tijuca, por ser uma área montanhosa, possui áreas em considerável estado de conservação e em estágio sucessional avançado (MIRANDA et al., 2009).

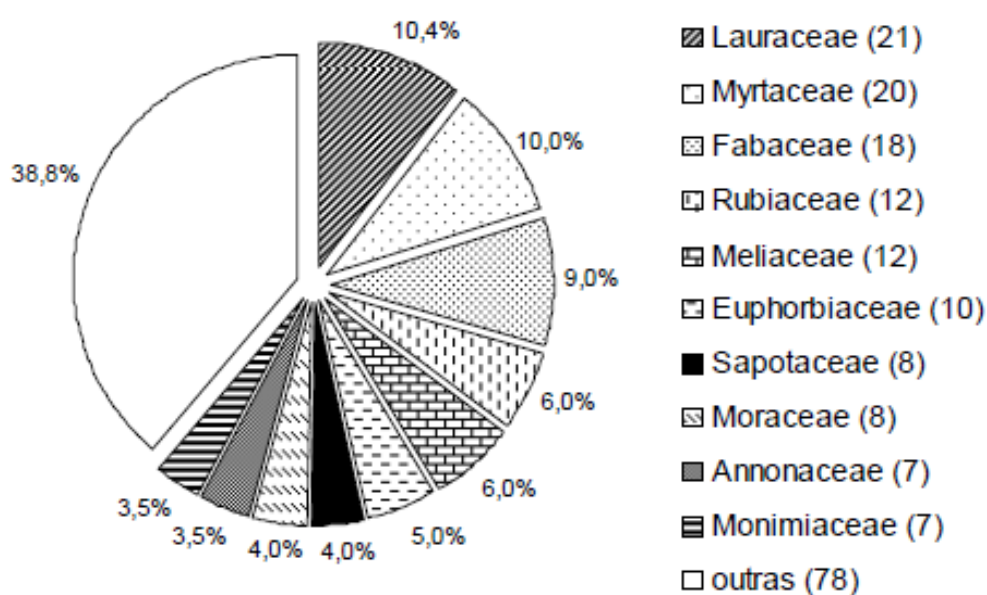
Quanto a sua estrutura classifica-se como floresta ombrófila densa em que não há perda de folhagem ao longo do ano pela inexistência marcada de um período de déficit hídrico e que contém alta densidade e sobreposição de vários estratos arbóreos (BOERGUER et al., 2005; HUEK, 1972); quanto ao estado sucessional classifica-se como secundária tardia, já que não há mais presença da vegetação original (primária) e que a atual encontra-se em estado avançado de sucessão, portanto, secundária tardia (BOERGUER e WISNIEWSKI, 2003).

Em relação à fisionomia da floresta, Clevelário Junior (1988) descreve que percebe-se a presença de 3 estratos bem nítidos: o arbóreo, o arbustivo e o herbáceo. O arbóreo é constituído por árvores entre 15 e 30 m, de troncos grossos, retos e lisos (galhos apenas nas copas), sendo a cobertura descontínua. O arbustivo possui indivíduos entre 3 e 10 m, com trocos finos e densidade alta, sendo em grande parte composto por formas imaturas de espécies do estrato arbóreo. O estrato herbáceo inclui vegetais de até 2 m de altura (com lianas e epífitas em seus troncos), sendo que devido ao intenso sombreamento a que é submetido se apresenta ralo e descontínuo, sendo mais denso apenas em áreas de clareiras.

A partir de Rizzini (1997) podemos classificá-la a nível ecossistêmico como Floresta Tropical Pluvial Baixo-Montana com alta biodiversidade. Oliveira et al..(2005) identifica a presença das famílias Leguminosae, Palmae, Meliaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae, Rubiaceae e Melastomataceae. Identifica também, que há uma clara diferenciação entre as populações vegetais que habitam as vertentes norte e sul.

Zaú (2010) caracterizou florísticamente 986 indivíduos vivos distribuídos em 40 famílias, 90 gêneros e 200 espécies (123 identificadas e 77 morfo-espécies). Dos indivíduos amostrados, 827 (83,9%) foram identificados a nível de espécie, 48 (4,9%) foram identificados em gênero e 81 (8,2%) em família. O restante (28 indivíduos, 3,0% do total), pertencentes a 19 morfoespécies, não tiveram suas famílias determinadas. As maiores riquezas em termos de espécies foram Fabaceae, Lauraceae, Rubiaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae e Annonaceae. Os gêneros maior riqueza de espécies foram *Eugenia*, *Ocotea*, *Myrcia*, *Mollinedia*, *Guarea* e *Trichilia* (gráfico 1).

Gráfico 1- Distribuição da riqueza nas dez famílias com maior representatividade.



Fonte: ZAÚ, 2010.

### 2.3.2 Aspectos Geológicos, Pedológicos e Geomorfológicos

A cidade do Rio de Janeiro constitui um geocossistema marcado por uma morfologia montanhosa circundada por planícies fluvio-marinhas, ambas interconectadas por redes de canais que drenam para diferentes reservatórios terminais tais como a baía da Guanabara, as lagoas costeiras, ou diretamente no oceano Atlântico. Sobressaem na paisagem carioca os extensos fragmentos da Floresta Atlântica sobre os maciços montanhosos, apesar da forte pressão da metrópole circundante (COELHO NETTO, 1992).



A geologia, o relevo e os solos do Maciço da Tijuca estão relacionados à falhas tectônicas do Terciário Inferior (ZAU, 1994). O relevo é bastante acidentado e são comuns declividades superiores à 45°, escarpas e afloramentos rochosos. Os solos do Maciço da Tijuca são formados por gnaiss facoidal e biotita gnaiss (EIRADO SILVA et al., 1991) apresentando-se rasos nas áreas de maior declividade e bastante profundos nos depósitos de encosta (ROSAS et al., 1992). Predominam os Latossolos com pouca diferenciação entre os horizontes, mas ocorrem localmente Litossolos e Cambissolos. D'Arrochella (2008) classifica os solos da Bacia do Cachoeira a partir do triângulo de textura como predominantemente franco-arenoso.

### 2.3.3 Aspectos Climáticos

O clima da floresta pode ser caracterizado a partir de sua caracterização regional definida por Gallego (1971) como tropical de altitude (Cf), com precipitação média em torno de 2500 mm. Silva Filho (1985) enfatiza que existem áreas com altitude superior a 500 m em que as chuvas superam os 2000 mm anuais, apresentando a temperatura média do mês mais quente por volta de 22°C e a do mês mais frio superior a 18°C. O mesmo autor supõe que utilizando-se da perspectiva indicada por Gaussen (baseado na presença ou não de estação seca e sua influência sobre a vegetação), o clima do parque pode ser definido como Sub-equatorial, encontrando-se abundância de lianas e epífitas.

Clevelário Júnior (1988) ao se basear no sistema de Köppen (pautando-se em temperatura e pluviosidade), classifica o clima do parque como tropical sempre úmido (Af) para as partes mais baixas de até 500 m e como tropical úmido de altitude (Cfa) para os pontos mais altos. A classificação de Thorwaite e Mather (baseada no balanço precipitação/evaporação) permite a classificação como sendo de subequatorial sem deficiência hídrica durante o ano.

Baseado nos dados obtidos pela estação meteorológica do Alto da Boa Vista e nos dados apresentados por Coelho Netto e Santos (1979), Clevelário Júnior (1988) observa que a temperatura da área tem uma média anual de 22°C com médias mensais variando entre 19 e 25°C (meses de junho e fevereiro) com amplitude térmica mensal em torno de 8°C e anual de 6°C. Quanto a pluviosidade, a média anual de chuvas (1967-1975) é de 2300 mm, com valores extremos de 1600 a 3300 mm (Coeficiente de variação de 22%), no entanto a moda é

de 2000 e 2500mm anuais. A grande variação seria devido frequência dos eventos de chuva de 50 mm/dia concentradas durante o verão. A Figura 10 mostra um histograma com as médias mensais de chuvas no período de 1967-1975.

Quanto a área do Morro do Archer, Zaú (2010) mensurou durante o período de outubro de 2006 a setembro de 2008 a média de da umidade relativa do ar e temperatura de um perfil de 100 metros de encosta expressa na tabela 1:

Tabela 1 - Média de temperatura e umidade relativa do ar na área do Morro do Archer

*	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Umidade relativa do ar	74,8	69,6	75,5	65,5
Temperatura	24	25,5	22,6	19,6

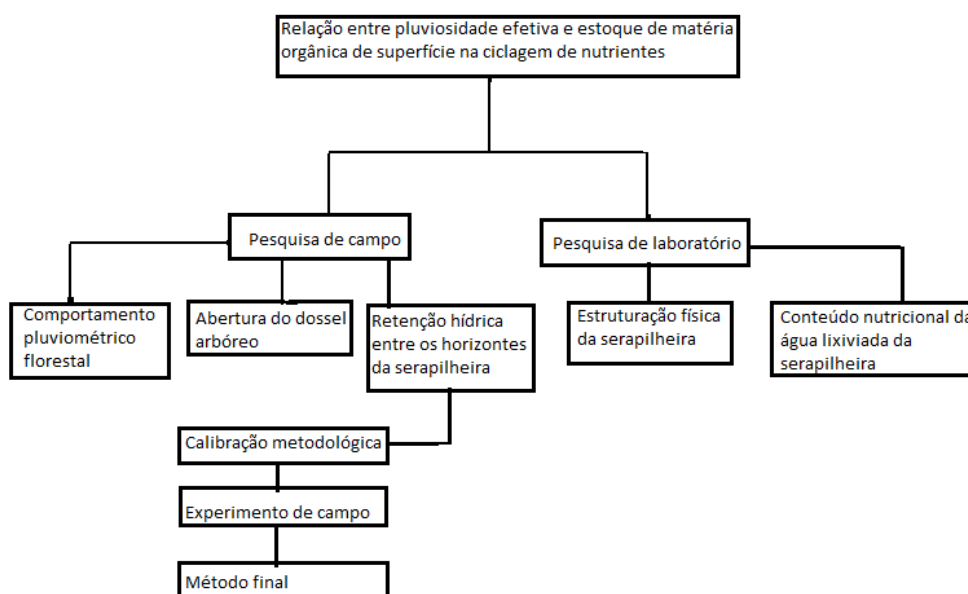
Fonte: Adaptado de ZAÚ (2010).

A tabela 1 mostra que em dados médios a temperatura da é amena na floresta na localidade estudada, mas a umidade relativa do ar é bem alta, principalmente nos meses e equinócio.

### 3 OPERACIONALIZAÇÃO DA PESQUISA

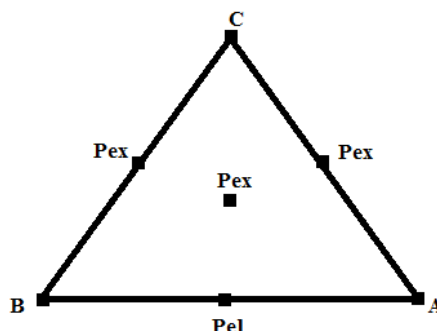
As análises da relação entre precipitação efetiva e estoque de matéria orgânica de superfície dever-se-ão pautar na estruturação de Formas de Húmus proposta por Kindel (2001) e no momento de mensuração busca-se reproduzir as condições naturais encontradas no piso florestal. Para tal o esquema 5 demonstra em um fluxograma como a pesquisa será executada:

Esquema 5 - Fluxograma de execução dos protocolos de pesquisa.



Para a instalação do sistema de pluviômetros experimentais em campo foi delimitada um parcela triangular de 200m<sup>2</sup> (esquema 6) em encosta retilínea a pelo menos 20 metros da borda e buscando segmentos de encosta mais suaves. D'Arrochella, et al. (2008) delimitaram a ação do efeito de borda na floresta adjacente às estradas que cortam o Parque Nacional da Tijuca em apenas 10 metros e em apenas 2 áreas. Na área de instalação da parcela (Morro do Archer) sequer foi detectada a ação do efeito de borda, mas mesmo assim este cuidado foi tomado.

Esquema 6 - Modelo da parcela delimitada em campo. A, B e C são os pontos onde foram instalados os sistemas de pluviômetros experimentais; Pel refere-se ao Pluviômetro eletrônico e Pex os Pluviômetros de funil vazio e garrafão.



Foi levantado com GPS o ponto central desta área triangular (em virtude da dificuldade de levantar todas as 3 pontas da área pelo aparelho em ambiente fechado), que localiza-se na latitude S 22° 57' 00,3" e longitude de O 43° 17' 29" com altitude 660 metros.

### 3.1 Levantamento do comportamento pluviométrico florestal

Este levantamento é feito por meio de pluviômetros digitais desenvolvidos por Miranda e Pereira (2002; 2009) compostos por um microcontrolador de sistema basculante para coleta de chuva em um pequeno abrigo de PVC alimentado com tensões de 2 a 6 Volts, o que possibilita o uso de pilhas alcalinas de uso doméstico (Fotografia 1).

Fotografia 1 – Pluviômetro Digital



Fonte: arquivo pessoal.



### 3.2 Levantamento da abertura de dossel arbóreo

Nesta etapa de levantamento foi utilizada a metodologia proposta por D'Arrochella et al..(2009), utilizando-se de um *spherical densiometer* (Fotografia 2) que é uma ferramenta para medir a densidade de cobertura arbórea. Neste caso, a ferramenta foi posicionada sobre cada ponto onde foram instalados os pluviômetros e medidas a abertura do dossel nas direções norte, sul, leste e oeste. O aparelho contém um espelho esférico com 24 quadrados que refletem a cobertura. Contou-se o número de quadrados em que se refletia a imagem do céu entre as copas e executou-se uma medida percentual para cada direção. Foi executado o cálculo da média para cada ponto e a média total da área.

Fotografia 2 - Spherical Densiometer



Fonte: arquivo pessoal.

### 3.3 Análises da estruturação física da serapilheira

Em laboratório os amostras são postas para secar em estufa a 100°C durante 24 horas com a finalidade de eliminar a umidade antecedente. Após a secagem é executada a triagem

de suas partes componentes segundo metodologia propósta por Kindel e Garay (2001) e executada por diversos outros autores como Kindel (2001), Pereira (2005), D'Arrochella (2008) e Miranda (2010).

São separadas as camadas L (folhas íntegras), F (folhas fragmentadas), galhos, raízes finas, material reprodutivo (flores, frutos e sementes), agregados e a camada MFB ou H (todo o material fino menor que 2 mm).

Para a separação da camada MFB as amostras são colocadas em peneirador por 15 minutos utilizando peneira de 2 mm de malha. As demais frações são separadas manualmente. Após a triagem cada parte componente é pesada separadamente em balança digital de 4 dígitos.

Os agregados e a camada H são colocados em cadinhos de porcelana de 4 g e postos para queimar em forno mufla a 375°C por 16 horas. Segundo Guerra (1991), a exposição por mais de 16 horas pode provocar a queima de algum materiais minerais e super estimar os resultados. Com isso é obtido o percentual de matéria orgânica dos agregados e camada H pela diferença entre o peso de antes e depois da queima.

