



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

KALLIL CHAVES CASTRO

**SERAPILHEIRA E ESTOQUE DE CARBONO AO LONGO DE UM GRADIENTE
ALTITUDINAL NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA, NO PARQUE NACIONAL
DO CAPARAÓ, ES**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2014

KALLIL CHAVES CASTRO

**SERAPILHEIRA E ESTOQUE DE CARBONO AO LONGO DE UM GRADIENTE
ALTITUDINAL NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE, NO PARQUE NACIONAL
DO CAPARAÓ, ES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Recursos Florestais.

Orientador: Prof. D.Sc. Marcos Vinicius W.
Caldeira

Coorientadores: Prof. D.Sc. Henrique Machado
Dias
Prof. D.Sc. Diego Lang Burak

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Castro, Kallil Chaves Castro, 1988-

C355s Serapilheira e estoque de carbono ao longo de um gradiente altitudinal na floresta ombrófila densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES / Kallil Chaves Castro. – 2014.

99 f. : il.

Orientador: Marcos Vinicius Winckler Caldeira.

Coorientador: Henrique Machado Dias; Diego Lang Burak.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Ciclagem de nutrientes. 2. Biomassa. 3. Estoque de carbono. 4. Decomposição. 5. Fatores climáticos I. Caldeira, Marcos Vinicius Winckler. II. Dias, Henrique Machado. III. Burak, Diego Lang. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 630

SERAPILHEIRA E ESTOQUE DE CARBONO AO LONGO DE UM
GRADIENTE ALTITUDINAL NA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA, NO
PARQUE NACIONAL DO CAPARAÓ, ES

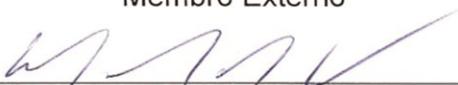
Kallil Chaves Castro

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

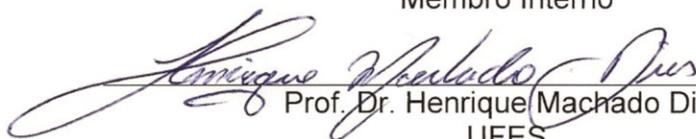
Aprovada em 10 de março de 2014.



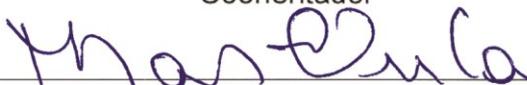
Prof. Dr. Otacilio José Passos Rangel
IFES-Campus de Alegre
Membro Externo



Prof. Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
UFES
Membro Interno



Prof. Dr. Henrique Machado Dias
UFES
Coorientador



Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira
UFES
Orientador

DEDICATÓRIA

Dedico à minha mãe Edma Chaves Castro e ao meu pai Adilson Castro Junqueira, que me deram o dom da vida, o carinho e amor necessário para que me tornasse uma pessoa de bem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por se a fonte de inspiração para tudo que eu faço e o meu refúgio nas horas de incerteza.

Agradeço a minha família pelo apoio incondicional, pelo suporte e bons conselhos, sempre nos momento de dúvida.

Agradeço a minha namorada Raquel Fernandes Zorzanelli pela paciência e companheirismo durante o período de estudos, nos campos, mas principalmente na fase final, quando fui mais insuportável.

Agradeço ao meu orientado Prof. D.Sc. Marcos Vinicius Winckler Caldeira por te me aceitado como orientado, por ter me incentivado à pesquisa, e por ter dado o suporte adequado para que este estudo fosse concretizado.

Agradeço aos meus coorientadores, os professores D.Sc. Henrique Machado Dias, e o D.Sc. Diego Lang Burak, pelos auxílios nas horas certas e comprometimento com a pesquisa.

Agradeço aos meus amigos de longa data, Carlos Eduardo, Luana e Keylla, principalmente por terem me acompanhado para longe de suas vidas normais e terem percorrido esse caminho junto comigo.

Agradeço aos novos amigos que fiz. Agradeço ao Alcides, Ana Carolina, Ana Paula, Bráulio, Brunela, Carlos Henrique (Boy), Carla, Dani, Diego, Diego (maradona), Denise, Dida Ewerthon, Fabiana (Fabi), Fagner, Felício, Fred, Huezer, João Paulo, Laís, Marcelo, Marcos, Mariana, Pedro (os mapas ficaram ótimos), Rafaela, Ronie, Sandy, Tâmara, Thárcia, Willian.

Agradeço aos funcionários do DCFM, as tias do RU e da Biblioteca, a Stella e Simone pelo cafezinho roubado de todas as tardes, ao Elessi, a Elizangela e ao Alex, que sempre se mostraram prestativos e eficientes em ajudar nas mais diferentes atividades.

Em especial gostaria de fazer um agradecimento a todos que participaram do Projeto Caparaó. Mesmo aqueles que contribuíram pouco, fizeram parte desta conquista. Agradeço ao Apeles, Carlos, Cristiane, Danilo (grilo), Davi, Davi (Davizera), Daniel, Diego (maninho kkk), Erval, Evandro, Fabio, Felipe (fifi), Geanine, Ítalo, José Renato, Julia, Karlo, Kelly, Marcos, Nauam, Nathan, Pedro (chatim), Priscila (IFES), Rafael (IFES), Raquel (Raquelzinha). Renan, Renato (Dred). Rogério, Rodrigo (Pará), Tardelli, Wianne. Aos professores: Elzimar de Oliveira Gonçalves, Fábio Demolinari, Miele Tallon Matheus (*in memoriam*), Sustanis Horn Kunz.

Não mesmo importante, dedico um agradecimento especial para quem permitiu em grande parte que o projeto fosse à frente, agradeço ao Ademar, por ser peça fundamental para que tudo isso fosse feito.

Agradeço ao Parque Nacional do Caparaó, na pessoa do Waldomiro por permitir que a pesquisa fosse realizada na área do parque, e nos auxiliando sempre que preciso.

Agradeço ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira o qual forneceu a estrutura e o local para a elaboração da pesquisa, ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais pela oportunidade de realização do Mestrado, e a FAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos vocês, muito obrigado!

*O óbvio é aquilo que ninguém enxerga,
até que alguém o expresse com simplicidade.*

“Khalil Gibran”

RESUMO

CASTRO, Kallil Chaves. Serapilheira e estoque de carbono ao longo de um gradiente altitudinal na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. D.Sc. Marcos Vinicius Winckler Caldeira. Coorientadores: Prof. D.Sc. Henrique Machado Dias, Prof. D.Sc. Diego Lang Burak.

Este estudo teve por objetivos caracterizar a fertilidade do solo, aporte, acúmulo e índice de decomposição da serapilheira, no Parque Nacional do Caparaó. Os estudos de fertilidade do solo e de serapilheira foram efetuados em sete parcelas (20x50 m), distribuídas ao longo de um gradiente altitudinal. Amostragem de solo para a caracterização química foi realizada em quatro profundidades (0-05, 05-10, 10-20 e 20-40 cm) e a quantificação do estoque de carbono foi realizada na camada 0-10 cm. Foi retirada uma amostra composta de solo por profundidade e por parcela e a amostragem de solo foi realizada em novembro/2012. A comparação entre as parcelas foi realizada pelo teste *U* de Mann-Whitney, e a Correlação de Pearson foi feita para verificar a interação dos atributos e do estoque de carbono com a altitude das parcelas. A quantificação do aporte de serapilheira foi realizada por meio de oito coletores com área de 0,5625 cm², distribuídos sistematicamente nas parcelas. A quantificação do acúmulo de serapilheira foi realizada com auxílio de um gabarito com área de 0,0625 cm², lançado em ziguezague no piso florestal, sendo o material presente no interior do gabarito coletado. A serapilheira aportada foi separada nas Frações Folhas, Galhos + Casca, e Miscelânea. O material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, pesado em balança analítica com precisão 0,001 g e estimado para kg ha⁻¹. A coleta de serapilheira foi realizada mensalmente, entre novembro de 2012 e outubro de 2013, totalizando um ano amostral. A partir da biomassa da serapilheira depositada e acumulada foi calculado o índice de decomposição da serapilheira para o ano de estudo e para cada mês de coleta. A análise de variância foi realizada ($p < 0,05$), e quando significativa, foi aplicado o teste de Friedman ($p < 0,05$) para comparação entre os meses, e o teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) para comparação das médias das parcelas. Foi utilizada a Correlação de Pearson para verificar interação entre o aporte, acúmulo e a decomposição com as variáveis climáticas, os atributos químicos do solo e a altitude das parcelas, sendo testada pelo teste *t* ($p > 0,05$). No Capítulo 1 pode-se observar que os solos da área de estudo são ácidos e de baixa fertilidade. O teor de carbono e de MO correlacionaram-se positivamente com a altitude das parcelas, e o

estoque de carbono não diferiu significativamente entre as parcelas. No Capítulo 2, os resultados demonstram um aporte de serapilheira para a floresta em estudo de 7.428,29 kg ha⁻¹ ano⁻¹. As Folhas representam 61,95% do aporte anual, os Galhos 25,76% e a Miscelânea 12,29%. O acúmulo médio de serapilheira sobre o piso florestal foi de 7.246,26 kg ha⁻¹ ano⁻¹, a taxa de decomposição (k) do material aportado e acumulado na floresta foi de 1,03, e o tempo médio de renovação de 50% ($T_{50\%}$) do material foi de 246,75 dias. Tanto aporte quanto o acúmulo de serapilheira demonstraram uma sazonalidade não definida para a floresta em estudo.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes, biomassa, estoque de carbono, decomposição.

ABSTRACT

CASTRO, Kallil Chaves. Litter and carbon stock along an altitudinal gradient in the Tropical Rain Forest in Caparaó National Park, ES. 2014. Dissertation (Masters degree in Forest Sciences) – Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Adviser: D.Sc. Marcos Vinicius Winckler Caldeira. Co-advisors: D.Sc. Henrique Machado Dias, D.Sc. Diego Lang Burak.

This study aimed to characterize soil fertility, intake, accumulation and rate of litter decomposition in Caparaó National Park. The studies of soil fertility and litter were conducted on seven plots (20x50 m), distributed along an altitudinal gradient. Soil sampling for chemical characterization was performed at four depths (0-05, 05-10, 10-20 and 20-40 cm) and the quantification of carbon stock was held at 0-10 cm. A composite soil sample was withdrawn by depth and plot and the soil sampling was performed in November/2012. The comparison between plots was performed by *U* Mann-Whitney test, and Pearson Correlation was conducted to verify the interaction of attributes and carbon stock with the altitude of the plots. The quantification of the intake of litter was carried through eight collectors with an area of 0.5625 cm², systematically distributed in plots. Quantification of the accumulation of litter was performed using a template with 0.0625 cm² area, launched in zigzag on forest floor, being collected the material present inside the template. The litterfall was separated into leaves, twigs+bark, and Miscellaneous. The material was dried in an oven with forced air circulation at 65 °C for 72 hours, weighed on an analytical balance with precision 0.001g estimated at kg ha⁻¹. Samples were collected monthly between November 2012 and October 2013, a total sample of year. The rate of litter decomposition for the year of study and for each month of collection was calculated from the biomass of litter produced and accumulated. Analysis of variance was performed ($p < 0.05$), and when significant, the Friedman test ($p < 0.05$) was applied for comparison between the months ($p < 0.05$), and the Kruskal -Wallis test ($p < 0.05$) to compare the means of plots. We used the Pearson correlation to analyze the interaction between production, accumulation and decomposition of litter with climate variables, soil chemical properties and altitude of the plots, being tested by *t* ($p > 0.05$). In Chapter 1 it can be observed that the soils of the study area are acidic and low fertility. The carbon content and MO were positively correlated with the altitude of the plots, and carbon stocks did not differ significantly between plots. In Chapter 2, the results demonstrate a litterfall production to the forest in a study of 7,428.29 kg ha⁻¹ yr⁻¹. Leaves represent 61.95%

of the annual production, the Branches 25.76 % and 12.29% Misc. The mean accumulation of litter on the forest floor was 7,246,26 kg ha⁻¹ yr⁻¹, decomposition rate (k) of the material produced and accumulated in the forest was 1.03, and the mean turnover time of 50% (T_{50%}) of the material was 246.75 days. Both entry and accumulation of litter demonstrated a seasonally not defined for the studied forest.

Keywords: Nutrient cycling, biomass, carbon storage, decomposition.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

- Figura 1.1 - Área de estudo no Parque Nacional do Caparaó na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo; delimitação da microbacia, hidrografia, e posição das parcelas 27
- Figura 1.2 - Área de estudo no Parque Nacional do Caparaó na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo; delimitação da microbacia, hidrografia, relevo, representação das parcelas e sua declividade, distribuição das parcelas na face de exposição 28
- Figura 1.3 – Perfil do solo nas sete parcelas em estudo para a camada 0-40 cm, coletados na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES. (A) Parcela 1, 1.120 m; (B) Parcela 2, 1.219 m; (C) P3, 1.302 m.; (D) P4, 1.319 m; (E) P5, 1.391 m; (F) P6, 1420 m; P7, 1550 m 36
- Figura 2.1 - Ilustração esquemática da distribuição dos coletores dentro das parcelas para coleta de serapilheira na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES 65
- Figura 2.2 - Coletor de serapilheira depositada em estrutura de pvc com tela de nylon. (A) Montagem do coletor; (B, C, D) imagem superior e lateral do Coletor de serapilheira 66
- Figura 2.3 - Ilustração esquemática do gabarito para coleta de serapilheira acumulada com dimensões 0,25 x 0,25 m na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES 67
- Figura 2.4 - Coleta de serapilheira acumulada com auxílio de um gabarito de madeira sobre o piso florestal na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES. (A) Gabarito lançado aleatoriamente sobre o piso florestal; (B) Coleta de material acumulado sobre o solo até a camada de raízes; (C) Camada de raízes depois de retirada a serapilheira, e indivíduo vivo no interior da amostra 68
- Figura 2.5 - Frações da serapilheira depositada na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES, após pré-secagem e triagem. (A) Folhas;(B) Galhos, (C) Miscelânea; (D) Detalhe da Miscelânea 69
- Figura 2.6 - Flutuação da constante de decomposição k , ao longo do período de coleta na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES 78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Distribuição altitudinal, declividade e face de exposição das parcelas implantadas na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó	30
Tabela 1.2 - Nomenclatura das classes de declividade, segundo Embrapa (1979)	30
Tabela 1.3. Classificação do coeficiente de correlação de Pearson, segundo proposta de Shimakura (2006)	35
Tabela 1.4 - Atributos químicos do solo coletados na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm	37
Tabela 1.5. Correlação de Pearson entre os atributos químicos do solo e as altitudes das parcelas por profundidade na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó	38
Tabela 1.6 - Densidade do solo e estoque de carbono para a camada superficial do solo, 0-10 cm na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES	40
Tabela 2.1- Variáveis meteorológicas observadas no período do estudo	63
Tabela 2.2- Atributos químicos do solo para a camada superficial (0-5 e 5-10 cm de profundidade), nas parcelas implantadas na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ao longo de um gradiente altitudinal	64
Tabela 2.3 - Classificação do coeficiente de correlação de Pearson segundo proposta de Shimakura (2006)	72
Tabela 2.4 - Flutuação mensal das frações da serapilheira depositada e do total aportado na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES	73
Tabela 2.5 – Aporte médio e anual da serapilheira depositada, por parcela aportado em Floresta Ombrófila Densa Montana, no Parque Nacional do Caparaó, ES	74
Tabela 2.6 - Correlação de Pearson entre o aporte de serapilheira ao longo do gradiente de altitude das parcelas e os atributos químicos do solo para a camada 0-5 e 05-10 cm do solo das parcelas implantadas na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES	74
Tabela 2.7 - Correlação de Pearson para as frações da serapilheira e aporte anual com as variáveis Temperatura média, Precipitação ocorrida, Numero de dias de chuva e Evapotranspiração potencial média, observadas entre dezembro/2012 a outubro/2013 na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES	75
Tabela 2.8 - Flutuação mensal do acúmulo na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES	76

Tabela 2.9 - Acúmulo de serapilheira ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ao longo do gradiente altitudinal das parcelas localizadas na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES

77

Tabela 2.10 - Correlação de Pearson para o acúmulo anual de serapilheira com as variáveis climáticas, observadas entre dezembro/2012 à outubro/2013 na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES

77

Tabela 2.11 - Correlação de Pearson para o acúmulo anual com as variáveis climáticas, observadas entre dezembro/2012 à outubro/2013 na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES

77

Tabela 2.12 - Constante de decomposição k , $T_{50\%}$ e $T_{95\%}$ da serapilheira acumulada por parcela em gradiente altitudinal na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES

78

Tabela 2.13 - Correlação de Pearson entre a constante de decomposição k da serapilheira acumulada em um gradiente altitudinal (por parcela) e os atributos químicos do na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES

79

Tabela 2.14 - Correlação de Pearson entre a constante de decomposição k da serapilheira acumulada ao longo do período de coleta e as variáveis climáticas na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES

79

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Ds	Densidade do solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Centimol carga por decímetro cúbico
C_{org}	Carbono orgânico
CTC (t)	Capacidade de troca catiônica efetiva
CTC (T)	Capacidade de troca catiônica potencial
CV	Coefficiente de variação
EstC	Estoque de Carbono
g cm^{-3}	Grama por centímetro cúbico
g kg^{-1}	Grama por quilo
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
INCAPER	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
kg ha^{-1}	Quilograma por hectare
m	Saturação por alumínio
Mg ha^{-1}	Megagrama por hectare
mg dm^{-3}	Miligramma por decímetro cúbico
mol	Molar
MOS ou MO	Matéria orgânica do solo
PARNA	Parque Nacional
Pi	Fósforo inorgânico
Po	Fósforo orgânico
PVC	Policloreto de polivinila
SB	Soma de Bases
TFSA	Terra fina seca ao ar
V	Saturação por Bases

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio elementar
Al ³⁺	Alumínio trocável ou disponível
Al+H	Acidez potencial
C	Carbono elementar
Ca	Cálcio elementar
Ca ²⁺	Cálcio trocável ou disponível
Fe	Ferro elementar
H	Hidrogênio elementar
H ⁺	Hidrogênio trocável
HCL	Ácido clorídrico
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
log	Logaritmo
K	Potássio elementar
KCl	Cloreto de potássio
K ₂ Cr ₂ O ₇	Dicromato de potássio
Mg	Magnésio elementar
Mn	Manganês elementar
Mg ²⁺	Magnésio trocável ou disponível
N	Nitrogênio elementar
Na ⁺	Sódio trocável ou disponível
NaOH	Hidróxido de sódio
P	Fósforo elementar
r	Coefficiente de correlação
Zn	Zinco elementar

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO GERAL	18
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO I - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA OMBRÓFILA Densa MONTANA, NO PARQUE NACIONAL DO CAPARAÓ, ES	21
RESUMO	22
ABSTRACT	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
2.1 ÁREA DE ESTUDO	27
2.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	30
2.4 DENSIDADE DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO.....	33
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
3. RESULTADOS	36
3.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	36
3.2 ESTOQUE DE CARBONO	39
3.2.1 Densidade do solo e Estoque de Carbono	39
4. DISCUSSÃO.....	41
4.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	41
4.2 ESTOQUE DE CARBONO	47
4.2.1 Densidade do solo.....	47
4.2.2 Estoque de Carbono.....	48
5 CONCLUSÃO.....	50
6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	51
CAPÍTULO II - APORTE, ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NO PARQUE NACIONAL DO CAPARAÓ, ES.....	55
RESUMO	56
ABSTRACT	58
1. INTRODUÇÃO.....	60
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	63
2.1 APORTE DE SERAPILHEIRA	65
2.2 ACÚMULO DE SERAPILHEIRA	67
2.3 PROCESSAMENTO DA SERAPILHEIRA	69
2.4 DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA	70
2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	71
3 RESULTADOS	73
3.1 APORTE DE SERAPILHEIRA	73
3.2 ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA.....	76
4 DISCUSSÃO.....	80
4.1 APORTE DE SERAPILHEIRA	80
4.1 ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA.....	85
5 CONCLUSÃO.....	92
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	99

1 INTRODUÇÃO GERAL

Em uma definição clássica, um ecossistema é uma unidade de sistema funcional, que inclui uma comunidade biológica interagindo com o meio físico, onde o fluxo de energia rege suas interações e a ciclagem de matéria (ODUM,1988).

Quanto mais complexo é o sistema funcional, maiores são suas propriedades em relação ao nível anterior, e estas funcionalidades não são exclusivamente originadas das somas das propriedades antigas, mas também um produto de novas interações, gerando características completamente novas, como resultado da atividade de diferentes indivíduos, suas relações, e pela extração e adição de recursos (BEGON, TOWNSEND E HARPER, 2007).

Nos ecossistemas naturais terrestres, a floresta pode ser considerada um dos sistemas mais complexos onde, por meio de interações, a flora e fauna coexistem em um equilíbrio dinâmico, modificando e sendo modificados pelos fatores ambientais. É um sistema altamente produtivo mesmo sobre condições adversas e em baixa disponibilidade de recursos. No entanto, a transferência de nutrientes em florestas tropicais não é unidirecional, e não pode ser considerado um ciclo fechado, pois existem entradas e saídas de nutrientes do sistema, (GOLLEY, 1983).

Muitos estudos são realizados no intuito de quantificar a ciclagem de nutrientes, mas em geral, poucos efetivamente objetivam identificar quais são os fatores que contribuem para tal, realizando quase em sua totalidade abordagens superficiais. Assim mesmo com décadas de pesquisa ainda sabe-se pouco sobre as interações e seu grau de importância nestes processos.

Em geral, os fatores envolvidos com a ciclagem de nutrientes mais estudados incluem os climáticos (precipitação e temperatura) e os edáficos (fertilidade do solo), entretanto, principalmente em relação solo, a variação vertical e horizontal é expressiva, não sendo recomendado como uma característica geral.

Apesar de variar menos que a fertilidade do solo, os fatores climáticos principalmente precipitação e temperatura (JORDAN, 1985) estão mais relacionados à ciclagem de nutrientes, do que as características do solo, retenção de água pelo solo e também a composição das espécies vegetais (FACELLI; PICKETT, 1991), além de outros fatores como altitude, latitude, fotoperíodo, relevo, deciduidade, estágio sucessional, disponibilidade

hídrica e características do solo (CALV, PEREIRA E ESPÍNDULA JÚNIOR, 2009) podem interagir e propiciar microambientes distintos.

Essa relação é citada por Odum (1988) como sendo uma evolução em conjunto, se referindo a hipótese de Gaia (LOVELOCK, 1979), onde segundo este autor a evolução de ecossistemas mesmo em escala global ocorre em conjunto, meio físico e biológico, modificando e sendo modificado um pelo outro.

Mesmo com a necessidade de análise de quantidade crescente de variáveis, a avaliação da importância que cada uma representa torna-se difícil mesmo em estudos mais simples, pois dificilmente podem-se isolar todos os fatores, justamente pela existência de interações (LIMA et al., 2003).

Embora haja avanço das técnicas de amostragem e análise dos dados, como a análise multivariada, ainda é utópico a utilização de grande quantidade de variáveis para a análise de ecossistemas, ou mesmo dentro da própria ciclagem de nutrientes.

Devido esta lacuna de conhecimento, torna-se necessário a realização de estudos mais profundos relacionados à ciclagem de nutrientes em ecossistemas naturais. Nesse contexto, realiza-se a seguinte hipótese: “De que forma o gradiente altitudinal influencia a ciclagem de nutrientes via serapilheira na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó?”.

Para responder essa pergunta, esta dissertação foi dividida em duas partes. No primeiro capítulo objetivou-se caracterizar os atributos químicos do solo e quantificar o estoque de carbono sob uma formação florestal nativa em um gradiente de altitude. No segundo capítulo foi avaliado o aporte, acúmulo e decomposição da serapilheira durante um ano amostral, e sua possível correlação com os fatores edáficos analisados no primeiro capítulo, as variáveis climáticas para a região, e o gradiente altitudinal.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4 ed. Artmed; Porto Alegre, 2007, 752 p.

