

Anderson Mululo Sato

RESPOSTAS GEO-HIDROECOLÓGICAS À SUBSTITUIÇÃO DE
PASTAGENS POR PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO NO MÉDIO VALE
DO RIO PARAÍBA DO SUL:
a interface biota-solo-água



Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental

Orientadora: Prof. Dra. Ana Luiza Coelho Netto

Co-Orientador: Prof. Dr. André de Souza Avelar

Rio de Janeiro
2008

Anderson Mululo Sato

RESPOSTAS GEO-HIDROECOLÓGICAS À SUBSTITUIÇÃO DE
PASTAGENS POR PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO NO MÉDIO VALE
DO RIO PARAÍBA DO SUL:
a interface biota-solo-água

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental

Aprovada em ___ / ___ / _____

Orientadora

Dra. Ana Luiza Coelho Netto – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Co-Orientador

Dr. André de Souza Avelar – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dra. Maria José Brito Zákia – Votorantin Celulose e Papel e Universidade de São Paulo

Dra. Rita de Cássia Martins Montezuma – Pontifícia Universidade Católica - Rio de Janeiro

Dr. Evaristo de Castro Júnior – Universidade Federal do Rio de Janeiro

À família e aos amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha orientadora, Professora Ana Luiza Coelho Netto, quem dia-a-dia me mostra o prazer de fazer ciência e a responsabilidade que um profissional envolvido com pesquisa deve assumir. Ao Professor André Avelar agradeço pela co-orientação e por todo os conhecimentos compartilhados ao longo de toda minha permanência no Laboratório GEOHECO/UFRJ.

Ao longo desse processo interminável e nada angustiante que é a formação deste cientista e da elaboração desta dissertação foram muito importantes as seguintes pessoas: Mariana Abdalad, por toda a colaboração desde os primeiros passos de desenvolvimento do projeto sobre os eucaliptos no médio vale do rio Paraíba do Sul e que agora se encontra oficialmente engajada como aluna de mestrado do PPGG; Gabriela Vianna, por sua calma e invejável responsabilidade e maturidade demonstrada em todas as etapas da pesquisa nas quais esteve envolvida; Rafael Almeida e Thiago Edel, por suas participações como alunos de Iniciação Científica vinculados ao estudo; Aline Mellos e Nathália Câmara, que ultimamente desempenharam com afinco suas tarefas vinculadas à pesquisa e que, sinceramente, espero que estejam aproveitando a oportunidade para incrementar as suas respectivas formações acadêmicas; ao Carlos Eduardo Menezes agradeço pela colaboração na instalação do pluviômetro digital, e à Ingrid Araújo, pela também colaboração na instalação deste equipamento e no auxílio no AutoCAD. Ao Luis Felipe Fragoso agradeço pelas aulas de cartografia em campo e nos corredores da UFRJ, e desde já pela colaboração e boa vontade no levantamento plani-altimétrico da estação experimental Monte Alegre. Ao leitor de campo “Léo”, sem o qual a viabilidade desta pesquisa estaria seriamente comprometida, assim como aos

motoristas da Garagem da UFRJ que colaboraram com a logística de campo, em especial ao Flaviano, que colaborou com a instalação das parcelas de escoamento. À Renata Monnerat, minha sincera admiração e respeito por seu companheirismo e colaboração durante todo o processo de escrita.

A permissão da Votorantin Celulose e Papel (VCP) para que monitorássemos a estação experimental Monte Alegre foi de grande valia, assim como todas as informações disponibilizadas ao longo do estudo.

Agradeço também o apoio financeiro que recebemos para a realização desta pesquisa por parte do MCT/CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) – editais PRONEX, Universal e CT-Hidro; e da FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro). A concessão de bolsas de estudo pela CAPES e FAPERJ (Programa Bolsa Nota 10) foi fundamental ao meu engajamento com dedicação exclusiva a este estudo, por isso eu também agradeço a essas instituições de apoio à pesquisa.

À toda equipe do GEOHECO/UFRJ agradeço, pois, definitivamente, formamos um grupo de pesquisa no qual não medimos esforços para ajudar um ao outro. Sou feliz por poder trabalhar numa equipe como a nossa. Obrigado a todos, sem exceção!

“O cientista é um pouco criança, pois nele aflora um dos instintos infantis mais primitivos: a curiosidade, que move o impulso de sempre buscar saber um pouco mais”.

Anderson Mululo Sato

RESUMO

SATO, Anderson Mululo. Respostas geo-hidroecológicas à substituição de pastagens por plantações de eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul: a interface biota-solo-água. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

O médio vale do rio Paraíba do Sul (MVRPS) é composto por uma paisagem heterogênea que está submetida a mudanças ambientais cada vez mais aceleradas (COELHO NETTO, 2005). Atualmente, observa-se a inserção da silvicultura do eucalipto na divisa dos estados do RJ e SP, formando a nova fronteira de expansão dessa atividade na região. Este estudo foi realizado na cabeceira de drenagem de uma sub-bacia do rio Sesmarias (149 Km²), tributário do rio Paraíba do Sul, no domínio de divisor de drenagem e encosta lateral de um plantio de *Eucalyptus urophylla* x *grandis*, espaçamento 3 x 2 m, plantados em Abril de 2004. A precipitação média anual é de 1700 mm, com chuvas concentradas no período de Outubro a Março. O objetivo deste estudo é avaliar as alterações geo-hidroecológicas decorrentes da substituição das antigas pastagens por plantios de eucalipto, buscando entender as variações temporais e espaciais dos processos de interceptação, infiltração, escoamento superficial, capacidade de retenção hídrica (CRH), produção e estocagem da serrapilheira. Os resultados indicam que a vegetação do plantio apresenta resposta rápida ao estresse hídrico através da grande produção de serrapilheira, sendo a produção maior no divisor (5,72 Mg.ha⁻¹) que na encosta (3,56 Mg.ha⁻¹) provavelmente devido à área de contribuição hídrica diferenciada entre esses domínios geomorfológicos. O atravessamento das chuvas apresenta variação espacial, com maior concentração junto ao tronco das árvores em virtude da arquitetura convergente dos galhos. Temporalmente, o existe maior atravessamento nos períodos secos, provavelmente relacionado com a hidrofobia das estruturas do dossel do plantio. A grande produção média anual de serrapilheira (4,43 Mg.ha⁻¹), associada ao baixo coeficiente de decomposição ($k = 0,39$), acarreta o aumento do estoque de serrapilheira (Outubro 2007 = 14,9 Mg.ha⁻¹). Esse estoque de serrapilheira possui CRH (232% do peso seco) semelhante à floresta ombrófila, sugerindo um comportamento hidrológico similar. O grande estoque de serrapilheira associado à injeção pontual da água do atravessamento na base dos troncos, local onde deve haver a maior concentração de raízes, que são vias preferenciais de percolação de água no solo (SILVEIRA *et al.*, 2005), resulta em baixos valores de escoamento superficial (relação Q/P no divisor = 0,1% e 0,2% na encosta) e altas taxas de infiltração. Conclui-se que, na avaliação hidrológica superficial, os plantios de eucalipto (*stricto sensu*) apresentam comportamento similar às pastagens. Entretanto, devem ser estudados mais detalhadamente os processos erosivos nas estradas não-pavimentadas dos plantios, pois existem indícios de que o escoamento superficial é elevado, além das áreas de preservação permanente no fundo de vale que apresentam o desenvolvimento de vegetação secundária inicial, realizando assim uma análise integrada das cabeceiras de drenagem com plantios de eucalipto.

ABSTRACT

SATO, Anderson Mululo. Respostas geo-hidroecológicas à substituição de pastagens por plantações de eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul: a interface biota-solo-água. Dissertação (Mestrado em Geografia na Área de Concentração de Planejamento e Gestão Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

The heterogeneous landscape mosaic of middle Paraíba do Sul river valley (MPSRV) has been submitted to increasing rapid environmental changes (COELHO NETTO, 2005). Nowadays, *Eucalyptus* plantations are spreading through RJ e SP border, creating the new frontier of expansion of silvicultural activities in the region. Field work has been conducted in divide and side slope of head water zone of a first order sub-basin of Sesmarias river (149 km²), a tributary of Paraíba do Sul river (SE Brazil), at a hybrid *Eucalyptus urophylla* x *grandis* plantation, 3 x 2 m spacing, planted in April 2004. Average annual precipitation is 1700 mm and rainfall concentrates from October to March. The objective of this study was understand the geo-hidroecological changes induced by the spreading of *Eucalyptus* patches in substitution to cattle grazing grasslands in MPSRV, focusing on the temporal and spatial variations of interception, infiltration, overland flow, litter water retention capacity (WRC), litter production and litter storage processes. Results show that *Eucalyptus* plants respond quickly to dryer conditions producing more litter in divide (5,72 Mg.ha⁻¹) than side slope (3,56 Mg.ha⁻¹) probably in response to different water contribution areas between these geomorphological domains. Throughfall is spatially heterogeneous, with concentration nearby the tree trunks as a result of convergent architecture of branches. Temporally, throughfall is greater in dryer periods, suggesting a hydrophobic response of canopy structures in these periods. High annual litter production (4,43 Mg.ha⁻¹) and low decomposition ($k = 0,39$) are the main causes of high litter storage (October 2007 = 14,9 Mg.ha⁻¹). The litter WRC (232% dry weight) is comparable to Atlantic forest litter, suggesting similar hydrological responses. Two factors imply almost none overland flow (Q/P is 0,1% in divide and 0,2% in side slope) and high infiltration: high litter storage in top soil; and throughfall concentration nearby the tree trunks. Under the trunks is expected to have high root concentration and the roots are the main pathways of water percolation (SILVEIRA *et al.*, 2005). Comparing the overland hydrology of *Eucalyptus* plantations (*stricto sensu*) and cattle grazing grasslands we conclude that both have similar behavior. Although, more investigations must be done focusing on the unpaved roads (field observations indicate high overland flow and low infiltration) and on the permanent preservation areas located in lowlands of the basin that show a initial secondary forest development, composing a integrated view of the *Eucalyptus* head water basins.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 OBJETIVOS	25
2.1 GERAIS.....	25
2.2 ESPECÍFICOS	25
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1 HIDROLOGIA.....	26
3.1.1 Ciclo Hidrológico	26
3.1.2 Hidrologia de Bacias de Drenagem.....	29
3.1.3 Controle Hidrológico pelas Florestas.....	34
3.1.4 Hidrologia de Áreas com Gramíneas.....	43
3.2 GEOPROCESSAMENTO.....	46
3.2.1 Bases do Sensoriamento Remoto.....	46
3.2.2 Comportamento Espectral da Vegetação.....	48
3.2.3 Classificação de Uso e Cobertura dos Solos.....	51
3.2.4 SR aplicado ao estudo do Eucalipto.....	55
4 ÁREA DE ESTUDO	58
4.1 O MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	58
4.2 ESTAÇÃO EXPERIMENTAL MONTE ALEGRE	64
5 METODOLOGIAS, MATERIAIS E MÉTODOS	67
5.1 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO	67
5.2 ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO.....	68
5.3 PRECIPITAÇÃO	69
5.4 INTERCEPTAÇÃO PELAS COPAS	72
5.4.1 Pluviômetros Cilíndricos	72
5.4.2 Pluviômetros em Calha	74
5.4.3 Pluviômetros Radialmente Dispostos	75
5.5 SERRAPILHEIRA.....	78
5.5.1 Produção	78
5.5.2 Estoque e Capacidade de Retenção Hídrica	80
5.5.3 Taxa de Decomposição	82
5.6 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E INFILTRAÇÃO	83
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86

6.1 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO	86
6.2 ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO.....	89
6.3 PRECIPITAÇÃO	92
6.4 INTERCEPÇÃO PELAS COPAS.....	105
6.4.1 Pluviômetros Cilíndricos	105
6.4.2 Pluviômetros em Calha	120
6.4.3 Pluviômetros Radialmente Dispostos	125
6.5 SERRAPILHEIRA.....	129
6.5.1 Produção	129
6.5.2 Estoque e Capacidade de Retenção Hídrica	137
6.5.3 Taxa de Decomposição	141
6.6 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E INFILTRAÇÃO	143
7 CONCLUSÕES	146