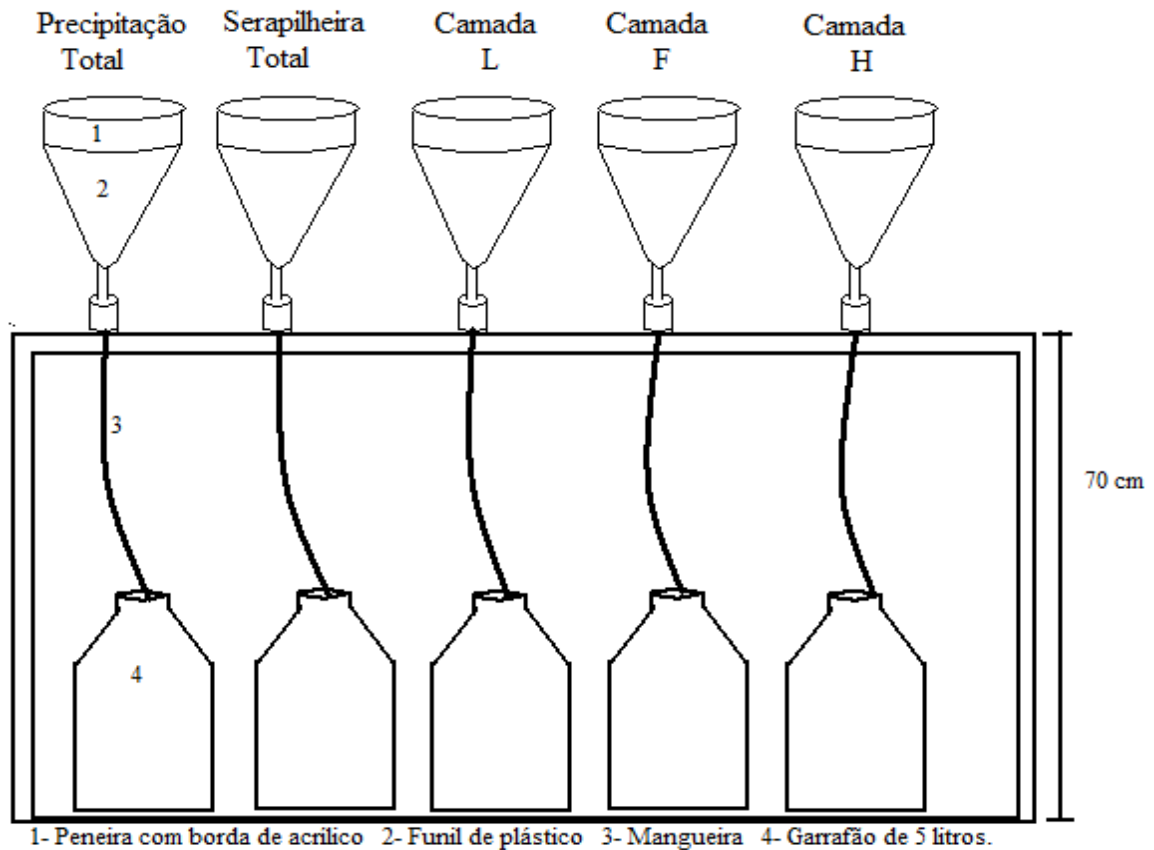
Os dados são transpostos para planilhas Excel onde são retiradas as médias, os desvios padrão e os coeficientes de variação. Desse modo, as amostras representarão a heterogeneidade da área.

As amostras são recolocadas em sacos de papel, sendo que, os galhos, raízes, material reprodutivo e agregados são aglutinados à camada F para serem recolocados nos pluviômetros em campo.

### **3.4 Avaliação da retenção hídrica da serapilheira**

Para esta etapa foi utilizado de uma estrutura de monitoramento experimental que permite aproximar-se da condição do campo, devendo se considerar a serapilheira como tridimensional e composta dos estágios de decomposição L, F e H (Figura 5).

Figura 5 - Aparelhagem proposta para mensuração da água da chuva interceptada pela serapilheira.



Exprime-se a quantidade de chuva pela altura da água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela pode ser avaliada por medidas em pontos específicos com instrumentos como os pluviômetros acumulando esta água e permitindo sua quantificação em milímetros cúbicos ( $m^3$ ). Utiliza-se de provetas graduadas que permitem inferir sobre a quantidade de água depositada em dado período de tempo (PINTO et al., 1973). Este método de análise da quantidade de chuva que ocorre em uma determinada superfície é comumente utilizado a partir da transformação do volume de água para a altura a partir da equação testada por Coelho Netto e Avelar (2002), sendo:

$$V = \pi r^2 h$$

Onde:  $\pi$  – é a constante matemática igual a 3,1415927...;

$r$  – é o raio do cilindro;

$h$  – é a altura do cilindro.



Foram executadas 2 fases preliminares de experimentação deste método, sendo uma denominada de “Calibração Metodológica” na Estação Climatológica Experimental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) no bairro do Maracanã no município do Rio de Janeiro e outra denominada de “Experimento de Campo” em ambiente florestal na localidade do “Morro do Archer” na bacia hidrográfica do alto do rio Cachoeira no Parque Nacional da Tijuca. Por fim ocorreu uma terceira fase de aplicação da metodologia em campo denominada de “Método Final”, também em ambiente florestal na mesma área do “Experimento de Campo”.

A nível de comparação foi executada análise da retenção hídrica sugerida por Blow (1955) e utilizada por Sato (2008) em que foram coletadas 5 amostras padronizadas de serapileira, postas para secar em estufa a 60°C durante 24 horas. Após a secagem é pesada em balança digital para obter seu peso seco. Depois é colocada em um balde em que é mergulhada em água destilada por completo. Foi posta em repouso sobre uma tela por 30 minutos para que obtivesse peso constante e restasse apenas a água igroscópica e pesada novamente para obter seu peso úmida (fotografia 3). Estas análises foram executadas no Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Fotografia 3 - Teste do método baseado em Blow (1955). A- pesagem, B- molhamento em água destilada, C- secagem na tela por 30 minutos.



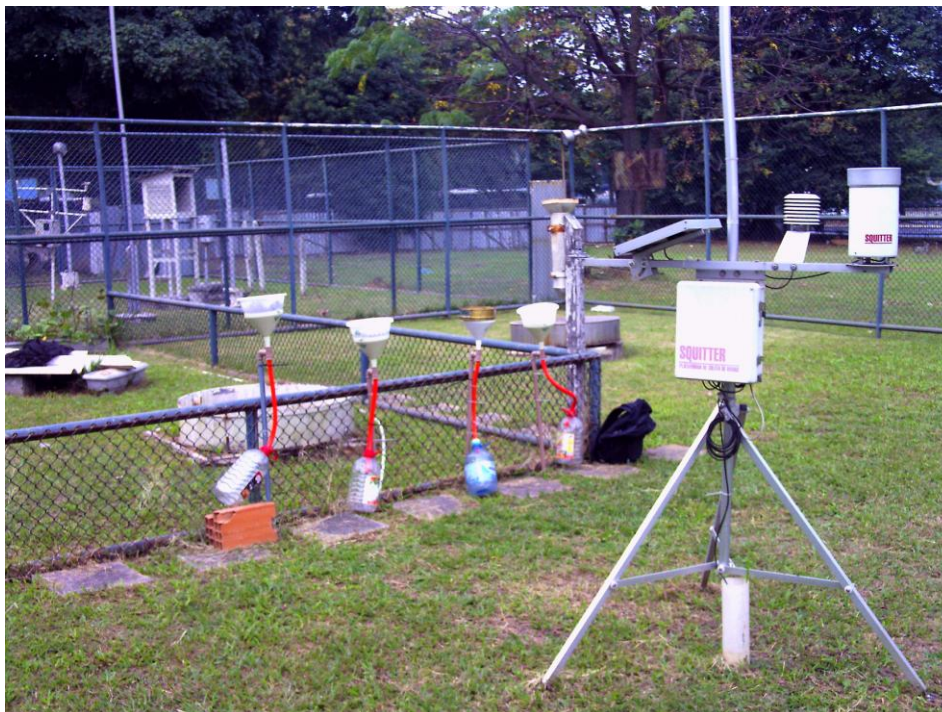
Fonte: arquivo pessoal.

#### 3.4.1 Calibração Metodológica

Nesta fase foi construído apenas um sistema de pluviômetros como o descrito na figura 15 e instalado em espaço aberto urbano. Junto a ele foi instalado um pluviômetro digital de Pereira e Miranda (2002) como pode ser visto na fotografia 4. Esta fase serviu para a comparação com o método proposto por Blow (1955) utilizando-se de coletas e triagem de serapilheira da área de estudo no Parque Nacional da Tijuca.

Para tal, foi executado o monitoramento das chuvas no período de 12/08/2011 até 03/10/2011. Após cada evento chuvoso eram anotadas as medidas nos garrafões de cada funil e recolocadas novas amostras (já triadas) para o próximo evento chuvoso.

Fotografia 4 - Sistema de Pluviômetros na Calibração Metodológica



Fonte: arquivo pessoal.

### 3.4.2 Experimento de Campo

Esta fase é a que se aproxima mais do “Método Final”, em que o sistema utilizado na calibração foi adaptado ao ambiente florestal, sendo executada no período entre 10/03/2012 a 07/05/2012. Foram construídos três sistemas de pluviômetros experimentais (fotografia 5) e instalados de maneira a representarem uma unidade de área triangular de 200m<sup>2</sup> como amostragem que representasse a heterogeneidade da composição florestal do Parque Nacional da Tijuca.

Esta fase serviu também para que pudesse saber se a heterogeneidade do coberto de copas arbóreas poderia influenciar na quantidade de águas do fluxo de atravessamento. Isto pode influenciar diretamente na entrada de água no funil vazio, não permitindo o perfeito controle da medição da pluviosidade efetiva.

Fotografia 5 - Sistema de Pluviômetros no Experimento de Campo.



Fonte: arquivo Pessoal.

### 3.4.3 Método Final

Esta fase iniciou-se no dia 02/06/2012 com a instalação do sistema de pluviômetros não mais suspensos por uma aste única em paralelo, mas sim por cada pluviômetro fincado ao solo individualmente (fotografia 6). Ainda manteve-se a perspectiva de análise sob as camadas internas da serapilheira, dispondo os pluviômetros em conjuntos de 5, mas agora, como um quadrado de 2 x 2m. O pluviômetro que tem um funil vazio localiza-se ao centro.

A configura da área de estudo continua a mesma, onde cada sistema de 5 pluviômetros demarca um vértice da área triangular. Nos segmentos de reta entre os vértices foram instalados mais 3 pluviômetros (sendo 1 eletrônico) que medem o *Fluxo de Atravessamento*, aumentando assim o plano amostral da pluviosidade efetiva.



Fotografia 6 - Sistema de Pluviômetros no Método Final (ao fundo vemos o pluviômetro eletrônico).



Fonte: arquivo pessoal.

Outra mudança executada nesta etapa de trabalho foi o protocolo de coleta e triagem da serapilheira. Neste caso, passou-se a fazer a medição da espessura da serapilheira em campo com uma régua, coletando apenas aquela que tivesse no mínimo 4 cm de espessura. Desse modo as amostras passaram a ser mais homogêneas, eliminando a necessidade de pesar cada parte componente durante a triagem em laboratório.

Ao serem colocadas no pluviômetro em campo, cada camada da serapilheira foi posta a partir de duas amostras, havendo uma quantidade considerável de material por funil, mas ainda segue a proporção entre as camadas.

### 3.5 Análise nutricional da água resultante da lixiviação da serapilheira

Parte da água depositada nos garrafões foi retirada e colocada em pequenas garrafas de 600 ml para análise química. Estas foram levadas ao Laboratório de Geografia Física (LABFIS) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro para análise de presença de macronutrientes, inicialmente por pH para ver se havia diferenças em relação a alcalinidade/acidez e por fotometria. Foram retiradas amostras de água dos garrafões da camada L, camada F, camada H, serapilheira total e do garrafão vazio randomicamente entre

os pluviômetros. Estas amostras foram retiradas a fim de permitir inferir sobre a presença e concentração nutricional para cada camada. A amostra retirada do garrafão do funil vazio teve como finalidade demonstrar o quanto ocorre de lixiviação durante o fluxo de atravessamento (Throughfall).

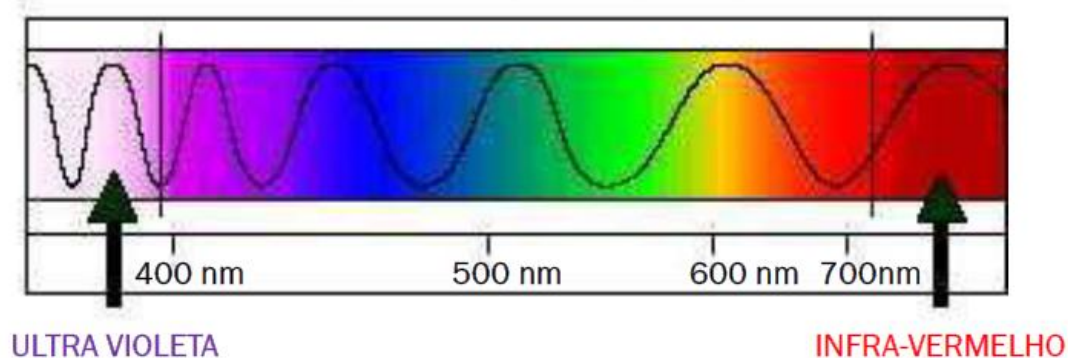
Este protocolo teve a intenção avaliar se há diferenças entre a quantidade nutricional da serapilheira e a água que a lixivia.

Os elementos químicos investigados são apenas os analitos inorgânicos metálicos (Na, K, Ca e Mg), que são nutritivos às plantas, contidos na água que lixiviou a serapilheira.

As análises foram feitas através da espectroscopia em laboratório no Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ/Nilópolis). A espectroscopia, ou espectrofotometria de absorção atômica é um método utilizado para detectar quantitativa e qualitativamente a presença de metais em soluções ou amostras sólidas, usando como princípio a radiação ultravioleta dos elétrons. Nesse método, os elétrons são excitados ao receberem energia de uma fonte externa, como a chama de gás comburente do acetileno a 300°C, por exemplo, no caso da espectroscopia de absorção atômica por chama. Após essa excitação, os elétrons devolvem essa energia ao retornarem a sua camada de valência original na forma de luz ou fótons, que é absorvida pelo equipamento de medição, servindo assim para identificar o elemento de acordo com a frequência da radiação (SKOOG et al., 1998).

Assim os mesmos autores definem sinteticamente este método como a medida de luz absorvida ou emitida por uma espécie química, baseada na absorção dos comprimentos de ondas entre o ultra violeta e o infravermelho, conforme é demonstrado na figura 6.

Figura 6 - Comprimento de onda- Luz Visível.



Fonte: [http://www.anaseca.uac.pt/pdf\\_bioquimica/introd\\_espectrof.pdf](http://www.anaseca.uac.pt/pdf_bioquimica/introd_espectrof.pdf)

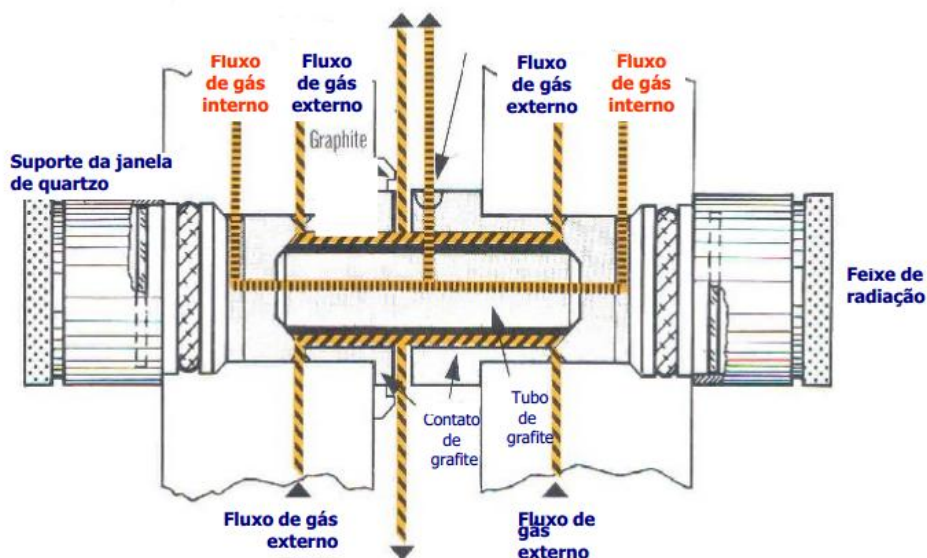
A análise espectrofotométrica pode seguir diferentes caminhos sendo os mais comuns e largamente utilizados:

- FAAS- Espectrofotometria de absorção atômica com chama
- GFAAS- Espectrofotometria de absorção atômica com forno de grafite
- WCAAS- Espectrometria de absorção atômica com filamentos de tungstênio
- HGAAS- Geração de hidretos.
- CVAAS- Vapor frio

Na presente pesquisa foram utilizados os métodos de absorção atômica GFAAS E FAAS.

No método GFAAS foi utilizado um tubo de grafite, ao invés de uma lâmpada como atomizador, trabalhando na faixa de detecção da ordem de  $\mu\text{g/L}$ . Isto permitiu o controle do ambiente térmico e químico, e maior tempo de permanência da nuvem atômica na zona de observação<sup>3</sup>. A figura 7 demonstra o funcionamento do forno para esta análise.