CALVI, G.P.; PEREIRA, M.G.; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de Floresta Atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p.131-138, 2009.

FACELLI, J.M.; PICKETT, S.T.A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, Lancaster, v. 57, p. 1-32, 1991.

GOLLEY, F.B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: Tropical forest ecosystems: structure and function. **Elsevier**; Amsterdam, p. 137-156, 1983.

JORDAN, C.F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems**. John Wile, New York, 1985.

LIMA, J.A.S.; MENEGUELLI, N.A.; GAZEL FILHO, A.B.; PÉREZ, D.V. Agrupamento de espécies arbóreas de uma floresta tropical por características de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 109-116, 2003.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434p.

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E ESTOQUE DE CARBONO EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA, NO PARQUE NACIONAL DO CAPARAÓ, ES

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo caracterizar os atributos químicos do solo sob uma Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, assim como quantificar o estoque de carbono existente na camada superficial do solo sob a floresta. Foram implantadas sete parcelas com dimensões de 20x50m, ao longo de um gradiente altitudinal, 1.112, 1.219, 1.302, 1.319, 1.391, 1.420 e 1.550 m de altitude. A amostragem das parcelas foi realizada em novembro/2012. Com auxílio de um enxadão foram coletadas 12 amostras aleatórias em cada parcela nas camadas 0-5; 5-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, as amostras foram homogeneizadas e uma amostra composta por parcela foi destinada à análise de pH, P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al e C_{org}. Foram calculadas a CTC efetiva e potencial do solo, a soma de bases, o teor de matéria orgânica, a saturação por bases e a saturação por Alumínio. Para a quantificação do estoque de carbono (EstC), foram coletadas três amostras de solo indeformadas na camada 0-10 cm de profundidade. A densidade do solo foi calculada e, juntamente com os teores de C_{org}, foi calculado o estoque de carbono para a camada superficial do solo. A comparação entre as parcelas para a densidade do solo, e o EstC foi realizada pelo teste *U* de Mann-Whitney (Wilcoxon). A verificação da relação entre atributos químicos, a densidade e o estoque de carbono do solo com a altitude das parcelas foi realizada mediante correlação de Pearson, sendo estas correlações testadas pelo teste *t* ($p > 0,05$). Os solos das parcelas da área de estudo demonstraram ser ácido, de baixa fertilidade e elevado teor de Al³⁺ e MO. P, Na⁺, H+Al, C_{org} e MO, CTC (t) e CTC (T) obtiveram correlações positivas e significativas com a altitude. Não existiu diferença entre as parcelas tanto para a densidade do solo quando para o EstC. Pode-se concluir que o gradiente altitudinal influenciou principalmente os teores de C orgânico e de MO no solo, sendo estes crescentes com o aumento da altitude.

Palavras-chave: Fertilidade do solo; matéria orgânica do solo; seqüestro de carbono.

ABSTRACT

The present study aimed to characterize the chemical soil properties under a Dense Rain Forest in Caparaó National Park, and to quantify the existing carbon stock in topsoil under forest. Seven plots with dimensions 20x50 m were deployed along an altitudinal gradient, 1,112; 1,219; 1,302; 1,319; 1,391; 1,420 and 1,550 m altitude. Sampling of plots was taken in November/2012. With the aid of a hoe 12 random samples were collected from each plot in layers 0-5; 5-10, 10-20 and 20-40 cm depth, the samples were homogenized and a composite sample per plot was intended for analysis of pH, P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al and C_{org}. We calculated the effective CEC and soil potential, the sum of bases, the content of organic matter, base saturation and saturation Aluminum. To quantify the carbon stock (EstC), three undisturbed soil samples were collected at 0-10 cm depth. Soil bulk density was calculated and, together with the contents of C_{org}, the carbon stock for the topsoil was calculated. The comparison between plots for soil density, and EstC was performed by *U* Mann-Whitney (Wilcoxon) test. The verification of the relationship between chemical properties, density and soil carbon stock with the altitude of the plots was performed using Pearson correlation, these correlations being tested by *t* ($p > 0.05$). The soils of the plots of the study area proved to be acid, low fertility and high levels of Al³⁺ and SOM. P, Na⁺, H+Al, C_{org} and MO, CTC (t) and CTC (T) had significant positive correlations with altitude. There was no difference between the plots for both soil density when to EstC. It can be concluded that the altitudinal gradient mainly influenced the organic carbon in the soil and SOM, which are increasing with increasing altitude.

Keywords: Soil fertility; soil organic matter; carbon sequestration.

1. INTRODUÇÃO

Os solos tropicais compreendem uma importante reserva de nutrientes em ecossistemas florestais, fazendo parte do fluxo de entrada e saída de nutrientes, e influenciando na distribuição de espécies vegetais, sob diferentes magnitudes e dinâmicas sucessionais. Porém, estes solos, em sua maioria, apresentam um grau elevado de intemperização (GAMA-RODRIGUES et al., 2007; KLIPPEL, 2010).

Como resultado dos processos de formação dos solos, aqueles mais intemperizados ocasionalmente apresentam baixos teores de nutrientes, elevados teores de Al e acidez elevada. Entretanto, mesmo sobre tais condições, algumas fisionomias florestais naturais altamente produtivas perpetuaram ao longo do tempo.

A elevada produção primária em solos de baixa fertilidade é um reflexo do clima propício associado principalmente à ciclagem de nutrientes no interior do sistema (GAMA-RODRIGUES et al., 2007). Como exemplo, pode-se observar a relevância que o fósforo orgânico (Po) tem em ecossistemas sobre solos intemperizados. Nestas condições o fósforo inorgânico (Pi) apresenta grande adsorção na fração mineral do solo, sendo o Po a principal fonte de P para a vegetação (CUNHA et al., 2007).

A ciclagem de nutrientes exerce importante função na manutenção dos teores de nutrientes nos solos, uma vez que por meio desta a depreciação no estoque de nutrientes no ecossistema é minimizada sem que a disponibilidade seja afetada drasticamente.

De acordo com Begon, Townsend e Harper (2007), a biota interfere diretamente no estoque de nutrientes do solo regulando o equilíbrio do estoque existente nos solo, armazenando, liberando e ainda propiciando a exportação de nutrientes a depender do tipo de impacto que esta sofre, assim existe uma necessidade de se conhecer um ecossistema, e seus componentes, a fim de melhor administrar os serviços ambientais por ele prestados (CALDEIRA et al., 2008).

Neste contexto, Araújo et al. (2013), afirmam que as modificações que ocorrem nas propriedades do solo podem ser monitoradas por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos, assim, a seleção de atributos que melhor represente a atual situação de manejo torna o monitoramento mais eficaz. Diversos são os estudos que buscam demonstrar as interações entre o tipo de vegetação e as características físicas, químicas e biológicas do solo, bem como as relações com a fauna de solo e a comunidade decompositora (ZECK et al.,

1997; CUNHA et al., 2007; GAMA-RODRIGUES et al., 2007; SCHEER et al., 2011; CUNHA NETO et al., 2012; SKORUPA et al., 2012).

Quando deixam suas condições naturais pela atividade antrópica os solos perdem gradativamente sua capacidade de resiliência, chegando a um estado de degradação irreversível, como pode ser observado no estudo feito por Cardoso et al. (2011), que avaliaram as mudanças nas características físicas e químicas em solos que tiveram sua vegetação original substituída por pastagens. Estes autores observam que houve redução nos teores de matéria orgânica, Mg^{+2} , Ca^{+2} , K^{+} , aumento da densidade do solo e da resistência à penetração, redução da macro e micro porosidade além da porosidade total, quando houve a substituição.

Outros autores indicam a utilização de atributos da MOS em conjunto com variáveis como à atividade microbiana e ao fracionamento das substâncias húmicas, para melhor entender e verificar a conservação de ecossistemas (LEIRÓS et al., 1999; MELO, 2000; BENITES et al., 2010).

Em relação à matéria orgânica, nos solos brasileiros são amplos os estudos relacionados à dinâmica na qualidade da MOS, entretanto concentram-se principalmente no Cerrado, sendo escassos para demais biomassa importantes (CARDOSO et al., 2010).

Os estudos relacionados a MOS além de ser indicador de qualidade do ecossistema, permite inferir sobre o estoque de carbono do solo, tendo ênfase principalmente quando relacionado às mudanças climáticas globais, e apesar desses estudos não serem muito conclusivos, quando se trata de conversão de sistemas naturais para cultivados, observa-se que há alteração da qualidade do C_{org} presente no solo (COSTA et al., 2008). Nesse contexto quantificar o estoque de carbono nos diferentes compartimentos do sistema solo-planta-atmosfera e como se comportam as transferências entre eles contribui para uma estimativa mais segura no balanço do carbono (NOVAIS FILHO, 2007).

Em geral, solos sobre vegetações naturais apresentam equilíbrio no estoque de carbono, e pelo resultado da entrada de carbono via deposição de material vegetal e a saída por decomposição e respiração microbiana os teores são praticamente constantes com o tempo (D'ANDRÉA et al., 2004; COSTA et al., 2006). Deste modo, as alterações no estoque de MOS e conseqüentemente do de carbono são lentas para serem identificados por curtos períodos experimentais, sendo necessário o ajuste de modelos matemáticos para previsão em longo prazo dessas alterações (BAYER, MIELNICZUK E MARTIN-NETO, 2000). Partindo desse pressuposto, em um primeiro momento este estudo tem por objetivo caracterizar os atributos químicos do solo sob uma Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do

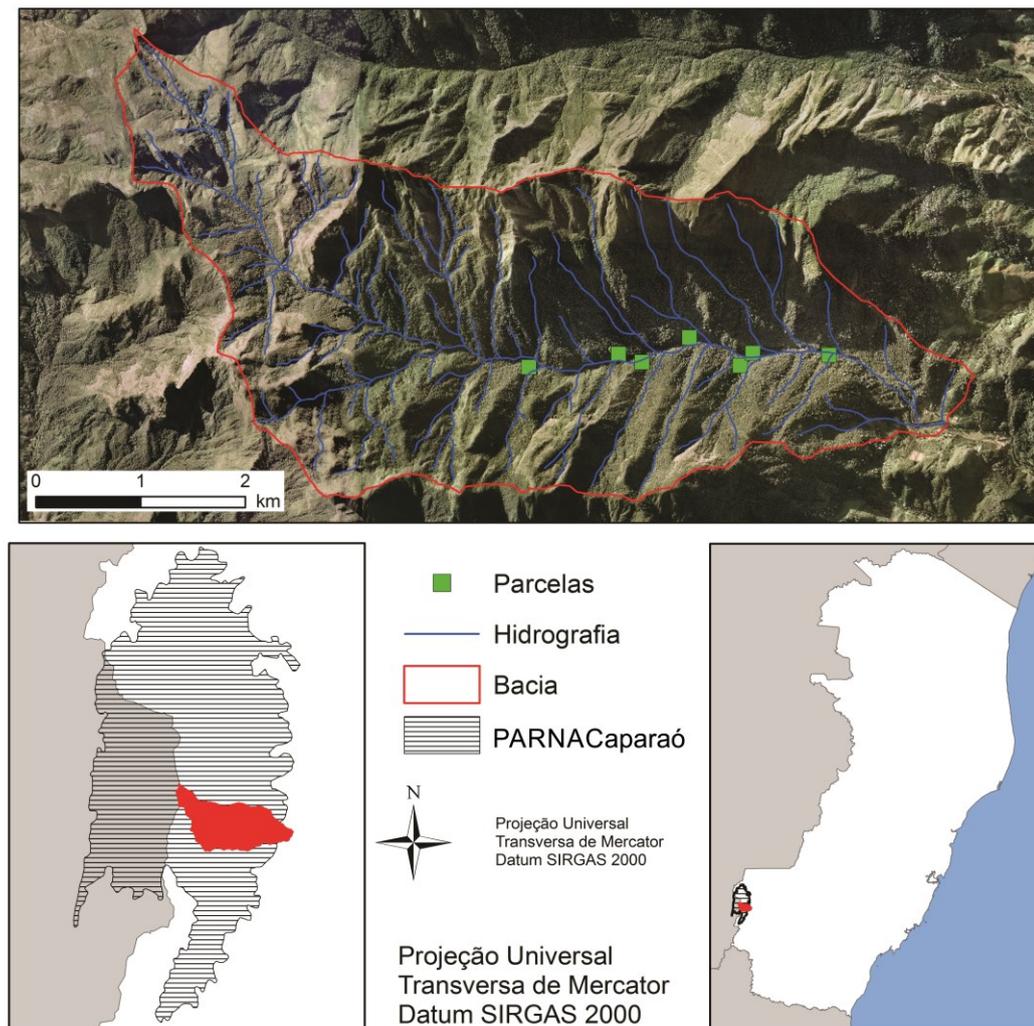
Caparaó, e em um segundo momento, objetivou-se quantificar o estoque de carbono na camada superficial do solo ao longo de um gradiente altitudinal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Parque Nacional do Caparaó (PARNA Caparaó), com 318,03 km², está localizado entre as coordenadas 20°19'20"37'S e 41°43'41"53'W, na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Aproximadamente 70% do Parque está localizado no estado do Espírito Santo. Sua maior extensão está acima de 2.000 m de altitude, sendo o Pico da Bandeira o ponto mais elevado com 2.890 m de altitude (MAZINE; SOUZA, 2007) (FIGURA 1.1).

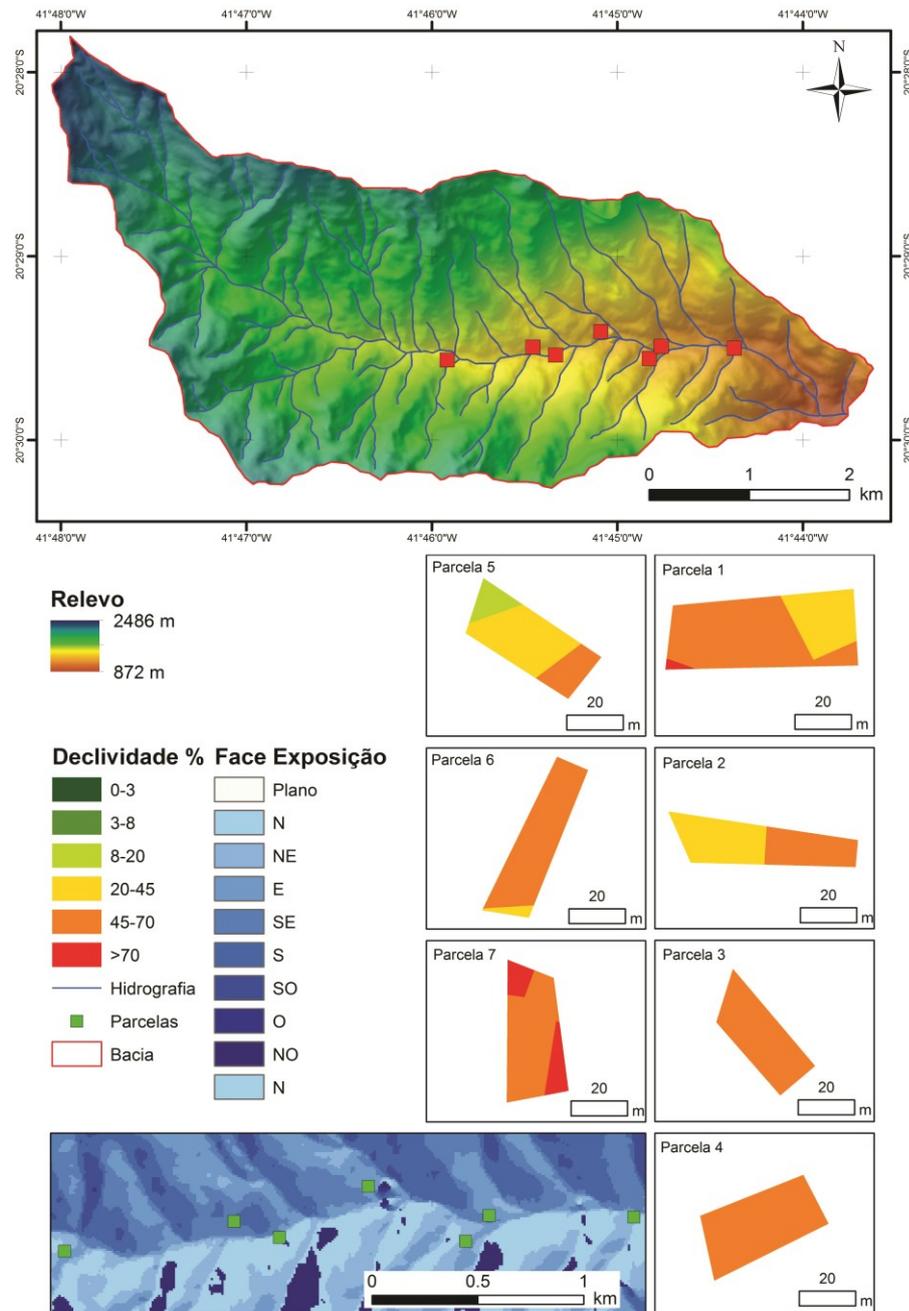
Figura 1.1 - Área de Estudo no Parque Nacional do Caparaó na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo; delimitação da microbacia, hidrografia, e posição das parcelas.



Fonte: o autor.

A área do presente estudo está delimitada em uma microbacia localizada na porção sul do Parque, inserida dentro do estado do Espírito Santo, no município de Ibitirama, distante 2 km do distrito de Santa Marta (FIGURA 1.2), sendo este estudo inserido do Projeto Universal CNPq nº 475471/2011-3, intitulado Diversidade Biológica e Funcional da Floresta Ombrófila Densa do Parque Nacional do Caparaó, Espírito Santo.

Figura 1.2 - Área de estudo no Parque Nacional do Caparaó na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo; delimitação da microbacia, hidrografia, relevo, representação das parcelas e sua declividade, distribuição das parcelas na face de exposição.



Fonte: o autor.

O Projeto Universal CNPq nº 475471/2011-3 a qual este estudo faz parte, contempla estudos relacionados à florística e estrutura, fenologia reprodutiva das espécies vegetais arbóreas, a diversidade genética de populações de espécies com elevado grau de importância no parque, estudos sobre a germinação e o desenvolvimento de mudas de espécies de interesse ecológico para a floresta, a educação ambiental das comunidades que residem na área de amortecimento do parque, e a proposta deste estudo, que contempla a caracterização dos atributos químicos do solo e a ciclagem biogeoquímica por meio da serapilheira na floresta em estudo.

A microbacia onde está inserida a área de estudo apresenta uma área total de 17.758,684 km², com altitude variando em 872 e 2486 metros (FIGURA 1.1) e declividades acentuadas variando entre ondulado a escapado (TABELA 1.1; TABELA 1.2) de acordo com a classificação da Embrapa (1979), e orientação no sentido leste/oeste.

O clima da região enquadra-se no tipo Cwb, clima tropical de altitude/subtropical (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual varia entre 19°C a 22°C, com temperaturas máximas atingindo 25°C e em cotas acima de 2000 m de altitude as mínimas registradas podem ser de até -4°C (IBAMA, 1997). A pluviosidade média varia entre 1.000 a 1.500 mm anuais, atingindo até 1.750 mm, sendo mal distribuídas ao longo do ano, concentradas principalmente durante o verão (IBDF, 1981).

Os solos são de baixa a média fertilidade sendo estes: Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho Escuro Distrófico e Podzólico Vermelho Amarelo (IBDF, 1981), sendo respectivamente pela nova classificação dos solos brasileiros segundo EMBRAPA (2013): Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico e Argissolo Vermelho Amarelo.

O Parque está situado na província biogeográfica da Floresta Pluvial do Brasil e pertence ao Domínio Atlântico, ou Mata Atlântica. Por isso, encontram-se as formações vegetais de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Semidecidual, Matas Ciliares e Campos de Altitude (IBDF, 1981).

O levantamento de solo foi realizado em sete das nove parcelas até então implantadas para o projeto Universal CNPq nº 475471/2011-3. As parcelas foram implantadas em um trecho de Floresta Ombrófila Densa Montana, com as dimensões de 20 x 50 m, e foram distribuídas ao longo do vale para realização de forma a representarem amostras das variações presumidas para a vegetação e para o ambiente físico (CARVALHO et al., 2005; ROCHA et al., 2005) (TABELA 1.2).

Tabela 1.1 - Distribuição altitudinal, declividade e face de exposição das parcelas implantadas na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó.

Parcela	Altitude (m)	Declividade média (%)	Declividade média (°)	Face de exposição	Distância entre parcela (m)	
					Parcelas	Distância
P1	1.112	69,55	34,82	Nordeste/Leste	1-2	683,13
P2	1.219	58,29	30,24	Leste/Sudeste	2-3	164,5
P3	1.302	75	36,87	Nordeste	3-4	528,57
P4	1.319	75	36,87	Leste	4-5	485,39
P5	1.391	48,24	25,75	Norte	5-6	226,66
P6	1.420	73,39	36,27	Sul/Sudeste	6-7	813,38
P7	1.550	127,73	51,94	Nordeste	7-1	2.708

Fonte: o autor.

Tabela 1.2 - Nomenclatura das classes de declividade, segundo Embrapa (1979).

Declividade (%)	Classificação
0-3	Relevo Plano
03-08	Relevo Suavemente Ondulado
08-20	Relevo Ondulado
20-45	Relevo Fortemente Ondulado
45-75	Relevo Montanhoso
>75	Escarpado

Fonte: EMBRAPA (1979)

2.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Para descrever os atributos químicos do solo da floresta em estudo em um gradiente altitudinal, uma amostragem de solo foi realizada em novembro de 2012. Após a retirada da camada de serapilheira que recobria o solo, foram retiradas aleatoriamente em cada parcela com o auxílio de um enxadão, 12 subamostras, em quatro profundidades: 0–5; 5–10; 10–20 e 20–40 cm. Em cada parcela, as 12 subamostras nas respectivas profundidades foram depositadas em baldes e posteriormente homogeneizadas, sendo retirada uma amostra composta por parcela.

As amostras de solo de cada uma das parcelas foram encaminhadas para o laboratório e após o preparo da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), as análises químicas foram realizadas seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

As análises de pH foram realizadas pelo método do pH em H₂O 1:2,5, o Alumínio trocável, ou acidez trocável, foi extraído com solução KCl (1 mol L⁻¹), e determinação volumétrica com solução diluída de NaOH (0,025 mol L⁻¹) em presença de solução azul de bromotimol como indicador. Cálcio e Magnésio trocáveis foram extraídos com solução KCl (1 mol L⁻¹) e sua determinação por espectrofotômetro de absorção atômica. Potássio e Sódio trocáveis foram extraídos com solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹; H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹) e determinação por espectrofotometria de chama. Fósforo foi extraído com solução de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹; H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), e leitura por espectrofotômetro. A acidez potencial foi extraída por solução tamponada de Acetato de Cálcio a pH 7 e determinada volumetricamente por solução de NaOH (1 mol L⁻¹) em presença de fenolftaleína como indicador.

Por meio dos valores obtidos com as análises químicas foi calculada a Soma de Bases (SB), pela seguinte expressão:

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+} \quad (1)$$

Em que:

SB = Soma de Bases;

Ca²⁺ = Quantidade de Ca (cmol_c dm⁻³) presente no solo;

Mg²⁺ = Quantidade de Mg (cmol_c dm⁻³) presente no solo;

Na⁺ = Quantidade de Na (cmol_c dm⁻³) presente no solo; e

K⁺ = Quantidade de Na (cmol_c dm⁻³) presente no solo

A Capacidade de troca catiônica efetiva (t) foi calculada pela seguinte expressão:

$$t = SB + Al^{3+} \quad (2)$$

Em que:

t = Capacidade de troca catiônica efetiva (cmol_c dm⁻³);

SB = Soma de Bases (Ca+ Mg+ Na+ K) (cmol_c dm⁻³); e

Al³⁺ = Alumínio trocável (cmol_c dm³).