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01 - Ciclos econômicos ao longo da história do médio vale do rio Paraíba do Sul, com os principais destaques no que diz respeito às implicações hidro-erosivas de cada uso e cobertura da terra, além dos questionamentos sobre as implicações da inserção do eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul..... 19
- Figura 02 – O ciclo hidrológico. I_T = Intercepção, E_{S+A} = Evaporação do solo e corpos d'água. Modificado de Hewlett (1982).....28
- Figura 03 – Rotas de fluxos nas encostas. FSH = fluxo superficial Hortoniano, FS = fluxo subterrâneo, FSSch = fluxo subsuperficial de chuva e FSSat = fluxo superficial de saturação. Dune & Leopold (1978) e modificado por Coelho Netto (2003).29
- Figura 04 – Representação de uma hidrógrafa em resposta à chuva numa bacia de drenagem. Extraído de Coelho Netto (2003).....31
- Figura 05 – Processo de infiltração numa encosta. O diagrama mostra uma encosta com um canal na sua base, o lençol d'água e o gráfico de umidade do solo com a profundidade em três pontos. 0 é zero e θ_s umidade saturada. (A) Condição antes da chuva; FB é o fluxo de base. (B) Resposta inicial à chuva, sendo o sombreamento escuro o adicional de umidade. O fluxo subsuperficial de chuva (FSS_{ch}) é adicionado ao fluxo de base. (C) Na seqüência da chuva o lençol sobe até a superfície na porção inferior da encosta e a zona saturada expande remontantemente. A água exfiltra como fluxo de retorno (FR), o qual, junto com a precipitação direta sobre a área saturada (PD_{sat}), produz o fluxo superficial de saturação. Dune & Leopold (1978) e modificado por Coelho Netto (2003).33
- Figura 06 – Componentes da intercepção: P é a precipitação, ET é evapotranspiração, Ac é armazenamento nas copas, At é atravessamento e Ft é o fluxo de tronco. Extraído de Coelho Netto (2003).35
- Figura 07 – Mecanismo dos fluxos sobre a camada O_1 e intra-malha de raízes da camada O_2 . Extraído de Coelho Netto (2003).....40
- Figura 08 – Intensidade do fluxo radiante emitido pelo Sol. Extraído de Ponzoni & Shimabukuro (2007).....47
- Figura 09 – Curva de reflectância de uma folha verde. Extraído de Ponzoni & Shimabukuro (2007).....49
- Figura 10 – Estrutura interna de uma folha de espirradeira (*Nerium oleander*). Extraído de Raven *et al.* (2001).....49

- Figura 11 – Espectro da taxa fotossintética e da absorção da energia eletromagnética pelos pigmentos presentes nas folhas. Extraído de Raven *et al.* (2001).50
- Figura 12 – Localização da bacia do rio Paraíba do Sul (I). A bacia do rio Sesmarias está destacada em vermelho e a bacia do rio Bananal em preto (II). Em (III) está detalhado o perfil topográfico A-B, extraído de Uagoda (2006).58
- Figura 13 – Pluviosidade mensal média no domínio de colinas e montanhas baseada na análise de 18 estações pluviométricas no MVRPS do ano de 1970-1999.64
- Figura 14 – Mapa de localização da área de estudo: (A) mapa hipsométrico da bacia do rio Sesmarias; (B) localização da estação experimental Monte Alegre. As estrelas vermelhas marcam a localização dos postos Monte Alegre, Gasoduto e Eucalipto. Em (B) cinza representa as isolinhas altimétricas (equidistância de 5 m), preto as estradas não-pavimentadas e roxo o gasoduto. Áreas em branco representam o plantio de eucalipto e em verde as áreas de floresta nativa.66
- Figura 15 – (A) Leitor de campo realizando a mensuração do volume de chuva. Estrutura dos pluviômetros cilíndricos, evidenciando a estrutura interna com a garrafa de PET emborcada (B) e a bola de ping-pong (C) utilizada para evitar a evaporação da água coletada.70
- Figura 16 – Disposição espacial dos pluviômetros junto ao tronco (JT) e entre os troncos (ET).73
- Figura 17 – Pluviômetros em calha abrangendo as porções entre as colunas e próximo aos troncos dos eucaliptos.75
- Figura 18 – Distribuição radial dos vinte pluviômetros ao redor do tronco central no divisor. No desenho círculos marrons representam os troncos dos eucaliptos, losangos azuis os pluviômetros e as circunferências imaginárias determinam o espaçamento (0,5 m).76
- Figura 19 – Distribuição radial dos 52 pluviômetros ao redor do tronco central no divisor. No desenho círculos marrons representam os troncos dos eucaliptos, losangos azuis os pluviômetros e as circunferências imaginárias determinam o espaçamento (0,5 m).77
- Figura 20 – Coletor de serrapilheira (0,5 x 0,5 m) instalado entre os troncos no primeiro plano e na junto ao tronco em segundo plano.79

- Figura 21 – Coleta com o auxílio de gabarito quadrado para avaliação do estoque de serrapilheira. Antes, com a presença da camada holorgânica e depois, com a remoção completa desta camada.81
- Figura 22 – Localização das parcelas de escoamento na bacia de primeira ordem estudada (I). A linha vermelha indica os divisores, as cinzas as isolinhas altimétricas (equidistância 5 m), as pretas são estradas não-pavimentadas e em verde o perfil (A – B). Em II está representado o perfil da encosta (A - B), com a localização exata das parcelas tanto no divisor quanto na encosta lateral.84
- Figura 23 – Parcela de escoamento superficial. A – Desenho esquemático da parcela de escoamento mostrando as quinze árvores que estão contidas na área (círculos marrons). Visão frontal (B) e lateral (C) da parcela de escoamento. Notar em (C) que existe uma cobertura para a calha coletora que impede a precipitação direta sobre a mesma.....85
- Figura 25 – Visão do dossel do plantio, demonstrando a diferença de abertura de copas no divisor e na encosta lateral. A = perspectiva conjunta do dossel, com maior abertura na encosta lateral (linhas laranjas) que no divisor (linha vermelha). B = vista inferior do dossel no divisor; C = vista inferior do dossel na encosta lateral.90
- Figura 26 – Área basal do plantio de eucalipto na comparação entre o domínio de divisor e de encosta lateral.....91
- Figura 27 – Regime de distribuição de chuvas mensais: posto Monte Alegre (totais mensais de Outubro/2006 – Dezembro/2007), média regional do domínio de colinas (1970-1999) e médias do posto Arapeí (1970 – 1995).....93
- Figura 28 – Distribuição de frequência das classes de precipitação diária no posto Monte Alegre (Outubro/2006- Dezembro/2007) e Arapeí (Janeiro/1970 – Dezembro/1995).....94
- Figura 29 – Distribuição das classes de precipitação diária do posto Monte Alegre e do posto Arapeí (1970 – 1995).....98
- Figura 30 – Relação da precipitação diária média e o desvio padrão dos pluviômetros do posto Monte Alegre.99
- Figura 31 – Correlação da precipitação diária entre o posto Monte Alegre e Gasoduto..... 100
- Figura 32 – Diferença (%) da precipitação diária entre o posto Gasoduto e Monte Alegre..... 101

- Figura 33 – Relação da precipitação diária média e o desvio padrão dos pluviômetros do posto Monte Alegre e do posto Gasoduto..... 102
- Figura 34 – Correlação da precipitação diária entre a média dos três pluviômetros convencionais e o pluviômetro digital do posto Monte Alegre..... 103
- Figura 35 – Diferença (%) da precipitação diária entre o pluviômetro digital e a média dos três pluviômetros convencionais do posto Monte Alegre..... 104
- Figura 36 – Correlação da precipitação diária e a intensidade máxima da precipitação observada para o mesmo dia no pluviômetro digital..... 105
- Figura 37 – Correlação entre a precipitação e o atravessamento em diversas posições. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos. 107
- Figura 38 – Arquitetura convergente dos galhos do plantio de eucalipto. 108
- Figura 39 – Correlação entre a precipitação e o desvio padrão dos pluviômetros em diversas posições. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos. 110
- Figura 40 – Ritmo de precipitação diária (barras) e atravessamento (linhas). D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos..... 114
- Figura 41 – Correlação da intensidade máxima da chuva diária e o atravessamento diário nos pluviômetros cilíndricos nas diversas posições. D = divisor, E = encosta, JT = junto ao tronco e ET = entre os troncos. 116
- Figura 42 - Atravessamento (%) nas diversas posições divididas por classes de precipitação e em condições com e sem estiagem antecedente ≥ 5 dias. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos. 118
- Figura 43 – Atravessamento (%) dos pluviômetros cilíndricos nas diversas posições nos cinco meses mais secos e mais úmidos da série histórica de Outubro de 2006 a Dezembro de 2007. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos. 120
- Figura 44 – Correlação entre a precipitação e o desvio padrão dos pluviômetros em calha no domínio de divisor e de encosta. 122

Figura 45 - Correlação da intensidade máxima da chuva diária e o atravessamento diário nos pluviômetros em calha no divisor e na encosta lateral..... 123

Figura 46 - Atravessamento (%) dos pluviômetros em calha no domínio de divisor e de encosta nos cinco meses mais secos e cinco meses mais úmidos da série histórica de Dezembro de 2006 a Dezembro de 2007. 124

Figura 47 – Variação espacial do atravessamento em relação à árvore central. Em (A) estão representadas as linhas de equi-atravessamento (%) e em (B) está a visualização em 3D. Círculos azuis abertos representam os pluviômetros e os círculos laranjas fechados representam as árvores. As linhas de equi-atravessamento estão representadas em ambos os desenhos, sendo a linha em vermelho correspondente ao atravessamento igual a 100%. As medidas nos eixos X e Y estão em cm a partir de um *datum* local. 126

Figura 48 – Variação espacial do atravessamento em relação à árvore central. Em (A - Divisor) e (C - Encosta) estão representadas as linhas de equi-atravessamento (%) e em (B - Divisor) e (D - Encosta) estão as visualizações em 3D. Círculos azuis abertos representam os pluviômetros e os círculos laranjas fechados representam as árvores. As linhas de equi-atravessamento estão representadas em ambos os desenhos, sendo a linha em vermelho correspondente ao atravessamento igual a 100%. As medidas nos eixos X e Y estão em cm a partir de um *datum* local. 128

Figura 49 - Produção de serrapilheira ($Mg.ha^{-1}$) nas diversas posições e precipitação (mm) acumulada para o período de 12 de Outubro de 2006 a 20 de Dezembro de 2007. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos. 130

Figura 50 – Valores de produção de serrapilheira (barras) nas duas posições em relação ao tronco (JT e ET) e composição do material produzido (linhas). JT = junto ao tronco e ET = entre troncos. 136

Figura 51 – Correlação da precipitação e a relação Q/P (escoamento superficial / precipitação) nas parcelas de escoamento do divisor e da encosta. 144

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Estações pluviométricas utilizadas para a determinação da precipitação média no domínio de colinas do MVRPS para o período de 1970-1999. ANA = Agência Nacional de Águas.	71
Tabela 02 – Número de pluviômetros em cada situação no posto Eucalipto para determinação do atravessamento e interceptação. JT =junto ao tronco e ET = entre os troncos.	73
Tabela 03 – Distribuição e número de coletores de serrapilheira em cada situação no posto Eucalipto para determinação da produção de serrapilheira. JT =junto ao tronco e ET = entre os troncos.	79
Tabela 05 – Representação da ocorrência de chuvas por classes para os postos Monte Alegre e Arapeí.	95
Tabela 06 – Atravessamento (%) nas situações analisadas.	106
Tabela 07 – Interceptação (I) pelas copas para florestas naturais de eucalipto, plantações e floresta ombrófila densa. D = divisor; E = encosta; ET = entre os troncos; JT = junto ao tronco.	113
Tabela 08 – Atravessamento (%) nas diversas posições divididas por classes de precipitação e em condições com e sem estiagem antecedente ≥ 5 dias. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos.	117
Tabela 09 – Atravessamento (%) nas diversas posições nos cinco meses mais secos e mais úmidos da série histórica de Outubro de 2006 a Dezembro de 2007. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos.	120
Tabela 10 – Atravessamento (%) nas calhas no domínio de divisor e de encosta.	121
Tabela 11 – Produções anuais de serrapilheira ($Mg.ha^{-1}$) em diversos estudos. D= divisor, E = encosta, JT = junto ao tronco, ET = entre os troncos e ND = não disponível no estudo consultado.	133
Tabela 12 – Composição média mensal (%) da serrapilheira produzida nas diversas posições. D = divisor, E = encosta, JT = junto ao tronco e ET =entre os troncos. ...	136

Tabela 13 – Estoque de serrapilheira ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e acúmulo no período de Outubro de 2006 a Outubro de 2007 nas diversas posições. JT = junto ao tronco e ET = entre os troncos. 138

Tabela 14 – Capacidade de retenção hídrica (%) da serrapilheira nas diversas posições. JT = junto ao tronco e ET = entre os troncos. 140

Tabela 15 – Coeficientes de decomposição da serrapilheira em diversos estudos. 142

1 INTRODUÇÃO

Historicamente o vale do rio Paraíba do Sul vem sendo submetido à sucessivas mudanças ambientais decorrentes dos diferentes modos de uso e ocupação de suas terras. A cafeicultura se instalou entre meados do século XVIII e final do século XIX, ocasionando grande devastação da floresta Atlântica ali presente, deixando como resquício apenas alguns fragmentos florestais isolados. A substituição das áreas de floresta Atlântica por plantios de café resultou na modificação de um sistema hidrológico que operava através dos processos de infiltração e estocagem (COELHO NETTO, 1985) por outro em que preponderava o escoamento superficial, gerando altas taxas de erosão (DANTAS, 1995). Após o ciclo do café, a pecuária extensiva espalhou-se pelo vale ao longo do século XX, acarretando novas alterações no que diz respeito à hidrologia. Isto ocorreu devido ao enraizamento raso das gramíneas e à escavação das formigas saúva (gênero *Atta*), gerando descontinuidades hidrológicas nas encostas (DEUS, 1991). A partir da década de 1940 a atividade pecuária foi acompanhada pela industrialização, assim como pela expansão dos núcleos urbanos, especialmente das grandes metrópoles de São Paulo e Rio de Janeiro. Atualmente, uma nova mudança vem ocorrendo nas áreas rurais, até então degradadas sob o ponto de vista sócio-econômico e ambiental, com o início de um novo ciclo econômico associado à implementação de plantios de eucalipto em vastas áreas (fig. 01).