Figura 7 - Forno de grafite com aquecimento longitudinal.



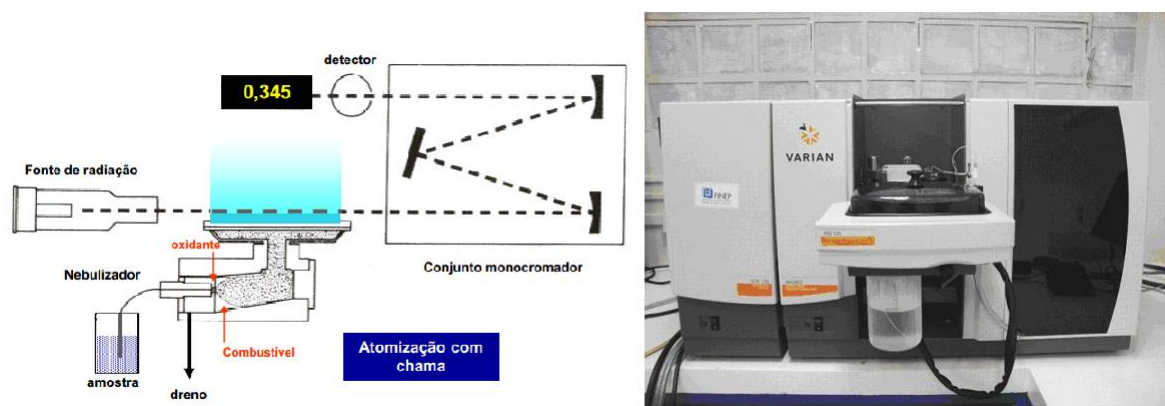
Fonte: Adaptado de CSUROS e CSUROS (2002).

<sup>3</sup> Cada tubo pode ser utilizado de 100 a 200 vezes, dependendo da amostra analisada. A idéia básica desse método, é gerar uma nuvem atômica de alta densidade, proporcionando assim maior sensibilidade, o que facilita a detecção de elementos na amostra. As condições controladas incluem remoção de interferentes (programa de aquecimento), e temperatura controlada (ambiente isotérmico). No método de forno de grafite, as principais interferências são causadas por componentes da matriz.

O FAAS, tem como sua faixa típica de trabalho a unidade de medida Mg/L. Os principais problemas a se pensar quando se trabalha com esta técnica são a baixa eficiência do processo de introdução de amostras, a diluição da nuvem atômica nos gases da chama, gradientes de temperatura e de composição química na chama e o tempo de residência dos átomos na zona de observação.

Na FAAS, a amostra é previamente convertida em um fino aerossol (se usam soluções aquosas na realização deste método), é introduzida na mistura de gases que alimentam a chama produzida em um queimador laminar. Este método apresenta altos índices de detecção. Os limites de detecção que se conseguem atingir são da ordem de grandeza ou um pouco inferiores aos conseguidos por FAAS, mas mais elevados do que os alcançados com GFAAS (TYLER, et al.. 1999). A figura 8 expressa o funcionamento de um espectrômetro de absorção por chama.

Figura 8 - Funcionamento de um espectrômetro de absorção por chama.



Fonte: BUTCHER e SNEDDON, 1998.

## 4 RESULTADOS

Os resultados são apresentados de modo que fique evidenciada a evolução metodológica desta pesquisa, com a finalidade de analisar tanto os processos microclimáticos que envolvem a relação pluviosidade efetiva e estoque de matéria orgânica de superfície, como a efetividade da metodologia desenvolvida. Boa parte desta análise ocorreu durante o processo de levantamento de dados, o que permitiu a tomada de decisões em prol de corrigir possíveis problemas e foram expostas em meio aos resultados.

### 4.1 Resultado do levantamento pluviométrico florestal

Nesta etapa da pesquisa o primeiro protocolo de análise teve como objetivo avaliar se haviam diferenças substanciais entre os pluviômetros instalados no Parque Nacional da Tijuca no que tange a altitude como variável preponderante. A tabela 2 apresenta tal comparação a partir da média entre março e maio de 2012.

Tabela 2 - Distribuição da chuva por altitude (média em mm e altitude em m)

	<b>Capela</b>	<b>SEDE</b>	<b>FIXO</b>	<b>Funis</b>
Média	40,5	30,83	27,45	47,32
Elevação	479	527	660	660

A Tabela 2 evidencia que não há uma relação proporcional entre a média das chuvas em cada ponto e sua altitude. No entanto é válido lembrar que a Capela e a Sede ficam em ambiente aberto, já o Fixo e os Funis embaixo das copas o que pode indicar que as copas podem conduzir durante o fluxo de atravessamento a água da chuva para pontos específicos. O que se pode evidenciar a princípio é que nas altitudes mais elevadas chove menos dentro do parque, mas outras variáveis devem ser levantadas para que se possa afirmar com mais exatidão.

Ao analisar a tabela 3 devemos lembrar que a variabilidade do Fluxo de Atravessamento é muito grande na área de estudo como evidenciado Coelho Netto (1985), Coelho Netto et al. (1986) e Miranda (1992) em que, mensurando a interceptação da chuva encontraram valores de 89%, 83% e 76% respectivamente.



Observando a Tabela 3 podemos comparar os dados entre o pluviômetro eletrônico da Sede e o fixo (no interior do fragmento florestal) e perceber-se que no evento de 16 de março o pluviômetro fixo registrou 5,35 mm que representa 35% dos 15 mm registrados na Sede, mas os pluviômetros de funis (Vazio A e C) registraram respectivamente 11,89 (79,26 %) e 11,08 mm (73,86%), demonstrando como a complexa cobertura arbórea pode dar origem a resultados discrepantes. Isto se confirma pela inexistência de qualquer registro no segundo coletor eletrônico instalado (Móvel) e pelo funil vazio B. Os dados referentes ao dia 22 de março foram perdidos pelo desmonte acidental dos pluviômetros de funis, restando apenas a comparação entre os eletrônicos, registrando um atravessamento de 6,63 mm dos 45 mm registrados na Sede o que representa 14,73 %.

Tabela 3 - Chuva externa e interna de março a maio de 2012 (mm)

<b>Evento</b>	<b>SEDE*</b>	<b>FIXO**</b>	<b>MÓVEL**</b>	<b>Vazio A</b>	<b>Vazio B</b>	<b>Vazio C</b>
16/mar	15	5,35	0	11,89	0	11,08
22/mar	45	6,63				
30/mar	10,5	61,71	37	83,95	46,88	81,18
10/abr	15	33,4	0	49,08	35,22	37,53
18/abr	42	11,22	1,36	27,71	13,85	19,28
07/mai	57,5	46,41	11,22	151,28		116,87

\* Pluviômetro eletrônico em área aberta. \*\* Pluviômetro eletrônico abaixo das copas

Nos dias 30 de março e 10 de abril foram registrados valores mais elevados de chuva abaixo das copas do que na Sede. Isto pode demonstrar que há diferença entre o que chove na Sede e no ponto onde foram instalados os pluviômetros. A fim de resolver este problema, o pluviômetro eletrônico denominado de ‘Móvel’ foi removido e reinstalado em área aberta atrás do restaurante ‘A Floresta’ para que pudesse retratar com mais acurácia o quanto chove mais próximo da área experimental.

A média das medidas dos 5 pluviômetros internos em comparação aos 42 mm de chuva registrados na Sede é de 34,96 %, o que se aproxima do dia 16 de março. Já o dia 7 de maio, apesar de registrar no coletor fixo uma medida inferior à da Sede (como seria o presumível), os outros pluviômetros de funil registraram medidas muito superiores, confirmando a hipótese inicialmente sugerida.

A discrepância entre os dados pode estar indicando também que a heterogeneidade estrutural do dossel arbóreo pode gerar fluxos concentrados ou difusos de água durante o *Fluxo de Atravessamento*, que pode indicar a existência de um *Fluxo Misto* em que a água

atravessa os espaços entre as folhas, mas pode acumular sobre elas e seguir parcialmente o *Fluxo de Tronco* pelos galhos, só que ao contrário, exercendo peso sobre os ramos e cumprindo novamente o *Fluxo de Atravessamento*.

#### 4.2 Resultado do levantamento da abertura do dossel arbóreo

É necessário dizer que há uma heterogeneidade em relação à abertura de dossel arbóreo na área de estudo. O sistema de pluviômetros A está sob uma abertura de dossel de 10,8 %, o B 19,1 % e o C 11,3 %. Analisando a média de abertura do dossel chegou-se a medida de sendo um de 13,7% para toda a área de 400 mm<sup>2</sup>.

Isto indica que há pouca abertura de dossel, que ocorre principalmente pela sobreposição de mais de 3 estratos arbóreos como evidenciado por Clevelário Junior (1988).

#### 4.3 Resultados da triagem da serapilheira

A análise da estrutura física da serapilheira (tabela 4) demonstra que não houve uma mudança perceptível quanto aos estoques da cada parte componente ao longo deste período de coletas e triagem. É bem perceptível que o estoque de camada L é bem pequeno em relação a F, denotando uma passagem acelerada para o processo de fragmentação.

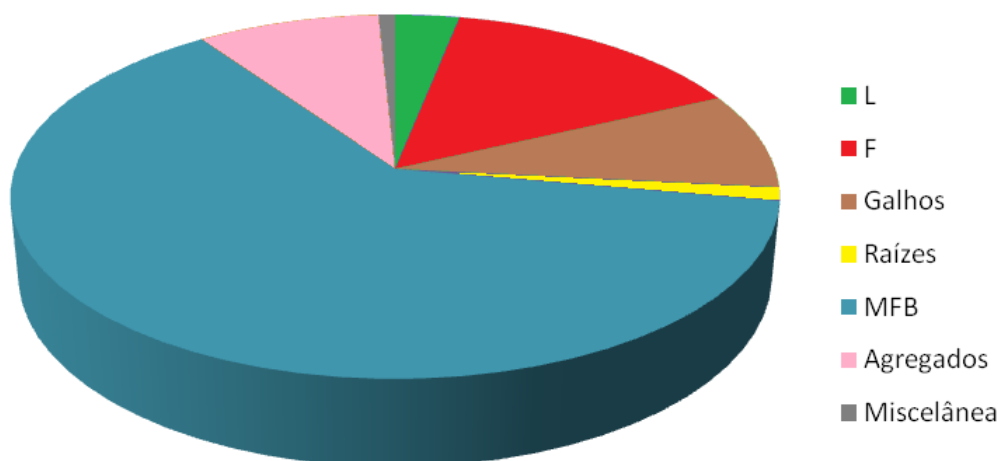
Tabela 4 - Triagem da Serapilheira. Média em negrito, Desvio Padrão entre Parênteses e Coeficiente de Variação em vermelho (N=15). Dados em T/Ha<sup>-1</sup>.

Data:	L	F	Galhos	Raízes	MFB	Agregados	Miscelânea
17/mar	<b>2,90</b> (1,24) <b>0,43</b>	<b>10,66</b> (2,44) <b>0,23</b>	<b>5,25</b> (2,75) <b>0,52</b>	<b>0,73</b> (0,36) <b>0,50</b>	<b>26,95</b> (5,28) <b>0,20</b>	<b>4,25</b> (0,37) <b>0,09</b>	<b>0,52</b> (0,30) <b>0,57</b>
23/mar	<b>1,72</b> (0,27) <b>0,15</b>	<b>6,39</b> (0,37) <b>0,06</b>	<b>2,64</b> (0,42) <b>0,16</b>	<b>0,58</b> (0,47) <b>0,80</b>	<b>25,21</b> (11,45) <b>0,45</b>	<b>3,68</b> (6,15) <b>1,67</b>	<b>0,24</b> (0,01) <b>0,05</b>
31/mar	<b>0,68</b> (0,19) <b>0,28</b>	<b>4,16</b> (1,69) <b>0,41</b>	<b>0,92</b> (0,33) <b>0,36</b>	<b>0,54</b> (0,49) <b>0,92</b>	<b>41,39</b> (2,69) <b>0,07</b>	<b>2,75</b> (3,24) <b>1,18</b>	<b>0,37</b> (0,36) <b>0,99</b>
16/abr	<b>0,40</b> (0,05) <b>0,12</b>	<b>3,34</b> (2,66) <b>0,22</b>	<b>3,38</b> (1,34) <b>0,40</b>	<b>0,27</b> (0,28) <b>1,02</b>	<b>23,27</b> (7,21) <b>0,31</b>	<b>6,87</b> (8,55) <b>1,24</b>	<b>0,31</b> (0,15) <b>0,49</b>
25/abr	<b>0,88</b> (0,03) <b>0,03</b>	<b>6,83</b> (1,94) <b>0,28</b>	<b>5,84</b> (0,57) <b>0,10</b>	<b>0,38</b> (0,11) <b>0,30</b>	<b>14,75</b> (3,15) <b>0,21</b>	<b>1,21</b> (0,37) <b>0,30</b>	<b>0,27</b> (0,13) <b>0,49</b>

Apesar de não haver uma análise mais detalhada sobre o conteúdo da camada L, durante a triagem foi percebida uma presença insignificante de folheto verde ou levemente descolorado. Nesse sentido, o processo de descoloração seria muito rápido, passando logo a fragmentação. É bem perceptivo que as médias possuem baixo coeficiente de variação, o que demonstra a princípio que as amostras estão bem homogêneas.

É importante perceber também a quantidade predominante de MFB em relação às demais frações, o que demonstra que não é um elemento possível de se descartar e desconsiderar quando da análise da retenção hídrica como é feito no método descrito por Blow (1955). O gráfico 2 mostra a participação do MFB em relação ao montante total de serapilheira.

Gráfico 2 - Proporção entre as partes componentes da serapilheira.



O gráfico 2 demonstra também, que o Material Fino Bruto é a camada da serapilheira com maior estoque, o que evidencia uma decomposição muito rápida, ainda mais se considerado o grande estoque de galhos que pela presença de fibras lignificadas, são mais resistentes à decomposição e ação de solutos.

Comparando as médias totais obtidas com as médias totais apresentadas por D'Arrochella (2008) expressos na tabela 5, há diferenças que podem ser resultantes de o plano amostral ser diferente, mas de qualquer modo, as amostras atuais (com um número menor de coletas e mais concentrado) demonstram estoques bem mais significantes de Material Fino Bruto (MFB) em relação ao resto das partes componentes da serapilheira.

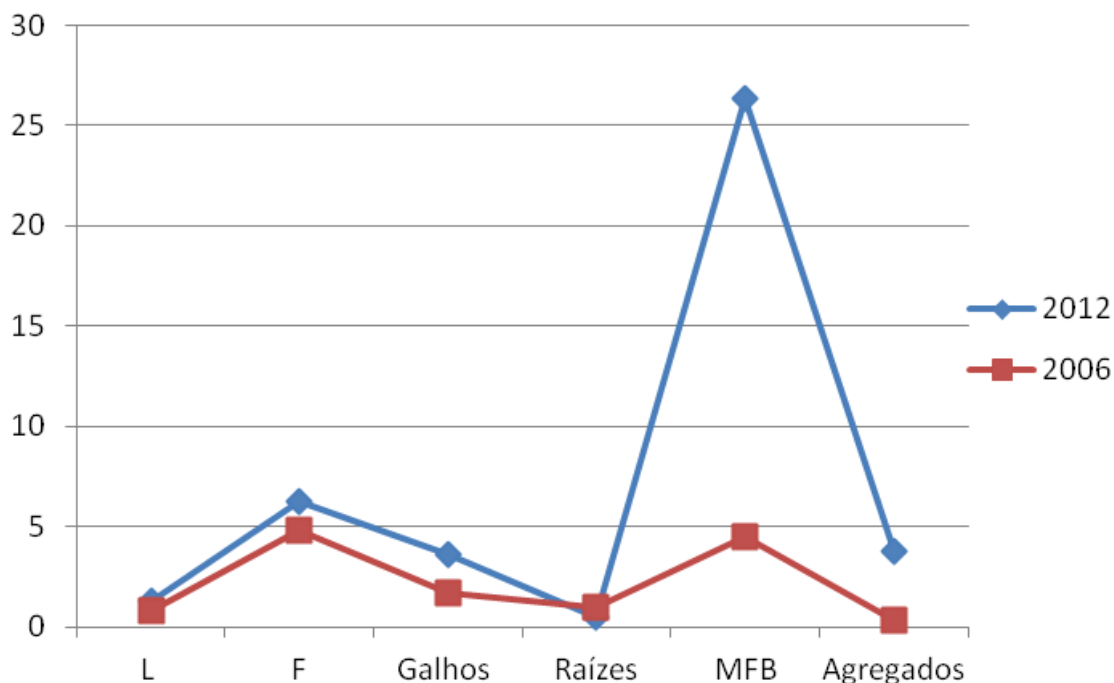
Tabela 5 - Média Total da triagem da serapilheira na área do Morro do Archer (2006 N=20; 2012 N=15). Dados em T/Ha<sup>-1</sup>.