A Capacidade de troca catiônica potencial (T) foi calculada através da expressão:

$$T = SB + (H^+ + Al^{3+}) \quad (3)$$

Em que:

T = Capacidade de troca catiônica ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$);

SB = Soma de bases ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); e

$H^+ + Al^{3+}$ = Acidez trocável ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A Saturação por Bases (V) em porcentagem é calculada por meio da seguinte expressão:

$$V = 100 \cdot SB / T \quad (4)$$

Em que:

V = Saturação por base em porcentagem;

T = A Capacidade de troca catiônica potencial ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); e

SB = Soma de Bases ($\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K}$) ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

A determinação de Carbono Orgânico Total (C_{org}) foi realizada segundo metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988) e adaptada por Mendonça e Matos (2005). Foi feita por meio da oxidação da matéria orgânica por via úmida, utilizando-se solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido. O procedimento metodológico consistiu na pesagem de aproximadamente 0,125 a 0,5 g do material triturado e peneirado em peneira de 0,210 mm. Após pesado, o material foi colocado em um balão de Erlenmeyer de 250 ml e foram adicionados entre 10 e 20 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($0,2 \text{ mol L}^{-1}$) e 5 mL de H_2SO_4 concentrado e levados a bloco digestor a 100°C por 10 minutos. Após o resfriamento, foram adicionados 80 ml de água destilada com posterior adição de 2 ml de H_3PO_4 concentrado e aproximadamente 3 gotas de difenilamina. A titulação do dicromato de potássio será feita com a solução de sulfato ferroso amoniacal, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$). Paralelamente, foram realizadas provas em branco, seguindo os mesmos procedimentos das amostras.

Para a conversão dos teores de Carbono para Matéria Orgânica, os teores de carbono em g kg^{-1} foram multiplicados por um fator de valor 1,724, este fator é utilizado por se admitir que a composição média dos húmus contenha 58% de carbono (EMBRAPA, 1997).

2.4 DENSIDADE DO SOLO E ESTOQUE DE CARBONO

A determinação do estoque de carbono (Mg ha^{-1}) na camada superficial do solo foi realizada por meio da média dos valores de Carbono Orgânico das camadas 0-5 cm e 5-10 cm do solo, obtidos na análise química e dos valores da densidade do solo obtidos na camada 0-10 cm.

Para a realização da densidade do solo foram coletadas amostras de solo com estrutura indeformada com auxílio de um amostrador de Uhland de coleta de solo, tendo em seu interior anéis de aço com volume interno conhecido.

A amostragem foi realizada na camada superficial do solo, 0-10 cm de profundidade, e foram coletadas três repetições por parcela coletados respeitando-se a variação das declividades das parcelas.

Para a determinação da densidade do solo (g cm^{-3}), as amostras coletadas foram transferidas para latas de alumínio devidamente identificadas e de peso conhecido, secas em estufas a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas e posteriormente, após esfriarem, foram pesadas em balança de 0,0001 g.

A densidade do solo foi calculada segundo a expressão:

$$Ds = \frac{a}{b} \quad (5)$$

Em que:

Ds = Densidade do solo (g cm^{-3});

a = Massa da amostra seca a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ (g); e

b = Volume do anel ou cilindro (cm^3).

O cálculo do estoque de carbono foi realizado pela seguinte equação:

$$EstC = (C_{org0-5} + C_{org5-10}) * Ds * \frac{e}{10} \quad (6)$$

Em que:

EstC = Estoque de Carbono Orgânico na camada 0-10 cm (Mg ha⁻¹);

C_{org0-5} = Carbono Orgânico total (g kg⁻¹) da camada 0-5 cm;

C_{org 5-10} = Carbono Orgânico total (g kg⁻¹) da camada 5-10 cm;

Ds = Densidade do solo na camada 0-10 cm (g cm⁻³); e

e = Espessura da camada 0-10 cm.

Todas as amostras de solo utilizadas pra a análise dos tributos químicos e da densidade do solo foram realizadas no Laboratório de Recursos Hídricos do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES).

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Por não se adequar às precisas para a aplicação de técnicas clássicas (paramétricas), e por não se enquadrar em nenhum modelo de delineamento experimental, para comparação da densidade do solo e do estoque de carbono das parcelas, optou-se pela realização da análise dos dados por meio de testes não paramétrico. Foram realizados testes de *U* de Mann-Whitney (Wilcoxon), onde as medianas são comparadas par a par (SCHEER et al., 2011).

Mediante a descrição das características do solo, a verificação da existência de relações entre os atributos químicos do solo, o estoque de carbono e a variação altitudinal das parcelas foi aplicada a correlação de Pearson (*r*) e sua significância foi testada pelo teste *t* a 5% de probabilidade, e os valores dos coeficientes foram classificados segundo proposta de Shimakura (2006) (TABELA 1.3).

Tabela 1.3 - Classificação do coeficiente de correlação de Pearson, segundo proposta de Shimakura (2006).

r^*	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

*Coeficiente de correlação de Pearson em módulo, valores pode assumir sinal positivo ou negativo. Fonte: Shimakura (2006)

A análise dos dados foi realizada como auxílio do Microsoft Excel 2010 na tabulação e o Programa Assistat versão 7.7 na realização das correlações e do teste estatístico.

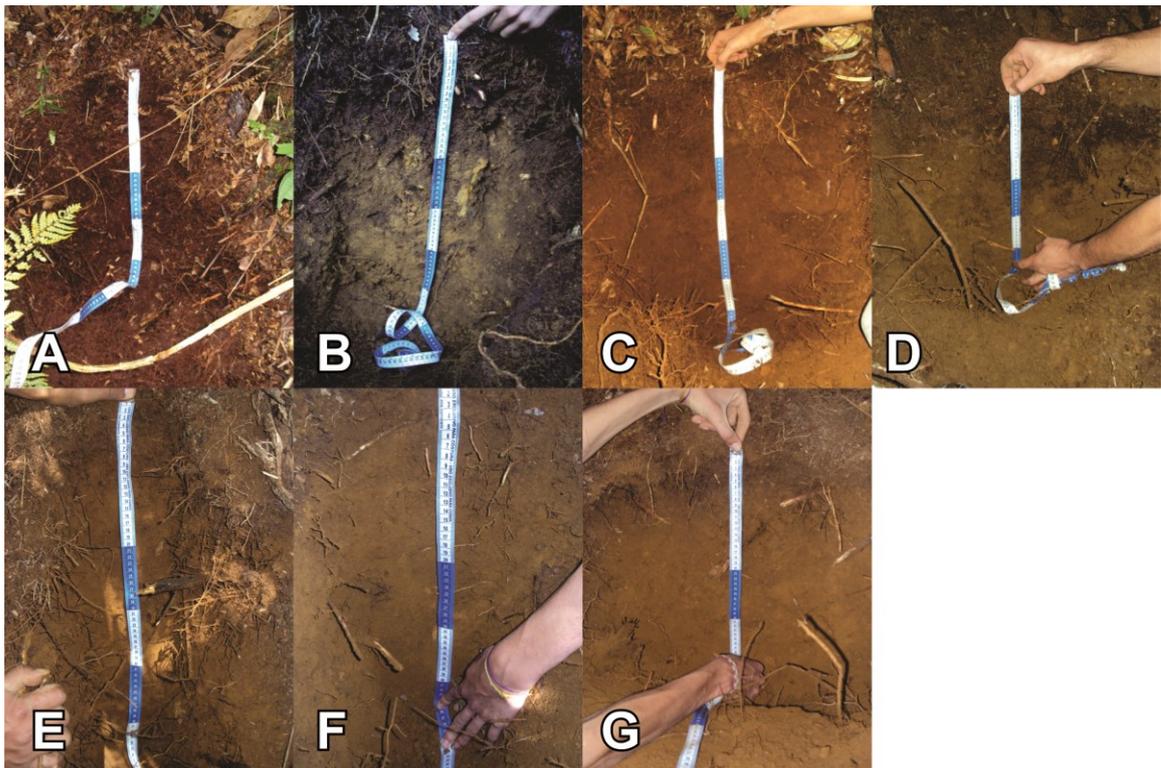
3. RESULTADOS

3.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A Figura 1.3 ilustra os sete perfis de solo, das parcelas implantadas no PARNA Caparaó. A parcela sete (1.550 m de altitude; FIGURA 1.3 A) foi a que apresentou maior camada de húmus, atingindo mais de 40 cm de profundidade.

A parcela seis (FIGURA 1.3 B), a camada escura do solo atingia certa de 20 cm de profundidade, sobre um horizonte saprolítico. Demais solo das parcelas a camada orgânica limita-se aos primeiros centímetros do solo, com horizonte subsequente pouco desenvolvido.

Figura 1.3 – Perfil do solo nas sete parcelas em estudo para a camada 0-40 cm, coletados na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES. (A) Parcela 1, 1.120 m; (B) Parcela 2, 1.219 m; (C) P3, 1.302 m.; (D) P4, 1.319 m; (E) P5, 1.391 m; (F) P6, 1420 m; P7, 1.550 m.



Fonte: o autor.

Os resultados das análises dos atributos químicos do solo e suas relações com as altitudes das parcelas por profundidade são apresentados na Tabela 1.4 e 1.5.

Tabela 1.4 - Atributos químicos do solo coletados na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm.

Profundidade (cm)	Altitude (m)/ Parcela	pH H ₂ O	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	C	M.O.	t	T	S.B.	V	m
			mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³					g kg ⁻¹		cmol _c dm ⁻³		%	
0-5	1.112/P1	4,20	4,98	76,00	11,00	0,64	0,53	2,20	28,82	41,18	70,99	3,61	30,23	1,41	4,66	60,97
	1.219/P2	4,20	3,66	57,00	3,00	2,63	0,67	1,50	25,32	44,59	76,87	4,95	28,77	3,45	11,99	30,31
	1.302/P3	4,20	4,16	45,00	12,00	1,01	0,49	1,90	32,49	71,09	122,56	3,57	34,15	1,67	4,88	53,29
	1.319/P4	4,60	3,77	53,00	10,00	1,22	0,33	2,20	45,32	85,31	147,07	3,93	47,05	1,73	3,68	55,98
	1.391/P5	4,40	8,45	70,00	6,00	2,63	1,03	1,40	42,15	121,50	209,40	5,26	46,01	3,86	8,40	26,60
	1.420/P6	4,20	15,55	44,00	15,00	0,89	0,63	3,50	75,80	157,54	271,59	5,20	77,50	1,70	2,19	67,30
	1.550/P7	5,02	11,14	62,00	16,00	1,64	0,88	1,10	53,48	172,04	296,59	3,84	56,22	2,74	4,88	28,63
05-10	1.112/P1	4,00	4,32	64,00	9,00	0,40	0,40	1,90	22,82	33,90	58,44	2,90	23,83	1,00	4,22	65,41
	1.219/P2	4,20	3,34	45,00	4,00	1,22	0,39	1,90	24,16	40,49	69,81	3,64	25,89	1,74	6,70	52,26
	1.302/P3	4,00	3,62	36,00	11,00	0,58	0,33	2,30	28,16	44,70	77,07	3,35	29,21	1,05	3,60	68,65
	1.319/P4	4,50	3,31	56,00	14,00	0,76	0,32	2,80	39,98	80,47	138,74	4,08	41,26	1,28	3,09	68,70
	1.391/P5	4,30	5,76	43,00	4,00	0,98	0,44	1,80	36,32	74,22	127,95	3,34	37,86	1,54	4,07	53,87
	1.420/P6	4,00	9,00	32,00	12,00	0,37	0,39	3,60	78,30	96,68	166,68	4,49	79,19	0,89	1,12	80,24
	1.550/P7	4,30	7,44	55,00	17,00	1,09	0,67	3,00	63,81	130,81	225,51	4,97	65,78	1,97	3,00	60,34
10-20	1.112/P1	3,70	3,03	40,00	7,00	0,12	0,19	2,00	18,16	24,68	42,55	2,44	18,60	0,44	2,37	81,93
	1.219/P2	4,10	2,45	28,00	3,00	0,72	0,21	1,70	22,16	36,40	62,75	2,72	23,18	1,02	4,40	62,52
	1.302/P3	4,00	2,76	26,00	9,00	0,36	0,19	1,80	24,16	42,09	72,56	2,46	24,81	0,66	2,64	73,31
	1.319/P4	4,00	3,38	36,00	9,00	0,35	0,16	3,20	33,99	59,15	101,97	3,84	34,62	0,64	1,84	83,43
	1.391/P5	4,20	4,44	38,00	8,00	0,51	0,30	1,60	31,32	65,69	113,24	2,54	32,27	0,94	2,93	62,89
	1.420/P6	3,90	4,28	22,00	9,00	0,12	0,14	4,00	42,82	71,94	124,03	4,35	43,17	0,35	0,81	91,93
	1.550/P7	4,30	4,40	44,00	15,00	0,29	0,30	3,30	38,32	81,04	139,72	4,07	39,09	0,77	1,97	81,09
20-40	1.112/P1	4,00	2,10	20,00	5,00	0,01	0,09	1,00	28,99	15,64	26,96	1,17	29,16	0,17	0,59	85,40
	1.219/P2	4,30	2,21	20,00	3,00	0,29	0,12	1,30	18,33	31,28	53,93	1,78	18,81	0,48	2,56	73,00
	1.302/P3	4,20	2,06	18,00	7,00	0,03	0,07	0,60	16,49	36,97	63,73	0,78	16,67	0,18	1,07	77,11
	1.319/P4	4,00	3,15	22,00	8,00	0,05	0,07	2,40	29,49	51,75	89,22	2,61	29,70	0,21	0,72	91,82
	1.391/P5	4,40	3,97	31,00	8,00	0,22	0,18	1,10	25,82	60,28	103,93	1,61	26,33	0,51	1,94	68,33
	1.420/P6	3,90	2,56	13,00	7,00	0,03	0,02	2,80	27,66	85,88	148,05	2,91	27,77	0,11	0,41	96,13
	1.550/P7	3,80	3,15	32,00	11,00	0,09	0,11	3,80	33,15	57,16	98,54	4,13	33,48	0,33	0,98	92,02

Fonte: o autor.

Tabela 1.5. Correlação de Pearson entre os atributos químicos do solo e as altitudes das parcelas por profundidade na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó.

Profundida (cm)	Coef.	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	C _{org}	MO	t	T	SB	V	m	ISNa
0-5	r ¹	0,71	0,69	-0,3	0,51	0,18	0,52	-0,13	0,71	0,95	0,95	0,22	0,73	0,27	-0,27	-0,34	-0,18
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
05-10	r	0,34	0,7	-0,32	0,52	0,29	0,63	0,63	0,79	0,93	0,93	0,83	0,80	0,43	-0,56	0,10	-0,38
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	ns	ns	ns	ns
10-20	r	0,73	0,8	0,13	0,78	-0,08	0,43	0,57	0,86	0,97	0,97	0,68	0,87	0,10	-0,45	0,21	0,10
		ns	*	ns	*	ns	ns	ns	*	*	*	ns	*	ns	ns	ns	ns
20-40	r	-0,36	0,6	0,46	0,84	0,00	-0,01	0,75	0,41	0,79	0,79	0,77	0,42	0,11	-0,12	0,32	0,56
		ns	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns

¹Coeficiente de Correlação de Pearson entre os atributos químicos do solo e a altitude das parcelas; ns: Significância das correlações pelo teste (t p<0,05). Fonte: o autor.

Os atributos pH e Al^{3+} não tem distinção clara entre as diferentes profundidade nem em relação à altitude, H+Al e m demonstram valores inferiores para a camada de 0-5 e 20-40 cm, entretanto, Al^{3+} (camada 20-40cm), H+Al (camadas 10-20 e 20-40 cm), elevam-se proporcionalmente com a altitude das parcelas.

Em relação à fertilidade do solo, observa-se que P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB e V decrescem com a profundidade, porém em Na^+ não pôde ser notada variados teores em relação às profundidades de coleta. P na camada 20-40 cm, e Na^+ nas camadas 10-20 e 20-40cm demonstram uma tendência de maiores teores em maiores altitudes.

Teores de C_{org} e consequentemente os de MO, descessem em profundidade em ambas as parcelas, assim como com a elevação do gradiente altitudinal, também se elevam os teores de C_{org} e MO no solo.

Ambas as CTCs efetiva e potencial tem seus valores reduzidos com a profundidade, sendo a t correlacionada positivamente com a altitude das parcelas na camada 0-5 e 20-40 cm do solo, e T correlacionada positivamente com a altitude das parcelas nas camadas 10-20 e 20-40 cm.

3.2 ESTOQUE DE CARBONO

3.2.1 Densidade do solo e Estoque de Carbono

Não foi observada diferença significativa para a densidade do solo entre as parcelas. Entre as médias, o maior valor observado foi para a parcela dois, e o menor para a parcela sete (TABELA 1.6). A pensar de não significativa a correção entre a densidade do solo e a altitude das parcelas se mostrou forte e negativa (-0,73).

Tabela 1.6 - Densidade do solo e estoque de carbono para a camada superficial do solo, 0-10 cm na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Parcela	Altitude (m)	Teor C _{org} g kg ⁻¹	Ds ² kg dm ⁻³	EstC ³ Mg ha ⁻¹
P1	1.112	37,54	0,36 ns ¹	13,67 ns
P2	1.219	42,54	0,69 ns	29,37 ns
P3	1.302	57,9	0,34 ns	19,48 ns
P4	1.319	82,89	0,4 ns	32,85 ns
P5	1.391	97,86	0,24 ns	23,27 ns
P6	1.420	127,11	0,15 ns	18,69 ns
P7	1.550	151,42	0,09 ns	13,82 ns
Média			0,32334	21,59
CV%			67,93%	48,77%

(1) Não significativo pelo teste Kruskal-Wallis ($p < 0,05$); (2) Valor médio da densidade do solo; (3) Valor médio do Estoque de Carbono. * Desvio padrão da média; ** Coeficiente de variação. Fonte: o autor.

O EstC observado para as parcelas na área de estudo não tiveram diferença entre as médias (TABELA 1.6) maior valor observado foi para a parcela quatro, e o menor para as parcelas um e sete. O coeficiente de correlação de Pearson (r) entre a altitude das parcelas e o estoque de carbono foi -0,17, não sendo significativo.

4. DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A acidez dos solos representada pelos atributos pH e Al+H, evidencia que os solos são ácidos por natureza, dados os baixos valores do pH e a elevada acidez potencial, sendo em sua maior parte inferiores a outros estudos que utilizaram vegetações nativas.

No estudo realizado por Benites et al. (2010), na Mata Atlântica em estágio avançado de sucessão em Bom Jardim (RJ), o pH nos solos da floresta foi 4,8 ($\pm 0,3$). Cardoso et al. (2011), em estudo em diferentes fisionomias observam valores de pH também superiores a esse estudo indicando que solos sobre vegetação nativa não são exclusivamente ácidos. Na região do Pantanal Sul-Mato-Grossense o valor mais baixo encontrado por estes autores foi no Cerradão, onde, para as camadas 0-10 e 10-20 cm foram observados os valores de 4,8 e 4,9 respectivamente, e o mais elevado foi 6,1 para a Floresta Estacional Semidecidual, em ambas as camadas.

Os valores de Al^{3+} e acidez potencial do solo (Al+H) na floresta em questão decrescem em profundidade, mas seus valores foram muito superiores a outros tipos de solos. A exemplo disto, o estudo realizado por Cardoso et al. (2011) em solos do Pantanal Sul-Mato-grossense, onde para as diversas formações nativas o valor mais elevado de acidez potencial foi $3,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. De acordo com Mafra et al. (2008) e Cardoso et al. (2011), valores elevados estão associados ao pH baixo, que implicam na solubilização de Al, e consequentemente na presença de íons H^+ e elevados valores de Al^{3+} ,

Em estudo realizado por Scheer et al. (2011) na Serra da Igreja em Guaratuba, PR, com solos pouco desenvolvidos sob Floresta Ombrófila Densa Altimontana e Campos de Altitude, foram observados os seguintes valores para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm: pH oscilou entre 3,0 e 3,4 na Floresta e entre 3,1 e 3,2 no Campo de Altitude; Al+H entre 42,8 e 16,8 para a Floresta, e 40,8 e 44,0 no Campo de Altitude; e Al^{3+} entre 1,8 e 4,8 na Floresta, e 1,4 e 2,8 no Campo de Altitude.

Skorupa et al. (2012) estudando os atributos químicos do solo em diversas fisionomias no estado de Minas Gerais, observam menores valores de pH e maiores de Al trocável e acidez potencial em Floresta Ombrófila Densa, que ocorre em regiões mais elevadas. Segundo estes últimos autores, os elevados teores de MO no solo contribuem para o baixo valor do pH e para os elevados valores de Al+H, situação está que não acontece para os

solos de Mata Atlântica citados por Benites et al. (2010) e por Cardoso et al. (2011), mas que ocorre na floresta analisada neste estudo.

Segundo Sousa, Miranda e Oliveira (2007), em condições naturais, a acidez do solo pode ser justificada pelo material de origem, pelo intemperismo em suas diversas formas. Para ambientes onde a pluviosidade é elevada, situação dessa área de estudo, a lixiviação de bases e acúmulos de ácidos intensifica essa acidificação.

A MO contribui com a acidificação do ambiente por meio da liberação de íons H^+ de ácidos orgânicos, principalmente grupamentos carboxílicos e fenólicos, entretanto, a acidificação pode ocorrer também pela lixiviação de bases ou absorção delas pela vegetação (ALEXANDER; CRESSE, 1995; ZECH et al., 1997).

O poder tampão exercido pela MO no solo que, devido aos elevados teores e a diversidade de grupos funcionais existente, permite o tamponamento em ampla faixa de pH (SILVA; MENDONÇA; 2007), justificando assim a pouca ou nenhuma alteração do pH ao longo do gradiente de altitude.

A forte correlação existente entre a acidez potencial e a altitude nas profundidades de 0-5, 5-10, e 10-20 cm não existente na acidez ativa (pH) e na acidez trocável (Al^{3+}) (TABELA 1.5), é consequência dos elevados teores de MO do solo. Uma vez que a acidez potencial compreende a acidez trocável e a não trocável (H e Al complexados), a MO é o agente complexante mais efetivo em solos pouco desenvolvidos, consequentemente com aumento da MO em altitude, observa comportamento semelhante para a acidez potencial, não sendo observado para as outras formas de acidez.

Uma justificativa plausível para a correlação positiva do Al^{3+} na camada 20-40 cm é de que na mesma há redução do pH com o aumento da altitude ($r -0,39$), fato que não ocorre nas demais camadas. Notoriamente, quanto menor o pH, mais alumínio é solubilizado. O que, em relação às profundidades, há menor teor de MO, já que a mesma decresce em profundidade. Assim a quantidade de agente complexante do Al diminui.