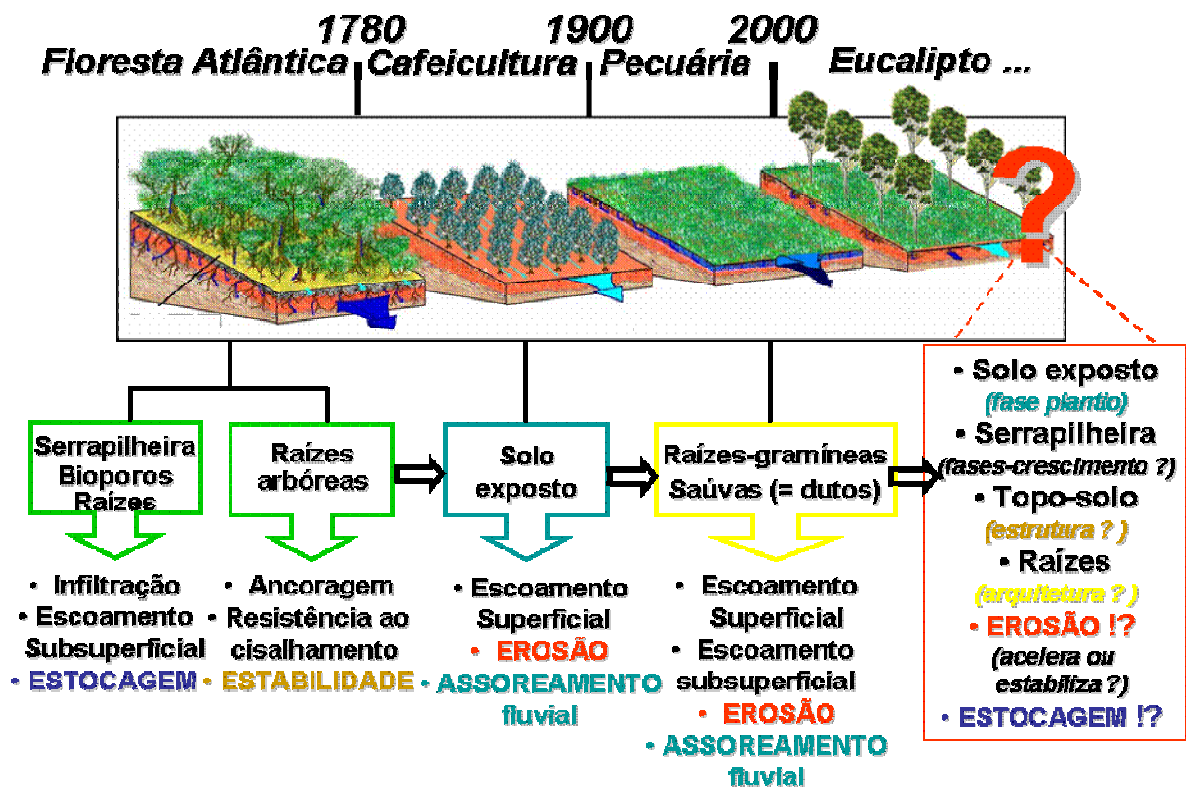


Figura 01 - Ciclos econômicos ao longo da história do médio vale do rio Paraíba do Sul, com os principais destaques no que diz respeito às implicações hidro-erosivas de cada uso e cobertura da terra, além dos questionamentos sobre as implicações da inserção do eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul.

No contexto da inserção do eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul (MVRPS), o estudo preliminar de Abdalad *et al.* (2005) identifica duas empresas principais que realizam esses plantios nessa área: a Votorantin Celulose e Papel (VCP) e a Nobrecel. Ambas possuem terras próprias e arrendadas, sendo que no ano de 2005 a VCP possuía no total 73.600 ha, enquanto a Nobrecel 13.640 ha (SATO *et al.*, 2007). Além disso, existe uma previsão de ampliação das áreas de plantio até 2008 por parte destas duas empresas. A VCP pretende ampliar as suas áreas para 80.000 ha e a Nobrecel para 30.000 ha, sendo esse crescimento induzido pelas exportações para a primeira empresa e pelo mercado interno para segunda. Esses dados nos fazem refletir a respeito da impossibilidade de reversão

desse quadro de expansão de áreas de plantio de eucalipto no MVRPS, considerando uma perspectiva a curto prazo.

O gênero *Eucalyptus* engloba mais de 600 espécies, dando uma dimensão da grande heterogeneidade interna que existe dentro desse grupo monofilético¹. Os eucaliptos são originários da Oceania, porém, atualmente, existem representantes do gênero em quase todos os continentes (LIMA, 1996). Além das espécies que surgiram através do processo de seleção natural, existem tantas outras, muitas delas híbridas, que foram desenvolvidas por seleção artificial, uma vez que há uma grande gama de estudos visando o melhoramento genético para o aumento da produtividade dos plantios. No Brasil as plantações de eucalipto existem desde o final do século XIX e as questões a respeito dos efeitos ambientais dessas culturas ainda estão bastante indefinidas.

A cultura do eucalipto tem sido apontada como indutora da desertificação devido à queda da produtividade biológica dos ecossistemas através de três maneiras: a) a pesada demanda por nutrientes criaria um déficit anual que desestabilizaria o ciclo de nutrientes; b) a liberação de substâncias químicas alelopáticas² afetaria o crescimento de plantas e de microorganismos do solo, reduzindo, assim, ainda mais a fertilidade dos solos; c) a alta demanda de água dos eucaliptos esgotaria a umidade do solo e acabaria com a recarga da água subterrânea (JAYAL, 1985 *apud* LIMA, 1996).

Nesse sentido, sobre a ciclagem de nutrientes nos plantios de eucalipto, Guo & Sims (2001a; 2002) avaliam os efeitos externos (condições ambientais) e internos (propriedades físico-químicas do substrato), respectivamente, no processo de

¹ Grupo monofilético: conjunto de organismos que possui um mesmo ancestral em comum e todos os seus descendentes.

² Substâncias alelopáticas: substâncias químicas produzidas por alguns vegetais que inibem o crescimento de indivíduos da mesma espécie ou de outras espécies vegetais (RAVEN *et al.*, 2001).

decomposição da serrapilheira de eucalipto, demonstrando que ambos os fatores exercem influência nas taxas de decomposição. Além desses autores citados anteriormente, os estudos de Louzada *et al.* (1997) também demonstram que os locais de decomposição também interferem nas taxas de decomposição, sendo estatisticamente maiores na área de floresta secundária semidecídua do que nos eucaliptais, isto porque as condições ambientais são mais favoráveis à decomposição na floresta secundária. Esse mesmo estudo revela que a substituição dos ecossistemas nativos por coberturas homogêneas de *Eucalyptus spp.* gera um decréscimo na heterogeneidade e na qualidade nutricional da serrapilheira. Isto fica evidenciado pela observação de menores taxas de decomposição da serrapilheira proveniente de florestas de eucalipto quando comparadas à serrapilheira originária de uma floresta secundária semidecídua. Guo & Sims (1999), comparam a liberação de Nitrogênio (N) e Fósforo (P) de duas espécies de eucalipto em áreas com diferentes densidades de árvores. Eles avaliam esses dois elementos pois eles são os principais nutrientes para o crescimento dos plantios. Nesse estudo eles concluem que a densidade de árvores de eucalipto não afetou as taxas anuais de decomposição da serrapilheira nem a mineralização do N. Por outro lado, verificam diferenças na taxa de liberação do P, com as maiores taxas nos locais com as menores densidades de árvores. Costa *et al.* (2005), estudando plantios de eucalipto na região norte fluminense, observam que os índices pluviométricos são fundamentais para o entendimento da liberação de nutrientes da serrapilheira. Somente no período de maiores precipitações observou-se a efetiva perda de massa (29 – 33%), assim como a liberação de celulose (40 – 51%), de polifenóis (54 – 70%) e, em pequena quantidade, de lignina (3 – 14%). Entre os nutrientes avaliados,

houve liberação de N (6 – 19%), K (49 – 60%), Ca (18 – 20%) e Mg (27 – 39%), enquanto o P foi acumulado (-20 e -40%).

No que diz respeito à sucessão ecológica, Rezende *et al.* (1994) afirmam que plantios homogêneos de eucalipto introduzidos em programas de fomento e atualmente em fase de exploração apresentam significativo desenvolvimento de sub-bosque, sugerindo um processo de sucessão favorável à recuperação da biodiversidade. Seguindo nesta direção, em uma área baixo-montana do sudeste brasileiro, Scarano *et al.* (1998) indicam uma riqueza de 123 espécies no sub-bosque de uma área com eucaliptos de dez anos de idade, enquanto nas áreas vizinhas de floresta Atlântica ocorrem 124 espécies. Esses autores relacionam à recuperação dessa área ao sombreamento feito pelos eucaliptos, à interrupção dos distúrbios humanos na área e a existência de uma área fonte de sementes relativamente próxima (Parque Estadual do Rio Doce). O estudo de Zhou *et al.* (2002) conclui que os plantios de eucalipto podem ser utilizados como meio para a reabilitação de áreas degradadas no sul da China, sendo importante que a camada de serrapilheira e o sub-bosque desses plantios não sofram distúrbios e que os plantios sejam feitos de forma mista com espécies nativas.

Sobre a hidrologia dos plantios de eucalipto, existem estudos que comprovam que as espécies plantadas no Brasil possuem resposta estomática³ à disponibilidade de água (LIMA *et al.*, 2003; SOARES & ALMEIDA, 2001; MIELKE *et al.*, 1999), indicando que essas espécies apresentam mecanismos que controlam a evapotranspiração em condições de baixa umidade no solo. Sharda *et al.* (1998), estudando em pequenas bacias de drenagem, avaliam as implicações da cobertura

³ Estômatos são aberturas microscópicas na epiderme dos vegetais, cada uma circundada por duas células-guarda, as quais mudam seu formato para conduzir à abertura ou ao fechamento dos poros. Essas mudanças de forma dos estômatos ocorrem em função das respostas das células-guarda a diversos estímulos, as quais recebem o nome de respostas estomáticas.

de eucaliptos no comportamento hidrológico durante o período de dez anos da segunda rotação numa região de montanha ao sul da Índia. Os resultados mostram que ocorreu uma redução na média do escoamento superficial anual de 25,4% e do fluxo de base dos rios em 27% quando comparados às áreas naturais de gramíneas. Já na primeira rotação esses valores foram de 16% e 15%, respectivamente. O trabalho de Zhou *et al.* (2002) no sul da China indica que os plantios de eucalipto implicam numa redução significativa no fluxo de chuva e erosão quando comparados à área controle sem vegetação, enquanto Lima (1990) conclui que as plantações de eucalipto podem apresentar tanto um significativo controle do escoamento superficial quanto das perdas de solo e nutrientes do sítio de plantação por lavagem superficial. Com relação ao nível do lençol freático, Zhou *et al.* (2002) demonstram que no período analisado (1983-1989) ocorreu um rebaixamento de 80 cm na área com eucalipto quando comparada à área controle desmatada, isto porque o plantio de eucalipto teria uma maior capacidade de absorção de água pelas raízes, reduzindo a recarga do aquífero. Isto também fica evidenciado por outros resultados desse estudo, uma vez que a umidade no perfil do solo no plantio de eucalipto era significativamente menor que na área controle desmatada. Entretanto, nas revisões bibliográficas realizadas por Andréassian (2004) e Bacellar (2005) fica demonstrado nos estudos levantados em pequenas bacias que tanto o corte de plantios de eucalipto como também da floresta nativa eleva o nível do lençol freático, pois ocorre a redução da evapotranspiração. O efeito contrário também é observado quando áreas desmatadas são replantadas com eucalipto ou floresta nativa, o que acaba acarretando na redução do nível freático nos primeiros anos de plantio pelo aumento da evapotranspiração. Smith e Scott (1982 *apud* BACELLAR, 2005) observam que setores topograficamente mais baixos, próximos ao lençol freático – como nas zonas

ripárias, pântanos e nascentes - apresentam maior disponibilidade de água para as plantas transpirem. A substituição de plantas destes setores, com raízes rasas, por outras com raízes profundas pode levar até a secagem das drenagens. Lima *et al.* (1990), em seu estudo hidrológico comparativo entre áreas de cerrado, plantios de *Pinus* e plantio de *Eucalyptus*, afirmam que os valores de evapotranspiração anual são de 577, 717 e 922 mm, respectivamente, que significa uma diferença de evapotranspiração da ordem de 345 mm por ano na comparação da vegetação de cerrado e o plantio de *Eucalyptus grandis*. Em contraponto ao senso comum, o estudo de Almeida & Soares (2003) conclui que em plantios de *Eucalyptus grandis* na costa leste do Brasil a evapotranspiração anual e o uso de água do solo são comparáveis às áreas de floresta Atlântica, demonstrando as contradições encontradas nos resultados a respeito dos efeitos dos plantios de eucalipto no ciclo hidrológico.