	L	F	Galhos	Raízes	MFB	Agregados
2006*	<b>0,82</b> (0,27) <b>36,42</b>	<b>4,81</b> (1,16) <b>23,67</b>	<b>1,68</b> (0,86) <b>48,74</b>	<b>0,93</b> (0,46) <b>50,63</b>	<b>4,46</b> (2,59) <b>58,14</b>	<b>0,29</b> (0,25) <b>93,11</b>
2012	<b>1,32</b> (1,01) <b>0,77</b>	<b>6,28</b> (2,86) <b>0,46</b>	<b>3,61</b> (1,99) <b>0,55</b>	<b>0,50</b> (0,18) <b>0,36</b>	<b>26,31</b> (9,64) <b>0,37</b>	<b>3,75</b> (2,09) <b>0,56</b>

\*Dados retirados de D'Arrochella (2008)

Isto pode ser evidenciado também pelo gráfico 3 que demonstra a grande diferença na camada MFB de 2012 em relação às amostras de 2006. Isto também é evidenciado na tabela 6, quando aglutinados os galhos, raízes, miscelânea e agregados à camada F.

Gráfico 3 - Médias Totais das partes componentes da serapilheira no Parque Nacional da Tijuca ( $T/Ha^{-1}$ ).



A tabela 6 apresenta as proporções entre as camadas internas da serapilheira, demonstrando que há uma decomposição bem rápida na passagem da camada L para F e um acúmulo considerável de MFB.

Tabela 6 - Comportamento médio da serapilheira ao longo do tempo. Dados em  $T/Ha^{-1}$ .

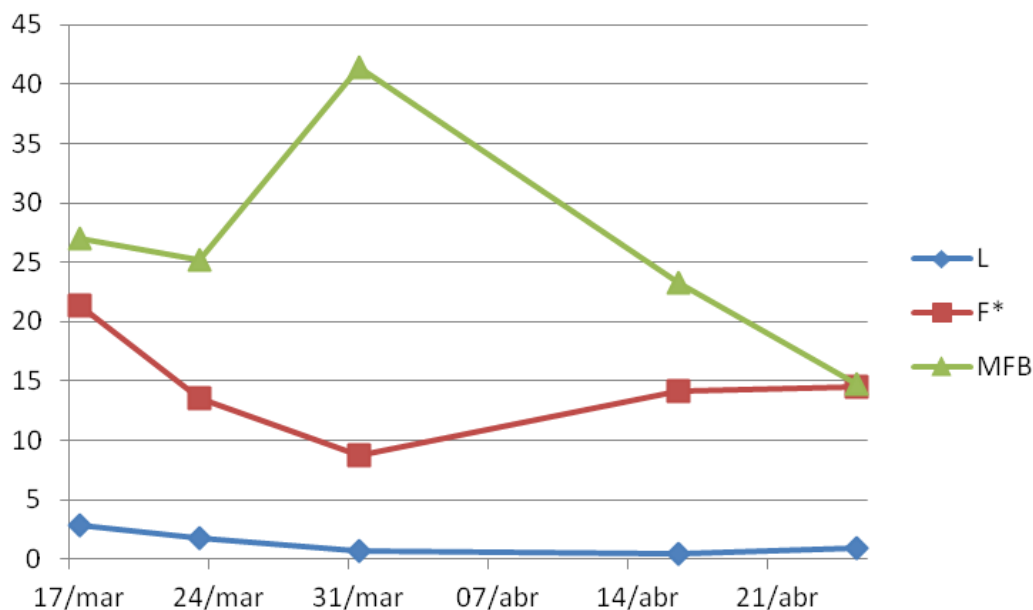
	17/mar	23/mar	31/mar	16/abr	25/abr
L	2,9	1,72	0,68	0,4	0,88
F*	21,41	13,53	8,74	14,17	14,53
MFB	26,95	25,21	41,39	23,27	14,75

\* Soma de F, Galhos, Raízes, Agregados e Miscelânea

É perceptível que mesmo quando se considera a camada F como todo o material fragmentado, o que inclui os galhos, raízes, agregados e miscelânea de material reprodutivo, o estoque da camada MFB ainda é maior.

Este padrão é perceptível também quando analisamos os resultados graficamente na gráfico 4 em que o estoque de MFB é muito maior que as outras camadas.

Gráfico 4 - Comportamento médio da serapilheira ao longo do tempo (T/Ha<sup>-1</sup>).



A tabela 7 representa a razão L/F que é um índice que representa a proporção de camada L em relação a camada F que expressa baixos estoques de camada L o que evidencia um processo rápido de desaparecimento do folheto recém caído. Outro fato interessante é que, comparando os dados médios de cada triagem, com exceção da do dia 17 de março, todos os outros mostram um padrão próximo a média geral das análises feitas por D'Arrochella (2006).

Tabela 7 - Razão L/F. Dados em T/Ha<sup>-1</sup>.

	17/mar	23/mar	31/mar	16/abril	25/abr	2006
L/F	0,27	0,26	0,16	0,11	0,12	0,12

É importante ressaltar que no Material Fino Bruto estão contidas partículas orgânicas advindas da decomposição da serapilheira e partículas minerais do horizonte pedológico A<sub>i</sub>, necessitando que fosse estimado seu percentual orgânico que pode ser chamado de Material Fino Orgânico (MFO).

Após a coleta de 6 amostras padronizadas chegou-se ao percentual da parte orgânica do MFB, que corresponde ao MFO.

Os resultados indicam que em média, o MFO corresponde a 36,4 % (tendo o desvio padrão de 1,8) do peso da camada MFB. Isto pode nos mostrar que mesmo representando menos da metade do peso de MFB.

#### 4.4 Resultados da calibração metodológica

Baseando-se na Calibração Metodológica expressa na tabela 8 podemos perceber que um evento de chuva em que foram medidos apenas 2,3 mm (dia 22/08/2011) toda a água foi absorvida pela camada MFB e quase toda pela serapilheira total e pela camada F, deixando passar para o garrafão 0,69 e 0,23 mm<sup>3</sup> (respectivamente). Este padrão se reproduziu posteriormente (26/09/2011) onde uma chuva de 2 mm<sup>3</sup> foi praticamente toda absorvida pelas camadas da serapilheira, com exceção da camada L que permitiu a passagem de 0,23 mm<sup>3</sup> para o garrafão.

Tabela 8 - Altura da chuva depositada nos garrafões após atravessamento da serapilheira.

Evento	Calibração metodológica (medidas em mm)				
	TOTAL	L	F	MFB	Vazio
12/08/2011	10,16	10,74	6,69	7,04	12,40
22/08/2011	0,69	1,61	0,23	0,00	2,30
08/09/2011	2,30	4,38	2,09	1,27	5,40
19/09/2011	30,02	32,10	29,10	27,48	31,20
26/09/2011	0	0,23	0	0	2
03/10/2011	18,24	21,01	19,4	16,93	19,5
Média	12,28	13,97	11,50	10,54	14,16

Estes resultados corroboram com Golley et al. (1978) que em seus estudos com a serapilheira de uma floresta tropical no Panamá concluiu que a serapilheira retinha toda a água proveniente da chuva quando esta era inferior a 5 mm. Nos eventos chuvosos registrados nas coletas dos dias 19/09 e 03/10 podemos observar que apesar de seguir o mesmo padrão, com o aumento da altura das chuvas, houve uma retenção proporcionalmente menor de água. Acreditamos que isso se deva ao fato de que a serapilheira pode atingir tal grau de saturação que suas partes integrantes deixam de servir de atrito para tornarem-se vias que potencializam a condutividade hidráulica.

#### 4.5 Resultados do experimento de campo

Analisando os dados do Experimento de campo expressos na tabela 9 podemos perceber que ora a camada MFB (ou H) retém mais água, ora a serapilheira total é que retém.

Miranda (2010) encontrou declividades médias para esta encosta na ordem de 22,16° (esquema 4) e a estruturação da serapilheira manteve-se praticamente constante ao longo de um segmento de 100m de encosta, este estudo indicou também uma concentração moderada de argila na camada MFB.

Tabela 9 - Altura da chuva depositada nos garrafões após atravessamento da serapilheira em campo.

Evento	<b>Experimento de campo</b>				
	(medidas em mm)				
	<b>TOTAL</b>	<b>L</b>	<b>F</b>	<b>MFB</b>	<b>VAZIO</b>
17/03/2012	5,61	13,78	7,89	2,27	14,48
30/03/2012	82,26	95,77	91,19	77,29	97,00
10/04/2012	50,96	81,18	69,36	49,66	83,40
18/04/2012	10,73	24,59	19,01	13,31	26,28
07/05/2012	126,45	143,16	116,35	88,74	148,07
Média	55,20	71,70	60,76	46,25	73,85

Outro fato importante a salientar é de que a chuva medida no campo é apenas a pluviosidade efetiva definida por Miranda (1987) como aquela resultante do atravessamento dos espaços entre as copas (que retém parte da água) e efetivamente chegam ao solo. Coelho Netto et al.. (1986) e Miranda (1992) encontraram resultados de interceptação de chuvas pelas copas arbóreas na ordem de 17 % e 24 % (respectivamente) na mesma área de estudo. Analisando a média do total de eventos do experimento de campo, podemos perceber que a camada MFB é a que mais reteve água, cerca de 27,06 mm deixando livre para o garrafão 46,25 mm dos 73,85 mm captados pelos funis vazios. Este padrão também se observa na calibração metodológica (tabela 8), em que a camada MFB (ou H) retém 3,62 mm deixando livre para o garrafão 10,54 mm dos 14,16 mm<sup>3</sup> captados pelo funil vazio.

No entanto é detectado um problema nesta etapa de pesquisa, pois ao analisarmos a Tabela 3 podemos perceber que uma série de dados foram perdidos ou não registrados adequadamente. A partir daí foram pensadas 3 hipóteses para a ocorrência desse erro, sendo: i- a heterogeneidade da cobertura de copas poderia fazer com que os funis vazios não expressassem corretamente a quantidade de água do Fluxo de Atravessamento, ii- o fato de a estrutura de PVC ter ficado envergada em função do peso das amostras, poderia ter alterado o

ângulo dos funis e diminuído sua área de captação, iii- falha no acoplamento das partes componentes dos pluviômetros, podendo vazar água antes de chegar ao garrafão.

Isto levou a confecção de um novo modelo de pluviômetros que foram apresentados na fotografia 6. Para a resolução dos problemas foi aumentado o plano amostral dos pluviômetros de funil vazio, as estruturas foram fincadas individualmente no solo e as partes componentes da aparelhagem foram reforçadas.

#### 4.6 Resultados do Método Final

Tendo havido um período de mensuração maior, nem todos os dados coletados foram expostos, pois alguns foram eliminados por serem considerados como erros ou “ruídos” da análise. Isto ocorreu por que em algumas semanas de coleta de dados, houve chuvas diárias que impossibilitaram logisticamente a coleta dos mesmos, extrapolando o limite físico de armazenamento de água pelos garrafões.

Do mesmo modo, alguns dados foram perdidos por sucessivos danos ocorridos sobre os pluviômetros eletrônicos e experimentais causados pelo impacto do volume de chuva sobre eles ou pela ação do vento e até da fauna.

A tabela 10 apresenta a média das medidas dos 3 jogos de pluviômetros experimentais e dos eletrônicos, não sendo apresentados os desvios padrões pelo fato de eles terem sido menores que 5%, significando uma maior confiabilidade dos dados, já que as distorções foram eliminadas.

É perceptível que há uma diferença marcante entre o que cai de chuva na floresta a partir dos dados da coluna “média aberto” e o que chega efetivamente ao solo pelo *Fluxo de Atravessamento* a partir dos dados da coluna “vazio” (pluviômetros em que o funil não é preenchido com serapilheira).



Tabela 10 - Altura da chuva depositada nos garrafões após atravessamento da serapilheira. Percentagem da interceptação pelas copas entre parênteses e em vermelho e percentagem de interceptação por cada camada da serapilheira entre parênteses e em negrito.

Método Final	(medidas em mm)					
data	média aberto	Vazio	Total	L	F	MFB
03/06/2012	28,9	24,5 (16,6)	5,54 (77,4)	23,2 (5,4)	10,2 (58,4)	6,8 (72,3)
09/06/2012	130,1	101,2 (22,3)	90,4 (10,7)	100,4 (0,9)	95,4 (5,8)	93,5 (7,7)
24/06/2012	49,4	42,9 (13,1)	11,5 (73,2)	40,3 (6,1)	29,8 (30,1)	15,3 (64,4)
15/07/2012	80,3	69,5 (13,5)	22,7 (67,3)	68,1 (2,1)	27,3 (60,8)	25,6 (64,2)
22/07/2012	42,8	28,8 (32,8)	6,61 (77)	26,2 (9,1)	13,8 (52,1)	9,2 (68,1)
21/10/2012	72,5	60,9 (16)	49,4 (19)	58,9 (3,3)	54 (21,4)	52,6 (12,7)
07/02/2013	48,7	41,4 (15)	9,2 (77,8)	39,4 (4,9)	18,7 (54,9)	12,4 (71,1)
27/02/2013	25,3	21,7 (14,1)	3,8 (12,5)	18,7 (13,9)	10,2 (53)	6,6 (69,6)
08/03/2013	66,6	57,9 (13)	44,1 (24)	56,1 (3,2)	50,5 (12,8)	48,2 (16,8)
18/03/2013	64,3	54,01 (16)	38,7 (28,4)	52,6 (2,7)	44,4 (17,8)	41,5 (23,2)
04/04/2013	25,08	21,8 (13)	3,4 (84,5)	18,1 (17)	8,26 (62,2)	4,9 (77,6)

Outra observação importante é o fato de que há uma hierarquia entre as camadas da serapilheira no que tange a interceptação e armazenamento da água da chuva, sendo: Serapilheira Total > Camada MFB > Camada F > Camada L.

É bem perceptível que aumentando o volume de chuva, a interceptação e armazenamento da água diminui em todas as camadas como já havia sido percebido nos experimentos anteriores (calibração metodológica e experimento de campo) e estão bem nítidos nos eventos de chuva ocorridos nos dias 09/06/2012, 21/10/2012 e 18/03/2013. Isto pode confirmar a hipótese levantada anteriormente de que há um limite em que a serapilheira deixa de reter água para passar a conduzir melhor esta água, potencializando a condutividade hidráulica. Podemos supor, a partir destes dados, que nesse ambiente com suas condicionantes locais, uma pluviosidade efetiva superior a 57 mm a serapilheira já pode alcançar tal grau de molhamento que deixa de ser uma barreira à infiltração da água e passa a ser uma boa condutora.

A tabela 11 expressa a média de água depositada nos garrafões de todos os conjuntos de pluviômetros por cada camada e a percentagem de retenção desta água por cada camada da serapilheira e pelas copas arbóreas.

Podemos perceber que da média de 57, 63 mm de chuva que caíram na área de estudo durante o período de mensuração, 47, 71 chegariam efetivamente ao solo, havendo uma perda por interceptação das copas em torno de 16,8 % da chuva.

Tabela 11 - Média da Altura da chuva depositada nos garrafões após atravessamento da serapilheira. Percentagem de retenção por cada camada da serapilheira entre parênteses e em negrito.

Média geral do atravessamento da água pela serapilheira			(medidas em mm)		
Aberto	Vazio	Total	L	F	MFB
57,63	47,71 (16,8)	25,96 (50,1)	45,66 (6,2)	32,96 (39)	28,8 (49,7)

Considerando que 47,71 mm de água chegam ao solo pelo *Fluxo de Atravessamento* tornando-se pluviosidade efetiva, 50,1 % desta água fica retida na serapilheira (podendo infiltrar lentamente no solo e parte evaporar).