Quanto à fertilidade do solo, o mesmo pode ser considerado pobre no teor de nutrientes, sendo em todo o gradiente altitudinal distrófico, com valores de V baixos (EMBRAPA, 2013). Nos valores de Ca^{2+} , nota-se decréscimo com o aumento da profundidade. Comportamento semelhante foi observado por outros autores como Mafra et al. (2008) nas mesmas profundidades em Campo Nativo e em Floresta Ombrófila Mista em Campo Belo do Sul (SC); por Scheer et al. (2011) na profundidade de 0-20 e 20-40 cm, tanto para Campos de Altitude quanto para a Floresta Ombrófila Densa Altimontana; e para

Cardoso et al. (2011), tanto em Floresta Estacional Semidecidual, Cerradão, quanto na Pastagem nativa nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Em relação aos valores de Ca^{2+} deste estudo, os mesmos são inferiores à fisionomia Florestal do estudo realizado por Mafra et al. (2008), sendo respectivamente para as profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm: 3,32; 1,32; 0,96; 0,44 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Nas parcelas dois, cinco e sete, os valores observados neste estudo são superiores aos valores médios para as camadas 0-20 e 20-40 cm ambas as relatadas por Scheer et al. (2011), tanto para a fisionomia florestal, 1,2 e 0,3 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, quanto para os campos de altitude, 1,8 e 0,5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

Assim como o Ca^{2+} , Mg^{2+} também decresce em profundidade, contudo, os valores médios observados para este estudo são inferiores aos valores encontrados em Mata Atlântica no estudo realizado por Benites et al. (2010). Para estes autores os valores observados de Mg^{2+} foram 1,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (camada 0-15 cm). Também são inferiores ao estudo realizado Scheer et al. (2011), onde os valores de Mg^{2+} observados em Floresta Ombrófila Densa Montana foram 1,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, e nos campos de altitude 1,9 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para a camada 0-20 cm de profundidade. Também o estudo realizado por Cardoso et al. (2011) em Floresta Estacional Semidecidual. No seu estudo estes autores observam valores médios de Mg^{2+} de 3,53 e 2,6 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ nas camadas 0-10 e 10-20 cm de profundidade respectivamente. Os valores são mais próximos ao Cerradão e aos Campos Nativos do próprio estudo de Cardoso et al. (2011).

Os valores de K^+ foram muito inferiores em relação às áreas de mata do estudo realizado por Benites et al. (2010) na camada 0-15 cm (156,4 mg dm^{-3}). No estudo realizado por Scheer et al. (2011) em ambas as vegetações, na camada 0-20 cm, os valores de K^+ foram iguais, e foram superiores a este estudo (234,6 mg dm^{-3}). Para a camada 20-40 cm, apesar de superiores a este estudo, os valores divergem entre si, os de campo foram superiores à floresta sendo, respectivamente 39,1 e 78,2 mg dm^{-3} .

Ernani, Almeida e Santos (2007) associam elevados teores de K^+ em solos tropicais ao intemperismo, principalmente por hidrólise de micas e feldspatos, solubilizando o K^+ desses minerais e transferindo para a solução do solo. Já o maior teor de K^+ na camada superficial do solo pode estar associado à maior lixiviação deste nutriente da copa das árvores e da serapilheira sobre acumulada sobre o solo, já que este elemento é encontrado em forma iônica nos vegetais (GODINHO et al., 2013).

Na⁺ comparação entre fisionomias distintas, Cardoso et al. (2011) observam valores pouco superiores a este estudo, sendo para a profundidade 0-10 e 10-20 cm a Floresta Estacional Semidecidual > Cerradão > Pastos Nativos.

Assim como no estudo de Martins (2010) em gradientes altitudinais, os valores de Na⁺ neste estudo decrescem em profundidade, contudo, os valores observados para a floresta em questão são em menor magnitude.

É interessante salientar que no estudo realizado por Martins (2010), áreas mais próximas ao mar, a Restinga, tiveram níveis de Na⁺ inferiores às Florestas Montanas e Alto Montanas. Segundo estes autores, estas áreas não sofrerão influência do spray salino, que acarretaria maiores teores de Na⁺ como as demais áreas.

Neste estudo não se observa uma correlação do Na⁺ com a altitude para as camadas superficiais de coleta, indicando que talvez a correção positiva para a camada 10-20 e 20-40 possa estar relacionada não com carregamento de aerossóis e posterior precipitação pelas chuvas, mas sim pelo material de origem do solo.

Ao interpretar os resultados da CTC efetiva (t) e CTC potencial (T), verifica-se que os mesmos corroboram com os atributos químicos anteriormente discutidos. Ambas decrescem com a profundidade, verifica-se que o pH baixo (acidez elevada) propicia a baixa disponibilidade de bases solúveis e, inversamente, eleva a disponibilidade de Al³⁺, assim a saturação por Al, demonstra que boa parte da CTC é ocupada pelo Al trocável, bem como a existência de elevados teores de MO é responsável pela geração da maioria das cargas negativas do solo (SIMAS et al., 2005), corroborando com as fortes correlações das CTC's com a altitude que podem estar relacionadas com o aumento do teor de MO no solo que também aumenta em altitude.

O decréscimo em profundidade de P também foi observado por Mafra et al. (2008) e por Scheer et al. (2011), entretanto, os valores observados por Scheer et al. (2011) para a área de floresta na camada 0-20 cm do solo chegam a quase 4 vezes (23,3 mg dm⁻³) do valor apresentado nesta mesma camada para a floresta em questão (5,79 mg dm⁻³). No estudo realizado por Cunha et al. (2007), porém, os dois fragmentos de Floresta Ombrófila Densa Montana em Santa Maria Madalena, RJ, o P disponível na camada de 0-10 cm (6,1 e 6,4 mg dm⁻³) foi bem próximo à média das camadas 0-5 e 5-10 cm deste estudo (7,03 mg dm⁻³).

Dentre as fisionomias florestais estudadas por Skorupa et al. (2012), a Floresta Ombrófila Densa de altitude destacou-se por ter os mais elevados teores de P na camada 0-20 cm. Entretanto, na região do Pantanal Sul-Mato-Grossense, a Floresta Estacional Semidecidual, o Cerradão e a pastagem nativa estudados por Cardoso et al (2011), os valores

de P para as camadas 0-10 e 10-20 cm foram superiores a este estudo e a todas as fisionomias estudadas por Skorupa et al. (2012).

Embora os valores de P variem muito entre o mesmo tipo de formação florestal, neste estudo e nos estudos realizados por Scheer et al. (2011) e Cunha e outros (2007), este último mostrou-se mais semelhante por se tratar, em ambos os casos, da mesma classe de solo, diferentemente do estudo de Scheer et al. (2011) em que a Floresta Ombrófila Densa Montana encontra-se sobre Gleissolos.

Cunha et al. (2007) ressaltam que o P extraído pelo método usual ignora diversas formas de P orgânicas e inorgânicas no solo e não quantifica o que é ciclado anualmente, somente mostra o que está prontamente disponível à vegetação.

Ainda segundo Cunha et al. (2007), o P orgânico (Po) representa importante compartimento ciclável em florestas tropicais úmidas, impedindo a adsorção deste elemento pela fração mineral do solo. Além da fração orgânica, a maior disponibilidade de P em florestas tropicais montanas em relação às florestas de terras baixas, pode estar relacionada ao intemperismo mais acentuado nos solos desta última (TANNER; VITOUSEK E CUEVAS, 1998).

Essa afirmação pode ser corroborada por meio da forte correlação de P (r 0,80) na camada 10-20 cm de profundidade com a altitude das parcelas, onde o P disponível não mostrou interação direta com fatores ambientais e biológicos, sendo a sua variação, explicada pelo intemperismo do solo, que é menor em atitudes mais elevadas.

Os teores médios de carbono orgânico e de matéria orgânica no solo da Floresta em questão foram bem superiores a diversos estudos em outras fisionomias florestais nativas em diferentes regiões do Brasil.

Segundo Feller e Beare (1997), a dinâmica da matéria orgânica no solo é regulada pelo clima, tipo de solo e pelo seu manejo ou uso, controlando física, química e biologicamente a MO, regulando a qualidade, a ação de decompositores e as saídas do ecossistema.

Cardoso et al. (2011) descrevem baixos valores de MO para a Floresta Estacional Semidecidual na camada 0-10 e 10-20 cm de profundidade (22,0 e 15,7 g kg⁻¹), no Cerradão e na pastagem nativa nesse mesmo estudo os teores foram ainda menores.

Benites et al. (2010) observam teor de carbono de 44 g kg⁻¹ para a profundidade 0-15 cm em Bom Jardim, RJ, em remanescente de Mata Atlântica. Em Campo Belo do Sul, SC, Mafra e outros (2008) também detectam teores inferiores a este estudo para as mesmas profundidades (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm), tanto em relação à Floresta Ombrófila Mista

(55,8; 34,9; 27,1; 22,5 g kg⁻¹), quanto em relação ao Campo Nativo (49,8; 37,2; 32,1; 27,8 g kg⁻¹).

Estudos em Floresta Ombrófila Densa demonstram que nesse tipo de vegetação, o aporte constante de material vegetal, é um dos motivos pela manutenção de elevados teores de C_{org} no solo, associado às condições edafoclimáticas.

Em diversas fisionomias estudadas por Skorupa et al. (2012), os teores mais elevados de MO são observados em Floresta Ombrófila Densa Altimontana (72 g kg⁻¹). Cunha e outros (2007), estudando dois fragmentos de Floresta Ombrófila Densa Montana em Cambissolos, também encontram valores elevados de C_{org} em ambos os fragmentos na profundidade de 0-10 cm (53,6 e 37,2 g kg⁻¹).

Apesar de este estudo ter teores de MO e C_{org} superiores às florestas já citadas, Organossolos em geral são solos com elevados teores de MO e C_{org}, independentemente do tipo de fisionomia sobre ele. A exemplo disto, no estudo realizado por Scheer et al. (2011) em Organossolos sob a Floresta Ombrófila Densa Altimontana e Campos de Altitude, os teores de C_{org} variaram entre 408 e 463 g kg⁻¹, sendo superiores a este estudo.

Em geral, a adição de MO no solo ocorre por meio da deposição de material senescente da parte aérea das plantas e pela liberação de exsudatos radiculares, e sua permanência no solo está relacionada com diversos fatores bióticos e abióticos. Dentre esses fatores, a recalcitrância do material, a interação com a fração mineral do solo (formação de agregados organominerais), proteção física da MO (intra-agregado) propiciam o acúmulo (PILLON; MIELNICZUK E MARTIN NETO, 2002; MAFRA et al., 2008).

Outra situação que propicia a conservação de MO e C_{org} no solo é relatada por Scheer et al. (2011), em seu estudo, a baixa disponibilidade de nutrientes, elevados Al e CTC (T), em conjunto com a pluviosidade elevada, temperatura baixa e excesso de água, são condições desfavoráveis à decomposição biológica, propiciando o acúmulo da MO. Isto pode ser comprovado para a área de estudo pelas correlações existentes entre a MO e a altitude, sendo muito fortes e positivas para as camadas 0-5, 5-10, 10-20 cm, e fortes para a camada 20-40 cm.

Com o aumento da altitude das parcelas há um aumento da umidade do solo, devido ter chuvas mais frequentes e constante neblina, além disso, existe uma redução gradativa da temperatura e do pH do solo, e uma maior concentração de Al³⁺; a coexistência desses fatores limita a atividade microbiana e conseqüentemente pode reduzir as taxas de decomposição da MO.

Contudo, o Al elevado não causa toxidez à vegetação, por estar complexado à MO, além disso, o complexo sistema de raízes nas camadas superficiais do solo atrelado ao horizonte orgânico cria um eficiente sistema de absorção dos nutrientes, evitando perdas por lixiviação (SCHEER et al., 2011).

Notadamente, de acordo com Gonçalves e Mello (2002), quando há baixa fertilidade dos solos e baixa disponibilidade de água, a vegetação investe mais reservas na formação do sistema radicular do que na parte aérea, e tem como consequência um sistema radicular mais desenvolvido, com maior presença de raízes finas e atingindo camadas mais profundas. Por isso, segundo Gama-Rodrigues et al. (2007), a baixa fertilidade dos solos de florestas tropicais é compensada pela eficiente ciclagem de nutrientes do material aportado, e também segundo Cardoso et al. (2007), a decomposição do material vegetal mais uniforme está relacionada com o material aportado mais diversificado.

4.2 ESTOQUE DE CARBONO

4.2.1 Densidade do solo

Dalben e Osaki (2008) estudando Floresta Ombrófila Mista e um plantio de *Pinus taeda* com 21 anos, observam para a fisionomia florestal nativa valores superiores de densidade do solo, $2,33 \text{ g cm}^{-3}$, entretanto, a camada superficial para estes autores foi de 0-20 cm. Lopes et al. (2006), comparando o efeito da compactação por máquinas em plantio de eucalipto em Belo Oriente, MG, observam que onde não há tráfego de máquinas a densidade do solo foi significativamente menor ($1,1 \text{ g cm}^{-3}$).

Sá, Pereira e Fontana (2003) relatam que, para a camada 0-10 cm, os solos de uma Floresta de Tabuleiro (formação secundária) possuem menor densidade que um monocultivo de café e uma pastagem, sendo que a densidade para a floresta foi $1,04 \text{ g cm}^{-3}$.

Scheer et al. (2011), em solo de floresta nativa e para Campos Altimontanos, encontrou valores de densidade próximos a este estudo, sendo para as camadas superficiais até 25 cm de $0,08$ até $1,17 \text{ g cm}^{-3}$.

No presente estudo, os valores de Ds são menores nas parcelas mais elevadas, onde o acúmulo de MO no solo é mais expressivo ($r -0,73$), corroborando com diversos estudos que

relatam que a redução na Ds pode estar relacionada com a redução nos teores de MO no solo e ao histórico do manejo da área (SÁ; PEREIRA E FONTANA, 2003; ARAÚJO; TORMENA E SILVA, 2004; GUARIZ et al., 2009; RODRIGUES et al., 2012).

4.2.2 Estoque de Carbono

Os valores do estoque de carbono deste estudo tendem a ser superiores aos estudos realizados em fisionomias florestais nativas, principalmente de caráter montano ou altimontano, entretanto outras fisionomias florestais demonstram ter valores superiores de EstC.

No estudo realizado por Scheer et al. (2011), tanto em relação aos Campos Altimontanos, quanto a Floresta Ombrófila Densa Altimontana, estes autores observam valores do estoque de carbono inferiores a este estudo. Nos Campos Altimontanos, no horizonte superficial, entre 14 e 21 cm de profundidade, o EstC médio foi $9,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, e para a floresta, na camada de 15 cm de profundidade o EstC médio foi $5,19 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Rangel e Silva (2007) observam valores superiores a este estudo, sendo $33,95 \text{ Mg ha}^{-1}$ no estoque na camada 0-10 cm de profundidade em uma Floresta Estacional Semidecidual. Em áreas do Pantanal Sul-Mato-Grossense, Cardoso et al. (2011) relatam que o EstC da Floresta Estacional Semidecidual foi superior a demais formações nativas estudadas por ele, $22,04 \text{ Mg ha}^{-1}$ na camada 0-10 cm de profundidade, seguida pelo Cerradão, que apresentou $16,75$ e $10,99 \text{ Mg ha}^{-1}$, áreas de pastagens nativas ou cultivadas tiveram menores estoques, variando entre $6,38$ e $16,67 \text{ Mg ha}^{-1}$. Assim como os valores observados por Cardoso et al. (2010), D'Andréa et al. (2004) também relatam EstC semelhantes a este estudo para Cerrado *stricto sensu* na camada de 0-10 cm de profundidade, onde o valor encontrado foi $22,61 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Costa et al. (2008) correlacionam a redução nas taxas de decomposição da matéria orgânica no solo à saturação do solo por água, intensificando a decomposição por vias anaeróbicas, em contrapartida, a elevação da temperatura na camada superficial do solo eleva a taxa de decomposição da MO, pois intensifica a atividade microbiana de decomposição.

A formação de solos, em conjunto com a evolução do carbono, está relacionada com as interações dos fatores de formação, como material de origem e a estrutura do solo,

saturação de água e temperatura. A análise destes fatores isoladamente torna difícil, pois a variação de um, afeta o outro. Dessa maneira, a grande variabilidade desses fatores e suas relações geram uma variabilidade nos teores de carbono no solo (BALDOCK; NELSON, 2000).

Corroborando com as afirmações citadas, os resultados demonstram que, apesar de não serem observados os maiores teores de C_{org} para as parcelas dois e quatro, foram elas que apresentaram o maior estoque de carbono, isso ocorre porque o próprio acúmulo de MO diminui a densidade do solo.

Rangel e Silva (2007) e Scheer et al. (2011) afirmam que a compensação do estoque de carbono em solos com menor teor de C_{org} existe pela maior densidade dos solos, assim como acontece com ambas as parcelas.

Como relatado anteriormente, os teores de carbono estão associados ao acréscimo da altitude, onde as condições de hidromorfias sazonais, temperaturas baixas neblina frequente reduzem a decomposição do material aportado pela biota, sendo o acúmulo superior à decomposição, havendo um acréscimo dos níveis de material humificado (Scheer, 2010).

Segundo Baldock e Nelson (2000), apesar de condições favoráveis, esse acúmulo de MO no solo não é indefinido e tende a um equilíbrio, cada solo apresenta uma capacidade de armazenamento diferente, tendo inicialmente um grande acúmulo e, posteriormente, com as limitações nutricionais impostas por ele, reduz a velocidade até estabilizar as entradas e as saídas.

Ainda segundo Baldock e Nelson (2000), grande parte do C estocado no solo fica protegido e tem ciclagem muito lenta, enquanto as formas mais lábeis desse C tem vida mais curta no solo Silva e Mendonça (2007), afirmam que a estabilização da MO no solo pode ocorrer por três vias: química, física e bioquímica. Essas vias de estabilização agem em conjunto e permitem uma resistência do C contido na MO por longos períodos de tempo.

5 CONCLUSÃO

A análise dos atributos químicos permite concluir que o solo da floreta em estudo é pouco desenvolvido, com caráter ácido e de baixa fertilidade. A camada superficial, entre 0-10 cm de profundidade, concentra grande parte dos nutrientes disponíveis à vegetação, ilustrando a importância do aporte orgânico para a fisionomia em questão.

Apesar do crescente teor de carbono em função do gradiente altitudinal, não é o único fator que rege o EstC nesta fisionomia florestal, mas sim a interação solo/planta/clima que precisa de estudos mais amplos para elucidar melhor essas questões ecossistêmicas.

O gradiente altitudinal influencia os atributos químicos do solo, a densidade e o estoque de carbono de formas diferentes. Os atributos químicos do solo, fertilidade e acidez, são influenciados pela idade do solo e seu desenvolvimento, que diminui com aumento da altitude. Os atributos relacionados à matéria orgânica são influenciados pela mudança microclimática (temperatura e umidade), que reduzem a decomposição e propiciam o acúmulo de MO.

6 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C., GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 1-18, 2013.

ARAÚJO, A.O.; MENDONÇA, L.A.R.; LIMA, M.G.S.; FEITOSA, J.V.; SILVA, F.J.A.; NESS, R.L.L.; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A.A.F.; KERNTOPF, M.R. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 754-762, 2013.

ARAUJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

ALEXANDER, C.E.; CRESSE, M. S. An assessment of the possible impact of expansion of native woodland cover on the chemistry of Scottish freshwaters. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v. 73, n. 1, p. 1-27, 1995.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 24, n. 3, p. 599-607, 2000.

BENITES, V.M.; MOUTTA, R.O.; COUTINHO, H.L.C.; BALIEIRO, F.C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, ago, 2010.

BALDOCK, J.A.; NELSON, P.N. **Soil organic matter**. In: Handbook of Soil Science. CRC Press, Boca Raton, USA, 2000. p. 25–84.

BEGON, M.; TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 4 ed. Artmed, Porto Alegre, 2007, 752 p.

CALDEIRA, M.V.W.; VITORINO, M.D.; SCHAADT, S.S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias** (Online), Londrina, v. 29, p. 53-68, 2008.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FREITAS, D.A.F. Qualidade química e física do solo sob vegetação arbórea nativa e pastagens no Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 35 p. 613-622, 2011.

CARDOSO, E.L.; SILVA, M.L.N.; SILVA, C.A.; CURI, N.; FREITAS, D.A.F. Estoques de carbono e nitrogênio em solo sob florestas nativas e pastagens no bioma Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 45, v. 9, p. 1028-1035, 2010.

CARVALHO, D.A.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; VILELA, A.E., CURI, N.; VAN DEN BERG, E; FONTES, M.A.L.; BOTEZELLI, L. Distribuição de espécies arbóreo-arbustivas ao longo de um gradiente de solos e topografia em um trecho de floresta ripária do rio São Francisco

em Três Marias, MG, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 329-345, 2005.

COSTA, F.S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases de efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Revista Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 693-700, 2006.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, n.32, p. 323-332, 2008.

CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; COSTA, G.S.; VELLOSO, A.C.X. Fósforo orgânico em solos sob florestas montanas, pastagens e eucalipto no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, n. 31, p. 667-671, 2007.

CUNHA NETO, F.V., CORREIA M.E.F., PEREIRA, G.H.A, PEREIRA, M.G, LELES, P.S.S. Soil fauna as indicator of soil quality in forest stands, pastures and secondary forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 36, p. 1407-1417, 2012.

D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J.O.; CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, n. 26, p. 913-923, 2002.

DALBEN, A.D.; OSAKI, F. Atributos físicos do solo de um cambissolo háplico em floresta nativa e de *Pinus taeda*. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 29-37, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 3.ed. ver, ampl. Brasília, DF , 2013.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-594.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p 69-116, 1997

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.;COMERFORD, N.B. Biomass and nutrient cycling in pure and mixed stands of native tree species in Southeastern Bahia, **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, n. 31, p. 287-298, 2007.

GODINHO, T.O.; CALDEIRA, M.V.W.; CALIMAN, J.P.; PREZOTTI, L.C.; WATZLAWICK, L.F.; AZEVEDO, H.C.A.; ROCHA, J.H.T. Biomassa, macronutrientes e carbono Orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 131-144, 2013.

GUARIZ, H.R.; CAMPANHARO, W.A.; PICOLI M.H.S.; CECÍLIO, R.A.; HOLLANDA, M.P. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal/PE. **Anais...VIV** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 7709-7716, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF). **Plano de Manejo para o Parque Nacional do Caparaó**. Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza. Doc. Tec. n. 8. Brasília, 1981. 139p.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Disponível em: <http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=ibitirama_bol> Acesso em: 12 dez. 2013.

KLIPPEL, V.H., **Avaliação de métodos de restauração florestal de mata atlântica de tabuleiros**, 2011, 85f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Brasil.

LEIROS, M.C.; TRASAR-CEPEDA, C.; SEOANE, S.; GIL-SOTRES, F. Dependence of mineralization of soil organic matter on temperature and moisture. *Soil Biology Biochemistry*, **Soil Biology Biochemistry**, v. 31, n. 3, p. 327-335, 1999.

LOPES, S.E.; FERNANDES, H.C.; VIEIRA, L.B.; MACHADO, C.C. RINALDI, P.C.N. Compactação de um solo de uso florestal submetido ao tráfego de arraste de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, p. 369-376, 2006.

MAFRA, A.L.; GUEDES, S.F.F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J.C.P.; ALMEIDA, J.A.; ROSA, J.D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 2, p. 217-224, 2008.

MARTINS, P.C.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; AJAYI, A.E.; MOREIRA, F.M.S. Structural sustainability of cambisol under different land use system. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1724-1732, 2012.

MAZINE, F.F.; SOUZA, V.C. Myrtaceae dos campos de altitude do Parque Nacional do Caparaó – Espírito Santo/Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 57-74, 2008.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005, 107p.

NOVAES FILHO, J.P.N.; SELVA, E.C.; COUTO, E.G.; LEHMANN, J.; JOHNSON, M.S.; RIHA, S.J. Distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na Amazônia Meridional. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 83-92, 2007.

PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.; MARTIN NETO, L. **Dinâmica da matéria orgânica no ambiente**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2002. 41 p.

RANGEL, O.J.P.; SILVA C.A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 1609-1623, 2007.

ROCHA, C.T.V.; CARVALHO, D.A.; FONTES, M.A.L.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; VAN DEN BERG, E.; MARQUES, J.J.G.S. Comunidade arbórea de um continuum entre floresta paludosa e de encosta em Coqueiral, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 203-218, 2005.

RODRIGUES, V.A.; FENNER, P.T.; SANSIGOLO, C.A.; MORAES, M.H. Estimativa da água no solo em floresta de *Eucalyptus grandis*. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 523 - 533, 2012.