Portanto, diante das várias controvérsias e dos resultados ainda inconclusos, percebe-se a necessidade da realização de estudos mais detalhados acerca dos efeitos da implementação dos plantios de eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul, servindo de base de informação para o entendimento das implicações geo-hidroecológicas e do funcionamento dos ecossistemas para auxílio nas futuras tomadas de decisão.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAIS

- Avaliar o papel das alterações do uso e cobertura do solo proporcionadas pela introdução de plantios de eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul, especialmente na interface biota-solo-água e com ênfase no compartimento superior do solo (serrapilheira e topo), buscando entender o seu papel nos processos hidrológicos de superfície.

2.2 ESPECÍFICOS

- Reconhecer o padrão espacial e a expansão do Eucalipto no MVRPS, especialmente na zona de fronteira entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, em dois recortes temporais (2000 e 2007);
- Caracterizar a estrutura da vegetação e o domínio de interface serrapilheira-topo do solo em cabeceira de drenagem;
- Caracterizar as entradas de chuvas na área de estudo;
- Avaliar quantitativamente a variação espacial e temporal da interceptação pelas copas arbóreas e serrapilheira em diferentes posições de encostas;
- Quantificar o escoamento superficial e a infiltração da água num plantio de eucalipto nas diferentes posições de encostas mencionadas acima.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 HIDROLOGIA

3.1.1 Ciclo Hidrológico

A entrada de água no sistema da bacia de drenagem ocorre através das precipitações. Na hidrologia a precipitação é entendida como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre, seja ela através de chuva, neblina, granizo, geada, neve, entre outras formas. No caso das chuvas, as mesmas ocorrem a partir do momento em que o vapor d'água atmosférico atinge o ponto de saturação, ocorrendo o agrupamento de moléculas e a formação de gotas. Para que essas gotas precipitem é necessário que tenham um volume tal que seu peso seja superior às forças que as mantêm em suspensão, adquirindo assim uma velocidade de queda superior às componentes verticais ascendentes dos movimentos atmosféricos (TUCCI & BERTONI, 2000).

Nos estudos hidrológicos as principais características da precipitação são o total, a duração e as distribuições espaciais e temporais, sendo que existem diversos mecanismos de formação das mesmas (TUCCI & BERTONI, 2000). O vapor d'água contido na atmosfera constitui um reservatório potencial de água que, ao condensar, solidificar ou sublimar, possibilita a ocorrência de precipitações. As precipitações ocorrem quando massas de ar úmidas sofrem ascensão devido às correntes de ar convectivas (precipitações convectivas), ou pela entrada de massas de ar quentes ou frias sobre ou sob outras massas de ar (precipitações frontais ou ciclônicas), ou então devido à ascensão de massas de ar no relevo (precipitações orográficas)

(HEWLETT, 1982; TUCCI & BERTONI, 2000). Com relação à extensão, as chuvas podem ser classificadas como regionais ou locais, dependendo da extensão espacial que atingem.

As chuvas regionais normalmente estão relacionadas com as precipitações frontais, mas alguns casos de precipitações convectivas que ocorrem na Amazônia também podem ser considerados de extensão regional. As precipitações regionais frontais são geradas por choques de massas de ar com diferentes características de temperatura e umidade, no qual a massa de ar mais quente é impulsionada para cima produzindo precipitações de longa duração, com intensidades de média à alta. No Brasil essas chuvas estão associadas aos avanços das massas de ar polares em direção às massas quentes e úmidas continentais.

Precipitações locais estão relacionadas com mecanismos convectivos ou orográficos. As precipitações convectivas geralmente ocorrem em regiões equatoriais, onde os ventos são fracos e os movimentos de ar são essencialmente verticais, sendo, geralmente, de alta intensidade (TUCCI & BERTONI, 2000). O mecanismo de ascensão de ar nas precipitações convectivas ocorre através do aquecimento diferenciado da superfície, gerando diferenças de pressão entre as áreas e a formação de células de convecção. Já as precipitações orográficas ocorrem quando massas de ar úmidas ascendem sobre alguma barreira topográfica, como cadeias montanhosas costeiras (HEWLETT, 1982), diminuindo dessa forma a temperatura à medida que a altitude aumenta, ocasionando a condensação do vapor d'água.

A precipitação que chega às bacias de drenagem segue por diversos caminhos, sendo importante para essa definição de trajetória uma gama de fatores. Parte da precipitação é interceptada pela vegetação e serrapilheira sendo evaporada

de volta para a atmosfera, processo esse chamado de interceptação. Outra parte infiltra no solo, sendo que dessa parcela uma parte é transpirada pela vegetação após a sua absorção pelas raízes, parte é armazenada no perfil do solo, outra parte percola o solo até recarregar os aquíferos. Uma certa quantidade de água também não chega a infiltrar no solo e escoou superficialmente em direção aos fundos de vales. A água que muitas vezes está presente nos canais provém daquela que escoou superficialmente, a que veio subsuperficialmente e também daquela que caiu diretamente sobre os rios. Parte dessa água presente nos corpos d'água, como os rios e lagos, pode ser evaporada diretamente dos mesmos, fechando o ciclo hidrológico (fig. 02).

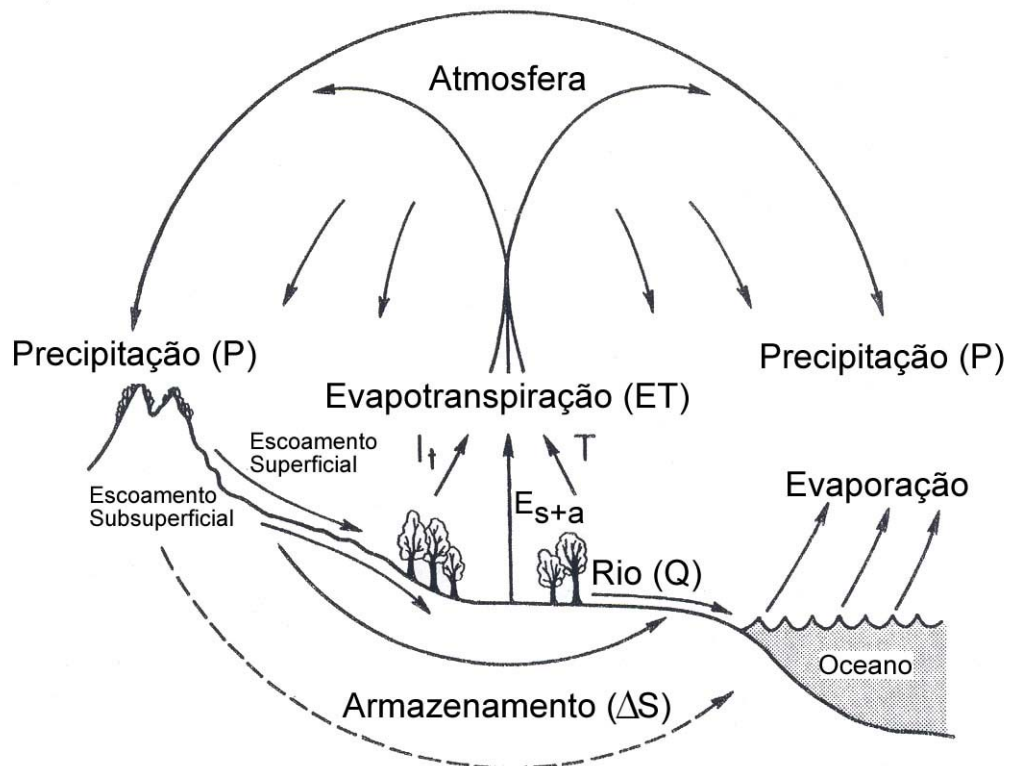


Figura 02 – O ciclo hidrológico. I_{\uparrow} = Interceptação, E_{s+a} = Evaporação do solo e corpos d'água. Modificado de Hewlett (1982).

3.1.2 Hidrologia de Bacias de Drenagem

Num detalhamento das trajetórias que a água pode escoar por uma encosta, Dunne & Leopold (1978) definiram quatro diferentes mecanismos: o fluxo subterrâneo, o fluxo superficial Hortoniano, o fluxo subsuperficial de chuva e o fluxo superficial de saturação (fig. 03). De acordo com esses autores, esses caminhos tomados pela água determinam muitas das características da paisagem, a geração de fluxos de chuva nos canais, que tipos de uso de solo são mais apropriados e também as estratégias a serem tomadas para o manejo das áreas. A importância relativa de cada tipo de fluxo varia numa determinada região em função da geologia, clima, topografia, características do solo, vegetação e uso do solo. Da mesma forma, a importância do tipo de fluxo dominante também varia de acordo com as características das chuvas, sejam elas de maior ou menor intensidade (DUNNE & LEOPOLD, 1978).

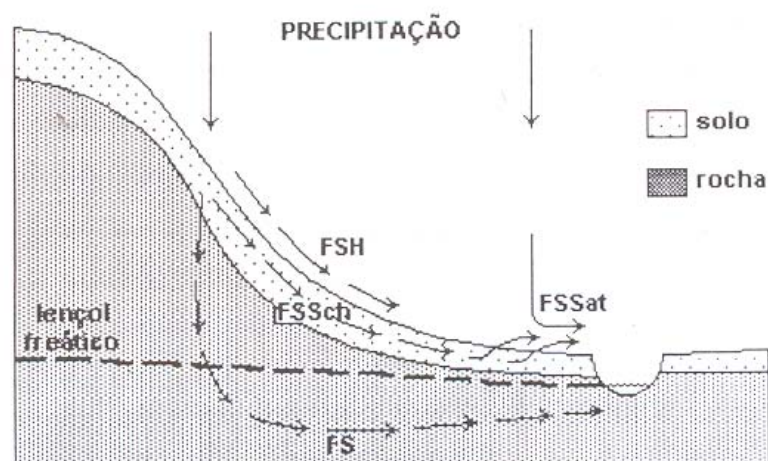


Figura 03 – Rotas de fluxos nas encostas. FSH = fluxo superficial Hortoniano, FS = fluxo subterrâneo, FSSch = fluxo subsuperficial de chuva e FSSat = fluxo superficial de saturação. Dunne & Leopold (1978) e modificado por Coelho Netto (2003).

O estudo das vazões dos canais determinou que os rios são abastecidos por um fluxo de água subterrânea que se faz presente até em momentos de estiagem. A esse fluxo foi dado o nome de fluxo de base (*base flow*), sendo também chamado de fluxo atrasado (*delayed flow*), sendo essa última denominação dada por Hewlett & Hibbert (1967 *apud* DUNNE & LEOPOLD, 1978). Esse fluxo subterrâneo provém da água subterrânea residente nos solos e nas rochas que pode ter ficado estocada por meses ou até milhares de anos, dependendo das características do aquífero. Ele possui uma velocidade muito inferior ao fluxo superficial Hortoniano, isso porque percorre maiores distâncias no interior do solo, sendo retardado também pela dificuldade da água fluir por entre os grãos que compõem o solo.

Na análise de uma hidrógrafa (curva de vazão x tempo de um canal) também é possível observar o fluxo que é gerado logo após o início do evento de chuva e que, ao atingir os canais de drenagem, aumentam sua descarga e vazão: é o fluxo de chuva (fig. 04). O fluxo de chuva é formado tanto a partir de fluxos superficiais (fluxo superficial Hortoniano e fluxo superficial de saturação) como subsuperficiais rasos (fluxo subsuperficial de chuva), os quais serão detalhados a seguir.

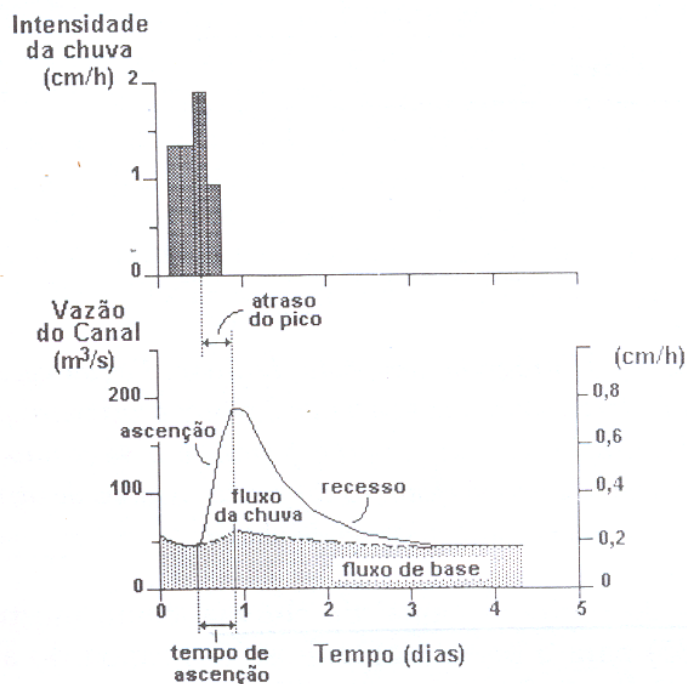


Figura 04 – Representação de uma hidrógrafa em resposta à chuva numa bacia de drenagem. Extraído de Coelho Netto (2003).