Cada camada separada reteve em média quantidades diferentes de água seguindo a hierarquia em que MFB retém mais água (49,7 %), camada F (39 %) e a camada L com a menor retenção (6,2 %). Neste caso a soma das percentagens não é 100% pois não há a intenção de partir do princípio de que necessariamente o que caiu nos pluviômetros com a serapilheira total seja o que caiu em cada pluviômetro com as distintas camadas. Esta percentagem usa como referência a quantidade de água da pluviosidade efetiva.

É interessante perceber que, se 50,1% da pluviosidade efetiva fica retida na serapilheira total e 49,7% da água fica retida na camada MFB, podemos supor que, sendo esta última a interface entre a serapilheira e o solo propriamente dito, menos de 1% da água é perdida por evaporação na passagem pelas camadas L e F. Isto fica bem perceptível ao observar os gráficos 5 e 6.

O gráfico 5 apresenta a representação gráfica da média da altura da chuva expressa na tabela 11, sendo perceptível a diferença entre a chuva incidente e a pluviosidade efetiva na comparação entre as medidas dos pluviômetros instalados nos ambientes abertos e os instalados dentro da floresta.

Gráfico 5 - Média da altura da chuva medida por cada pluviômetro (mm).

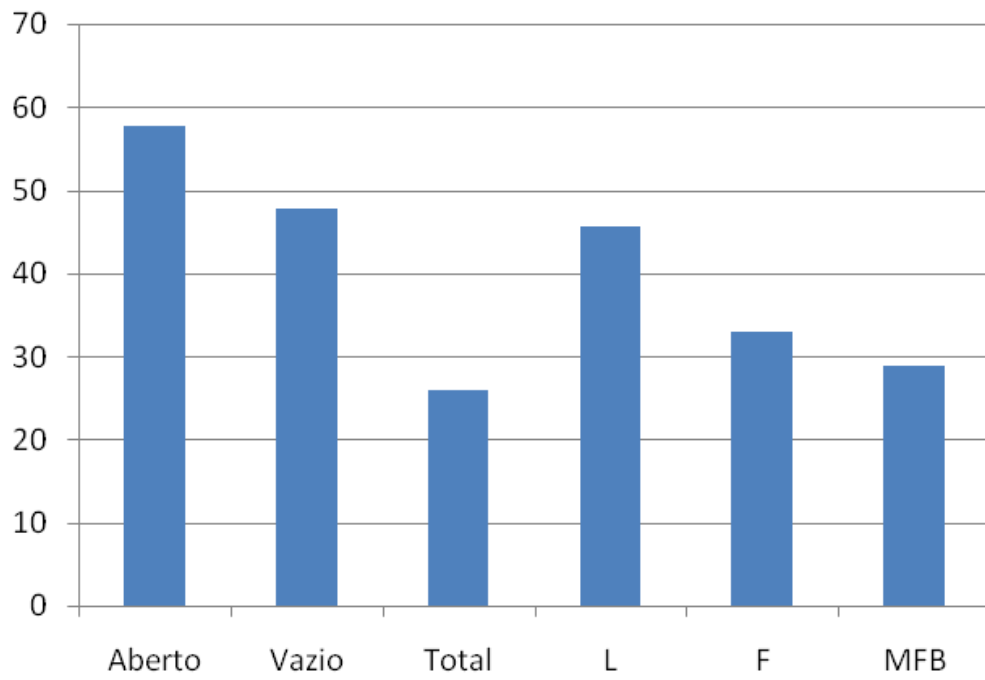
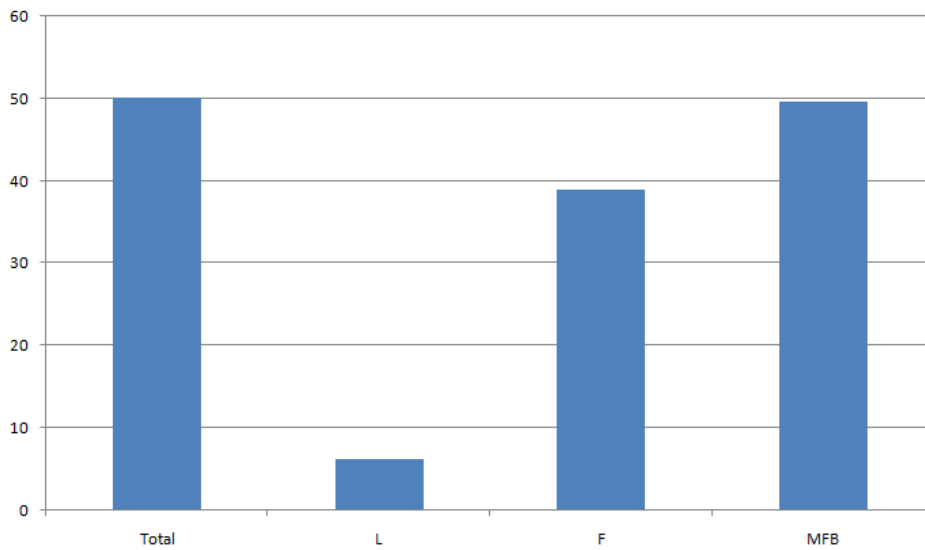


Gráfico 6 - Percentagem média da retenção hídrica por cada camada da serapilheira (mm).



#### 4.7 Cruzamento de Dados

As tabelas 8, 9 e 10 expressam os dados obtidos durante a calibração metodológica, no experimento de campo e no método final em que podemos perceber que é nítido um padrão de retenção hídrica, onde a serapilheira total e a camada MFB são as que deixam passar ao garrafão menor quantidade de água (portanto, retém mais água), bem como a camada L é a que mais deixa passar. Isto possivelmente ocorre pelo fato de a camada L possuir volume e peso inferior além de menor superfície de exposição (como é possível perceber a partir dos dados expressos nas tabelas 3 e 6). Em ambiente tropical, onde o processo de decomposição da matéria orgânica é em maioria muito rápido (D'ARROCHELLA, 2008; D'ARROCHELLA *et al*, 2008; PEREIRA, 2005; KINDEL, 2001; KINDEL e GARAY, 1999; KLINKA, 1998) a camada L possui menor expressão no conjunto da serapilheira. O padrão é inversamente proporcional em se tratando da camada MFB cujo peso é maior e há maior superfície de exposição. Outro fato preponderante é de que parte desta matéria orgânica encontra-se em forma coloidal podendo se ligar às argilas presentes no primeiro horizonte pedológico (GARAY e SILVA, 1995).

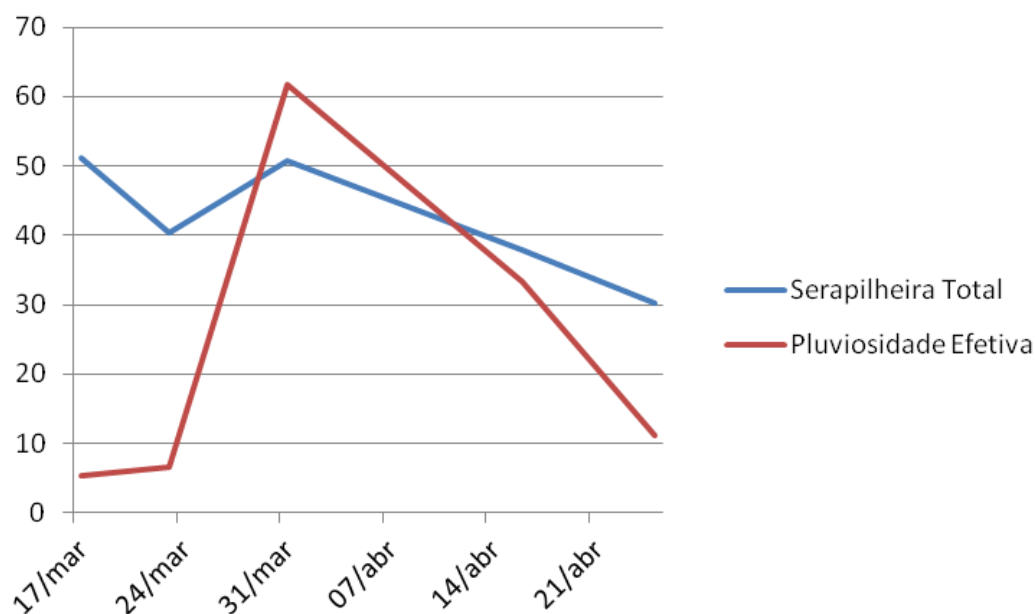
A tabela 12 e o gráfico 7 trazem uma comparação entre os dados de serapilheira total (a partir do somatório das médias de todas as suas partes componentes) que demonstram uma possível correlação entre a quantidade de chuva e o estoque de serapilheira resultante. Como as amostras foram coletadas após cada evento chuvoso para serem acondicionadas nos pluviômetros para mensurar os eventos diretamente posteriores, podem expressar alguma o efeito mecânico da chuva sobre as copas arrancando folheto.

Nestes dados são apresentadas apenas 5 semanas de teste, pois com a aplicação do método final, as amostras passaram a não ser mais pesadas durante a triagem, restando apenas a análise baseada no experimento de campo.

Tabela 12 - Comparação entre Serapilheira Total e Pluviosidade Efetiva. Serapilheira em  $T/Ha^{-1}$  e Pluviosidade em mm.

	17/mar	23/mar	31/mar	16/abr	25/abr
Serapilheira Total	51,21	40,46	50,81	37,84	30,16
Pluviosidade Efetiva	5,35	6,63	61,71	33,4	11,22

Gráfico 7 - Relação Pluviosidade Efetiva (mm)/Estoque total de Serapilheira (T/Ha<sup>-1</sup>).



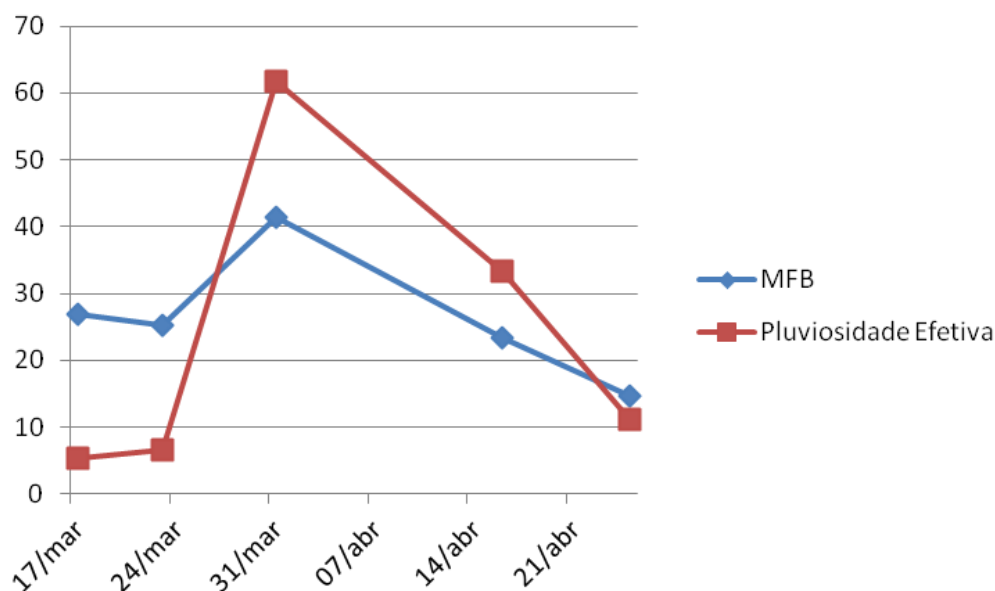
Neste caso, Ficou evidente que, com o aumento da chuva há maior estoque de serapilheira. Sabendo que esta floresta é ombrófila e esta é uma medida pontual a 6 eventos, não é possível dizer que ao chover mais, maior liberação de folhido ocorrerá. Este maior estoque provavelmente se dá pela ação mecânica da chuva e dos ventos arrancando o folhido das copas arbóreas.

Foram comparados também os estoques de MFB em relação à chuva, expressos na Tabela 13 e gráfico 8, em que percebe-se o mesmo padrão observado na comparação entre o estoque total e a chuva. Isto pode demonstrar também que não há uma relação imediata perceptível da força mecânica da chuva sobre a serapilheira que chegue a promover uma maior fragmentação da camada F a ponto de influenciar no estoque de MFB no recorte temporal observado.

Tabela 13 - Comparação entre MFB e Pluviosidade Efetiva. Serapilheira em T/Ha<sup>-1</sup> e Pluviosidade em mm.

	17/mar	23/mar	31/mar	16/abr	25/abr
MFB	26,95	25,21	41,39	23,27	14,75
Pluviosidade Efetiva	5,35	6,63	61,71	33,4	11,22

Gráfico 8 - Relação entre Pluviosidade (mm) e Material Fino Bruto (T/Ha<sup>-1</sup>).



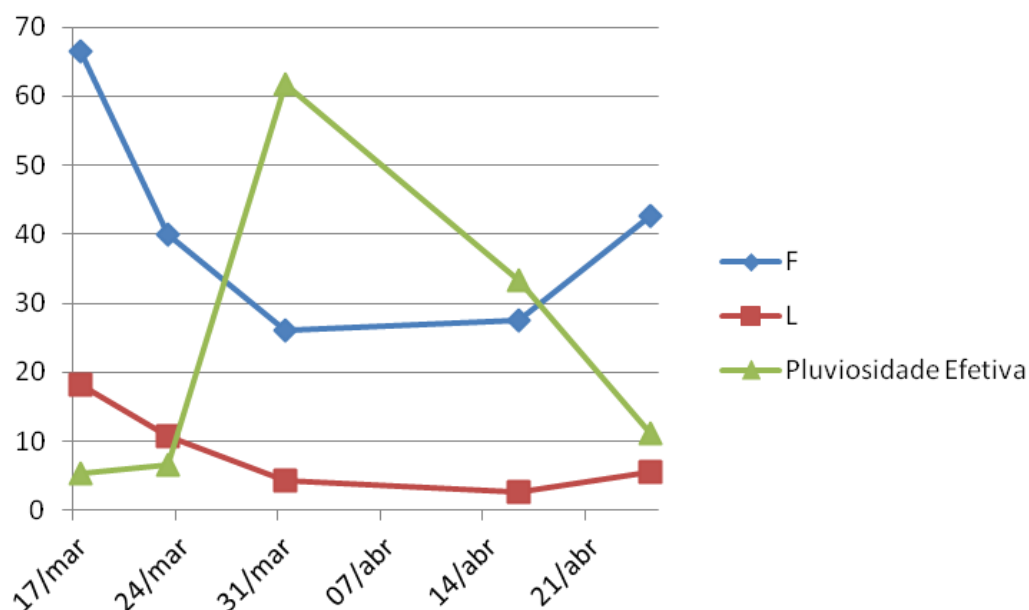
É interessante perceber que os dados expressos na Tabela 14 e no gráfico 9 que indicam uma correlação bem direta nos estoques de camada L e F, sendo ambos proporcionais inversamente a pluviosidade efetiva. Desse modo a influência da chuva é maior sobre o MFB, que por ter uma presença maior na serapilheira do Morro do Archer, acabou por influenciar os dados da serapilheira total. As camadas L e F tiveram estoque diminuídos com o aumento da chuva. Isto é um fenômeno presumível, já que o lançamento de folhas ao solo pela vegetação está na maioria das vezes associado ao déficit hídrico.

Assim, ao aumentar a altura da chuva, sua energia mecânica forçaria a quebra de mais camada F, aumentando a camada MFB.

Tabela 14 - Comparação entre L, F e Pluviosidade Efetiva. Serapilheira em T/Ha<sup>-1</sup> e Pluviosidade em mm.

	17/mar	23/mar	31/mar	16/abr	25/abr
F	66,6	39,92	26	27,57	42,7
L	18,1	10,76	4,22	2,53	5,48
Pluviosidade Efetiva	5,35	6,63	61,71	33,4	11,22

Gráfico 9 - Relação entre Pluviosidade (mm) e as camadas L e F (T/Ha<sup>-1</sup>).



Ao comparar os resultados do método final com a metodologia proposta por Blow (1955), podemos perceber de imediato que esta última, na realidade não expressa a retenção hídrica da serapilheira, mas sim seu potencial de molhamento a partir do quanto se é adicionado de peso a serapilheira seca.