SÁ, R. C.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Características físicas e químicas de solos de tabuleiros em Sooretama (ES). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 95-99, 2003.

SCHEER, M.B., **Ambientes altomontanos no Paraná: florística vascular, estrutura arbórea, relações pedológicas e datações por ¹⁴C**. 2010, 153f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

SCHEER, M.B.; CURCIO, G.R.; RODERJAN, C.V. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1113-1126, 2011.

SHIMAKURA, S.E. Correlação. In: CE003 - **Estatística II**. Paraná: Dep. de Estatística da Universidade Federal do Paraná: Curitiba, p. 71-78, 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~paulojus/CE003/ce003/node8.html>>; acessado em: 22 de dezembro de 2013.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

SIMAS, F.N.B., SCHAEFER, C.E.G.R., FERNANDES FILHO, E.I., CHAGAS, A.C., BRANDÃO, P.C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of the Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam n. 125, p. 187-201, 2005.

SKORUPA, A.L.A.; GUILHERME, L.R.G.; CURI, N.; SILVA, C.P.C; SCOLFORO, J.R.S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 36, p. 11-22, 2012.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F. et al., (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.

TANNER, E.V.; VITOUSEK P.M.; CUEVAS, E. Experimental investigation of nutrient limitation of forest growth on wet tropical mountains. **Ecology**, n. 79, p. 10–22, 1998.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, K.; MILTNER, A.; MIANO, T.M.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralizing of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam v. 79, p. 117-161, 1997.

CAPÍTULO II

APORTE, ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA DENSA, NO PARQUE NACIONAL DO CAPARAÓ, ES

RESUMO

O presente estudo teve como objetivos descrever o aporte, acúmulo e decomposição de serapilheira, identificando os fatores edáfico e climáticos que mais contribuem com a ciclagem biogeoquímica na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES. O estudo foi realizado em sete parcelas de 20x50 m na área de estudo. Para o estudo do aporte de serapilheira foram distribuídos sistematicamente em cada parcela oito coletores de serapilheira com dimensões de 0,75 x 0,75 m, feitos em estrutura de pvc, com malha de nylon de 2 mm. O estudo do acúmulo de serapilheira foi realizado com auxílio de um gabarito de 0,25 x 0,25 cm, lançado em um caminhamento em ziguezague dentro de cada parcela e com a coleta do material presente em seu interior. A serapilheira aportada e acumulada foi coletada mensalmente entre novembro/2012 e outubro/2013. Após a secagem prévia, a serapilheira aportada foi separada em três frações: Folhas, Galhos + casca e Miscelânea (material reprodutivo + resto). As serapilheiras, aportada e acumulada, foram secas em estufa a 65°C até atingirem peso constante. A quantificação da serapilheira foi feita em kg ha⁻¹. A identificação da taxa de decomposição na área de estudo foi realizada segundo a equação: $k = L/X_{ss}$; onde L é o aporte de biomassa em kg ha⁻¹ e X_{ss} é o acúmulo de biomassa em kg ha⁻¹. Os dados do aporte e acúmulo de serapilheira foram submetidos ao teste de normalidade de resíduos de Shapiro-Wilk, por não exibirem distribuição normal, os dados foram transformados por meio de uma função logarítmica, do tipo $x' = \log(X)$, e posteriormente realizada a análise de variância (p<0,05). Foi aplicado o teste não paramétrico de Friedman (p<0,05) para comparar a variação sazonal do aporte e do acúmulo ao longo do ano. A comparação entre médias do aporte e do acúmulo anual das sete parcelas foi realizada pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (p<0,05). Para verificar a influência dos fatores edafoclimáticas na produção e no acúmulo de serapilheira foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r), a significância das correlações foi testada pelo teste t (p<0,05). O Aporte de serapilheira foi de 7.428,29 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A fração Folhas constituído 61,95%, galhos 25,76% e Miscelânea 12,29%. Os meses de maior deposição foram novembro/2012, dezembro/2012 e fevereiro/2013. Foram observadas correlações significativas, fortes e positivas para Folhas e o aporte anual com a ETP (evapotranspiração potencial). O acúmulo médio de serapilheira foi de 7.246,26 kg ha⁻¹ ano⁻¹, os meses de maior acúmulo foram janeiro/2013 e março/2013. Acúmulo de serapilheira correlacionou-se positivamente com a temperatura média. A constante de decomposição k foi 1,03, e o tempo para que a metade do material acumulado fosse decomposto (T_{50%}) de 246,75 dias, e para que 95% do material

fossem decompostos ($T_{95\%}$) de 1068,17 dias. Concluiu-se que o aporte contínuo de folhas com a decomposição mais lenta durante períodos de temperatura mais baixa, propiciam o acúmulo gradativo sobre o solo.

Palavras-chave: Ciclagem de nutrientes; biomassa florestal, gradiente altitudinal.

ABSTRACT

The present study aimed to describe the production, accumulation and decomposition of litter, identifying the edaphic and climatic factors that most contribute to the biogeochemical cycling in Tropical Rain Forest Montana in Caparaó National Park, ES. The study was conducted in seven plots of 20x50 m in the study area. To study the production of litter were systematically distributed in each plot eight litter trap with dimensions of 0.75 x 0.75 m, made of pvc frame with nylon mesh 2 mm. The study of the accumulation of litter was performed with the aid of a wood frame 0.25 x 0.25 cm, launched in a zigzag path within each plot, with the collection of material inside. The litterfall and accumulated litter was collected monthly between November/2012 and October/2013. After prior drying, litterfall was separated into three fractions: leaves, bark plus twigs, and Miscellaneous (reproductive materials + rest). The deposited and accumulated litters were dried at 65 °C until constant weight. Quantification of litter was taken in kg ha⁻¹. The identification of the decomposition rate in the study area was carried out according to the equation: $k = L/X_{ss}$; where L is the production of biomass in kg ha⁻¹ and X_{ss} is the accumulation of biomass in kg ha⁻¹. The data production and accumulation of litter were subjected to normality test waste Shapiro-Wilk test, by not exhibit normal distribution, the data were transformed using a logarithmic function of the type $x' = \log(X)$, and after performed the analysis of variance ($p < 0.05$). The nonparametric Friedman test ($p < 0.05$) to compare the seasonal variation of the production and accumulation throughout the year was applied. The comparison between the mean production and the annual accumulation of seven plots was performed by nonparametric Kruskal-Wallis test ($p < 0.05$). To check the influence of soil and climatic factors in the production and accumulation of litter the Pearson correlation coefficient (r) was calculated, the significance of the correlations was tested by t test ($p < 0.05$). The production of litter was 7,428.29 kg ha⁻¹ yr⁻¹. The leaves fraction constituted 61.95%, twigs 25.76 % and Miscellaneous 12.29%. The months of greatest deposition were November/2012, December 2012 and February/2013. Significant, strong and positive correlations for leaves and the annual contribution to the ETP (evapotranspiration) were observed. The mean accumulation of litter was 7246.26 kg ha⁻¹ yr⁻¹, the months of greatest accumulation were January/2013 and March/2013. Accumulation of litter was positively correlated with the mean temperature. The decomposition constant k was 1.03, and the time for half of the accumulated material was decomposed ($T_{50\%}$) of 246.75 days, and 95 % of the material to be decomposed ($T_{95\%}$) of 1068.17 days. It was concluded

that the continuous supply of sheets with slow decomposition during periods of lower temperature favor the gradual accumulation on the ground.

Keywords: Nutrient cycling; forest biomass, altitudinal gradient.

1. INTRODUÇÃO

A produtividade e a resiliência de ecossistemas, estão relacionadas principalmente à capacidade que o ambiente tem de reaproveitar nutrientes. Em geral, o meio biológico tem maior capacidade de ciclagem de nutrientes em relação aos compartimentos abióticos. Esses compartimentos imobilizam os nutrientes por um período de tempo e posteriormente os liberam para serem ciclados e utilizados novamente.

A movimentação dos nutrientes pelos ecossistemas ocorre em três grandes ciclos, o ciclo geoquímico que envolve a ciclagem nos compartimentos inorgânicos, o bioquímico que está relacionado com a ciclagem interna dos vegetais, e o biogeoquímico onde ocorre a interação entre o sistema solo planta e atmosfera, estando relacionado à entrada saída e manutenção dos elementos dentro de ecossistemas (SWITZER; NELSON, 1972). Os principais fatores que influenciam a ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais são o clima, a composição florística, o estágio sucessional e a fertilidade dos solos (VITOUSEK; SANFORD, 1986).

Em florestas tropicais parte dos nutrientes encontra-se estocado na madeira, ramos e raízes, sendo ciclados mais lentamente em comparação à ciclagem realizada via transferência de nutrientes pela serapilheira das partes verdes, e pela renovação das raízes finas (GOLLEY et al., 1978).

A serapilheira é considerada como uma camada orgânica depositada e acumulada sobre o solo. Em geral é constituída por folhas, ramos, caule, casca, flores, frutos, sementes, e material não vegetal não identificado, bem como restos de animais e fezes (OLSON, 1963; GOLLEY, 1978). É a principal via de retorno de matéria orgânica e de muitos dos nutrientes essenciais à comunidade vegetal para o solo, sendo a principal fonte de energia para decompositores no piso florestal e no solo, a sua variação espacial do seu acúmulo e a sua qualidade são fundamentais para a formação de solos e a manutenção de sua fertilidade (SPAIN, 1984; BRUN et al., 2001). Além disso, o aporte contínuo de material vegetal sobre o solo estoca quantidade significativa de nutrientes, e a sua decomposição propicia a manutenção da fertilidade do solo (CIANCIARUSO et al., 2006; CALVI; PEREIRA E ESPÍNDULA JÚNIOR, 2009).

De acordo com Jordan (1985) o material senescente ao cair no piso florestal é gradualmente incorporado ao horizonte superficial do solo interagindo com a fração mineral, sendo a fauna e a microbiologia do solo os principais responsáveis por estes processos.

Cuevas e Medina (1986) afirmam que, as taxas de decomposição do material orgânico depositado sobre o solo não são influenciados somente pelas características ambientais, mas também por sua própria composição, como por exemplo, os baixos teores de nitrogênio e fósforo das folhas decíduas, que podem reduzir a taxas de decomposição. Esta situação torna-se crítica em ambientes onde a planta depende da ciclagem de nutrientes, ou o elemento apresenta baixa ciclagem bioquímica.

Em uma comunidade vegetal existem fortes interações entre vegetação e solo que ela ocupa, expressos a partir do processo cíclico de entrada e saída de nutrientes no solo (QUEIROZ, 1999). O aporte e decomposição da serapilheira são as principais vias de retorno de C orgânico, dos macronutrientes N, Ca, Mg e K, P e dos micronutriente Fe, Mn e Zn para o solo (COSTA et al., 2005; CALDEIRA et al., 2007; ESPIG et al., 2009).

A ciclagem de nutrientes via serapilheira não é homogênea entre os ecossistemas, e mesmo em uma escala espacial menor existe tanto a variação horizontal quanto a vertical. Os fatores que influenciam a ciclagem via serapilheira dentro de ecossistemas então principalmente relacionados às variações ocasionadas pela redução na incidência da luz, a redução da temperatura, o aumento na umidade em um gradiente dossel-piso, a elevação das taxas de decomposição da matéria orgânica do solo e aumento da respiração microbiana (CAMPOS et al. 2006), sendo assim cada ecossistema tem suas características peculiares onde alguns fatores dominam sobre os outros (FIGUEIREDO FILHO et al., 2003).

A própria serapilheira influência e cria microambientes com seu acúmulo sobre o solo. A camada de serapilheira pode reduzir a amplitude térmica do solo, a disponibilidade de luz, a evaporação, também gerando uma elevação da local da umidade e mesmo reduzindo a infiltração de água no solo. Além disso, a disponibilidade de nutrientes também influencia na comunidade vegetal impedindo ou facilitando a germinação de sementes, a emergência de plantas, e o aumento da herbivoria em plântulas (FACCELLI; PICKETT, 1991; SANTOS; VÁLIO, 2002),

Nesse contexto, estudos qualitativos e quantitativos sobre a produção de serapilheira são importantes para entender como funciona um ecossistema vegetal, visto que os fatores edáfico, climático e biológico afetam a produtividade do ecossistema. Estes estudos podem ser empregados para aquisição de informações sobre a produtividade primária de florestas, taxas de decomposição renovação da manta vegetal, a fenologia da comunidade vegetal, e a eficiência na utilização de recurso pelo ecossistema e sua sustentabilidade, descrevendo uma ínfima parte das interações existentes em ecossistemas naturais (GAMA-RODRIGUES et al.,

2003; VITAL et al., 2004; ALVES et al., 2006; CALDEIRA et al., 2007; CALDEIRA et al., 2008).

Partindo desse pressuposto, este estudo teve como objetivos descrever o aporte, acúmulo e decomposição de serapilheira, identificando os fatores edáfico e climáticos que mais contribuem com a ciclagem biogeoquímica na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O tópico de descrição da área de estudo e das parcelas estudadas estão inseridas nos no item 2.1 do Capítulo I, desta dissertação.

A seguir são apresentadas as variáveis meteorológicas obtidas por meio de uma estação automática instalada pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) (TABELA 2.1), na área do município de Ibitirama, localizada nas coordenadas 20° 27' 58" S e 41° 42' 25" O, a uma altitude de 857 m, dista 5 km da área de estudo, e a caracterização química do solo para a camada superficial do solo (0-5 e 5-10 cm de profundidade) para cada parcela na área de estudo e (TABELA 2.2).

Tabela 2.1- Variáveis meteorológicas observadas no período do estudo.

Período de coleta	Mês de referência	Temp. média	Po	N	ETP
		°C	mm	Dias	mm/dia
01 a 31/12/2012	Dez./12	22,8	99	9	5,1
01 a 31/01/2013	Jan./13	21,1	390,2	17	4,4
01 a 28/02/2013	Fev./13	21,9	61	6	4,8
01 a 31/03/2013	Mar./13	23,1	315,2	24	3,8
01 a 30/04/2013	Abr./13	20,9	125,4	19	3,2
01 a 31/05/2013	Mai/13	19,4	79	11	2,8
01 a 30/06/2013	Jun./13	19,3	26,4	12	2,6
01 a 31/07/2013	Jul./13	18,4	39,6	12	2,6
01 a 31/08/2013	Ago./13	18,9	28,6	9	3,2
01 a 30/09/2013	Set./13	20,3	34,2	15	4,6

Temp. média: Temperatura média ocorrida no período Po: Precipitação ocorrida no período; N: Número de dias chuvosos; ETP: Evapotranspiração potencial média do período. Fonte: INCAPER (2013).

Apesar de serem 12 meses de estudo, a estação meteorológica utilizada para aquisição dados dispunha apenas de dados a partir do mês de dezembro de 2013, não sendo possível realizar a análise entre os meses de outubro e novembro de 2013.

Tabela 2.2- Atributos químicos do solo para a camada superficial (0-5 e 5-10 cm de profundidade), nas parcelas implantadas na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ao longo de um gradiente altitudinal.

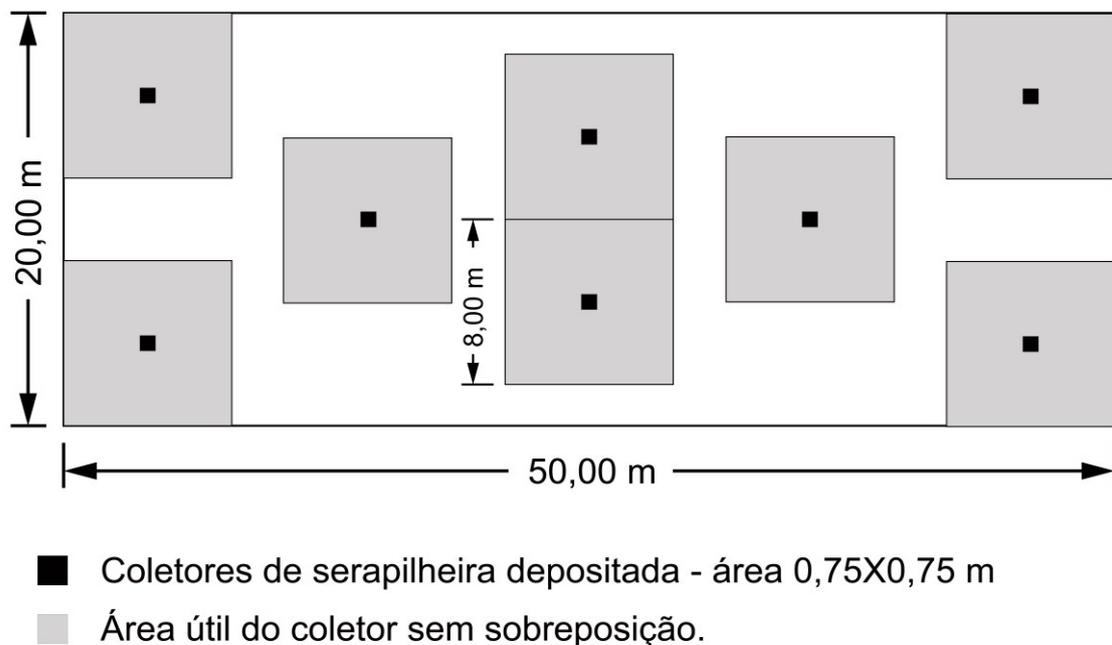
Altitude (m)/Parcela	Profundidade (cm)	pH	mg dm ⁻³			Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³			H+Al	g kg ⁻¹		cmol _c dm ⁻³		%	
			P	K ⁺	Na ⁺		Mg ²⁺	A ³⁺	C _{org}		MO	t	T	SB	V	m
1.112/P1	0-5	4,20	4,98	76,00	11,00	0,64	0,53	2,20	28,82	41,18	70,99	3,61	30,23	1,41	4,66	60,97
	05-10	4,00	4,32	64,00	9,00	0,40	0,40	1,90	22,82	33,90	58,44	2,90	23,83	1,00	4,22	65,41
1.219/P2	0-5	4,20	3,66	57,00	3,00	2,63	0,67	1,50	25,32	44,59	76,87	4,95	28,77	3,45	11,99	30,31
	05-10	4,20	3,34	45,00	4,00	1,22	0,39	1,90	24,16	40,49	69,81	3,64	25,89	1,74	6,70	52,26
1.302/P3	0-5	4,20	4,16	45,00	12,00	1,01	0,49	1,90	32,49	71,09	122,56	3,57	34,15	1,67	4,88	53,29
	05-10	4,00	3,62	36,00	11,00	0,58	0,33	2,30	28,16	44,70	77,07	3,35	29,21	1,05	3,60	68,65
1.319/P4	0-5	4,60	3,77	53,00	10,00	1,22	0,33	2,20	45,32	85,31	147,07	3,93	47,05	1,73	3,68	55,98
	05-10	4,50	3,31	56,00	14,00	0,76	0,32	2,80	39,98	80,47	138,74	4,08	41,26	1,28	3,09	68,70
1.391/P5	0-5	4,40	8,45	70,00	6,00	2,63	1,03	1,40	42,15	121,50	209,40	5,26	46,01	3,86	8,40	26,60
	05-10	4,30	5,76	43,00	4,00	0,98	0,44	1,80	36,32	74,22	127,95	3,34	37,86	1,54	4,07	53,87
1.420/P6	0-5	4,20	15,55	44,00	15,00	0,89	0,63	3,50	75,80	157,54	271,59	5,20	77,50	1,70	2,19	67,30
	05-10	4,00	9,00	32,00	12,00	0,37	0,39	3,60	78,30	96,68	166,68	4,49	79,19	0,89	1,12	80,24
1.550/P7	0-5	5,02	11,14	62,00	16,00	1,64	0,88	1,10	53,48	172,04	296,59	3,84	56,22	2,74	4,88	28,63
	05-10	4,30	7,44	55,00	17,00	1,09	0,67	3,00	63,81	130,81	225,51	4,97	65,78	1,97	3,00	60,34

Fonte: o autor.

2.1 APORTE DE SERAPILHEIRA

Para o estudo do aporte de serapilheira, a metodologia foi adaptada da recomendação feita por Clark et al. (2001) para florestas tropicais, em que, segundo estes autores, é necessário em média 1 coletor com área de $0,25 \text{ m}^2$ para cada 100 m^2 de área amostral a fim de se obter uma representação de $\pm 20 \%$ do aporte. Deste modo, foram distribuídos sistematicamente em cada parcela oito coletores de serapilheira depositada (FIGURA 2.1)

Figura 2.1 - Ilustração esquemática da distribuição dos coletores dentro das parcelas para coleta de serapilheira na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES.

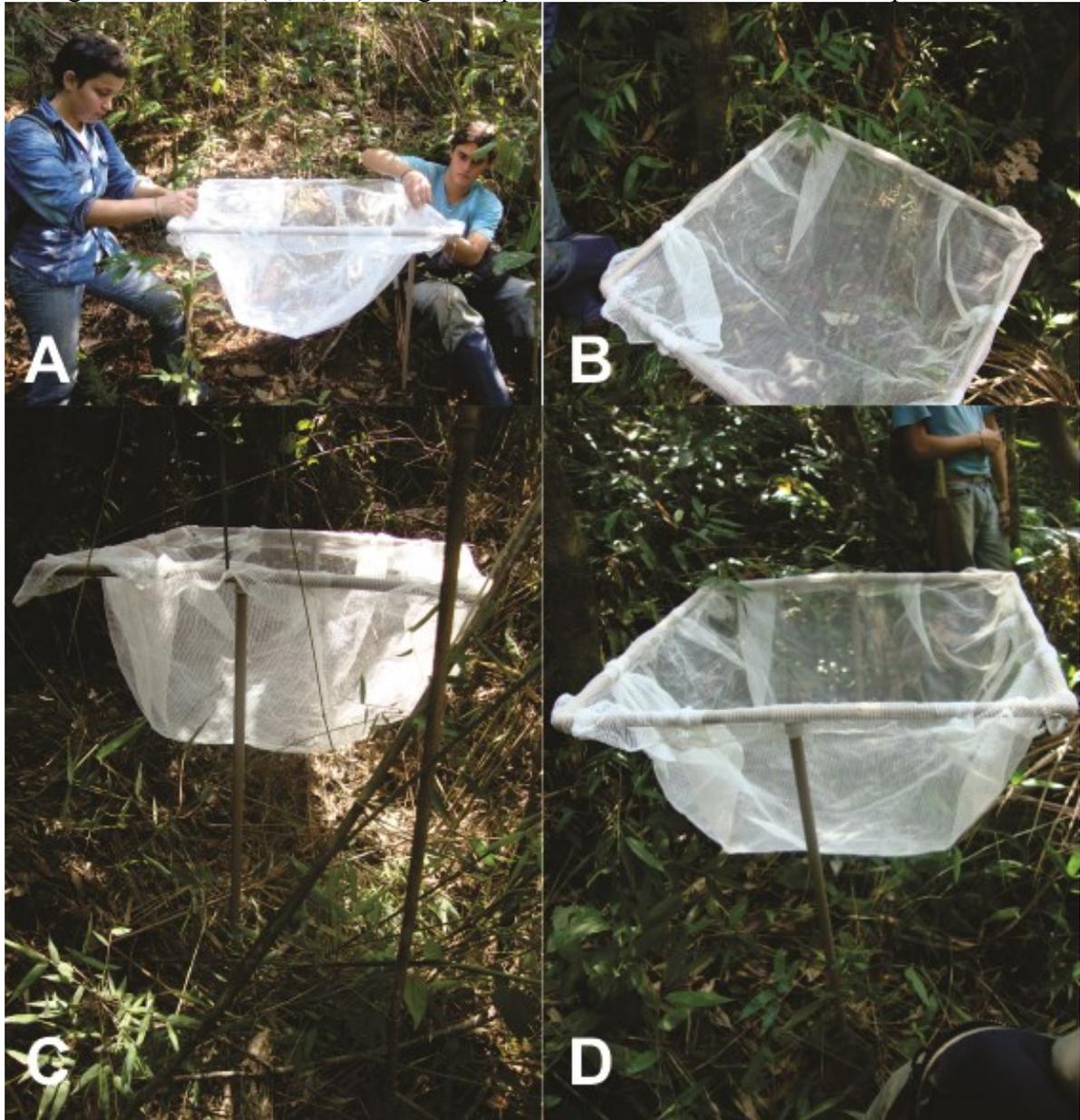


Fonte: o autor.