Segundo Coelho Netto (1994), Horton integrou o modelo de hidrologia superficial com o modelo de erosão pela ação desses fluxos, enfatizando o processo de formação de canais, rede de canais e vales ou bacias de drenagem em seus múltiplos níveis hierárquicos. Para o entendimento do fluxo superficial Hortoniano considera-se que o solo possui uma taxa máxima de absorção de água da chuva, a qual Horton (1933) chamou de “capacidade de infiltração”, sendo que essa taxa diminui logo após o início do evento chuvoso e tende a se estabilizar após algum tempo. Essa diminuição da capacidade de infiltração é explicada pela saturação gradual do perfil do solo como também pela selagem da superfície do solo gerada pelo efeito erosivo do impacto das gotas da chuva, denominado de erosão por “splash” ou salpicamento (GUERRA, 1994). Se em algum momento do evento chuvoso a intensidade da chuva for superior à capacidade de infiltração, o excedente de chuva passa a escoar superficialmente, dando origem ao chamado escoamento superficial Hortoniano, mas se a intensidade de chuva for igual ou

inferior à capacidade de infiltração do solo não haverá escoamento e toda água infiltrará no solo (HORTON 1933, 1945). Esse fluxo é formado pela concentração de água em micro-depressões na superfície do terreno, possui alta velocidade e algumas vezes tem a capacidade de erodir os solos, sendo que essa erosão pode evoluir verticalmente e, depois, lateralmente, dando origem a um canal erosivo e, em seguida, alargando suas paredes laterais (COELHO NETTO, 1994).

Quando um evento de chuva é iniciado, parte da água infiltra e percola o solo até atingir a zona saturada. Esse processo de recarga da zona saturada normalmente ocorre primeiro na base das encostas, uma vez que o nível freático nessa porção da encosta se encontra menos profundo do que na média e alta encosta (fig. 05). Com a subida do nível freático na base da encosta ocorre um aumento do gradiente hidráulico em direção ao canal, o que faz com que a velocidade dos fluxos subterrâneos aumente, de acordo com a Lei de Darcy. Esse fluxo extra de água subterrânea para os canais durante os eventos de chuva é chamado de fluxo subsuperficial raso de chuva. Em alguns casos, pode haver um horizonte com menor permeabilidade no perfil do solo, como uma camada de argila orgânica ou uma descontinuidade hidráulica em função do término da zona de raízes, o que acaba dificultando a percolação da água. Dessa forma, a água acumula sobre esse horizonte numa posição acima do nível freático e passa a fluir subsuperficialmente em direção à baixa encosta, somando-se ao fluxo subsuperficial de chuva. A esse fluxo que esco subsuperficialmente sobre uma camada de menor permeabilidade dá-se o nome de fluxo subsuperficial raso de chuva.

O fluxo superficial de saturação possui dois componentes: o fluxo de retorno e também a precipitação direta sobre porção saturada. Esse tipo de fluxo ocorre nos fundos de vale após o nível freático atingir a superfície do solo, o que faz com que

parte da água subterrânea aflore em superfície (fluxo de retorno) e se some à precipitação que incide diretamente sobre essa porção da encosta que já se encontra saturada (precipitação direta sobre porção saturada), gerando assim um outro tipo de fluxo superficial de mecanismo diferente do escoamento superficial Hortoniano. O fluxo superficial de saturação possui velocidade até cem vezes maior que os fluxos subsuperficiais de chuva e pode abastecer os canais gerando fluxos de chuva. Esses fluxos podem inclusive mudar os perfis das hidrógrafas com o aumento das vazões de pico e a redução do tempo de atraso entre o pico de precipitação e o pico de vazão.

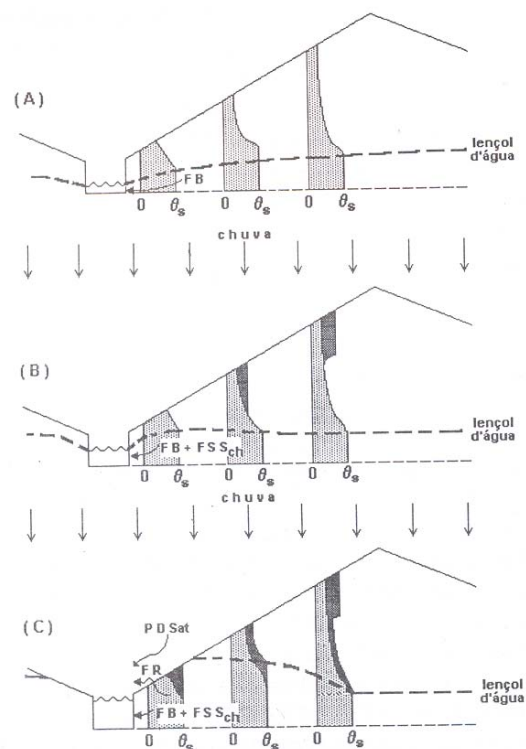


Figura 05 – Processo de infiltração numa encosta. O diagrama mostra uma encosta com um canal na sua base, o lençol d'água e o gráfico de umidade do solo com a profundidade em três pontos. 0 é zero e θ_s umidade saturada. (A) Condição antes da chuva; FB é o fluxo de base. (B) Resposta inicial à chuva, sendo o sombreamento escuro o adicional de umidade. O fluxo subsuperficial de chuva (FSS_{ch}) é adicionado ao fluxo de base. (C) Na seqüência da chuva o lençol sobe até a superfície na porção inferior da encosta e a zona saturada expande remontantemente. A água exfiltra como fluxo de retorno (FR), o qual, junto com a precipitação direta sobre a área saturada (PD_{sat}), produz o fluxo superficial de saturação. Dunne & Leopold (1978) e modificado por Coelho Netto (2003).

Sobre as cabeceiras de drenagem, sabe-se que elas se desenvolvem no domínio das encostas e apresentam topografia côncava sobre as quais originam ou avançam as cabeças dos canais (COELHO NETTO, 2003). Segundo essa mesma autora, o termo “cabeça do canal” refere-se às extremidades de montante dos canais erosivos que avançam progressivamente através dos fundos de vales de cabeceiras de drenagem e correspondem ao *channel head* de Dietrich & Dunne (1993) ou *stream head* (KIRKBY, 1994). Os canais erosivos das cabeceiras de drenagem drenam através da rede principal de canais fluviais, integrando os processos de encostas com os processos fluviais. Assim a rede interconectada de canais fluviais constitui-se na principal via de descarga da bacia de drenagem e, por isso, tornou-se um dos principais objetos de grande interesse hidrológico e geomorfológico, especialmente a partir de Horton (1945). Ahnert (1998 *apud* COELHO NETTO, 2003) ressalta que a cabeceira de drenagem é um componente especial do sistema fluvial, porque é uma área onde a transição dos processos de denudação para transporte erosivo é caracterizada pela convergência em direção à porção terminal da rede de canais.

3.1.3 Controle Hidrológico pelas Florestas

Sobre os ambientes florestais, como, por exemplo, aqueles que preponderavam no médio vale do rio Paraíba do Sul antes do desmatamento no início do ciclo do café, vários autores (MUSGRAVE, 1947; HEWLETT & NUTTER, 1969; COELHO NETTO, 1985; CASTRO JÚNIOR, 1991) afirmam que a grande capacidade de armazenamento da água da chuva e as raras ocorrências de fluxo

superficial podem ser atribuídas como características hidrológicas principais dos ecossistemas florestais devido: a) à minimização do impacto das chuvas pela cobertura vegetal no processo de intercepção, tanto pelo dossel como pela camada de serrapilheira; b) à estruturação da camada de serrapilheira, que evita a obstrução dos canais não-capilares pela ação do impacto das gotas; c) ao número elevado de bioporos presentes nos horizontes superficiais como resultado da intensa atividade biológica da fauna e da profusão de raízes.

Nem toda a precipitação que cai sobre uma área florestada alcança o solo, suprimindo dessa forma as necessidades da vegetação e também podendo gerar algum tipo de escoamento. Parte é absorvida pelo dossel e pela serrapilheira sendo evaporada de volta para a atmosfera. Essa parcela de água resultante da diferença do total precipitado e a precipitação que efetivamente chega ao solo (precipitação terminal) é conhecida como intercepção (DUNNE & LEOPOLD, 1978), conforme demonstrado na figura 06. O processo de intercepção das chuvas é considerado o efeito hidrológico mais efetivo da floresta no que diz respeito à precipitação (LIMA, 1996).

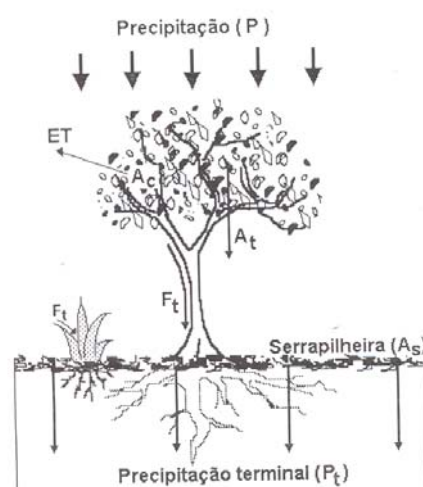


Figura 06 – Componentes da intercepção: P é a precipitação, ET é evapotranspiração, Ac é armazenamento nas copas, At é atravessamento e Ft é o fluxo de tronco. Extraído de Coelho Netto (2003).

A água pode percorrer o seu percurso até chegar ao topo do solo por dois caminhos: como fluxo de atravessamento (*throughfall*) ou fluxo de tronco (*stemflow*). O fluxo de atravessamento corresponde à água que consegue atravessar diretamente o dossel ou que faz esse caminho a partir do gotejamento das folhas e galhos. Já o fluxo de tronco corresponde à parcela da água que escoar pelos troncos (HEWLETT, 1982; DUNNE & LEOPOLD, 1978; COELHO NETTO, 1994).

Uma pequena parcela do total precipitado chega diretamente ao solo em áreas com vegetação densa. Parte da água da precipitação é armazenada nas folhas, galhos, caules e troncos da vegetação. Quando essas superfícies já se encontram úmidas a água passa a escoar para os estratos inferiores da vegetação e então para a camada de serrapilheira, onde uma outra parcela de água é interceptada, antes de atingir o solo mineral. A quantidade de água que é armazenada nessas diversas superfícies vegetais é conhecida como armazenamento de intercepção (*interception storage*), e sua magnitude depende de diversos fatores, como forma, densidade e textura das folhas, galhos, entre outras superfícies (DUNNE & LEOPOLD, 1978), assim como de características das chuvas, como número e espaçamento entre os eventos e a intensidade da precipitação (HEWLETT, 1982).

A água que passa pelo dossel como fluxo de atravessamento tende a adquirir uma energia cinética maior abaixo das copas, energia essa que é desenvolvida durante a queda livre das gotas, resultando em maior poder erosivo à medida que o diâmetro das gotas aumenta (LEE, 1980 *apud* MONTEZUMA, 2005). Vis (1986 *apud* MONTEZUMA, 2005), analisando esse comportamento em florestas tropicais colombianas, verifica que a erosão por salpico é de 15 – 44% maior nos ambientes

florestais quando comparados aos campos abertos. Na continuação, esse mesmo autor ressalta a importância da integridade do sub-bosque para a proteção do solo, uma vez que esse estrato reduz a altura e a energia da queda das gotas de chuva. Nesse mesmo sentido, Herwitz (1987), utilizando simuladores de chuva, demonstra que as gotas provindas do atravessamento podem ter diâmetro de até 1,8 vezes maior que o tamanho das gotas da precipitação sobre o dossel.

Estudos realizados no domínio da floresta ombrófila densa no município do Rio de Janeiro demonstram a existência de uma grande variabilidade temporal na interceptação mensal, relacionando essa variabilidade com variações na distribuição das chuvas, principalmente com a intensidade dos eventos (COELHO NETTO *et al.*, 1986; MIRANDA, 1992). Esses estudos demonstram que existe uma maior interceptação na estação mais seca (maio a agosto) devido à menor intensidade da chuva nesse período e à elevada demanda hídrica pela vegetação. Miranda (1992) demonstra que eventos com precipitação total inferior a 10 mm podem ser totalmente interceptadas pelo dossel da floresta ombrófila do Maciço da Tijuca no Rio de Janeiro. Herwitz (1985 *apud* LIMA, 1996), estudando a capacidade de saturação da copa de cinco espécies tropicais, obteve valores que variam de 2,2 a 8,3 mm, enquanto diversos autores estudando espécies do gênero *Eucalyptus* obtiveram valores que variam de 0,2 a 2,0 mm (*apud* LIMA, 1996).