Neste caso seria preciso que na natureza esta serapilheira fosse efetivamente toda encharcada durante um evento chuvoso para que todos os seus componentes estejam efetivamente molhados. Por isso é aconselhável que se utilize este método apenas para inferir o potencial das partes componentes da serapilheira em reter água.

Isto incide justamente pela ocorrência de camadas internas da serapilheira que são ignoradas nesse método, que fica nítido na tabela 11 de que há uma diferença substancial entre o quanto cada camada retém de água, e além do mais, a camada MFB é a que reteve mais água da chuva e é justamente a camada eliminada no método sugerido por Blow (1955).

Neste caso o potencial de molhamento da serapilheira local excluindo-se a camada MFB é expresso na tabela 15, em que é apresentada também sua média de potencial de retenção hídrica na serapilheira.

Seu potencial de molhamento é em média varia de 56 a 153,9 %, demonstrando que apresenta alta variabilidade e apresentando uma adição de peso na média de 100% que não corrobora com os estudos preliminares de Coelho Netto (2007; 1987; 1984) que poderia variar de 130 a 330 %.

Tabela 15 - Potencial de molhamento da serapilheira (peso em g) pelo método Blow (1955).

Amostra	Seco	molhado	Diferença	% molhamento
1	64,0	112,0	48	75
2	76,6	179,2	102,6	139,9
3	50,9	128,8	77,9	153
4	84,8	149,6	64,8	76,4
5	85,6	132,1	46,5	56
Média de potencial de molhamento (%)				100,06

Estudos atuais executados por Miranda (2013) na mesma área de estudo mostram que a posição e inclinação na encosta podem promover variações significativas nesses resultados, em que áreas de fundo de vale mais planas serão as que vão reter mais água do que em médias e altas encostas. No entanto, utilizando-se o método final, em que a serapilheira é posta no pluviômetro, a diferença topográfica é isolada, não interferindo nos resultados.

#### 4.8 Resultados das Análises Químicas

Para esta etapa de análise os resultados foram analisados individualmente por nutriente para cada pluviômetro experimental apresentado na no tópico “Método Final”, afim de conferir nuances entre cada amostra e posteriormente trabalhados sob médias para inferir sobre a área de estudos.

Os dados da análise de pH não apresentaram diferenças substanciais entre as amostras, não sendo possível inferir sobre qualquer comportamento diferenciado da água da chuva tanto no que tange a lixiviação das copas arbóreas quanto cada camada da serapilheira como pode ser observado na tabela 16, em que todas amostras tem um pH neutro.

Tabela 16 - Estimativa do pH para cada pluviômetro.

pH da água contida em cada garrafão (estimadas a 28C)				
vazio	total	L	F	MFB
6,94	6,78	6,85	6,72	6,69



Analisando a metodologia empregada, os índices dos elementos e suas trações estavam em geral muito concentradas em absoluto e em ambos os casos extrapolando o índice de absorvância. Como o método do GFAAS possui maior sensibilidade que o FAAS, geralmente dilui-se a amostra ou trabalha-se com porções amostrais já muito diluídas, sendo possível com o GFAAS identificarmos ultra-traços dos elementos metálicos, enquanto com o FAAS apenas identificaríamos os traços.

A interferência da radiação da própria chama deve ser corrigida com lâmpadas de deutério. Também podemos contar com a questão da formação de óxidos. Se tivermos uma chama de acetileno de alta pureza, alguns metais formariam óxido refratário como é o caso do AL por exemplo, desta forma havendo-se necessidade de mudar o gás ou usar o tubo em chama.

Os dados gerais são apresentados na tabela 17 em que a unidade de medida é a frequência de radiação (nm) que expressa medida de luz absorvida ou emitida por uma espécie química.

Tabela 17 - Frequência de radiação (nm) de cada amostra de água retirada dos garrafões. Na coluna de amostras as letras iniciais A, B e C indicam o pluviômetro no qual a amostra foi coletada, seguidas das letras V (Pluviômetro sem serapilheira – Vazio), T ( serapilheira Total), L (camada L), F (camada F) e MFB (camada MFB).

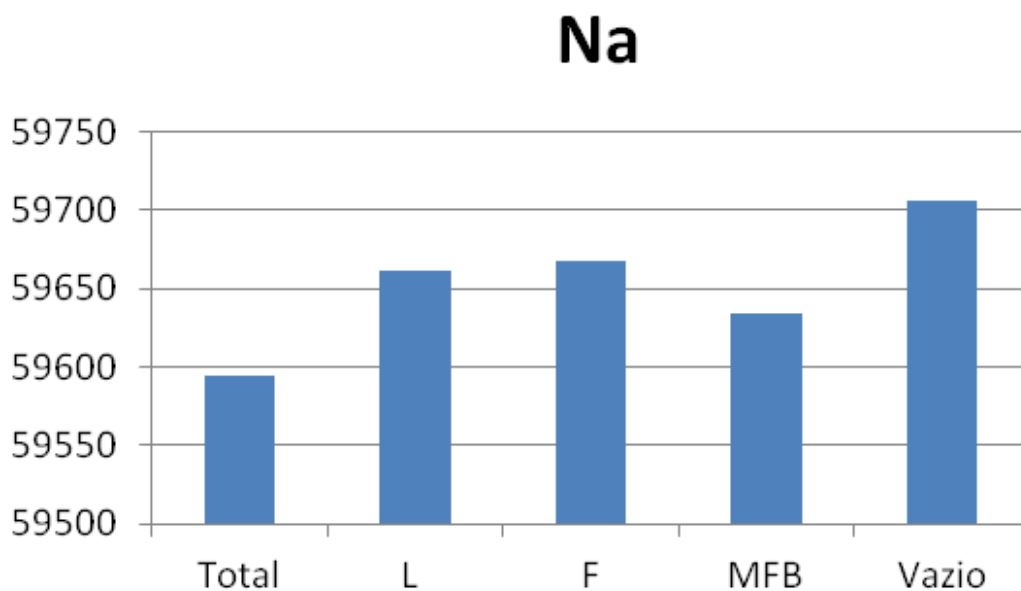
Amostra	Na	K	Ca	Mg
AV	59681	39861	0,0233	0,3713
AT	59552	55231	0,0532	0,5772
AL	59611	59856	0,0434	0,6321
AF	59659	57639	0,0568	0,6094
AMFB	59634	38029	0,0509	0,4467
BV	59712	24369	0,0298	0,2575
BT	59664	59795	0,0463	0,6484
BL	59708	56440	0,0439	0,4646
BF	59677	47958	0,06	0,4759
BMFB	59746	31510	0,0395	0,314
CV	59726	53458	0,021	0,2979
CT	59596	59805	0,1345	13.014
CL	59665	59848	0,0327	0,9136
CMFB	59549	59819	0,0803	0,9245

É importante salientar que no momento da retirada das amostras o pluviômetro da camada F do conjunto de pluviômetros C havia se danificado tendo o garrafão se soltado e rolando pela encosta, perdendo a amostra.

Este tipo de análise foi feita via repetições em laboratório, não sendo necessário a coleta de água em outras ocasiões, além do fato deste tipo de análise ser bastante custosa pelos reagentes químicos utilizados e pela mão-de-obra necessária.

Como a frequência de radiação encontrada para cada elemento químico segue um padrão diferenciado de comportamento, não é possível criar gráficos que os comparem. Do mesmo modo, como a intenção é entender como a serapilheira em suas diferentes camadas internas liberam diferencialmente cada nutriente no ambiente microclimático na área demarcada, não foram feitas análises das diferenças entre cada conjunto de pluviômetros e sim a análise da média entre eles.

Gráfico 10 - Média de comprimento de onda do Sódio (nm).

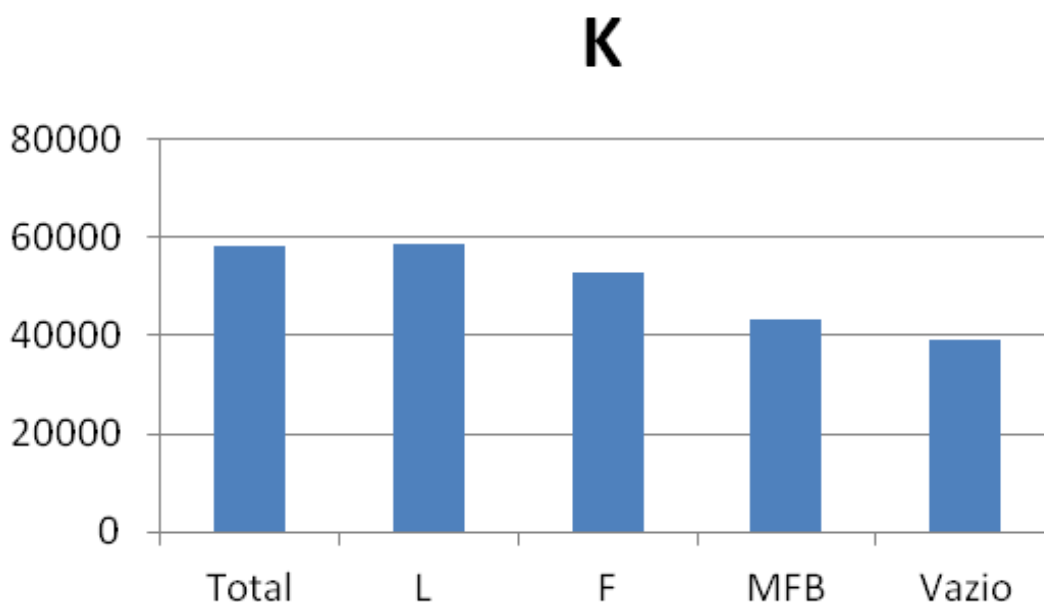


No gráfico 10 é perceptível maior quantidade de Sódio no pluviômetro vazio, o que seria anormal em ambiente aberto, no entanto, a água da chuva faz a lavagem (lixiviação) das folhas e ramos durante o atravessamento da copa das árvores além desta ser uma área urbana que pode conter este elemento na atmosfera. Silva Filho (1985) encontrou dados semelhantes e enfatiza que há nesta proporção uma adição de  $Na > K > Mg$  à água da chuva quando ela lixívia a copa das árvores. O mesmo autor enfatiza que boa parte da presença do sódio nas chuvas que caem na Floresta da Tijuca se dá pela proximidade com o mar e como não foram

coletadas amostras de água de chuva para análise química em ambiente aberto, é temeroso afirmar com estas amostras que são as copas que efetivamente adicionam este elemento à amostra.

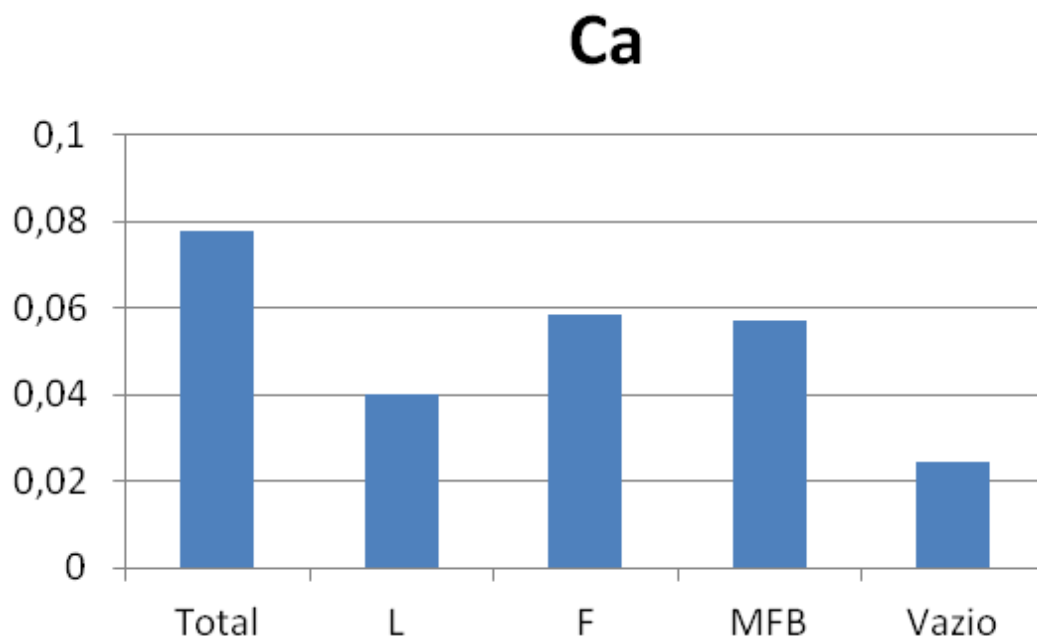
Analisando o gráfico 11 em que se expressa a presença do potássio em cada amostra, é perceptível que o quanto mais fragmentado o material se apresenta, menor liberação ocorre, indicando que a fauna decompositora mais consome K do que libera. Isto é perceptível também pois o vazio é o menor resultado.

Gráfico 11 - Média do comprimento de onda do Potássio (nm).



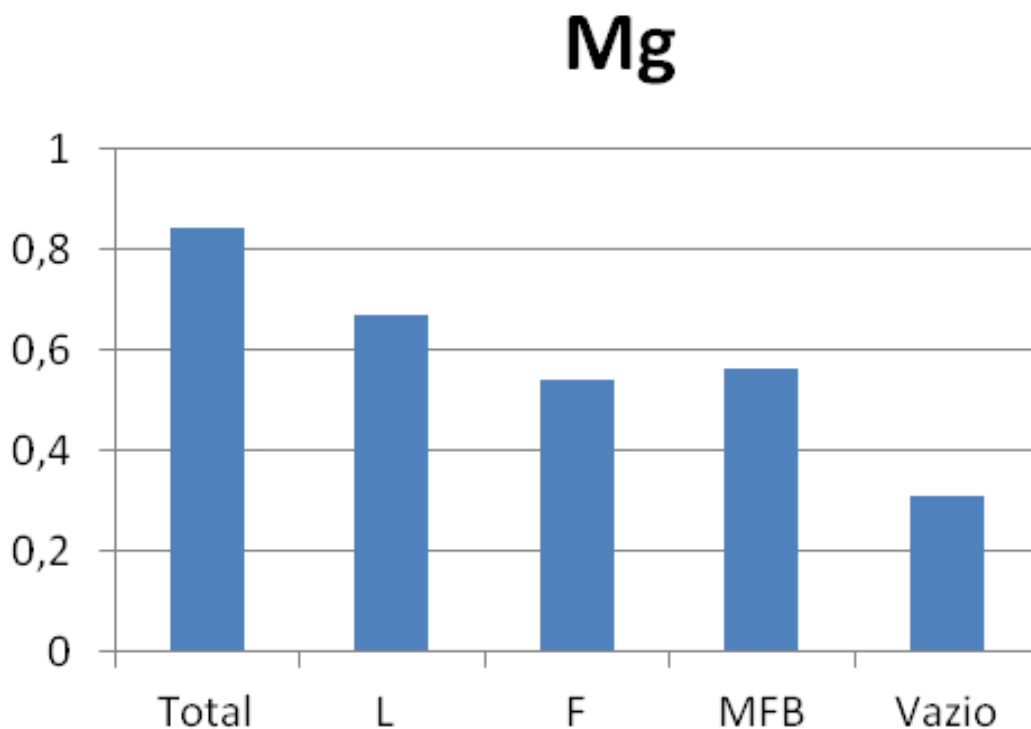
O Cálcio (gráfico 12) mostra-se quase que proporcionalmente inverso, pois a Serapilheita Total, a as camadas F e MFB são as que possuem maior liberação deste elemento pois são mais fragmentados evidenciando o papel da fauna decompositora nesse processo. A camada L composta de folhas inteiras e o vazio resultante da lixiviação das folhas ainda nas copas são os que apresentam menores valores, sendo o vazio ainda menor pois a folha não passou pela senescência.

Gráfico 12 - Média do comprimento de onda do Cálcio (nm).



Os dados do gráfico 13 demonstram que o magnésio apresenta padrão de liberação semelhante ao Potássio, no entanto demonstra que em certo estágio de fragmentação do material outros processos bioquímicos podem estar influenciando além da própria fragmentação como a fermentação e o catabolismo, pois os resultados do MFB são semelhantes ao da camada F.

Gráfico 13 - Média do comprimento de onda do Magnésio (nm).



#### 4.9 Análise crítica sobre a operacionalização da pesquisa

Ficou bem explícito que esta pesquisa passou por etapas de experimentação que foram sendo construídas ao longo de seu desenvolvimento. Desse modo há que se refletir sobre quão crítica deve ser nossa visão sobre a metodologia empregada para cada etapa da pesquisa.