Para satisfazer a recomendação dos autores supracitados, a distribuição média de coletores em área foi de um coletor para cada 125 m^2 de parcela, entretanto a área do coletor foi 125% maior em relação à recomendação de Clark et al. (2001), correspondendo a uma área útil de 8 m^2 do coletor sem sobreposição, com uma representação de 50 % da parcela.

A estrutura do coletor foi confeccionada de acordo com o modelo utilizado no estudo realizado Cabianchi (2010). A estrutura foi composta por canos de PVC, telas de nylon em malha de 2 mm com dimensões de $0,75 \times 0,75 \text{ m}$ ($0,5625 \text{ m}^2$) e 0,75 m de altura do solo (FIGURA 2.2).

Figura 2.2 - Coletor de serapilheira depositada em estrutura de pvc com tela de nylon. (A) Montagem do coletor; (B, C, D) imagem superior e lateral do Coletor de serapilheira.



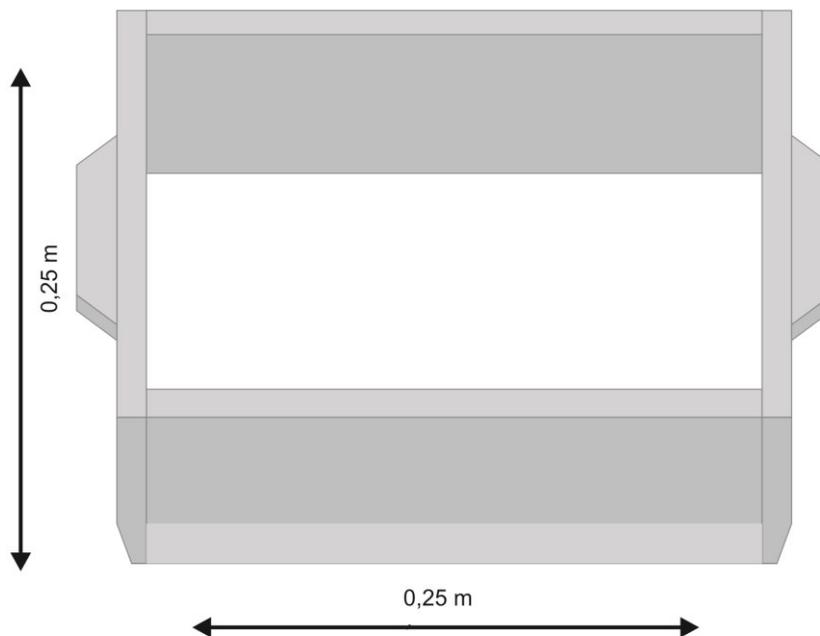
Fonte: o autor.

O procedimento de coleta do material decíduo retido dentro do coletor consistiu em uma extração manual. Quando algum material excedia a área do coletor, o mesmo foi fragmentado e somente a parte que estava inserida dentro do coletor foi aproveitada, e quando necessário foi, extraído do material decíduo exemplares da fauna que se encontravam vivos.

2.2 ACÚMULO DE SERAPILHEIRA

Para quantificar o acúmulo de serapilheira foram feitas mensalmente 12 amostras de serapilheira sob o piso florestal por parcela, realizadas com o auxílio de um gabarito de 0,25 x 0,25 m (0,0625 m²), semelhante ao utilizado em outros estudos de acúmulo de serapilheira (FIGURA 2.3) (KAVVADIAS et al., 2001; CALDEIRA et al., 2007; CALDEIRA et al., 2008; LIMA et al., 2010).

Figura 2.3 - Ilustração esquemática do gabarito para coleta de serapilheira acumulada com dimensões 0,25 x 0,25 m na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.



Fonte: o autor.

O procedimento de coleta consistiu de um caminhamento em ziguezague dentro das parcelas, onde foi respeitada uma distância mínima de 4 m entre os pontos de coleta, evitando a coleta sobre trilhas e afloramento de rochas.

Todo o material presente no interior do gabarito até o nível do solo ou até a camada de raízes absorventes entrelaçadas nos estágios mais avançados de decomposição da serapilheira foi recolhido (HINKEL, 2002) e colocado individualmente em sacos, devidamente identificados com o número da parcela e a data de coleta (FIGURA 2.4).

Figura 2.4 - Coleta de serapilheira acumulada com auxílio de um gabarito de madeira sobre o piso florestal na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES. (A) Gabarito Lançado aleatoriamente sobre o piso florestal; (B) Coleta de material acumulado sobre o solo até a camada de raízes; (C) Camada de raízes depois de retirada a serapilheira, e indivíduo vivo no interior da amostra.



Fonte: o autor.

A coleta mensal de serapilheira foi realizada de acordo com diversos autores que estudaram a fisionomia Floresta Ombrófila Densa no Brasil (ABREU; OLIVEIRA E MONTEZUMA, 2007; PINTO, 2003; ESPIG et al., 2009; CALVI et al., 2009; SCHEER et al., 2009). Desse modo a coleta de serapilheira depositada e acumulada foi realizada mensalmente entre novembro/2012 e outubro/2013, sendo o material proveniente de cada coletor colocado individualmente em sacos plásticos, devidamente identificados com a data de coleta, o número da parcela e o número da repetição.

A não utilização de sacos de papel para a coleta de material em campo ocorreu devido à umidade presente nas amostras de serapilheira principalmente no período chuvoso, havendo um comprometimento do acondicionamento do material coletado em sacos de papel, sendo preferencial a utilização de sacos plásticos (SCORIZA et al., 2012).

2.3 PROCESSAMENTO DA SERAPILHEIRA

As amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA/UFES), onde passaram por uma secagem previa. As amostras de serapilheira depositada foram separadas em três frações (FIGURA 2.5):

Figura 2.5 - Frações da serapilheira depositada na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES, após pre-secagem e triagem. (A) Folhas;(B) Galhos, (C) Miscelânea; (D) Detalhe da Miscelânea.



Fonte: o autor.

- ✓ Folhas: fração constituída por folhas completas ou fragmentos, verdes ou senescentes, predadas e em estado de decomposição;
- ✓ Galhos: fração constituída por galhos de diferentes diâmetros, sendo excluídos galhos com diâmetro igual ou inferior a 2 cm e cascas; e
- ✓ Miscelânea: material reprodutivo vegetal (flor, fruto e sementes), restos de animais ou suas fezes, e material não identificado (material muito fragmentado ou de origem desconhecida).

Adotou-se o diâmetro mínimo para a fração galhos seguindo recomendação de Arato, Martins e Ferrari (2003) e Clark et al. (2001), onde segundo estes autores boa parte dos estudos relacionados à ciclagem de nutrientes em florestas tropicais utilizam esse parâmetro por considerarem que em diâmetros superiores a este, parte de sua biomassa provavelmente foi produzida ao longo de mais de um ano não representando a produção anual.

O processo de secagem e quantificação da serapilheira foi semelhante ao utilizados em outros estudos de aporte e acúmulo de serapilheira para florestas tropicais (CALDEIRA et al., 2007; CALDEIRA et al., 2008; CALVIN, PEREIRA E ESPÍNDULA JÚNIOR, 2009; CUNHA et al., 2009; ESPIG et al., 2009; DAWOE, ISAAC E QUASHIE-SAM, 2010) onde as frações da serapilheira depositada e a serapilheira acumulada foram alocadas em sacos de papel pardo, devidamente identificados, sendo acondicionados em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas, para posterior determinação da massa seca em balança de precisão (0,001 g), sendo o aporte de serapilheira quantificado em kg ha⁻¹.

2.4 DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA

A estimativa da decomposição do material aportado durante o período estudado para toda a floresta, individualmente para as parcelas, e mensalmente foi realizada por meio da constante de decomposição da serapilheira, k , que foi estimada segundo equação proposta por Olson (1963).

$$k = \frac{L}{X_{ss}} \quad (1)$$

Em que:

k = é a constante de decomposição;

L = é a produção de serapilheira (kg ha⁻¹); e

X_{ss} = é a média de acúmulo de serapilheira sobre o solo (kg ha⁻¹).

Para calcular o tempo necessário para decomposição de 50% e 95% do material, foram utilizadas as seguintes equações (SHANKS; OLSON, 1961):

$$T_{50\%} = 0,693/k \quad (2)$$

$$T_{95\%} = 3/k \quad (3)$$

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados do aporte e acúmulo de serapilheira foram submetidos ao teste de normalidade de resíduos de Shapiro-Wilk, por não exibirem distribuição normal, os dados foram transformados por meio de um a função logarítmica, do tipo $x' = \log(X)$, com a comprovação da homogeneidade dos dados foi realizada a análise de variância (ANOVA) ($p < 0,05$).

Por não se adequar às precisas para a aplicação de técnicas clássicas (paramétricas), e por não se enquadrar em nenhum modelo de delineamento experimental, optou-se pela realização da análise dos dados por meio de testes não paramétrica (FERNANDES et al., 2007; NASCIMENTO, 2008; DICKOW et al., 2012; MATOS; COSTA, 2012).

Foi realizada a aplicação do teste não paramétrico de Friedman ao nível de 5% de probabilidade para comparar a variação sazonal do aporte e do acúmulo ao longo do ano. A comparação entre os valores médios do aporte e do acúmulo anual das sete parcelas foi realizada pelo teste não paramétrico de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade.

Para testar a influência dos atributos químicos do solo (pH , P , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , H+Al , C , MO , t , T , SB . V , m), fatores climáticos (temperatura média, precipitação, número de dias chuvosos e evapotranspiração potencial média,) e as características de cada parcela (declividade; face de exposição) com produção, e acúmulo e decomposição da serapilheira foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as variáveis a significância das correlações foi testada pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade, e os valores dos coeficientes foram classificados segundo proposta de Shimakura (2006) (TABELA 2.3).

Tabela 2.3 - Classificação do coeficiente de correlação de Pearson, segundo proposta de Shimakura (2006).

r^*	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

*Coeficiente de correlação de Pearson em módulo, valores pode assumir sinal positivo ou negativo. Fonte: Shimakura (2006).

Análise de variância, o teste de média e a correlação foram realizados no software R, versão 3.0.2 com o auxílio do Microsoft Excel 2010 na tabulação e normalização dos dados.

3 RESULTADOS

3.1 APORTE DE SERAPILHEIRA

O aporte de serapilheira para a floresta em estudo foi de 7.428,29 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A fração Folhas constituído a maior parte do material depositado com 61,95% (4.601,51 kg ha⁻¹ ano⁻¹), Galhos contribuíram com 25,76% (1.913,54 kg ha⁻¹ ano⁻¹), e Miscelânea com 12,29% (913,24 kg ha⁻¹ ano⁻¹) (TABELA 2.4).

Tabela 2.4 - Flutuação mensal das frações da serapilheira depositada e do total aportado na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Mês	Folhas	Galhos	Miscelânea.	Total
	kg ha ⁻¹			
Nov./12	664,32 a*	269,21 a	93,26 ab	1.026,80 a
Dez./12	470,58 a	133,12 cde	85,34 bc	689,04 bc
Jan./13	479,82 ab	126,17 cde	72,35 bc	678,34 bc
Fev./13	615,61 a	321,72 a	132,46 a	1.069,79 a
Mar./13	375,05 bc	145,39 bcd	90,21 ab	610,65 bcd
Abr./13	208,18 ef	77,38 e	53,24 cde	338,80 fg
Mai./13	277,65 def	118,64 cde	30,68 e	426,96 ef
Jun./13	259,92 de	167,08 bcde	43,96 de	470,96 def
Jul./13	165,64 f	64,30 e	32,66 de	262,59 g
Ago./13	299,51 de	169,75 abc	56,35 cde	525,61 cde
Set./13	301,10 cd	92,42 de	115,85 bc	509,38 cde
Out./13	484,13 ab	228,36 abc	106,88 ab	819,37 ab
MÉDIA	383,46	159,46	76,10	619,02
TOTAL	4.601,51	1.913,54	913,24	7.428,29
CV%**	8,79%	19,28%	18,06%	8,51%
Contribuição	61,95%	25,76%	12,29%	

*Valores seguidos pela mesma letra na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Freidman ($p < 0,05$). **Coeficiente de Variação (%) dos dados transformados via função logarítmica. Fonte: o autor.

Novembro/2012, dezembro/2012 e fevereiro/2013 foram os meses com maior aporte de Folhas, e abril/2013, maio/2013 e julho/2013 foram os de menor aporte. Os Galhos obtiveram maior aporte nos meses de novembro/2012, fevereiro/2013 e outubro/2013. A Miscelânea teve os maiores valores em novembro/2012, fevereiro/2013, março/2013 e outubro/2013.

Não existiu sazonalidade marcante para o aporte para as demais frações. Cerca de 60% do material aportado ocorreu durante a primavera e o verão para ambas as frações.

A ordem de aporte por estação para as Folhas, Miscelânea foi Primavera>Verão>Inverno>Outono, sendo semelhantes para os galhos com a inversão entre o outono e o inverno.

O total de serapilheira produzido, não apresentou sazonalidade marcante, e os meses de novembro/2012 e fevereiro/2013 foram os meses com maior aporte, e abril/2013 e julho/2013 foram os de menor senescência. A ordem de aporte por estação foi Primavera>Verão>Inverno>Outono.

Entre as parcelas, o maior aporte foi observado nas parcelas cinco (altitude 1.391 m), um (altitude 1.112 m) e três (altitude 1.302 m), e o menor aporte na parcela sete (altitude 1.550m) (TABELA 2.5).

Tabela 2.5 – Aporte médio e anual da serapilheira depositada, por parcela aportado em Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Parcelas/ Altitude (m)	Aporte médio		Aporte anual
	kg ha ⁻¹		kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
P1/1.112 m	695,88	A*	8203,03
P2/1.219 m	549,50	bc	6575,32
P3/1.032 m	687,22	a	8335,74
P4/ 1.319 m	603,22	b	7186,99
P5/ 1.391 m	806,63	a	9966,14
P6/ 1420 m	549,22	b	6590,62
P7/ 1.550 m	428,74	c	5140,17
MÉDIA	617,13	Total	7428,29
CV%**	12,56%		

*Valores seguidos pela mesma letra na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). ** Coeficiente de Variação (%) dos dados transformados via função logarítmica. Fonte: o autor.

Na Tabela 2.6 são apresentadas as correlações entre o aporte de serapilheira das parcelas e os atributos químicos do solo, e na Tabela 2.7 as correções entre o aporte de serapilheira mensal e as variáveis climáticas.

Tabela 2.6 - Correlação de Pearson entre o aporte de serapilheira ao logo do gradiente de altitude das parcelas e os atributos químicos do solo para a camada 0-5 e 05-10 cm do solo das parcelas implantadas na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Profun..	Coef.	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	C _{org}	MO	t	T	SB	V	m
0-5 cm	r ¹	-0,53	-0,35	0,35	-0,44	0,09	0,07	-0,01	-0,39	-0,41	-0,41	0,11	-0,39	0,10	0,15	0,06
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0-10 cm	r	-0,14	-0,36	-0,08	-0,62	-0,26	-0,52	-0,64	-0,56	-0,59	-0,59	-0,83	-0,57	-0,41	0,17	-0,16
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾ Coeficiente de correlação de Pearson; ns: Não significativo pelo teste t ($p < 0,05$). Fonte: o autor.

Tabela 2.7 - Correlação de Pearson para as frações da serapilheira e aporte anual com as variáveis Temperatura média, Precipitação ocorrida, Numero de dias de chuva e Evapotranspiração potencial média, observadas entre dezembro/2012 a outubro/2013 na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Fração	Coefficiente	Temp. média °C	Po mm	N Dias	ETP mm/dia
Folhas	r ¹	0,28	0,35	-0,11	0,75
		ns	ns	ns	* ³
Galhos	r	-0,04	0,42	0,06	0,37
		ns	ns	ns	ns
Miscelânea	r	0,06	0,25	-0,19	0,57
		ns	ns	ns	ns
Aporte anual	r	0,16	0,38	-0,07	0,65
		ns	ns	ns	*

⁽¹⁾ Coeficiente de correlação de Pearson; ns: Não significativo pelo teste T ($p < 0,05$); ⁽³⁾ Significativo pelo teste t ($p < 0,05$); Po: Precipitação ocorrida no período; N: Número de dias chuvosos; ETP: Evapotranspiração potencial média do período; Méd: Temperatura média ocorrida no período. Fonte: o autor.

Não foram observadas correlações entre o aporte e os atributos químicos do solo, entretanto, entre as variáveis climáticas, a ETP teve correlações significativas para a Fração Folhas e para o aporte anual de serapilheira. Em relação à face de exposição apesar de moderadas ($r -0,55$) para face de exposição e forte para declividade ($r -0,75$), ambas não foram significativas.

3.2 ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA

O acúmulo médio de serapilheira na floresta de estudo foi de 7.246,26 kg ha⁻¹ ano⁻¹, o mês de maior acúmulo foi março/2013 com 9.740,57 kg ha⁻¹, e o mês de menor acúmulo foi fevereiro/2013 com 5.548,93 kg ha⁻¹ (TABELA 2.8).

Tabela 2.8 - Flutuação mensal do acúmulo na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Mês/ano	Acúmulo
	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
Nov./12	8628,75 ab*
Dez./12	6066,9 b
Jan./13	8894,38 a
Fev./13	5548,93 b
Mar./13	9740,57 a
Abr./13	8121,22 ab
Mai./13	7694,38 ab
Jun./13	6092,36 cd
Jul./13	6161,31 d
Ago./13	6952,07 bc
Set./13	6736,33 cd
Out./13	6317,97 cd
MÉDIA	7.246,26
CV%**	2,91%

*Valores seguidos pela mesma letra na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Freidman ($p < 0,05$). **Coeficiente de Variação (%) dos dados transformados via função logarítmica. Fonte: o autor.

Dentre as parcelas o maior acúmulo de serapilheira ocorreu na parcela cinco (altitude 1.391m) com 8.647,53 kg ha⁻¹ ano⁻¹, e o menor na parcela seis (altitude 1.420 m) e sete (1.550 m), com 6.196,88 e 6.555,69 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (TABELA 2.9).

Tabela 2.9 - Acúmulo de serapilheira ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) ao longo do gradiente altitudinal das parcelas localizadas na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Parcelas/Altitude (m)	Acúmulo médio
	$\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$
P1/1.112 m	7448,59 b*
P2/1.219 m	7196,11 ab
P3/1.032 m	7648,88 b
P4/ 1.319 m	7270,14 bc
P5/1.391 m	8647,53 a
P6/1420 m	6196,88 d
P7/1.550 m	6555,69 dc
MÉDIA	7.280,55
CV%**	4,93%

*Valores seguidos pela mesma letra na coluna, são estatisticamente iguais pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

**Coeficiente de Variação (%) dos dados transformados via função logarítmica. Fonte: o autor.

O acúmulo de serapilheira não obteve correlações significativas com os atributos químicos do solo (TABELA 2.10), entretanto, nas dentre as variáveis climáticas, o acúmulo de serapilheira correlacionou-se positivamente com a temperatura média, sendo respectivamente uma correlação forte e a outra moderada (TABELA 2.11).

Tabela 2.10 - Correlação de Pearson para o acúmulo anual de serapilheira com as variáveis climáticas, observadas entre dezembro/2012 à outubro/2013 na Floresta Ombrófila Densa ontana, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Prof. (cm)	Coef.	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	C	MO	t	T	SB	V	m
0-5	r ¹	-0,22	-0,53	0,47	-0,62	0,44	0,26	-0,47	-0,60	-0,41	-0,41	0,06	-0,58	0,43	0,45	-0,38
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0-10	r	0,18	-0,52	0,07	-0,64	0,20	-0,28	-0,82	-0,69	-0,48	-0,48	-0,74	-0,69	0,06	0,45	-0,56
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾ Coeficiente de correlação de Pearson; ns: Não significativo pelo teste t ($p < 0,05$); ⁽³⁾ Significativo pelo teste t ($p < 0,05$). Fonte: o autor.

Tabela 2.11 - Correlação de Pearson para o acúmulo anual com as variáveis climáticas, observadas entre dezembro/2012 à outubro/2013 na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Coef.	Temperatura	Po	N	ETP
	Med.	mm	Dias	mm/dia
r ¹	0,65	-0,11	-0,22	0,49
	* ³	ns	ns	ns

⁽¹⁾ Coeficiente de correlação de Pearson; ns: Não significativo pelo teste t ($p < 0,05$); ⁽³⁾ Significativo pelo teste t ($p < 0,05$); Po: Precipitação ocorrida no período; N: Número de dias chuvosos; ETP: Evapotranspiração potencial média do período; Méd: Temperatura média ocorrida no período. Fonte: o autor.

As correlações entre acúmulo de serapilheira das parcelas e a face de exposição foram fortes e negativas ($r = -0,75$), e com a declividade do terreno foram moderadas e também negativas ($r = -0,60$), mas ambas não foram significativas.

Em relação à constante de decomposição, para a área de estudo, o valor de k foi 1,03, e o tempo para que a metade do material acumulado fosse decomposto ($T_{50\%}$) de 246,75 dias, e para que 95% do material fossem decompostos ($T_{95\%}$) de 1068,17 dias.

A parcela cinco (1.391m de altitude) foi a parcela que apresentou o maior valor de k e conseqüentemente o menor tempo de decomposição, em contra partida a parcela sete (1.550 m de altitude) foi a parcela com o menor valor de k e o maior tempo para a decomposição do material decíduo e acumulado sobre o solo (TABELA 2.12).

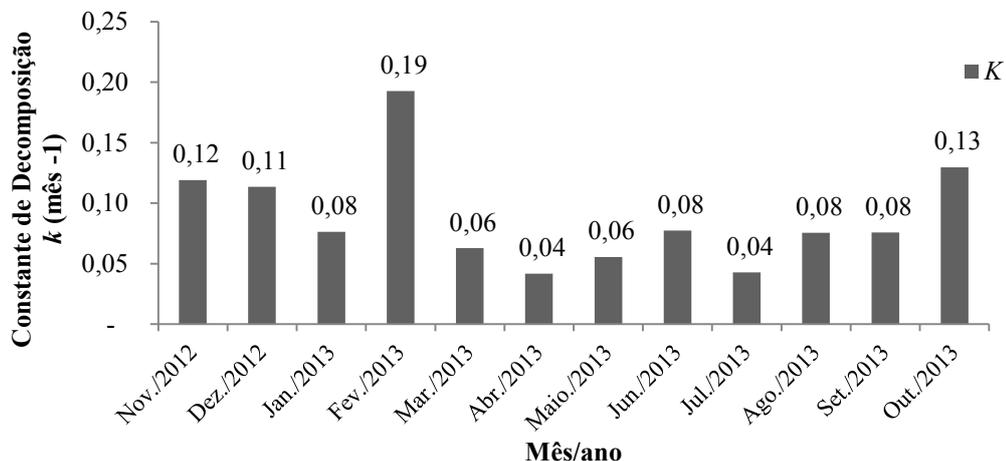
Tabela 2.12 - Constante de decomposição k , $T_{50\%}$ e $T_{95\%}$ da serapilheira acumulada por parcela em gradiente altitudinal na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Decomposição da Serapilheira					
Altitude(m)	k	$T_{50\%}$	Tempo (dias)	$T_{95\%}$	Tempo (dias)
1.112	1,10	0,63	229,68	2,72	994,3
1.219	0,92	0,76	276,31	3,28	1196,1
1.302	1,09	0,63	231,61	2,75	1002,6
1.319	0,99	0,70	255,87	3,03	1107,7
1.391	1,17	0,59	216,72	2,57	938,2
1.420	1,07	0,65	235,82	2,80	1020,9
1.550	0,79	0,88	320,19	3,80	1386,1

Fonte: o autor.