Oliveira & Coelho Netto (2001), ao avaliar a interceptação pelas copas arbóreas em áreas florestadas em diferentes estágios sucessionais, apontam médias de 27,7% em vegetação pioneira, 28,9% em vegetação secundária e de 58,6% em floresta clímax. Os estudos realizados por Miranda (1992) indicam valores de interceptação de 24,5%, enquanto Coelho Netto (1985) de 11%, ambos estudos realizados na bacia do alto rio Cachoeira, município do Rio de Janeiro. Em florestas

naturais e plantios de eucalipto em diferentes condições ambientais e idades os valores de interceptação variam de 5,3 a 24,0% (*apud* LIMA, 1996).

Referente à variabilidade espacial do fluxo de atravessamento, estudos de Vallejo & Vallejo (1981), Miranda (1992) e Negreiros (2004) demonstram uma grande variação pontual do atravessamento de chuvas individuais pelas copas arbóreas na Floresta da Tijuca (RJ). Em alguns casos foram encontrados valores de fluxo de atravessamento superiores aos valores de precipitação acima das copas arbóreas, demonstrando que existe convergência de fluxos em alguns pontos. Segundo os autores citados, tais ocorrências estão relacionadas com a umidade antecedente, composição e estrutura da vegetação, como, por exemplo, alguns aspectos fisionômicos da vegetação atuando como agentes que concentram pontualmente as chuvas no interior da floresta. Um exemplo são os galhos das árvores de grande porte que se projetam em ângulos semi-horizontais e que concentram os fluxos de atravessamento (HERWITZ, 1987) e outro exemplo são as bromélias que captam água através de suas folhas e a acumulam no interior do copo de armazenamento basal que ao transbordar gera um fluxo de atravessamento pontual e concentrado. Herwitz (1987), descrevendo a distribuição espacial dos fluxos de atravessamento, observa que os fluxos em torno do perímetro dos indivíduos florestais são mais constantes e contribuem para os valores mínimos, enquanto os fluxos próximos ao tronco são mais variáveis e responsáveis pelos maiores valores devido aos galhos primários (galhos formados a partir de ramificações do tronco).

No que diz respeito ao fluxo de tronco, Montezuma (2005) cita que, de modo geral, o fluxo de tronco não ultrapassa 5% da precipitação total, mesmo em florestas tropicais úmidas. O estudo de Miranda (1992) deixa bastante claro que existem grandes discordâncias no que tange a metodologia para determinação da área de

contribuição para o fluxo de tronco, o que acaba, muitas vezes, tornando os resultados bastante diferentes e de difícil comparação. No seu estudo, é descrito um fluxo de tronco médio de 1,8% do total precipitado, mostrando-se um mecanismo de pequena magnitude. O mesmo ocorre no estudo de Laclau *et al.* (2003) e Valente *et al.* (1997) em plantios de eucalipto, com valores respectivos de 1,66% e 1,73%.

Com a chegada da água ao piso florestal através do fluxo de atravessamento e do fluxo de tronco, parte dessa água é absorvida pela camada de serrapilheira, que além de atuar como agente facilitador da infiltração, impede o gotejamento direto das gotas de chuva na superfície mineral. Estudos conduzidos por Vallejo (1982), Coelho Netto (1985, 1987) e Castro Júnior (1991), confirmam o papel exercido pela serrapilheira na diminuição da erosão superficial, evitando a selagem do topo do solo e permitindo altas taxas de infiltração no ambiente florestal.

Na interface serrapilheira – topo do solo nos ambientes de floresta Atlântica ocorre tanto o processo de infiltração como o de escoamento superficial intra-serrapilheira no horizonte O_2 (COELHO NETTO, 1987) sendo que essa água infiltra de forma lenta e gradual na matriz do solo (fig. 07). Essa autora detalha a função da camada de serrapilheira no ciclo hidrológico evidenciando que os fluxos que atingem a serrapilheira são redistribuídos no interior da camada O_1 e direcionados para a camada O_2 , onde, após serem concentrados, são canalizados para a camada de raízes finas subjacente. Nesse mesmo estudo a autora descreve o desenvolvimento de uma camada de fungos com características hidrofóbicas sobre a serrapilheira durante os meses mais secos, o que forma fluxos superficiais nessas condições. Outros autores (MARTINEZ-MURILLO & RUIZ-SINOVA, 2007), estudando áreas ao sul da Espanha sob clima Mediterrâneo, também descrevem uma grande

hidrofobicidade no período seco, mas dessa vez não da camada de serrapilheira e sim do solo.

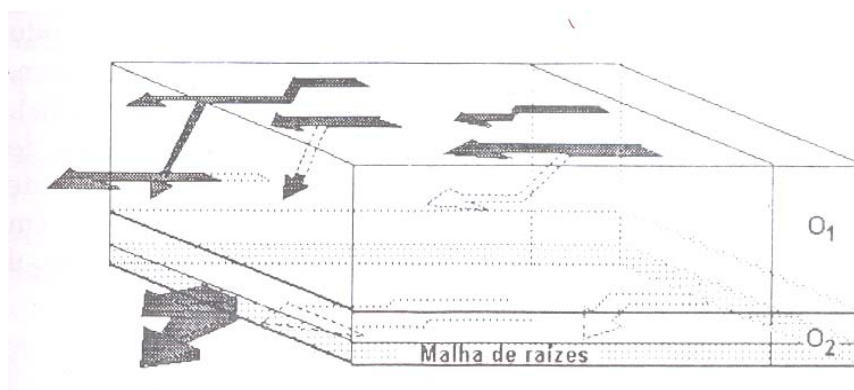


Figura 07 – Mecanismo dos fluxos sobre a camada O₁ e intra-malha de raízes da camada O₂. Extraído de Coelho Netto (2003).

Coelho Netto (1985) observou valores de capacidade de retenção hídrica (CRH) de 162% no horizonte O₁ (serrapilheira em início de decomposição) e 201% no O₂ (serrapilheira em avançado estágio de decomposição), enquanto os estudos de Vallejo (1982) demonstram valores de 134–320% do seu peso seco na camada O₁ e de 268–335% na camada O₂, ambos estudos realizados no domínio da floresta Atlântica no maciço da Tijuca (RJ). No estudo de Deus (1991), em áreas com gramíneas para pastagem no MVRPS, são apontados valores de CRH pelas gramíneas do gênero *Paspalum* de até 500% durante o período de estiagem.

Entretanto, sabe-se que a serrapilheira não desempenha o papel de retentor hídrico apenas nos momentos das precipitações. Miranda (1992) descreve que além da camada de serrapilheira reter parte da água que chega ao piso florestal, ela perde essa água retida de forma gradual, sendo de forma acelerada nos primeiros dias de estiagem e de forma mais lenta após três dias sem chuva, o que acaba mantendo um certo grau de umidade no topo do solo. Essa retenção de umidade diferenciada no tempo tem como consequência uma liberação gradativa da água

para o sistema florestal, o que favorece tanto as sementes e plântulas que se desenvolvem no sub-bosque, como também a atividade da fauna endopedônica.

Vale destacar que a camada de serrapilheira também desempenha um importante papel no processo de estocagem e ciclagem de nutrientes, ficando esses nutrientes acumulados no piso florestal dependendo da taxa de decomposição (GUO & SIMS, 2001a). Além de um reservatório de nutrientes, a serrapilheira se constitui numa espécie de “resina orgânica”, com grande capacidade de adsorver íons que serão trocados com as raízes, funcionando como uma superfície de troca iônica que minimiza as perdas de nutrientes pelo sistema florestal (CLEVELÁRIO JÚNIOR, 1988). Estudo de Oliveira *et al.* (2003) aponta que a camada de serrapilheira e a malha de raízes atuam como “filtros”, absorvendo os nutrientes provindos da precipitação que incide sobre os ambientes florestais.

A redução do tempo de decomposição da serrapilheira reflete-se sob a forma de uma menor altura das camadas da serrapilheira, o que poderia indicar uma menor capacidade de armazenamento de água (MONTEZUMA, 2005), mas sabe-se que a serrapilheira mais decomposta possui uma maior capacidade de retenção de água, conforme citado anteriormente. Contudo, a decomposição acelerada significa uma incorporação de material orgânico ao solo de forma mais rápida, favorecendo a atividade da fauna do solo.

No compartimento do topo do solo também é importante relevar o papel da atividade biológica no controle hidrológico, papel esse exercido pela fauna endopedônica. Os solos apresentam uma fauna bastante variada que está disposta, na sua maior parte, nas porções superiores do solo (0 - 5 cm de profundidade) e na camada de serrapilheira, onde o oxigênio, as condições de alimentação e a estrutura do solo lhes são favoráveis (CASTRO JÚNIOR, 1991). Como consequência direta

dessa atividade biológica, o número de macroporos é maior nos primeiros cinco centímetros do que nos horizontes inferiores, o que aumenta a permeabilidade do solo na sua porção superior (CASTRO JÚNIOR, 1991). O estudo de Castro Júnior (1991) aponta uma grande densidade de indivíduos no topo do solo, sendo os valores médios de 20.058 indivíduos.m⁻² no estrato de 0 – 5 cm de profundidade e de 3.770 indivíduos.m⁻² de 15 – 20 cm. No estudo feito por Louzada *et al.* (1997) é demonstrado que a densidade de ácaros é 44 vezes maior na comparação da serrapilheira de uma floresta secundária semi-decídua com um plantio de eucalipto, enquanto no levantamento de colêmbolas essa diferença é de 33 vezes. Schoereder *et al.* (1990 *apud* LOUZADA *et al.*, 1997) afirma que os sistemas agroflorestais homogêneos podem produzir efeitos negativos no processo de decomposição quando comparados aos ambientes de vegetação nativa, sendo um dos motivos a existência de uma baixa abundância e diversidade de fauna no solo desses agro-sistemas.

Na matriz do solo são encontradas raízes de diversos tamanhos, comprimentos e orientações que atuam não só como estruturas de absorção e fixação das espécies vegetais, mas como também estruturas que orientam a movimentação da água no solo. Sabe-se que o desenvolvimento do sistema radicular é controlado tanto por fatores relacionados com as propriedades do solo (umidade, composição, porosidade), como também pelas propriedades intrínsecas das espécies vegetais (ARMSON, 1977; RAVEN *et al.*, 2001). No que tange a função hidrológica do sistema radicular, Greenway (1987 *apud* MONTEZUMA, 2005) cita que: I) as raízes aumentam a resistência do solo superficial e a capacidade de infiltração do solo; II) extraem a umidade do solo, reduzindo a poro-pressão do solo; e III) a depleção da umidade do solo pode acentuar a dissecação do solo formando

rachaduras que aumentam a capacidade de infiltração. Dessas três características citadas, apenas a segunda é considerada como positiva pelo referido autor.

Essa ambivalência também foi tratada por outros autores, como De Ploey & Cruz (1979 *apud* MONTEZUMA, 2005), que consideram que as raízes aceleram a infiltração, reduzindo a saturação nas porções superiores do solo, saturando de água as camadas mais profundas, o que pode desencadear movimentos de massa nos eventos de chuva mais intensos. Nesse sentido, o estudo de Deus (1991) descreve a formação de descontinuidades hidrológicas na zona de maior concentração de raízes. Estudos realizados pela equipe do Laboratório GEOHECO/UFRJ nas encostas florestadas do Maciço da Tijuca/RJ indicam que as raízes das espécies arbóreas desempenham um papel relevante como vias preferenciais dos fluxos de percolação de água no solo (FREIRE ALLEMÃO, 1997; JANSEN, 2001; SILVEIRA, 2004; SILVEIRA *et al.*, 2005). Esta última autora demonstra experimentalmente a formação de uma camada de solo temporariamente saturada logo abaixo da zona de enraizamento, comprovando uma maior percolação da água no solo até o nível das raízes e uma redução da condutividade abaixo do mesmo.

3.1.4 Hidrologia de Áreas com Gramíneas

O estudo referência sobre hidrologia de gramíneas para pastagem no MVRPS foi realizado por Deus (1991). Neste estudo foi avaliado o processo de escoamento superficial numa cabeceira de drenagem em processo de voçorocamento e com grande presença de formigas saúva (gênero *Atta*), sob duas condições: chuva artificial simulada e chuva natural.

Nos experimentos de chuva artificial, quando eram simuladas chuvas de alta intensidade (média de 48,5 mm/h), foi observado que a umidade antecedente era de fundamental importância para definir o comportamento hidrológico das encostas. Em situações de baixa umidade no solo não se verificava escoamento superficial, sendo toda a água infiltrada no solo, enquanto em situações de elevada umidade antecedente o escoamento superficial chegou a 64% do total precipitado. A declividade das parcelas de escoamento também foi um importante fator para explicar o escoamento superficial, observando-se maiores escoamentos na parcela na encosta (25°) do que na parcela de fundo de vale (15°) durante os períodos secos e no início da estação chuvosa, explicado pela declividade, exposição e compactação do solo pelo pisoteio do gado na parcela mais íngreme. No período mais úmido e durante as chuvas mais intensas verifica-se grande escoamento superficial nas parcelas no fundo de vale, com a ocorrência de fluxo superficial de saturação em algumas simulações em que correu a saturação do topo do solo (40 cm de profundidade). Nas parcelas colocadas em áreas com grande concentração de formigueiros, Deus (*op cit.*) revela que os olheiros gerados pelas escavações da formiga saúva são importantes vias de entrada de água no solo, reduzindo os valores de escoamento superficial.