Marques (2002) enfatizava que o erro é algo presente e impossível de se desconsiderar quando se executa uma análise em Geografia Física, e que sua identificação é primordial para a definição de métodos e instrumentais a serem usadas, as possíveis correções ao longo da pesquisa e para a definição de novos protocolos em pesquisas posteriores.

Esta ideia é presente em Popper (2000) que introduz o princípio científico da falseabilidade, em que temos sempre que considerar que nossa teoria pode ser falsa, pela impossibilidade que o homem tem de compreender a si mesmo e ao que é diferente de si. Nesse caso, enfatiza que o que nos resta a fazer é projetar nossa interpretação sobre fenômenos observados ou mesmo intuída e jogá-los em um universo lógico.

Assim, a consideração do princípio da falseabilidade, inclui a presença da inexatidão, do ruído, da distorção, ou seja, do erro. O método final derivou-se desta observação a partir de problemas detectados no experimento de campo, e sua correção, decorreu justamente da reflexão sobre quê variáveis não observadas ou não percebidas poderiam estar influenciando nos erros encontrados. Há que se deixar claro que o erro só existe à luz de uma lei física, pois em nível puramente interpretativo, como no caso das ciências idiográficas (GOMES, 2010), não há bases e tudo é novo, todo fato é único.

Seguindo a ideia de único, é possível chegar ao conceito de particular, em que o mesmo autor identifica como local, mas não único que se refere à “diferente de tudo”. O local é possível de ser encaixado em um sistema e em um todo organizado, sendo este elemento ou fenômeno particular apenas mais uma parte componente do sistema, podendo ser também uma parte componente que tem uma maior importância para o funcionamento do todo, ou uma resultante do todo (CHRISTOFOLETTI, 1999), que chamamos de indicador.

A pesquisa executada em uma área particular do Parque Nacional da Tijuca foi feita de modo que, nesta área houvesse variáveis que expressassem a heterogeneidade da Mata Atlântica local. É então que o conceito de escala aplica-se perfeitamente a Teoria Geral dos Sistemas (BETARLANFFY, 1979), sendo uma controladora da definição dos limites dos sistemas, já que, são resultantes de nossa interpretação. Todo sistema é a princípio, um sub-

sistema ou uma parte componente de um sistema maior que pode variar do microcosmo atômico até às galáxias. Neste caso, o que definirá nosso sistema é a escala adotada.

Quando Castro (2010) enfatiza que a escala é a estratégia para apreensão dos fenômenos que queremos observar, fica nítida a intencionalidade como definidora dos sistemas. Esta intencionalidade de fato, acaba necessitando justamente da identificação dos erros.

Se a escala local do microclima é identificável como particular, percebemos que ainda assim, pode expressar o todo. Utilizando-se dos indicadores funcionais globais em conjunto com os elementos e fenômenos particulares do microclima foi possível compreender que mesmo derivando de elementos apenas presentes na reduzida área pela presença de variáveis só ali encontradas, estas se relacionam com outros sub-sistemas (ou sistemas dependendo da definição da escala) gerando uma possível reação em cadeia (CHRISTOFOLETTI, 2010) que irá influenciar nos resultados de escalas globais.

Desse modo, a pesquisa em escala local serve a uma dissecação desses fenômenos na sua gênese, servindo a um refinamento de seu entendimento.

## **7 CONCLUSÕES**

Acredita-se que seja apropriado concluir esta pesquisa a partir de uma reflexão à luz de seu desenvolvimento metodológico, no que tange tanto a evolução das técnicas e instrumentais utilizados quanto ao pensamento racional que às deu base. Desse modo, apresenta-se a conclusão de cada resultado em conjunto com a etapa da pesquisa em que foram adquiridos.

O conjunto de pluviômetros experimentais desenvolvidos para atender às necessidades conceituais mostrou-se eficiente a partir do momento em que se distribuiu de maneira a refletir uma unidade de área e não apenas uma aparelhagem linear com resultados individuais. Permitiu que se analisasse a capacidade de retenção hídrica do estoque de matéria orgânica de superfície (serapilheira) sob a perspectiva das “formas de húmus”, mostrando-se mais eficiente para tal análise do que o método desenvolvido por Blow (1955), já que se tornou possível entender como cada camada interna da serapilheira retém diferencialmente a água. Além do mais, os garrafões acoplados aos funis contendo a água que lixiviou a serapilheira permitiram sua análise nutricional.

O período de calibração metodológica possibilitou levantar a hipótese de que a partir de dado volume de chuva a serapilheira deixa de reter para conduzir a água, o que foi confirmado nas etapas posteriores, além de ficar bem claro que havia diferenças na retenção desta água entre as camadas. Foi percebido também que em uma chuva inferior a 5 mm toda a água é retida pela serapilheira da área de estudo, confirmando dados de pesquisas anteriores.

Na fase de experimento de campo ficou evidente que a camada MFB (ou H) é a que retém mais água na serapilheira, mas no que tange a eficiência do instrumental, percebeu-se que os pluviômetros dispostos em uma haste fixa e linear poderiam receber água da chuva de maneira diferenciada por conta da heterogeneidade das copas arbóreas, percebendo-se a necessidade de deixá-los em suportes individuais em que o ângulo de 90° sobre o solo não iria se alterar e de aumentar o número de pluviômetros que mediriam o *Fluxo de Atravessamento*.

O método final, como aperfeiçoamento do experimento de campo, permitiu a correção dos problemas detectados, inferindo que cerca de 16,8% da água da chuva é perdida por interceptação de copas e que há uma hierarquia entre as camadas internas da serapilheira no que se refere a quantidade de água retida, sendo: Serapilheira Total > Camada MFB > Camada F > Camada L.

Como a serapilheira passou a ser coletada na área de estudo a partir de um modelo pré definido de coleta, foi possível analisá-la hidricamente sem que se perdessem as proporções entre as camadas, que reflete a ação dos agentes decompositores que cumprem a etapa de reciclar os nutrientes na cadeia alimentar. Isto denotou um processo local de fragmentação rápida da matéria orgânica, conferindo grande estoque de material fino altamente fragmentado, que reflete uma ação mais débil dos agentes decompositores na fase de mineralização. Este grande estoque de material fino é o principal responsável pela retenção hídrica na serapilheira, mas ficou nítido que essa água não se perde por evaporação e sim, estará livre para uma lenta infiltração.

As camadas internas da serapilheira liberam nutrientes por lixiviação de maneira diferenciada, mas sabendo-se que estão dispostas em conjunto é possível que haja interações químicas que não foram possíveis de detectar. Ficou evidente que a chuva ao chegar a serapilheira já vem com grande conteúdo de sódio (seja pelas condições da atmosfera ou pela lixiviação das copas). Quanto mais a matéria orgânica é fragmentada, maior é a liberação de potássio e de magnésio, já o material menos fragmentado libera uma maior proporção de cálcio.

Nesse sentido, haverá uma nutrição e uma adição de água ao solo diferenciada para cada área. Em áreas que se apresentam com um estoque de matéria orgânica de superfície semelhante ao encontrado na área de estudo, podem apresentar uma alta retenção de água da chuva, com posterior infiltração eficiente e com grande liberação de potássio e magnésio.

Não ficou perceptível nenhuma nítida influência direta na altura da chuva sobre os estoques totais de serapilheira e nem sobre o processo de decomposição com a metodologia aplicada (técnica, aparelhagem, protocolo de coleta de dados e plano amostral), o que abre a necessidade de um monitoramento dessa natureza, junto ao outras variáveis do microclima florestal.

Este estudo em área reduzida permitiu também entender como o conceito de escala é importante para os estudos de Geografia Física, tanto na definição de métodos de coleta de dados e análises, bem como no entendimento de como elementos particulares podem exercer funções importantes em um sistema.



## REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, R., FUENTES, E., GADGIL, M., LOVEJOY, T., MOONEY, H., OJIMA, D.F. Biodiversity from Communities to Ecosystems. In: SOLBRIG, O.T. (Ed.). **From Genes to Ecosystems: a research agenda for biodiversity: report of a IUBS-SCOPE-UNESCO workshop**. Cambridge, Massachusetts, p. 73-82, 1981.
- ADL, S.M. **The Ecology of Soil Decomposition**. [S. l.]: CABI Publishing, 2003. 335p
- ATTIWILL, P.M. e ADAMS, M.A. Nutrient cycling in forests. **New phytology**, v. 124, p. 561-582, 1993.
- BACCAN, N.; ANDRADE, J. C.; GODINHO, O. E. S.; BARONE, J. S. **Química Analítica Quantitativa Elementar**. 2. ed.; Campinas: Edgard Blücher, 1985.
- BACKES, A. Precipitação pluviométrica e concentração de nutrientes minerais na água de chuva na região da Floresta Nacional de São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas Botânica**, São Leopoldo n. 58, p. 331-346, 2007.
- BASILE, R. O. N. C. **Estrutura da Floresta Atlântica de encostas e arquitetura de raízes arbóreas - Maciço da Tijuca (RJ)**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro., Rio de Janeiro, 2004.
- BETARFANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Editora Vozes, 1979.
- BLOW, F.E. Quantity and hidrologic characteristics of litter under upland oak forests in Eastern Tennessee. **Journal of Forestry**, 53:190-195. 1995.
- BOERGUER, M. R. T. e WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no sul do Brasil. **Revista Brasil. Bot.** V.26, n.1, p.61-72. 2003.
- BOERGUER, M. R. T.; WISNIEWSKI, C. e REISSMANN, C. B. Nutrientes foliares de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa no sul do Brasil. **Acta bot. bras.** v. 19, n. 1, p. 167-181. 2005.
- BOTELHO, R. G. M. e SILVA, A. S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (Org.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 2010.
- BUTCHER, D. J. e SNEDDON, J. **A practical guide to GFAAS**. New York: John Wiley e Sons, 1998.
- CARLISLE, A.; BROWN, A.H.F. e WHITE, E.J. The organic matter and nutrient elements in the precipitation beneath a sessile oak (*Quercus petraea*) canopy. **Ecology**, v. 54, p. 87-98, 1966.

CASTRO, I. E. O Problema da Escala. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. A. (Org.) **Geografia: conceitos e temas**. 8. ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 2006.

CASTRO JUNIOR, E. Estudo Funcional de Fragmentos Florestais de Mata Atlântica. In: BICALHO, A. M. S. M. e GOMES, P. C. C. (Org.) **Questões Metodológicas e Novas Temáticas na Pesquisa Geográfica**. Rio de Janeiro: Publit, 2009.

CASTRO JUNIOR, E. **O Papel da Fauna Endopedonica na Estruturação Física do Solo e Implicações sobre a Hidrologia de Superfície nas Encostas Montanhosas da Floresta da Tijuca – RJ**. 1991. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1991.

CASTRO JUNIOR, E. **Valor indicador da fauna de Macroartrópodes Edáficos em fragmentos primários e secundários do Ecossistema de Floresta de Tabuleiros, ES**. 2002. Rio de Janeiro: Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

CERRI, C.C., ANDREUX, F., EDUARDO, B. P. O Ciclo do Carbono no Solo. In : CARDOSO, E., TSAI, S. M., NEVES, M. C. P. **Microbiologia de Solo**. Campinas, São Paulo: SBCS. 2002. p.73-90.

CHAPIN, F. S. The mineral nutrition of wild plants. III Annu. **Rev. Ecol. Sist.** v. 11, p. 233-260. 1980.

CHIROL, A. A. **Relações solo-fauna durante sucessão florestal em cicatrizes de movimento de massa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2003.

CHIROL, A. D.; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. Reabilitação Funcional de clareiras associadas a deslizamentos em encostas íngremes sob a Floresta Atlântica- Uma abordagem Geo- Hidroecológica”. In: ENCONTRO IALE, 1., 2007, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. L. H. Sistemas dinâmicos: as abordagens da Teoria do Caos e da Geometria Fractal em Geografia. In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (Org.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 2010.

CLEVELÁRIO JUNIOR, J. **Quantificação da massa e do reservatório de nutrientes na serrapilheira da Bacia do alto rio da Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca e avaliação da sua participação na ciclagem de nutrientes**. 1988. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) Universidade Federal Fluminense. Niterói. 1988.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2007.

COELHO NETTO, A. L. A interface florestal-urbana e os desastres naturais relacionados à água no Maciço da Tijuca: desafios ao planejamento urbano numa perspectiva sócio-ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da UFRJ**, 16 (2005) 46 – 60. 2005.

COELHO NETTO, A. L. O geoecossistema da Floresta da Tijuca. In: ABREU, M. A. **Natureza e sociedade no Rio de Janeiro**. v. 21. Sec. Mun. Tur./ Cult. e Esp. do Rio de Janeiro, 1992.

COELHO NETTO, A. L. Overlandflow production in a tropical rainforest cathment: the role of the litter cover. **Catena**, v. 14, n. 3, p. 213-231, 1987.

COELHO NETTO, A. L. **Surface Hydrology and Soil Erosion in a Tropical Mountainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro**. 1985. Tese (Doutorado em Ciências), Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, 181p., 1985.

COELHO NETTO, A. L. e AVELAR, A. S. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro; Bertrand Brasil. 2002.

COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. Precipitação e Interceptação Florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 4, n. 2, p. 55-71. 1986.

COELHO NETTO, A. L.; SANTOS, A. M. M. Análise de frequência de chuvas no Maciço da Tijuca, RJ. **Revista de Hidrologia e Recursos Hídricos**, n. 2, p. 3 -18. 1979.

CRUZ, E. S. A. **Reativação erosiva e revegetação em cicatrizes erosivas de movimentos de massa: estação experimental do Pico do Papagaio/Maciço da Tijuca**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2000.

CSUROS, M. e CSUROS, C. Environmental sampling and analysis for metals. **Lewis Publishers**, Boca Raton, United State. 2002.

CUEVAS, E e MEDINA, E. Nutrient dynamics within Amazonian forests II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. **Oecologia** 76:222-235. 1988.

D'ARROCHELLA, M. L. G. **Análise do subsistema solo/serrapilheira em um trecho de Mata Atlântica sujeito aos efeitos de borda no Parque Nacional da Tijuca (RJ) utilizando os Indicadores Funcionais Globais**. 2008. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2008.

D'ARROCHELLA, M. L. G.; ARAÚJO, R. S.; MIRANDA, F. S. M.; SILVA, W. M. Análise microclimática inter e intra fragmentos florestais de Mata Atlântica na Área de Proteção Ambiental de Petrópolis. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 12., 2009, Montevidéu, **Anais...**, Montevidéu, 2009.

D'ARROCHELLA, M. L. G.; MIRANDA, F. S. M. ;ALVES, F. S.; CASTRO JUNIOR, E. Avaliação do estoque de matéria orgânica de superfície para o diagnóstico do funcionamento

do subsistema de decomposição no Parque Nacional da Tijuca – RJ. **Revista Geografia Ensino e Pesquisa**, v. 12. n 1.

D'ARROCHELLA, M. L. G.; MIRANDA, R. A. C.; CASTRO JUNIOR, E.; SILVA, T. M. Retenção hídrica em serapilheira a partir da perspectiva das formas de húmus. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMORFOLOGIA, 9., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2012.

DAJOZ, R. **Ecologia geral**. Trad. de Francisco M. Guimarães. Petrópolis: Vozes, 1978.

DELITTI, W. B. C. Estudos de ciclagem de nutrientes: instrumentos para a análise funcional de ecossistemas terrestres. In: ESTEVES, F., (Ed. ). **O ECOLOGICA BRASILIENSIS: Simpósio Sobre Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas**. Rio de Janeiro. 1995. p. 469-486.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Trad. de João Alves dos Santos. São Paulo: DIFEL, 1986.

DRUMMOND, J. A. O jardim dentro da máquina: Breve história ambiental da Floresta da Tijuca. **Estudos Históricos**, Rio de Janeiro, v. 1, n 2, 1988.

DUCHAUFOR, P. H. Ecologie de la Humification et Pedodénèse. In. PESSON, P. (Ed.) **Actualités d'écologie forestiere**. Sol, Flore et Faune. Paris. Gouthier – Villars. 1979. p. 177-200.