A variação do valor de k ao longo do ano sofreu pouca oscilação, exceto o mês de fevereiro de 2013, onde foi observado o maior valor de k por mês, conseqüentemente maior decomposição (FIGURA 2.6).

Figura 2.6 - Flutuação da constante de decomposição k , ao longo do período de coleta na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.



Fonte: o autor.

O valor de k obtido para cada parcela não se correlacionou significativas com os atributos químicos do solo das parcelas (TABELA 2.13), bem como, os valores mensais de k também não se correlacionaram significativamente com as variáveis climáticas (TABELA 2.14).

Tabela 2.13 - Correlação de Pearson entre a constante de decomposição k da serapilheira acumulada em um gradiente altitudinal (por parcela) e os atributos químicos do na Floresta Ombrófila Densa no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Profun.(cm)	Coef.	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	C _{org}	MO	t	T	SB	V	m
0-5	r ¹	-0,71	-0,06	0,09	-0,20	-0,20	-0,08	0,42	-0,07	-0,28	-0,28	0,21	-0,08	-0,18	-0,14	0,42
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0-10	r	-0,4	-0,1	-0,3	-0,5	-0,6	-0,6	-0,3	-0,3	-0,5	-0,5	-0,7	-0,3	-0,7	-0,1	0,25
		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾ Coeficiente de correlação de Pearson; ns: Não significativo pelo teste t (p<0,05). Fonte: o autor.

Tabela 2.14 - Correlação de Pearson entre a constante de decomposição k da serapilheira acumulada ao longo do período de coleta e as variáveis climáticas na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, ES.

Coef.	Temp. média	Po	N	ETP
	°C	mm	Dias	mm/dia
r ¹	-0,04	0,46	0,08	0,40
	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾ Coeficiente de correlação de Pearson; ns: Não significativo pelo teste t (p<0,05); Po: Precipitação ocorrida no período; N: Número de dias chuvosos; ETP: Evapotranspiração potencial média do período; Temp. Média: Temperatura média ocorrida no período. Fonte: o autor.

As correlações entre k das parcelas e a face de exposição foram fracas e negativas ($r = -0,19$), e com a declividade do terreno foram fortes e também negativas ($r = -0,75$), mas ambas não foram significativas.

4 DISCUSSÃO

4.1 APORTE DE SERAPILHEIRA

Os valores observados do aporte de serapilheira por este estudo estão de acordo com outros trabalhos que apontam para um aporte de serapilheira variando entre 4.625,00 e 13.300,00 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em diferentes tipos de florestas tropicais ao redor do mundo (BRAY; GORHAM, 1964; GOLLEY et al., 1978; SPAIN, 1984; ANDRADE et al., 2000; BRUN et al., 2001; VITAL et al. 2004; BACKES, PRATES E VIOLA, 2005; CIANCIARUSO et al., 2006; VALENTI, CIANCIARUSO E BATALHA, 2008; DAWOE, ISAAC E QUASHIE-SAM, 2010; TERROR, SOUSA E KOZOVITS, 2010; AVERDI; DOMINIQUE, 2011).

Na região sudeste do Brasil, onde este estudo está inserido, a média de aporte para diferentes tipologias vegetais é em torno de 8.700,00 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (ABREU, OLIVEIRA E MONTEZUMA, 2010).

A produção de serapilheira da floresta em questão encontra-se dentro dos padrões observados tanto para florestas tropicais quanto para a região de estudo, entretanto, mesmo estando de acordo com os autores supracitados, comparações com ecossistemas diferentes do estudado podem superestimar ou subestimar os resultados por serem muito generalista.

Dickow et al. (2012) relatam que a produção de serapilheira em Florestas Ombrófila Densa Atlântica variam entre 1.800 e 9.500 kg ha⁻¹ ano⁻¹, mas em média a produção fica em torno de 5.000 a 8.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Entretanto, outros estudos realizados exclusivamente em Floresta Ombrófila Densa apontam um aporte de serapilheira entre 4.900,00 e 13.753,92 80 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (ALMEIDA, 2006; CALVIN, PEREIRA E ESPÍNDULA JÚNIOR, 2009; ABREU, OLIVEIRA E MONTEZUMA, 2010; GOMES et al., 2010).

Como pôde ser observado, há uma grande variação do aporte de serapilheira mesmo em uma mesma tipologia. A variação do aporte de serapilheira pode estar relacionada às características de cada sítio, destacando-se a fertilidade dos solos, a variação climática, o tipo de vegetação e o seu estágio sucessional (CALVIN, PEREIRA E ESPÍNDULA JÚNIOR, 2009; ABREU, OLIVEIRA E MONTEZUMA, 2010).

Na floresta em questão, a limitação da produção de primária está relacionada à disponibilidade de nutrientes, somada ao solo com pH ácido e elevados teores de Al trocável (TABELA 2.1). Consequentemente, essas condições exigem que a vegetação que se

desenvolve na área seja mais eficiente (adaptada) na ciclagem interna de nutrientes (FISHER; JUO, 1994). Entretanto, o aporte contínuo da vegetação implica em melhoria da fertilidade do solo, principalmente na camada superficial (ANDRADE et al., 2000), e como consequência o próprio processo de colonização cria condições para novas espécies surgirem.

Como observado para este estudo, um aporte contínuo e uma maior produção de serapilheira é relacionada à precipitação bem distribuída ao longo do ano (ausência de extremos climáticos), à diversidade de espécies na área, suas características morfológicas e fenológicas e sua distribuição espacial (VITAL et al., 2004; ABREU, OLIVEIRA E MONTEZUMA, 2010; GODINHO et al., 2013).

Apesar do aporte contínuo em toda floresta como pôde ser observado, a parcela cinco, um e três, apresentaram um maior aporte em relação às demais parcelas, esse fato pode estar relacionado com o fato de estas parcelas serem voltadas completamente (parcela cinco), ou parcialmente (parcela um e três) para o norte (correlação moderada). Nesse sentido, no estudo feito por Oliveira et al. (1995) na floresta da Tijuca, RJ, 100% das temperaturas mais elevadas ocorrem na face voltada para o norte em relação a face voltada para o sul. Também a face norte recebe os primeiros e os últimos raios solares do dia, implicando em maior entrada de radiação solar no sistema, enquanto a face sul tem maior deposição orvalho durante o dia pelo maior sombreamento, sendo mais úmida.

Cardoso-Leite et al. (2005) estudando diversas formações florestais na serra do Japi, SP, observa que as formações florestal decíduais encontram-se em condições climáticas mais severas pois estão voltadas para a face norte/nordeste/noroeste, e as florestas que estão voltadas para a face sul/sudeste/sudoeste são mais verdejantes dispendo de condições mais amenas de microclima.

Com base nos estudos de Oliveira et al. (1995) e Cardoso-Leite et al. (2005) autores a maior produção primária expressa pelo aporte de serapilheira na parcela cinco está relacionada à maior entrada de luminosidade no sistema proporcionada pela face de exposição, juntamente com uma possível ausência de déficit hídrico, que acaba por constituir um sistema de alta produtividade, sendo esta produtividade refletida no maior aporte.

Em relação à vegetação, por se tratar de uma região de difícil acesso em uma área protegida acreditasse que a floresta de estudo está em equilíbrio dinâmico, com constante abertura e fechamento de clareiras, mas com predominância de espécies de características clímax. Nessas condições o aporte pode tanto ser maior quanto menor em relação a florestas secundárias ou em estágio inicial de regeneração, como se pôde observar em alguns estudos.

Araújo et al. (2006) estudando um trecho secundário de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Submontana sob diferentes modelos de recuperação com 23 espécies nativas, observou que o aporte de biomassa para a floresta secundária foi de 12.220,00 kg ha⁻¹ano⁻¹, superior a outros modelos, sendo 9.690,00 kg ha⁻¹ano⁻¹ plantio adensado (0,5x0,5 m), 10.370,00 kg ha⁻¹ano⁻¹ no plantio semi adensado (1x1m) e 9.970,00 kg ha⁻¹ano⁻¹ no plantio tradicional (2x2m).

Dickow et al. (2012) em Antonina, Paraná observaram para Floresta Ombrófila Densa Submontana na Fases inicial, médio e avançado de sucessão a produção de serapilheira de 5.201,00; 5.399,00 e 5.323 kg ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente.

O aporte de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa Montana no município de Miguel Pereira, RJ, para a borda da floresta, um trecho em estágio inicial, um em estágio secundário intermediário e um secundário avançado os valores de 10.456,45; 13.753,92; 12.212,21; 12.466,80 kg ha⁻¹ ano⁻¹ respectivamente (ALMEIDA, 2006).

De acordo com Brun et al. (2001), quanto mais avançado o estágio sucessional, maior a produção de serapilheira, assim como a sazonalidade da produção ficar mais marcante, entretanto, segundo estes autores o avanço do estágio sucessional não influencia na contribuição das frações.

Entretanto segundo Calvin, Pereira e Espíndula Júnior. (2009) e Dickow et al., (2012) espera-se uma maior produção de serapilheira para ambientes em desenvolvimento sucessional, em razão da presença de espécies pioneiras, pois na fase inicial de sucessão o aporte constante e em grande quantidade proporcionado pelas espécies pioneiras prepara o ambiente outras espécies.

Assim como a comparação entre o aporte de diferentes fisionomias, a comparação das contribuições das frações com outros trabalhos torna-se difícil principalmente porque não existe um padrão para o fracionamento da serapilheira. Em geral as frações que frequentemente ocorrem nos estudos são Folhas e Galhos, o material reprodutivo pode ou não ser separado do resto (miscelânea) e a cascas podem ou não participarem de algumas frações.

Em relação à contribuição das frações aportadas, os valores observados neste estudo são semelhantes aos diversos estudos analisados onde as Folhas contribuíram entre 57 e 77% do aporte anual para diferentes fisionomias, os galhos entre 12,6 e 31,7%, o material reprodutivo entre 3,3% e 19,87%, e os restos 0,4 e 2,7 % (BRUN et al., 2001; BACKES, PRATES E VIOLA, 2005; ARAÚJO, 2006; CIANCIARUSO et al., 2006; ALMEIDA, 2006; VALENTI, CIANCIARUSO E BATALHA, 2008; SCHEER et al., 2009; ABREU,

OLIVEIRA E MONTEZUMA, 2010; TERROR, SOUSA E KOZOVITS; 2010; DICKOW et al., 2012).

No estudo das frações e em especial a contribuição das folhas, pode indicar o estado de maturidade das florestas. Em florestas maduras a vegetação se concentra mais na produção de frutos, flores e sementes, e tem maior produção de galhos que em florestas jovens, ou em estado inicial sucessão. Dessa forma, a redução do aporte de folhas e o aumento da produção de miscelâneas com a maturidade da floresta pode corresponder à mudança na estrutura e na diversidade da floresta, com redução de pioneiras e secundárias iniciais (AVERDI; DOMINIQUE, 2011; DICKOW et al., 2012).

A inversão no aporte das frações com o amadurecimento da floresta pode ser observado no estudo realizado por Brun et al. (2001) em Santa Teresa, RS. Trabalhando com remanescente de Floresta Estacional Semidecidual, estes autores observam que quanto mais madura se torna a floresta, menor é a produção de folhas. Assim, para o Capoeirão o aporte das frações foi 72,1%, 20,7% e 7,2%, na Floresta secundária 70,3%, 19,1% 10,6% e na Floresta madura de 65,8%, 22% 12,2% de Folhas, galhos finos e Misc respectivamente.

O menor aporte de folhas nas fases mais avançadas de sucessão também foram observadas por Dickow et al. (2012), onde a produção de folhas para três fases sucessionais (inicial, média e avançada) foi de 77, 75 e 68%. Respectivamente. Segundo estes últimos autores a menor proporção de folhas nas florestas maduras também pode ser explicado pela diversidade de matérias que caem nos coletores, que é relativamente maior que em florestas em fase inicial, com cascas, ramos de maiores dimensões, epífitas, além disso, a interação da vegetação com a biota aumenta a porcentagem de material fragmentado, que acaba sendo separado como resto ou miscelânea.

Ao longo do ano de coleta, pode ser observado foi observado que a fração Miscelânea teve constituição diversificada, e a presença de material reprodutivo nem sempre foi predominante, sendo observada quantidade significativa de material de origem desconhecida.

O maior aporte na primavera e no verão para ambas as frações também foram observados nos estudos realizados por Figueiredo Filho et al. (2003), Araújo (2006), Scheer et al. (2009) e Calvin, Pereira e Espíndula Júnior. (2009).

Segundo Brun et al. (2001) e estudo em diferentes estágios sucessionais, a medida que a floresta amadurece, fica evidente a tendência de maiores aporte durante a primavera/verão e menor aporte durante o inverno/outono.

Dependendo do tipo de fisionomia, o padrão sazonal de aporte por ser explicado tanto pelo déficit hídrico (Florestas Estacionais), onde a redução na disponibilidade de água, juntamente com baixas temperaturas ou não, podem estimular a produção de ácido abscísico e de etileno que são hormônios responsáveis por processos fisiológicos que desencadeiam a abscisão foliar. Outra possibilidade é quando ocorre a derrubada pelo impacto da chuva (Florestas Ombrófilas, ou sempre verdes), entretanto, em Florestas Ombrófilas a substituição de tecidos maduros, mais envelhecidos e menos eficiente por folhas novas ocorre juntamente com o processo de senescência desencadeado pelo crescimento primaveril (BRUN et al., 2001; DIAS et al., 2002; BACKES, PRATES E VIOLA, 2005; DAWOE, ISAAC E QUASHIE-SAM, 2010).

Os maiores aportes na primavera e no verão corroboram com a afirmação de que em florestas sempre verdes, a vegetação é responsiva às características observadas nas estações da primavera e do verão, com maior radiação solar, elevação das temperaturas e maior umidade. Esses fatores associados à ausência ou baixa frequência de espécies decíduais também contribui para um maior aporte no período entre outubro e março (SCHEER et al., 2009).

Na floresta em questão o período primavera e verão é normalmente mais quente e mais chuvoso, em algumas situações pontuais com tempestades e vendavais. Apesar de não haver existência de correlações significativa entre o as frações e a precipitação, como foi mencionado, alguns autores relacionam o maior aporte à ação mecânica das chuvas e dos ventos (AVERTI; DOMINIQUE, 2011). Portanto, mesmo em meses com baixa precipitação, chuvas mais intensas podem causar aporte superior em relação aos meses de maior precipitação.

A ação mecânica das chuvas e dos ventos pode apresentar uma maior importância no aporte de galhos finos (BRUN et al., 2001), já que estes permanecem na árvore mesmo depois de mortos, podendo ficar presos no vegetal por anos (FACELLI; PICKETT, 1991) sendo necessário um fator mecânico para que ocorra sua queda.

A ausência de correlações significativas entre o aporte e as variáveis ambientais também pode estar relacionada com atraso na resposta da vegetação às oscilações climáticas (ARAÚJO, 2006; GODINHO et al., 2013), fato este que também justifica a falta de sazonalidade do aporte anual.

A correlação significativa entre o aporte de Folha e Total para com a ETP está associada à disponibilidade de água no sistema, onde a maior saída de água por ETP propiciou um maior aporte de serapilheira.

Brun et al. (2001) no estudo de estágio sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, observa que a diferença entre a precipitação e a ETP nos meses referente ao período de menor precipitação acarreta no maior aporte de serapilheira, nos meses seguinte. Com base nesses autores, a elevada correlação entre a ETP e o aporte pode ser consequência de déficit hídrico, e o fato de não existir uma sazonalidade no aporte pode indicar um ano atípico em relação à precipitação.

Segundo Facell e Pickett (1991) a herbivoria pode ou não aumentar o aporte de material em alguns sistemas, em geral quando há o consumo normalmente há redução na produção primária.

É interessante ressaltar que durante o período de coleta foram observadas dentro das parcelas e ao longo das trilhas a presença de galhos com diâmetro variado, sendo estes removidos da vegetação ainda vivos, também foi observada a presença de membros da família de coleópteras, *Cerambycidae*, indicando que talvez esses insetos possam contribuir com a queda de galhos em determinadas épocas do ano, como relatado por Almeida (2006), mas sem que ocorra a herbivoria propriamente dita.

Apesar deste relato, pouco se viu artrópodes e invertebrados em geral durante as coletas, tanto na vegetação quando dentro dos coletores, mesmo em períodos mais quentes do ano, sendo provável que a fauna de invertebrados esteja associada à copa das árvores, e a indivíduos epifíticos.

4.1 ACÚMULO E DECOMPOSIÇÃO DA SERAPILHEIRA

A média anual do acúmulo total de serapilheira e as médias anuais das parcelas foram semelhantes a diversos estudos que demonstram acúmulo em florestas ao redor do mundo variando entre 1.700,00 e 24.700 kg ha⁻¹ ano⁻¹, assim como em relação à média do acúmulo em florestas tropicais que varia em torno de 6.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (O'CONNELL; SANKARAN, 1997; VITAL et al., 2004; BACKES, PRATES E VIOLA, 2005; CALDEIRA et al., 2007; MAMAN et al., 2007; AVERTI; DOMINIQUE, 2011; DAWOE, ISAAC E QUASHIE-SAM, 2010; WATZLAWICK et al., 2012).

Corroborando também com acúmulo observado em outros trabalhos realizados em Floresta Ombrófila Densa, com valores de acúmulo variam entre 4.470,00 e 8.800,00 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em florestas maduras (HINKEL, 2002; CALDEIRA et al., 2008; CUNHA et al., 2009).

Há uma grande dificuldade na comparação de estudos com o acúmulo de serapilheira, e isto se deve ao fato de que são poucos os estudos que visam quantificar o acúmulo de serapilheira sobre o solo, não o bastante, a relação com fatores climáticos limitam-se ao aporte, e não existe uma compartimentalização adequada das camadas de serapilheira a serem coletadas no solo (HINKEL, 2002).

Em geral o acúmulo de serapilheira é determinado pelo balanço entre a produção/deposição e a decomposição (física, química e biológica). A época de coleta, a temperatura e umidade, o estágio sucessional, a diversidade de espécies, o teor de macro e micronutrientes, a composição orgânica (qualidade do material), a fauna do solo (comunidade decompositora) e a remoção da serapilheira (FACELLI; PICKETT, 1991; WEDDERBURN; CARTER, 1999; CALDEIRA et al., 2008) são os principais fatores que regulam o aporte e a decomposição.

Como se pôde observar, a parcela com o maior acúmulo (parcela cinco, 1.391 m de altitude) foi também a parcela onde se registra o maior aporte de serapilheira, entretanto na parcela de menor acúmulo, parcela seis (1.420 m de altitude), não foi a parcela de menor aporte, o menor aporte foi observado para a parcela sete (1.550 m de altitude). O fato de a parcela sete acumular quantidade superior de serapilheira mesmo aportando menos pode estar relacionado com uma ciclagem mais lenta do material aportado, relacionado com a qualidade do material aportado em cada parcela que pode determinar sua degradabilidade (CALDEIRA et al., 2007).

Ambas as parcelas com menor acúmulo, parcela seis e sete, encontram-se em uma faixa de declividade acentuada. A maior inclinação do terreno em comparação com as demais parcelas propicia um maior arraste de material por meio do escoamento superficial das chuvas, (HINKEL, 2002; CALDEIRA et al., 2007).

Neste estudo, a correção significativa e positiva com a temperatura média, $r = 0,65$, é controversa, pois, a temperatura é fator imprescindível à decomposição juntamente com a umidade, o fato de haver maior acúmulo em períodos em que a temperaturas mais elevadas, pode estar relacionado com outros fatores não avaliados como a comunidade decompositora e a qualidade e tipo de material aportado.

O maior acúmulo observado no período referente ao verão corrobora com a forte correlação com as variáveis da temperatura, sendo este o período do ano com as maiores

médias de temperatura. O maior acúmulo nesse período do ano também foi observado por Caldeira et al. (2008) estudando o acúmulo de serapilheira em Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque das Nascentes em Blumenau, SC.

De acordo com Santana et al. (2009), em condições de clima e solo semelhantes a variação no acúmulo se dá tanto pela quantidade de material aportado quanto pela constituição química das frações que formam o material, principalmente os teores de lignina, polifenóis, celulose, nitrogênio, fósforo e enxofre que pode afetar a decomposição do material.

Na floresta em questão é observável uma redução gradativa das temperaturas com o aumento da altitude, outra observação válida é a existência constante de neblina, que muitas vezes nas parcelas mais elevadas tende a permanecer por boa parte do dia, principalmente durante o outono e o inverno.

A composição florística também não é homogênea em toda a floresta. Entre as parcelas um e cinco a diferença na composição das espécies aparenta ser mínima, entretanto a parcela seis apesar de conter uma composição florística aparentemente semelhante às parcelas mais baixas se diferencia das demais, pois, em sua maior extensão é ocupada por uma clareira originada da queda de diversas árvores. Esta área é dominada por espécies jovens principalmente algumas espécies da subfamília Bambusoideae.

Segundo Padgurschi et al. (2011), áreas de encosta com elevada atividade sucessional apresentam menor riqueza de espécies, e abundância de moitas de taquara (Poaceae). Esse comportamento caracteriza a sucessão florestal em Florestas Montanas da costa Atlântica.

Caldeira et al. (2008) estudando o acúmulo de serapilheira em 3 estágios sucessionais de uma Floresta Ombrófila Densa Submontana encontraram semelhante comportamento, menores valores de acúmulo foram observados por estes autores na área em estágio inicial de sucessão $4.470,00 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o estágio intermediário e avançado de sucessão acumularam quantidade semelhante sendo, respectivamente $5.200,00$ e $5.280,00 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Portando, o acúmulo de serapilheira sobre o solo de Florestas Ombrófilas Densas de Altitude também pode estar relacionado ao estágio sucessional da floresta, onde no estágio inicial de sucessão há maior acúmulo de material em relação a florestas em estágio avançado de sucessão ou clímax, principalmente pela presença de espécies pioneiras (HINKEL, 2002; CALDEIRA et al., 2007).

É válido comentar que a parcela seis encontrasse em condições desfavoráveis a elevado aporte e ao acúmulo, já que a mesma está em orientação Sul/Sudeste, e em elevada

declividade, sendo, portanto, menos produtiva em comparação às parcelas inferiores, e mais propícias à saída de material por arraste hídrico devido à inclinação (OLIVEIRA et al., 1995; HINKEL, 2002; CALDEIRA et al., 2007).

Segundo Olson et al. (1963) a elevada produtividade das florestas tropicais contrasta com o baixo acúmulo de material sobre o piso floresta, em oposição, florestas temperadas acumulam quantidade relativamente maior de material sobre o solo com baixa produtividade primária, isso pode ser explicado pelas diferentes taxas de decomposição em situações climáticas contrastantes, que no caso das florestas tropicais rapidamente mineraliza o material aportado sobre o solo.

Nesse contexto, Maman et al. (2007) relacionam essa redução do acúmulo de serapilheira sobre o solo ao o aumento da atividade de decompositores, principalmente nos meses de maior precipitação, que no caso da fisionomia em questão também são os meses de mais quentes.

A decomposição é influenciada pela variação na temperatura, sendo acelerada nos meses mais quentes e reduzida nos meses mais frios. Como a queda de serapilheira é contínua durante o ano todo, há o aumento do acúmulo de serapilheira sobre solo (BACKES, PRATES E VIOLA, 2005) no período mais frio do ano.