Na avaliação das chuvas naturais em parcelas de escoamento e numa bacia não canalizada, quando as intensidades de chuva foram inferiores ao da chuva artificial, observou-se que o escoamento superficial médio nas parcelas de fundo de vale (3,7%) foram maiores que na encosta (2,8%), também explicado pela maior umidade no solo nas parcelas de fundo de vale. Parcelas de escoamento colocadas em área de gramínea sem pisoteio do gado apresentaram elevada infiltração,

demonstrando que a interceptação pelas folhas das gramíneas e a não compactação do solo são fatores importantes para explicar o baixo escoamento superficial.

Ainda na análise das chuvas naturais, mas dessa vez no vertedouro instalado na bacia não-canalizada, foram observados valores de escoamento muito baixos (média = 0,2%; máximo = 1,0%; mínimo = 0,0%). Esses resultados indicam que as áreas de pastagem são ambientes de grande infiltração, explicado pela grande presença de macroporos e *pipes* gerados, principalmente, pela formiga saúva, assim como pela presença do sistemas radicular bastante desenvolvido das gramíneas.

Estudos conduzidos por Kurz *et al.* (2005) em ambientes de gramíneas com pastoreio na Irlanda indicam elevados valores de escoamento superficial. O valor médio da razão Q/P (Vazão / Precipitação) num dos locais estudados chega a 62%, enquanto no outro sítio o valor é de 36%. Os autores relacionam esses altos valores com o fato do nível freático estar muito próximo à superfície, além da existência de uma camada mais impermeável num horizonte logo abaixo da superfície. O principal mecanismo de escoamento superficial descrito neste estudo é por saturação, sendo a profundidade do nível freático o fator preponderante para justificar as diferenças de escoamento superficial entre as áreas.

No estudo que visava comparar áreas de gramíneas com e sem pastoreio, Kurz *et al.* (2006) monitoraram a densidade do solo e a macroporosidade, além de realizar diversas simulações de chuva para avaliar o escoamento superficial. Eles observaram que em todos os casos a densidade do solo aumentou e a macroporosidade diminuiu na comparação das áreas com e as sem pastoreio. Além disso, as simulações de chuva evidenciaram que o tempo necessário para iniciar o escoamento superficial nos locais sem pastoreio eram maiores, mostrando uma maior capacidade de infiltração da água nessa situação.

Desta forma, evidencia-se que embora os resultados de Deus (1991) e Kurz *et al.* (2005) apontem o mesmo processo de geração de escoamento (escoamento superficial por saturação), os valores médios de Deus (*op cit.*) são menores que os de Kurtz *et al.* (*op cit.*), demonstrando que os ambientes com gramíneas no MVRPS são mais favoráveis à infiltração. Além disso, Deus (*op cit.*) ressalta a importância da principal fauna escavadora presente na sua área de estudo (formiga saúva) como sendo fundamental para o entendimento do comportamento hidrológico das encostas.

3.2 GEOPROCESSAMENTO

3.2.1 Bases do Sensoriamento Remoto

Segundo Slater *et al.* (1983 *apud* XAVIER, 1998), um dos objetivos do Sensoriamento Remoto (SR) é a identificação das características do terreno, que é obtido através do fluxo radiante que emana deste e passa pela atmosfera para ser gravada pelo sensor em diferentes comprimentos de onda. Por radiometria entende-se a medida quantitativa da intensidade de qualquer um dos tipos conhecidos de radiação eletromagnética, emitida pelo Sol ou por uma fonte artificial. A radiação eletromagnética, por ter a propriedade de se propagar no vácuo e através de determinados meios físicos, como a atmosfera, é a que se presta para fins de sensoriamento remoto, pois o sensor que detecta esse tipo de radiação nunca se encontra em contato físico com os objetos observados.

Atualmente, a maioria dos sensores são passivos (não emitem a energia que será captada), sendo que esses sensores utilizam o Sol como fonte energética. O Sol, como fonte de radiação eletromagnética, não apenas emite radiação na faixa do visível (0,40 – 0,72 μm), mas também emite na faixa do ultravioleta e do infravermelho. Entretanto, o fluxo radiante pelo Sol não é uniforme nos variados comprimentos de onda, pois ele possui maiores intensidades de fluxo radiante na faixa do visível, conforme demonstrado na figura 08. Além disso, na figura 08 fica demonstrado a atenuação da radiação ao nível do mar em função da interferência atmosférica, que também não é uniforme pros diferentes comprimentos de onda.

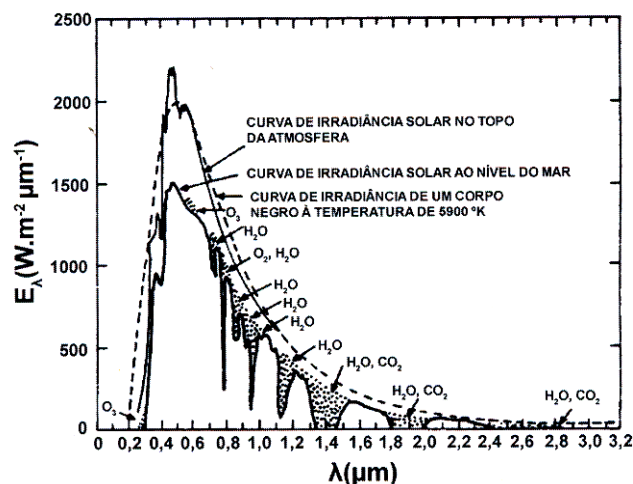


Figura 08 – Intensidade do fluxo radiante emitido pelo Sol. Extraído de Ponzoni & Shimabukuro (2007).

Ao incidir sobre um alvo, são três as possibilidades de interação entre a radiação eletromagnética e o objeto: reflexão, transmissão e absorção; sendo que a intensidade de cada um desses processos depende das características físico-químicas dos objetos e do comprimento de onda (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007). A equação geral para a interação do fluxo radiante espectral incidente na superfície num determinado comprimento de onda (λ) é:

$$\Phi_{\lambda \text{ incidente}} = \Phi_{\lambda \text{ refletida}} + \Phi_{\lambda \text{ transmitida}} + \Phi_{\lambda \text{ absorvida}}$$

Dividindo-se a equação acima por $\Phi_{\lambda \text{ incidente}}$, obtém-se:

$$1 = \rho(\lambda) + \tau(\lambda) + \alpha(\lambda),$$

Onde $\rho(\lambda) = \Phi_{\lambda \text{ refletida}} / \Phi_{\lambda \text{ incidente}}$ é a reflectância espectral, $\tau(\lambda) = \Phi_{\lambda \text{ transmitida}} / \Phi_{\lambda \text{ incidente}}$ é a transmitância espectral e $\alpha(\lambda) = \Phi_{\lambda \text{ absorvida}} / \Phi_{\lambda \text{ incidente}}$ é a absorptância espectral.

A reflectância é uma propriedade de um determinado objeto em refletir a radiação eletromagnética sobre ele incidente. Assim, o fluxo de radiação refletido por um determinado objeto ou superfície não só apresenta características espectrais definidas pelas suas propriedades físico-químicas, como também características geométricas específicas da incidência e da reflexão da radiação, uma vez que a maioria das superfícies encontradas na natureza não é isotrópica⁴. Portanto, é praticamente impossível interpretar imagens multi- e hiperespectrais dos sensores remotos se não se conhece o comportamento espectral dos diferentes alvos da superfície terrestre: rochas, solo, água e vegetação.

3.2.2 Comportamento Espectral da Vegetação

Define-se como comportamento espectral a curva de reflectância em função do comprimento de onda nas faixas do espectro eletromagnético. Segundo Ponzoni & Shimabukuro (2007), o comportamento espectral da vegetação é caracterizado por três faixas distintas: faixa do visível (0,40 – 0,72 μm), do infravermelho próximo (0,72 – 1,10 μm) e do infravermelho médio (1,10 – 3,20 μm), sendo importante entender a interação dos diversos comprimentos de onda com as estruturas presentes nas folhas (fig. 09 e 10). Sabe-se que de todos os órgãos presentes na vegetação, as

⁴ Superfície isotrópica: superfície que reflete a radiação eletromagnética sem dominância tanto em uma determinada direção como em uma faixa espectral específica (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

folhas são aqueles que têm como função principal viabilizar a interação com a radiação eletromagnética.

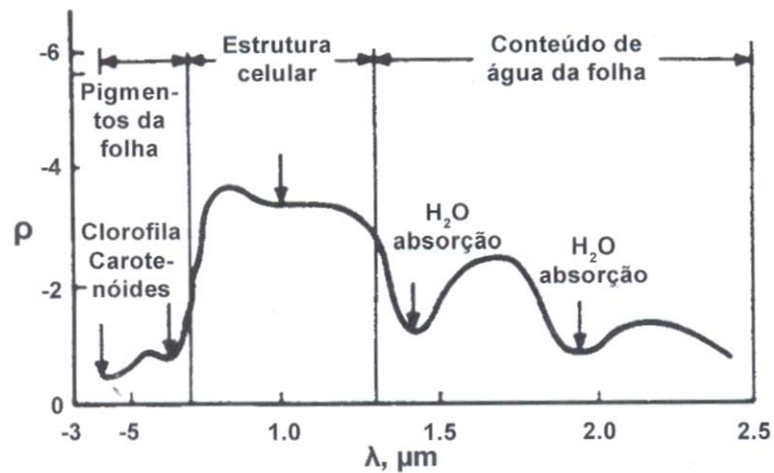


Figura 09 – Curva de reflectância de uma folha verde. Extraído de Ponzoni & Shimabukuro (2007).

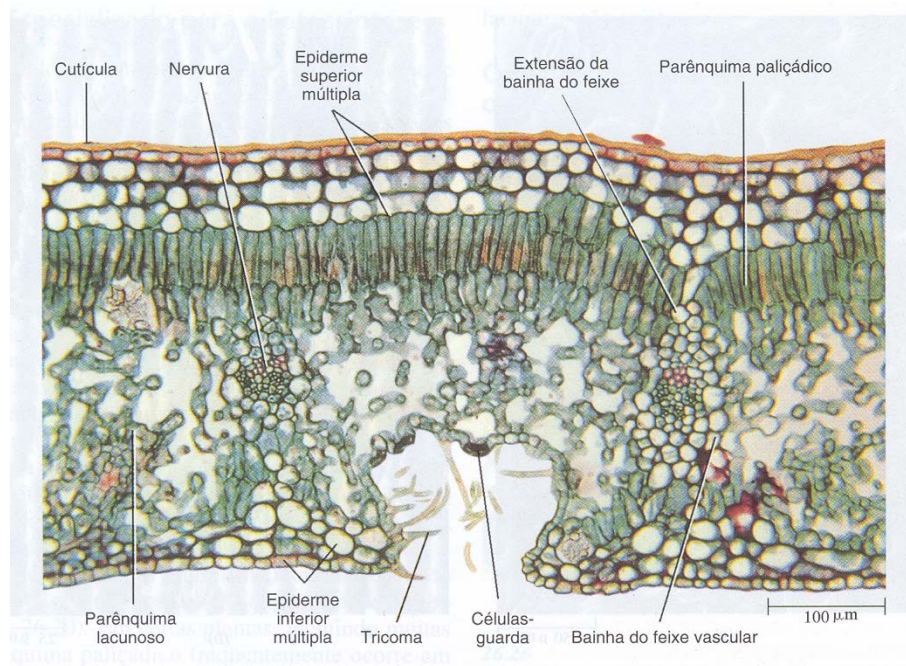


Figura 10 – Estrutura interna de uma folha de espirradeira (*Nerium oleander*). Extraído de Raven *et al.* (2001).

Na faixa do visível (0,40 – 0,72 μm) a reflectância é dominada basicamente pelos pigmentos existentes no parênquima paliçádico. Esses pigmentos, que

geralmente estão presentes nos cloroplastos, são a clorofila, os carotenos, as xantofilas e as antocianinas (fig. 11). As proporções desses pigmentos variam de espécie para espécie. Os pigmentos predominantes absorvem na faixa do azul (próximo a $0,445 \mu\text{m}$), mas a clorofila a absorve na faixa do vermelho ($0,670 \mu\text{m}$). A energia que é seletivamente absorvida pela clorofila é convertida em calor ou fluorescência, e também convertida fotoquimicamente em energia armazenada na forma de componentes orgânicos, como os sacarídeos glicose, frutose, amido, entre outros.

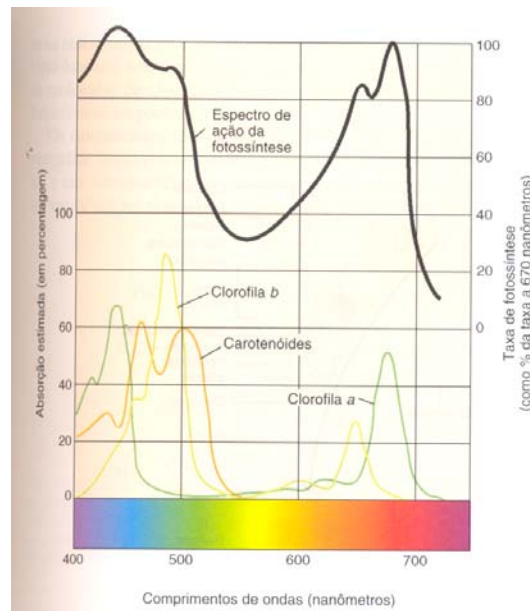


Figura 11 – Espectro da taxa fotossintética e da absorção da energia eletromagnética pelos pigmentos presentes nas folhas. Extraído de Raven *et al.* (2001).