DUCHAUFOR, P. e TOUTAIN, F. Apport de la pédologie à l'étude des écosystèmes. **Bull. Ecol.**, 17:1-9, 1985.

EATON, J.S.; LIKENS, G.E. e BORMANN, F.H. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. **Ecology**, v. 61, p. 495-508, 1973.

EIRADO SILVA, L. G. A. do; NAVA, D. B.; HEILBRON, M. e VALERIANO, C. de M. Geologia de detalhe da Serra da Carioca, cidade do Rio de Janeiro,. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2, São Paulo, 1991. **Anais...** São Paulo, 1991.

FALLEDO, M. Raciocínio Sistêmico: uma boa forma de pensar o meio ambiente. **Ambiente e Sociedade** , v.3, n. 6/7 – 1º Sem. de 2000/2º Sem. de 2000.

FASSBENDER, H.W. Ciclos da matéria orgânica e dos nutrientes em ecossistemas florestais dos trópicos. In: CABALA-ROSAND, P. (Ed.) **Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos**. Ilhéus: CEPLAC. 1985. p.203- 230

FERNANDES, M. C.; AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. Domínios geo-hidroecológicos do Maciço da Tijuca, RJ: subsídios ao entendimento dos processos hidrológicos e erosivos. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 122-148. 2006.

FERNANDES, M. C.; LAGUÉNS, J. V. M.; COELHO NETTO, A. L. O processo de ocupação por favelas e sua relação com os eventos de deslizamentos no Maciço da Tijuca (RJ). – Rio de Janeiro: **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 22, 1999.

FIGUEIRÓ, A. S. **Mudanças ambientais na interface floresta-cidade e propagação do efeito de borda no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro: um modelo de vizinhança**. 2005. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2005.

FRANCISCO, C. N. Mapeamento das áreas de risco de deslizamentos e desmoronamentos do Parque Nacional da Tijuca (RJ) e entorno através de Sistemas Geográficos de Informação. In: SEMANA ESTADUAL DE GEOPROCESSAMENTO, 1, 1996, Rio de Janeiro, **Anais...**Rio de Janeiro, 1996.

FREITAS, L. E. **Resultante Geo-hidroecológica de queimada em encosta montanhosa florestada: Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2000.

FURCH, K. e KLINGE, H. Chemical relationships between vegetation, soil and water in contrasting inundation areas of Amazonia. **SPEC. PUBL. BR. ECOL. SOC.** p. 189-204. 1989

GAMA-RODRIGUES, A. C. e MIRANDA, R. A. C. O papel da chuva no fornecimento e reciclagem de nutrientes em um agrossistema de cacau do sul da Bahia, Brasil. **Turrialba**, v. 41, p. 598-606, 1991.

GARAY, I.; KINDEL, A.; CALLIPO, A.; BARROS, M. E. O. e JESUS, R. M. Formas de Húmus em ecossistemas de floresta costeira intertropical. I – Mata Atlântica de Tabuleiros. In: ESTEVES, F.(Ed.) **O ECOLOGICA BRASILIENSIS: SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E MANEJO DE ECOSSISTEMAS**. Rio de Janeiro. P. 1-18. 1985.

GARAY, I. e SILVA, B. A. O. Húmus florestais: síntese e diagnóstico das interrelações vegetação/solo. In: ESTEVES, F. (Ed.) **O ECOLOGICA BRASILIENSIS: SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E MANEJO DE ECOSSISTEMAS**. Rio de Janeiro. p.19-46. 1995.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia.:** o clima da camada de ar junto ao solo. Trad. de Ivone Nogueira e Francisco Caldeira Cabral. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1961.

GESPER, P.L. e HOLOWAYCHUCK, N. Effects of stemflow water on a Miami soil under a beech tree. I. Morphological and physical properties. **Soil Science Soc. A. Journal**, v. 34, p. 779-786, 1970.

GOLLEY, F. B.; MCGINNIS, J. T.; CLEMENTS, R. G.; CHILD, G. I.; DUEVER, M. J. **Ciclagem de Minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida** ; Tradução de Eurípedes Maravolta. São Paulo: EPU: Ed. Universidade de São Paulo, 1978.

GOMES, P. C. C. O conceito de região e sua discussão. In: CASTRO, I. E.; GOMES, P. C. C.; CORRÊA, R. L. A. **Geografia: conceitos e temas**. 13.ed. Rio de Janeiro. Editora Bertrand Brasil.2010.

GREEN, R. N., TROWBRIDGE, R. L., KLINKA. K. Towards a taxonomic classification of húmus form .**For. Sci. Monogr.**, v. 29, p. 1-48. 1993.

GUERRA, A. J. T. **Soil Characteristic and erosion, with particular reference to organic matter content**. 1991.Tese (Doutorado em Erosão de Solos). University of London, UL, Inglaterra. 1991.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA e CUNHA. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil.1995.

HUEK, K. **As florestas da América do Sul**. Sao Paulo: Poligono, 1972.

JACKSON, I. J. Problems of Throughfall and interception assessment under a tropical forrest. **Journal of hidrology**, v. 12, p. 234-254. 1971.

JACOBS, M. **The Tropical Rain Forest – a first encounter**. Berlim: Spriner-Verlag, 1988.

JANOS, D. P. **Tropical Micorrizas, nutrients cycles and plants growth** : Tropical Rain Forests: Ecology and Managements. (Ed. Sutton Oxford): Blackwell Scientiphics Publications, 1981.

JANSEN, R. C. **Distribuição dos sistemas radiculares em encostas florestadas e sua influência sobre infiltração**. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2001.

JORDAN, C. F. e HERRERA, F. Tropical rain forests: are nutrients really critical? **American Naturalist**, v. 117, p. 167-180, 1981.

JORDAN, C. F.; TODD, R. L. e ESCALANTE, G. Nitrogen conservation in a tropical rain forest. **Oecologia**, v. 39, p. 123 128. 1979.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 1979.

KINDEL, A. **A fragmentação Real: heterogeneidade de remanescentes florestais e valor indicador das formas de húmus**. 2001. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2001.

KINDEL, A. **Húmus florestal como diagnóstico da ação antrópica em Floresta Atlântica de Tabuleiros, Linhares – ES**. 1996. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.1996.

KINDEL, A e GARAY,I. Caracterização de Ecossistemas da Mata Atlântica de Tabuleiros por meio das formas de Humus. Seção Química II. **R. Brás. Ci. Solo**, v. 25,p. 551-563. 2001.

KINDEL, A e GARAY,I. Humus form in ecosystems of the Atlantic Forest, Brazil. **Geoderma**, v. 108, p. 101-118. 2002.

KOLM, L. **Ciclagem de Nutrientes e variações do microclima em plantações de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden manejadas através de desbastes progressivos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – ESALQ, Piracicaba, 2001.

LEMMÉ, G. Recherches sur lês ecosystemes des reserves biologiques de la Foret de Fontainebleau. **Oecol. Plant**, v. 9, n. 3, p. 187-200.1974.

LINACRE, E. Características das várias escalas do clima. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 5, p. 11-14. 1981.

LOUZADA, M. A. P.; QUINTELA, M. F. S. e PENNA, L. P. S. Estudo comparativo da produção de serrapilheira em áreas de Mata Atlântica: a floresta secundária ‘antiga’ e uma floresta secundária (capoeira). In: ESTEVES, F.(Ed.) **O ECOLOGICA BRASILIENSIS: SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E MANEJO DE ECOSSISTEMAS**. Rio de Janeiro. 1995. p. 61-74.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (Org.) **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2002.

MENDONÇA, A. S. F. **Hidrologia** Vitória: Departamento de Engenharia Ambiental, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), 2009. Apostila.

MENDONÇA, F. e DANNI-OLIVEIRA. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

METZGER, J. P. O que é Ecologia de Paisagens ?. **Revista Biota Neotropica**, Campinas, v. 1, n. 1.

MIRANDA, F. S. M. **Relações entre microtopografia e estoque de matéria orgânica de superfície em floresta hombrófila de encosta íngreme do PARNA-Tijuca, RJ**. 2010. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.

MIRANDA, F. S. M.; D’ARROCHELLA, M. L. G.; CASTRO JUNIOR, E. Relações entre Microtopografia e Estoque de Matéria Orgânica de Superfície em vertentes retilíneas no Parque Nacional da Tijuca – RJ. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., 2009, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço, 2009.

MIRANDA, F. S. M.; D’ARROCHELLA, M. L. G.; ARAÚJO, E. S.; CASTRO JUNIOR, E. A Influência da Topografia na Variabilidade Espacial do Estoque de Matéria Orgânica de Superfície no Parque Nacional da Tijuca – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa, 2009.

- MIRANDA, J. C. **O efeito da cobertura vegetal na entrada e redistribuição da chuva em uma encosta florestada, Rio de Janeiro.** 1992. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1992.
- MIRANDA, R. A. C. **Interceptação da Chuvas por Ecossistemas.** Rio de Janeiro,: Departamento de Geografia Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011. Apostila da disciplina de Bioclimatologia.
- MIRANDA, R. A. C. Partitioning of rainfall in a cocoa (*Theobroma cacao* L.) Plantation. **Hydrological Processes**, v. 8, n 351-358. 1994a.
- MIRANDA, R. A. C. Água livre sobre superfícies vegetadas: Calibração de Sensores. Revista da **Universidade Estadual de Santa Cruz. Dept. Ciências Agrárias e Ambientais**, Ilhéus 1984b.
- MIRANDA, R. A. C. Interceptação da Chuva por Cacaueiros no Sudeste da Bahia. **Revista Theobroma**, Ilhéus. v. 17, n. 4, p. 251-259. 1987.
- MIRANDA, R. A. C. Observações iniciais da perda de água por interceptação de chuva em cacauero. **Revista Theobroma**, Ilhéus, v. 15, n. 2, p. 73-78. 1985.
- MIRANDA, R. A. C. e PEREIRA, F. R. Nova tecnologia aplicada ao monitoramento da temperatura e da chuva. **Comunicação Técnica do Departamento de Geografia Física da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2009.
- MONTEZUMA, R. C. M. **Produção e reabilitação funcional do piso florestal em clareira de deslizamento: Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro.** 2005. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- NEGREIROS, A. B. **Respostas Geo-hidroecológicas em cabeceira de deslizamento numa encosta florestada: Alto rio dos Macacos, Maciço da Tijuca – RJ.** 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.
- NUNES, L. H. A escala nas Ciências Atmosféricas. **Rev. IG São Paulo**, v. 19, n. 1/2, p. 71-73, 1998.
- ODUM, E. P. **Ecologia.** Ed. Interamericana. 1985.
- ODUM, E. P. e BARRET, G. W. **Fundamentos de Ecologia.** São Paulo: Cengage Learning. 2011.
- ODUM, H. T. **Environmental Systems and Public Policies.** University of Florida Press, EUA. 1988.
- OLIVEIRA, R. R.; ZAÚ, A. S.; LIMA, D. F.; SILVA, M. B. R. e VIANA, M. C. Dinâmica ecológica de encostas no Maciço da Tijuca RJ. **Oecologia Brasiliensis**, n.1, p.523-541. 1995.
- OLIVEIRA JUNIOR, J. C. e DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.9-15, 2005



PARKER, G. G. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. **Advances in Ecological Research**, v. 13, p. 57-133, 1983.

Parque Nacional da Tijuca. Apresenta dados sobre a administração do parque. Disponível em: <<http://www.parquedatijuca.com.br>>. Acesso em: 12 mar 2013.

PEIXOTO, S.; IRVING, M.; PRATES, A. P. L.; FERREIRA, I. V. Parque Urbano da Paz: a construção de um novo conceito no Parque Nacional da Tijuca. **Revista Desenvolvimento Econômico**, Salvador., v. 7, n. 11. 2005.

PEREIRA, F. R. e MIRANDA, R. A. C. Uma proposta de estação termo-pluviométrica empregando microcontroladores de última geração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...Foz do Iguaçu, 2002.**

PEREIRA, E.; MADEIRA, M.; ABREU, F. G. Concentrações e fluxos de nutrientes no gotejo e escoamento do tronco de *Fraxinus Angustifolia Vahl*. **REVISTA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**, 2008.

PEREIRA, T. F. P. D. **Uso de indicadores funcionais globais no diagnóstico geo-biofísico de casos de fragmentação da Floresta Atlântica na Bacia do Rio Macacú (RJ). 2005.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

PEREZ-MARTIN, A. M. e MENEZES, R. S. C. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 2573-2579, 2008.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia de Superfície**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgar Bluncher, 1973.

POGGIANI, F e SHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em Florestas Nativas. In: GONÇALVES, J. L. M. e BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. 6. ed. São Paulo: Editora Cultrix. 2000.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soil**. New York: John Wiley and Sons, 1987.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. Rio Claro, **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, p. 288-294. 1992.

RIBEIRO, M. O. **Levantamento populacional e manejo da espécie exótica invasora *Dracaena fragrans Ker-gawl* (angiospermae-liliaceae), em um trecho de Floresta Atlântica sob efeitos de borda no Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil.** 2006. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 3. ed.. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1996.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: Aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições. 1997.

ROSAS, R. O.; PEREIRA, J. L. G. e COELHO-NETTO, A. L. Estudo dos solos de uma pequena bacia florestada, Parque Nacional da Tijuca – RJ. In: **SIMPÓSIO. DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 3., 1992, Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro, 1992.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação do Potássio da palha de espécies de cobertura de solos de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27, p. 355-362, 2003.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo, Razão e Emoção**. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

SATO, A. M. **Respostas Geo-hidroecológicas à substituição de pastagens por plantações de eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul: a interface solo-biota-água**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2008.

SILVA FILHO, E. V. **Estudos de chuva ácida e entradas atmosféricas de Na, K, Ca, Mg e Cl na Bacia do alto rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca – RJ**. 1985. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1985.

SCHAEFER, C. E. R. Perdas de solo, nutrientes, matéria orgânica e efeitos microestruturais em Argissolo vermelho-amarelo sob chuva simulada. Ver. **Pequisa Agropecuária**, v. 37, n. 5, p. 669-678, maio de 2002.

SHUMACHER, M. V. e POGGIANI, F. Caracterização Microclimática no interior nos talhões de Eucalyptus camaldulensis Dnhh, Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus torelliana F. Muell, localizados em Anheimbí, SP. **Ci. Flor.**, Santa Maria, v.3, n.1, p. 9-20, 1993.

SKOOG, D. A; HOLLER, T. A.; NIEMAN, T. A. **Principles of Instrumental Instrumental Analysis**. 5. ed., [S. l.]: Saunders, 1998.

SORRE, M. **Les fondements de la géographie humaine**. Les fondements biologiques (Essai d'une écologie de l'homme). 3. ed. Paris: Armand Colin, 1951. v.1

SOTCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação dos geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**. São Paulo, n. 14, p. 24, 1978.

SOTCHAVA, V. B. O estudo dos geossistemas. **Métodos em Questão**. São Paulo, n. 6, 1977.

SWIFT, M. J., HEAL, O. W., ANDERSON, I. M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. **Studies in Ecology**, Los Angeles, v. 5.. 1979.

TROPPMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**. 4. ed. UNESP: Rio Claro, 1995.

TUKEY Jr.; H. B. The leaching of substances from plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 21, p. 305-324, 1970.

TYLER, G.; COSNIER, A.; LE CORRE, N. **Utilizing the far UV region in ICP for halogens and alternative wavelengths for other elements**. FACSS lecture, 1999.

VOIGT, G. K. Alteration of the composition of rain water by trees. **American Naturalist**, v. 63, p. 321-326, 1960.

WHATLEY, J. M., WHATLEY, F. R. **A luz e a vida das plantas**. São Paulo: EPU/EDUS. 103p. 1982.

YANG, J. C. e INSAN, H. Soil microbial biomass and relative contributions of bacteria and fungi in a tropical rain forest, Hainan Island, China. **Journal of Tropical Ecology** I, p. 385-393. 1991.

ZAIA, F. e GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2004.

ZAÚ, A. S. **Cobertura vegetal: transformações e resultantes microclimáticas e hidrológicas superficiais na vertente norte do Sumaré, Parque Nacional da Tijuca, RJ**. 1994. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 1994.

ZAÚ, A. S. **Composição, estrutura e efeitos de bordas lineares na comunidade arbustiva-arbórea de um remanescente urbano de Mata Atlântica no Sudeste do Brasil**. 2010. Tese (Doutorado em Botânica) - Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010.