Quando maior o valor de k menor o tempo para que a serapilheira acumulada sobre o solo se renove e conseqüentemente libere os nutrientes estocados nela para absorção pelo sistema radicular da vegetação (ARATO et al., 2003). Em comparação com outros estudos em florestas tropicais o valor de k observado neste estudo foi superior, principalmente em estudos com florestas que apresentam certa deciduidade.

No estudo realizado por Backes, Prates e Viola (2005) onde k foi 0,86 e o tempo para renovação de 50% do material ($T_{50\%}$) de 316 dias, e no estudo realizado por Dawoe, Isaac e Quashie-Sam (2010), onde em uma Floresta Estacional Semidecidual e três modelos de cacau sob floresta a variação de k foi entre 0,22 e 0,35.

Em estudos no cerrado, Cianciaruso et al. (2006) estudando a decomposição foliar em um cerradão observa valor de k 0,56 o tempo para renovação do material de 50% do material ($T_{50\%}$) em 2,3 anos, e Valenti, Cianciaruso e Batalha (2008) estudando cerrado *stricto sensu* e Cerradão observam valores de k 0,36 e 0,53, respectivamente.

Mesmo em comparação a outros estudos em Florestas Ombrófila Densa, neste estudo o k foi superior indicando uma alta taxa de renovação do material aportado e que se acumula sobre o solo. Verjabledian e Pagano (1988) observam para uma Floresta Ombrófila Densa em equilíbrio dinâmico no município de Guarujá, SP, um valor de k igual a 0,72, e valor de meia

vida $T_{50\%}$ 0,96 ou 350 dias e Pereira et al. (2008) estudando uma Floresta Ombrófila Densa Submontana na Ilha da Marambaia, RJ, relatam que o tempo necessário para que houvesse renovação de 50% do material ($T_{50\%}$) foi de 301 dias.

Vale ressaltar que a exceção do estudo realizado por Verjabledian e Pagano (1988), os demais estudos utilizados para comparação a constante de decomposição é referente somente ao material foliar. Segundo Godinho et al. (2013) a decomposição mais rápida do tecido foliar está associada ao maior teor de nutrientes presente nas folhas, bem com uma maior superfície específica. Portanto, pode-se afirmar que se somente o material foliar fosse utilizado neste estudo para a verificação da constante de decomposição, está teria um valor maior do que já foi encontrado e conseqüentemente expressaria uma decomposição bem mais acelerada.

Processos de decomposição são desencadeados principalmente pela temperatura, com as taxas de decomposição maiores nos meses mais quentes e o inverso nos meses mais frios (FERNANDES; BACKES, 1998).

As temperaturas médias abaixo de 25°C, mesmo nos meses mais quente podem justificar a baixa correlação entre a decomposição e a temperatura, pois, a temperatura mais baixa um fator que pode limitar a velocidade de decomposição principalmente durante o inverno. A maior umidade do solo favorece a decomposição, mas em condições de saturação, a hipóxia gerada causa efeito semelhante ao déficit hídrico, reduzindo a velocidade de decomposição da matéria aportada de (VERJABEDIAN; PAGANO, 1988; MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2004; COSTA et al., 2005; TERROR, SOUSA E KOZOVITS, 2011).

No caso de déficit hídrico, a redução da disponibilidade de água durante a estação seca causa a migração da flora de decompositores para camadas mais profundas da serapilheira, reduzindo o contato com toda ela (Garay. et al 1986). A observação relatada por estes autores pode ser corroborada em duas situações distintas, sendo a primeira referente à flutuação do valor de k ao longo do ano. No período entre outono/inverno (abril a setembro), os valores de k variam entre 0,04 e 0,08, já durante a primavera/verão (outubro a março), o menor valor de k foi 0,06 e o maior 0,19. A segunda situação refere-se ao valor de k individual das parcelas. O menor valor da constante foi observado na parcela sete, sendo a parcela mais elevada (1.550 m de altitude), como há redução da temperatura com a elevação, o menor valor de k para esta parcela e um maior tempo de decomposição está relacionar às baixas temperaturas e conseqüentemente a menor atividade biológica.

As interações entre fatores bióticos e abióticos regulam a decomposição em ecossistemas florestais, uma vez que, não somente a quantidade e qualidade do material

importam, mas também o microambiente formado pela vegetal influencia na maior ou menor velocidade de decomposição (FERNANDES et al., 2007; GAMA-RODRIGUES et al., 2007).

Barajas-Guzmán e Alvarez-Sánchez et al. (2003), estudando a Floresta Ombrófila Densa (tropical úmida) primária e secundária na Estação de Biologia Tropical de Los Tuxtlas, afirma que a igualdade de condições ambientais realça a importância da meso e macrofauna na decomposição. Estes autores observam que na fase inicial da decomposição de material decíduo perde massa mais rapidamente pela influência da microbiota, fauna do solo e pela lixiviação do material. Esses mesmos autores observaram que os invertebrados de mais abundantes na serapilheira em decomposição, foram da subclasse Acarina, entre 61,6 e 72,4% para a floresta primária e 48,9 para 59,4% na floresta secundária, e em maior quantidade 770 indivíduos no total.

Pandey et al. (2007) estudando decomposição em duas florestas de carvalhos, sendo uma nativa e outra cultivada na colina de Maharabi e no vale de Mantripukhari, respectivamente no Nordeste da Índia associam a decomposição inicial à fungos e bactérias principalmente pelo seu desenvolvimento acelerado. Esses autores destacam que nesta fase dos processos de decomposição os actinomicetos, bactérias grã positivas presentes no solo, tem sua contagem aumentada indicando seu papel na decomposição de compostos mais recalcitrantes.

A rápida decomposição na fase inicial é correspondente à perda de compostos mais lábeis, de rápida decomposição ou lixiviação como açúcares e ácidos orgânicos. Como consequência o ambiente fica menor propenso à decomposição, só depois ocorrerá a degradação de estruturas mais resistentes como lignina e compostos fenólicos (SWIFT et al. 1979; BARAJAS-GUZMÁN; ALVAREZ-SÁNCHEZ, 2003; PANDEY et al., 2007). Esta afirmação corrobora com os resultados observados por Monteiro e Gama-Rodrigues (2004), o qual estudaram a qualidade nutricional e orgânica da serapilheira acumulado em Floresta Ombrófila Densa Montana no Parque Nacional do Desengano, RJ, observam que as folhas da serapilheira acumulada sobre o solo obtiveram maior carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (CBM e NBM) e respiração acumulada (carbono evoluído), além das relações CBM:C e NBM:C, bem como menor coeficiente metabólico (qCO_2) que a fração mais transformada (fragmentada) da matéria orgânica. De acordo com os autores, uma maior recalcitrância do material orgânico e a baixa qualidade nutricional tornam a atividade microbiana mais lenta, em contra partida no tecido foliar as substâncias mais lábeis impulsionam essa atividade.

Por causa do baixo teor de nutrientes, pela composição substâncias orgânicas como lignina e tanino somadas aos fatores climáticos resultam em uma decomposição mais lenta nas florestas montanas e conseqüente maior acúmulo de serapilheira em relação a outras fisionomias (BARAJAS-GUZMÁN; ALVAREZ-SÁNCHEZ, 2003; CADEIRA et al., 2008).

5 CONCLUSÃO

É possível observar neste estudo que o aporte e acúmulo de serapilheira para a Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó está na faixa de aporte e acúmulo para outras fisionomias semelhantes. A menor proporção da fração folhas em relação a outras fisionomias em estágio inicial de sucessão é característica de floresta primária que está em equilíbrio dinâmico, com mudança constante na distribuição das espécies florísticas.

Por ser uma floresta sempre verde, manteve o aporte contínuo de material vegetal durante o ano e apesar de não apresentar uma sazonalidade marcante, a flutuação no aporte pode ser influenciada por respostas fisiológicas aos fatores ambientais, como temperatura e elevação da disponibilidade de água, ou ainda por fatores físicos como impacto das chuvas e ventos fortes, e estes últimos podem ser pontuais mascarando possíveis relações.

A variabilidade de aporte e acúmulo e decomposição dentro da área de estudo podem ser justificadas pela composição florística, e pelos microclima distinto gerados pela interação dos fatores ambientais com a biota, onde a face de exposição das parcelas, que propicia diferentes entradas de luz solar no sistema, foi identificada como o principal fator influenciando a produtividades das parcelas.

Nesse contexto, na floresta em questão o aporte contínuo de folhas com a decomposição mais lenta durante períodos de temperatura mais baixa, propicia o acúmulo gradativo sobre o solo, sendo parte deste consumido quando a temperatura se eleva, principalmente pela ativação e aceleração do metabolismo de microrganismos decompositores, não existindo uma influência expressiva do gradiente altitudinal no aporte, acúmulo e decomposição da serapilheira.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J.R.S.P, OLIVEIRA, R.R. e MONTEZUMA, R.C.M. Dinâmica da serapilheira em um trecho de floresta atlântica secundária em área urbana do Rio de Janeiro. **Pesquisas Botânicas**, n. 61, p. 279-291, 2010.
- ALMEIDA, J.T.S. **Deposição de serapilheira em área de diferentes estádios de regeneração em um trecho de Floresta Ombrófila Densa Montana em Miguel Pereira-RJ**. 2006. 32f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.
- ALVES, R.A.; SOUTO, S.J.; SOUTO, P.C. Aporte e decomposição de serapilheira em área de caatinga, na Paraíba. **Revista Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v 6, n. 2, p. 194-203, 2006.
- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S. & FARIA, S.M. Decomposição e deposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 24, p. 777-785, 2000.
- ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para a recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 715–721, 2003.
- ARAÚJO, R.S. PIÑA RODRIGUES, F.C.M.; MACHADO, M.R.; PEREIRA, M.G.; FRAZÃO, F.J. Aporte de serapilheira e nutrientes ao solo em três modelos de revegetação na Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, RJ. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 16-24, 2006.
- AVERTI, I.; DOMINIQUE, N. Litterfall, accumulation and decomposition in forest groves established on savannah in the Plateau Teke, Central Africa. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 4, n. 6, p. 601–610, 2011.
- BACKES, A., PRATES, F.L.; VIOLA, M.G. Produção de serapilheira em Floresta Ombrófila Mista, em São Francisco de Paula, Rio Grande do Sul, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 19, n. 1, p. 155-160, 2005.
- BRAY, J.R.; GORHAM, E. Litter production in forest of the world. **Advances in Ecological Research**, 2: 101-157, 1964.
- BARAJAS-GUZMÁN, G.; ALVAREZ-SÁNCHEZ, J. The relationships between litter fauna and rates of litter decomposition in a tropical rain forest. **Applied Soil Ecology**, v. 24, p. 91–100, 2003.
- BRUN, E.J.; SCHUMACHER, M.V.; VACCARO, S; SPATHELF, P. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual no RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 277-285, 2001.

CALDEIRA, M.V.W.; MARQUES, R.; SOARES, R.V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – Floresta Ombrófila Mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M.V.W.; VITORINO, M.D.; SCHAADT, S.S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias** (Online), Londrina, v. 29, p. 53-68, 2008.

CALVI, G.P.; PEREIRA, M.G.; ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de Floresta Atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 131-138, abr./jun., 2009.

CABIANCHI, G.M. **Ciclagem de nutrientes via serapilheira em um fragmento ciliar do rio Urupá, Rondônia**. 2010. 164 f. Tese 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010.

CAMPOS, E.P.; DUARTE, T.G.; NERI, A.V.; SILVA, A.F.; MEIRA-NETO, J.A.A.; VALENTE, G.E. Composição florística de um trecho de Cerradão e Cerrado sensu stricto e sua relação com o solo na Floresta Nacional (FLONA) de Paraopeba, MG, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 471-479, 2006.

CARDOSO-LEITE, E.; PAGANI M.I.; MONTEIRO, R.; HAMBURGER, D.S. Ecologia da paisagem: mapeamento da vegetação da Reserva Biológica da Serra do Japi, Jundiá, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v. 19, n. 2, 2005.

CIANCIARUSO, M.C.; PIRES, J.S.R.; DELITTI, W.B.C.; SILVA, E.F.L.P. Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um Cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, São Paulo, v.20, n.1, p.49-59, 2006.

CLARK, D.A.; BROWN, S.; KICKLIGHTER, D.W.; CHAMBERS, J.Q.; THOMLINSON, J.R.; NI, J.; HOLLAND, E.A. Net primary production in tropical forests: An evaluation and synthesis of existing field data. **Ecological Applications**, v. 11, n. 2, p. 371-384, 2001.

COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CUNHA, G.M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 563-570, 2005.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. Nutrient dynamics within amazonian Forest ecosystems. In. Nutrient flux in the fine litterfall and efficiency of nutrient utilization. **Oecologia**, v. 68, p. 466-472, 1986.

CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, C.A.; GAMA-RODRIGUES, F.; VELLOSO, A.C.X. Biomassa e estoque de carbono e nutrientes em Florestas Montana da Mata Atlântica na região norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 33, p. 1157-1185, 2009.

DAWOE, E.K.; ISAAC, M.E.; QUASHIE-SAM J. Litterfall and litter nutrient dynamics under cocoa ecosystems in lowland humid Ghana, **Plant Soil**, n. 330, p. 55–64, 2010.

DIAS, H.T., FIGUEIRA, M.D., SILVEIRA, V., FONTES, M.A.L., OLIVEIRA FILHO, A.T.; SCOLFORO, J.R.S. Variação temporal de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual Montana em Lavras. **Revista Cerne**, v. 8, n 2, p. 1-17, 2002.

DICKOW, K.M.C.; MARQUES, R.; PINTO, C. B.; HÖFER, H. Produção de serapilheira em diferentes fases sucessionais de uma floresta subtropical secundária, em Antonina, PR. **Revista Cerne**, v. 18, n. 1, p. 75-86, 2012.

ESPIG, A.S.; FREIRE F.J.; MARANGON L.C.; FERREIRA R.L.C.; FREIRE M.B.G.; ESPIG D.B. Sazonalidade, composição e aporte de nutrientes da serapilheira em fragmento de mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa; v. 33, n. 1, p. 949-956, 2009.

FACELLI, J.M.; PICKETT, S.T.A. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, Lancaster, v.57, p.1-32, 1991.

FERNANDES, A.V.; BACKES, A. Produtividade primária em floresta com *Araucaria angustifolia* no Rio Grande do Sul. Iheringia, **Série Botânica**, v. 51, n. 1, p. 63-78,1998.

FERNANDES, M.E.B.; NASCIMENTO, A.A.M.; CARVALHO, M.L. Estimativa da produção anual de serapilheira dos bosques de mangue no Furo Grande, Bragança-Pará. **Revista Árvore**, Viçosa , v. 31, n. 5, 2007.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G.F.; SCHAAF, L.B.; FIGUEIREDO, D.J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila mista localizada no Sul do estado do Paraná. **Ciência florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 11-18, 2003.

FISHER, R.F., JUO, A.S.R., Mechanisms of tree growth in acid soils. In: Evans, D.O., Szott, L.T. (Eds.), **Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils. Nitrogen Fixing Tree Research Reports Special Issue. Nitrogen Fixing Tree Association**, Winrock International Institute for Agricultural Development, Turrialba, Costa Rica, 1995. p. 1–19.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; SANTOS, M.R. Decomposição e liberação de nutrientes do folheto de espécies florestais nativas em plantios puros e mistos no sudeste da Bahia, **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, n. 27, p. 1021-1031, 2003.

GARAY, I., S. NAZOA; ABBADIE, L. Study of a mixed forest litter charm and oak. I: Decomposition of organic matter and dynamics of biogenic elements. **Acta oecologica. - Oecologia generalis**, v. 7, p. 151-169, 1986.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Biomass and nutrient cycling in pure and mixed stands of native tree species in Southeastern Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 287-298, 2007.

GODINHO, T.O.; CALDEIRA, M.V.W.; CALIMAN, J.P.; PREZOTTI, L.C.; WATZLAWICK, L.F.; AZEVEDO, H.C.A.; ROCHA, J.H.T. Biomassa, macronutrientes e carbono Orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana. **Scientia Forestalis.**, Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 131-144, 2013.

GOLLEY, F.B. Nutrient cycling and nutrient conservation. In: Tropical forest ecosystems: structure and function. **Elsevier**, Amsterdam, p.137-156, 1983.

GOMES, J.M.; PEREIRA, M.G.; PIÑA-RODRIGUES, F.C. M.; PEREIRA, G.H.A.; GONDIM, F.R.; SILVA, E.M.R. Aporte de serapilheira e de nutrientes em fragmentos lorestais da Mata Atlântica, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 383-391, 2010.

HINKEL, R. Aspectos da ciclagem de nutrientes de dois estádios sucessionais de Floresta Ombrófila Densa no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, SC.

2002. 164 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems**. New York: John Wiley, 1985.

KAVVADIAS, V.A.; ALIFRAGIS, D.; TSIONTSIS, A.; BROFAS, G.; STAMATELOS, G. Litterfall, litter accumulation and litter decomposition rates in four forest ecosystems in northern Greece, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 144, p. 113-127, 2001.

LIMA S.S; LEITE L.F.C; AQUINO A.M; OLIVEIRA, F.C; CASTRO A.A.J.F. Serapilheira e teores de nutrientes em argissolo sob diferentes manejos no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 75-84, 2010.

MAMAN, A.P.; SILVA, C.J.; SGUAREZI, E.M.; BLEICH, M.E. Produção e acúmulo de serrapilheira e decomposição foliar em Mata de Galeria e Cerradão no sudoeste de Mato Grosso. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 5, n. 1, p. 71- 84, 2007.

MATOS, B.R.M.; COSTA, A.C.L. efeito da deficiência hídrica na produção dos componentes da liteira vegetal em floresta tropical nativa na Flona Caxiuanã-Pará. **Revista Biologia Neotropical**, Goiânia, v. 9, n. 2, p. 24-36, 2012.

MONTEIRO, M.T.; GAMA-RODRIGUES, E.F. Carbon, nitrogen, and microbial biomass activity in different litter structures of a natural forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 819-826, 2004.

NASCIMENTO, A.A.M. **Composição química da serapilheira dos bosques de mangue do Furo Grande, Bragança-PA**. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Bragança. 2008.

O'CONNELL, A.M.; SANKARAN, K.V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E.K.S., BROWN, A.G. (Ed.). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantations forests**. Canberra: ACIAR Australia/CSIRO, 1997. p. 443-480. (Monograph; n. 43).

OLIVEIRA, R.R. ZAÚ, A.S., LIMA, D.F., SILVA, M.B.R., VIANNA, M.C. Significado ecológico da orientação de encostas no maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. **Oecologia Brasiliensis**, v.1, p.523-541, 1995.

OLSON, J.S. Energy-storage and balance of producers and decomposers in ecological-systems. **Ecology**, Washington, v.44, n.2, p.322-331, 1963.

PADGURSCHI, M.C.G.; PEREIRA, L.P.; TAMASHIRO, J.Y.; JOLY, C.A. Composição e similaridade florística entre duas áreas de Floresta Atlântica Montana, São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 11, n. 2, 2011.

PANDEY, R.R.; SHARMA, G.; TRIPATHI, S.K.; SINGH, A.K. Litterfall, litter decomposition and nutrient dynamics in a subtropical natural oak forest and managed plantation in northeastern India. **Forest Ecology and Management**, v. 240, p. 96–104,2007.

PINTO, C.B.; MARQUES, R. Aporte de nutrientes por frações da serapilheira em sucessão ecológica de um ecossistema da Floresta Atlântica. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 257-264, 2003.

PEREIRA, M.G.; MENESES, L.F.T.; SCHULTZ, N. Aporte e decomposição da serapilheira na Mata Atlântica, ilha de Marambaia, Mangaratiba, RJ. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 4, p. 443-454, 2008.

QUEIROZ, A.F. **Dinâmica da ciclagem de nutrientes contidos na serapilheira em um fragmento de mata ciliar no Estado de São Paulo**. 1999. 93 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP. 1999.

SANTOS, S. L.; VÁLIO, I.F.M. Litter accumulation and its effect on seedling recruitment in a Southeast Brazilian Tropical Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, p. 89-92, 2002.

SANTANA, J.A.S.; VILAR, F.C.R.; SOUTO, P.C.; ANDRADE, L.A. Acúmulo de serapilheira em plantios puros e em fragmento de Mata Atlântica na Floresta Nacional de Nísia Floresta, RN. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 59-66, 2009.

SCHEER, M.B.; GATTI, C.G. WISNIEWSKI; A.Y. MOCOCHINSKI; A.T. CAVASSANI; A. LORENZETTO; F. PUTINI. Patterns of litter production in a secondary alluvial Atlantic Rain Forest in southern Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 32, p. 805-817, 2009.

SCORIZA, R.N.; PEREIRA, M.G.; PEREIRA, G.H.A.; MACHADO, D. L.; SILVA, E.M.R. Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicados à ciclagem de nutrientes. **Floresta e Ambiente**, v. 2, n. 2, p. 01-18, 2012.

SHANKS, R.; OLSON, J.S. First year breakdown of leaf litter in Southern Appalachia, **Forest Science**, v. 134, p. 194-195, 1961.

SHIMAKURA, S.E. Correlação. In: CE003 - **Estatística II**. Paraná: Dep. de Estatística da Universidade Federal do Paraná: Curitiba, p. 71-78, 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~paulojus/CE003/ce003/node8.html>>; acessado em: 22 de dezembro de 2013.

SPAIN, V.A. Litter Fall and the standing crop of litter in three tropical australian rainforest. **Journal of Ecology**. V. 72, p. 947-961, 1984.

SWITZER, G.L.; NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 143-147, 1972.

SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 1979.

TERROR, V.L.; SOUSA, H.C.; KOZOVITS, A.R. Produção, decomposição e qualidade nutricional da serapilheira foliar em uma floresta paludosa de altitude. **Acta Botânica Brasílica**, v. 25, n. 1, p. 113-121, 2011

VALENTI, M.W.; CIANCIARUSO, M.V.; BATALHA, M.A. Seasonality of litterfall and leaf decomposition in a cerrado site. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, p. 459-465, 2008.

VARJABEDIAN, R.; PAGANO, S.N. Produção e decomposição de folheto em um trecho de Mata Atlântica de encosta no Município do Guarujá, SP. **Acta Botanica Brasílica**, v. 1, n. 2, p. 243-256, 1988.

VITAL, A.R.T. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em Zona Ripária. **Revista Árvore**, Viçosa v. 28, n. 6, p. 793-800, 2004.

VITOUSEK, P.M.; SANFORD, R.L. Nutrient Cycling in Moist Tropical Forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 137-167, 1986.

WATZLAWICK, L.F.; CALDEIRA, M.V.W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M.V.; GODINHO, T.O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, 2012.

WEDDERBURN, M.E.; CARTER, J. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 31, p. 455-461, 1999.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Neste estudo foi observada pequena variação das características químicas do solo estudadas, principalmente em relação ao período de coleta, assim como um enriquecimento da camada superficial do solo, relacionado ao aporte de material orgânico da vegetação. Foi observado também que, para o aporte, acúmulo e decomposição do material decíduo uma forte relação com as variáveis climáticas estudadas e os atributos químicos do solo.

A existência de fatores climáticos e edáficos influenciando na ciclagem de nutrientes provou ser verdadeira. Entretanto, as interações existentes entre esses fatores demonstraram ser um campo mais obscuro da pesquisa científica, principalmente pelo caráter macroscópico deste estudo em relação às variáveis climáticas.

Para maior compreensão do sistema solo-planta na Floresta Ombrófila Densa, no Parque Nacional do Caparaó, há a necessidade de estudos com maior período de duração, mais profundos e que disponham de um maior controle das variáveis meteorológicas *in situ* como foi feito para os atributos do solo, com o objetivo de averiguar variações microclimáticas.

Também se faz necessário, o estudo das variáveis envolvendo a biota da área, principalmente relacionado à distribuição espacial das espécies e a fauna de decompositores existentes no solo, uma vez que essa variável contribui tanto para a variação horizontal quando vertical do aporte, acúmulo e decomposição da serapilheira.