Na faixa do infravermelho próximo ($0,72 - 1,10 \mu\text{m}$) é observado o aumento da reflectância (fig. 09). Nesta faixa a vegetação é caracterizada pela alta reflectância, alta transmitância e baixa absortância quando comparada à faixa do visível. A absorção da água é geralmente baixa nessa faixa, enquanto a reflectância é quase constante. A estrutura interna das folhas (parênquima paliçádico e lacunoso) é a maior controladora da reflectância na faixa do infravermelho próximo

(GATES *et al.*, 1965 *apud* PONZONI & SHIMABUKURO, 2007; HOEFFER, 1978 *apud* XAVIER, 1998). Nessa faixa do espectro ganha importância a forma e a densidade da estrutura interna dos tecidos foliares, sendo que as estruturas mais lacunosas tendem a alterar mais significativamente a trajetória dos feixes de radiação (fig. 10). Fatores externos à folha, como a disponibilidade de água, também podem alterar as relações água-ar no mesófilo, podendo modificar a resposta espectral nessa faixa do espectro eletromagnético.

O comportamento espectral da vegetação na faixa do infravermelho médio (1,10 – 3,20 μm) é influenciado principalmente pela concentração de água nos tecidos foliares, com forte absorção ocorrendo em 1,10, 1,40 e 1,90 e 2,70 μm (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007). Logo, quanto mais água presente nas estruturas foliares das plantas, maior será a absorção da radiação na faixa do infravermelho médio.

3.2.3 Classificação de Uso e Cobertura dos Solos

É destacada na literatura a importância e a necessidade de investigações mais acuradas e consistentes a respeito das alterações do uso e da cobertura do solo em diversas escalas. Segundo McConnell & Moran (2001), na escala global e regional se faz necessário urgentemente de dados sobre alterações do uso e da cobertura do solo em virtude das mudanças climáticas globais para que sejam definidas e implementadas políticas internacionais para conter essas alterações. Na escala nacional, esses estudos são necessários para a realização de estudos macroeconômicos, para a definição da abrangência dos diversos plantios, dos remanescentes florestais, dos estoques pesqueiros e para a modelagem da eficácia

de ações políticas e de previsão dos impactos gerados por políticas conservacionistas. Na escala local, esses levantamentos seriam úteis para o planejamento das atividades econômicas e para a descrição dos sistemas produtivos.

Entretanto, não existe um consenso dentro da comunidade científica sobre a definição do que é o conceito de uso do solo e cobertura do solo. Assim sendo, se faz necessário definir claramente esses conceitos, uma vez que tais confusões entre as diversas abordagens podem gerar diversos sistemas de classificação incompatíveis entre si (McCONNELL & MORAN, 2001).

Embora muitas vezes esses conceitos sejam usados concomitantemente (“uso e cobertura do solo”), eles possuem denotações bastante diferentes. Cobertura do solo é definida como a cobertura física observada sobre o solo, incluindo a vegetação (natural ou plantada) e as construções humanas que recobrem a superfície terrestre. Outra definição para cobertura do solo encontrada no relatório de McConnell & Moran (2001) é a de estado biofísico da superfície terrestre. Dessa forma, a água, o gelo, a rocha exposta, a areia e outras superfícies não-vegetadas, embora não constituam estritamente uma cobertura, por razões práticas também são consideradas coberturas nessa concepção.

Já o conceito de uso do solo envolve tanto a maneira pela qual os atributos biofísicos do solo foram modificados, como também as intenções que motivaram essas modificações. A dinâmica do uso do solo é o principal fator de determinação das alterações na cobertura do solo. O uso do solo envolve considerações sobre o comportamento humano, sendo que Lambin *et al.* (1999 *apud* McCONNELL & MORAN, 2001) referem-se a esse processo como aquele pelo qual a cobertura do solo é modificada/alterada, incluindo dois componentes: 1) as atividades que são

realizadas (ou restritas) numa área que gerem alterações na cobertura do solo; 2) as motivações que levam a realização dessas atividades, incluindo tanto os resultados esperados, como também as forças que causam essas alterações de uma determinada forma, num determinado tempo, num determinado local.

Desta forma, podemos dizer que ao classificarmos uma área com presença de eucalipto, uma classe de cobertura do solo seria *eucalipto*, enquanto uma classe de uso do solo seria *silvicultura*. Conjugando as duas classes num sistema de classificação de uso e cobertura do solo podemos criar a classe *silvicultura de eucalipto*. Entretanto, deve-se lembrar que a cobertura do solo pode ser determinada pela observação direta, enquanto para obter informações sobre uso do solo é necessário definir as intenções das pessoas/grupos que controlam e realizam as modificações do uso de uma determinada área. Assim, por exemplo, podemos mapear a cobertura de uma determinada área utilizando imagens de satélite se conhecemos a resposta espectral dos alvos, mas poderemos lançar mão da cobertura do solo para realizar inferências sobre o uso do solo.

Após definir uso e cobertura do solo, busca-se um entendimento do que é realizar uma classificação do uso e cobertura dos solos de uma determinada área. Classificação é definida por Sokal (1974 *apud* McCONNELL & MORAN, 2001) como o ordenamento ou arranjo dos objetos em grupos com bases nas suas relações. Segundo Choudhury & Jansen (1998 *apud* McCONNELL & MORAN, 2001), o processo de classificação do uso e cobertura dos solos é uma representação abstrata de unidades físicas do solo usando critérios pré-definidos. Esses critérios devem ser claros, precisos, objetivos e, quando possível, quantitativos.

Para realizar uma classificação é necessário definir um sistema de classificação. Um sistema de classificação envolve uma estrutura lógica que

contenha os nomes das classes, os critérios usados para distingui-las e as relações entre as classes. Esse sistema pode ser hierárquico ou não-hierárquico, mas quando um sistema hierárquico é utilizado se descende de um pequeno número de classes mais generalistas para um maior número de classes com maior detalhamento nos níveis mais baixos (McCONNELL & MORAN, 2001).

Segundo Araújo (1999), a classificação de imagens digitais é o processo em que os elementos são identificados em grupos ou classes, com atributos semelhantes, com padrões espectrais similares. No processamento digital de imagens, os métodos de classificação se dividem em supervisionados e não-supervisionados.

A classificação supervisionada tem como base a utilização de amostras de treinamento, sejam elas *pixels* ou regiões representativas das classes de interesse, sendo considerada a semelhança de cada *pixel* ou região da imagem com essas amostras. Para um treinamento supervisionado o usuário deve identificar na imagem uma área representativa de cada classe. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza do tema em questão. O conjunto de treinamento para cada classe pode ser estabelecido usando informações de campo, mapas, fotografias aéreas ou interpretação das imagens (RICHARDS, 1993 *apud* ARAÚJO, 1999). Segundo o tutorial do SPRING 4.3:

“Classificadores “pixel a pixel” utilizam apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para achar regiões homogêneas. Estes classificadores podem ser ainda separados em métodos estatísticos (que utilizam regras da teoria de probabilidade) e determinísticos (que não o fazem).”

Classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação entre os "pixels" e seus vizinhos. Estes classificadores procuram simular o comportamento de um foto-intérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar as regiões e as propriedades espaciais e espectrais que irão unir áreas com mesma textura."

A classificação não-supervisionada baseia-se no princípio de que o software possui algoritmos que conseguem reconhecer as classes presentes na imagem. Nessa forma o usuário não indica amostras, partindo somente do software a interpretação dos níveis de cinza (NC) dos *pixels* ou das regiões baseados em algum algoritmo. Nesse procedimento também existem classificações *pixel a pixel* ou por regiões, como o Isoseg.

Após a classificação das imagens obtém-se um mapa temático com a área de estudo dividida em classes. Como os erros são inerentes ao processo de classificação, tanto supervisionada como não-supervisionada, é necessário realizar a edição dos mapas para corrigir os erros cometidos.

3.2.4 SR aplicado ao estudo do Eucalipto

Os estudos de SR visando o entendimento das alterações provocadas pelos eucaliptais no ambiente possuem uma vasta abrangência. Existem estudos que se baseiam no mapeamento da ocorrência desse tipo de cobertura na paisagem (SANTOS *et al.*, 2007; PETRAGLIA & DELL'ACQUA, 2007; SOARES *et al.*, 2005; WAGNER & DUCATI, 2005; KRONKA *et al.*, 2005; CASTRO & CENTENO, 2005;

BOLFE *et al.*, 2003; SOARES *et al.*, 1996; SHIMABUKURO *et al.*, 1978), passando por aqueles que visam estimar a biomassa e a volumetria dos plantios (CANAVESI & PONZONI, 2007; GAMA *et al.*, 2007), até aqueles que buscam através do SR identificar comportamentos fisiológicos da vegetação de eucalipto (SOARES *et al.* 2001; XAVIER, 1998).

A preponderância dos estudos de mapeamento/identificação dos plantios de eucalipto demonstra que ainda existe uma carência de dados básicos sobre o uso e a cobertura dos solos das áreas levantadas. Esses estudos são de fundamental importância para a caracterização e também como fonte de informação para possíveis zoneamentos e planejamentos dessas áreas. Entretanto, não existe uma uniformidade de metodologias entre esses diversos estudos, demonstrando que não há um consenso sobre quais métodos e quais sensores utilizar. Como referência, dos estudos levantados no Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto sobre o tema, três utilizam exclusivamente o sensor LANDSAT TM ou ETM+, um utiliza laser (LSA), um usa imagens CBERS e um único estudo conjuga dois sensores (LANDSAT 5 TM + JERS1-SAR). Também foi encontrado um estudo que tinha o foco no mapeamento de áreas de *Pinus* no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, mas que também realizou o mapeamento de áreas de *Eucalyptus* utilizando imagens do sensor ASTER (WAGNER & DUCATI, 2005).

Cabe aqui destacar um dos estudos pioneiros no mapeamento de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* realizado por Shimabukuro *et al.* (1978) para o município de Mogi Guaçu/SP. Neste estudo realizado com a utilização de classificação supervisionada com o algoritmo de Bhattacharyya de imagens do sensor LANDSAT do ano de 1975, os autores obtêm acertos de 89,14%, 79,26%, 94,12% e 70,99% para as classes *Pinus elliotti*, “outras classes de *Pinus*”, *Eucalyptus spp.* com menos

de 2 anos e *Eucalyptus spp.* com mais de 2 anos, respectivamente. Nas conclusões do trabalho os autores destacam que uma das dificuldades em separar pelas imagens usadas as diferentes espécies de eucalipto reside no fato de existir grande similaridade morfológica entre essas espécies, embora eles tenham conseguido separar com sucesso eucalipto com menos de 2 anos de idade das outras faixas etárias. Essa boa separação é explicada pelo fato desses plantios novos possuírem respostas espectrais distintas. Além disso, os autores relatam que a separação dos plantios de pinheiros e eucaliptos foi facilitada pela grande distância entre os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Outro estudo que merece destaque é o monitoramento dos plantios de *Eucalyptus spp.* realizado no vale do rio Doce por Soares *et al.* (1996). Neste estudo foi realizado um mapeamento das áreas de eucalipto em dois recortes temporais (1989 e 1992) com a utilização de Imagens Landsat TM visando avaliar as mudanças nos plantios de eucalipto usando a técnica de razão entre as bandas. Por essa técnica a imagem de cada banda é comparada com a mesma banda do outro recorte temporal após realizar uma equalização do histograma, de forma que ambas as imagens possam ter a mesma amplitude de distribuição dos valores de brilho e, conseqüentemente, sejam reduzidos os efeitos causados pela atmosfera. Os autores concluem que a análise quantitativa por esse método apresentou uma boa eficiência para as bandas utilizadas, com exceção para a banda 4. Uma das razões apontadas pelos autores para que o método gerasse confusão na banda 4 para a detecção das classes de mudança *eucalipto maduro*->*corte raso* e *corte raso*->*eucalipto maduro* reside no fato de que as áreas consideradas de corte raso não se encontravam completamente isentas de vegetação, o que gerou confusão espectral nas classes supra-citadas.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 O MÉDIO VALE DO RIO PARAÍBA DO SUL

No médio vale do rio Paraíba do Sul (MVRPS), mais precisamente na divisa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, se encontra a fronteira de expansão dos plantios de eucalipto. Uma cabeceira de drenagem na bacia do rio Sesmarias foi escolhida para a realização dos estudos, uma vez que esta bacia se localiza nesta fronteira de expansão da silvicultura do eucalipto no MVRPS e está localizada próxima a outras bacias hidrográficas já intensamente estudadas, com o a bacia do rio Bananal, que possui seu funcionamento bastante compreendido (fig. 12).

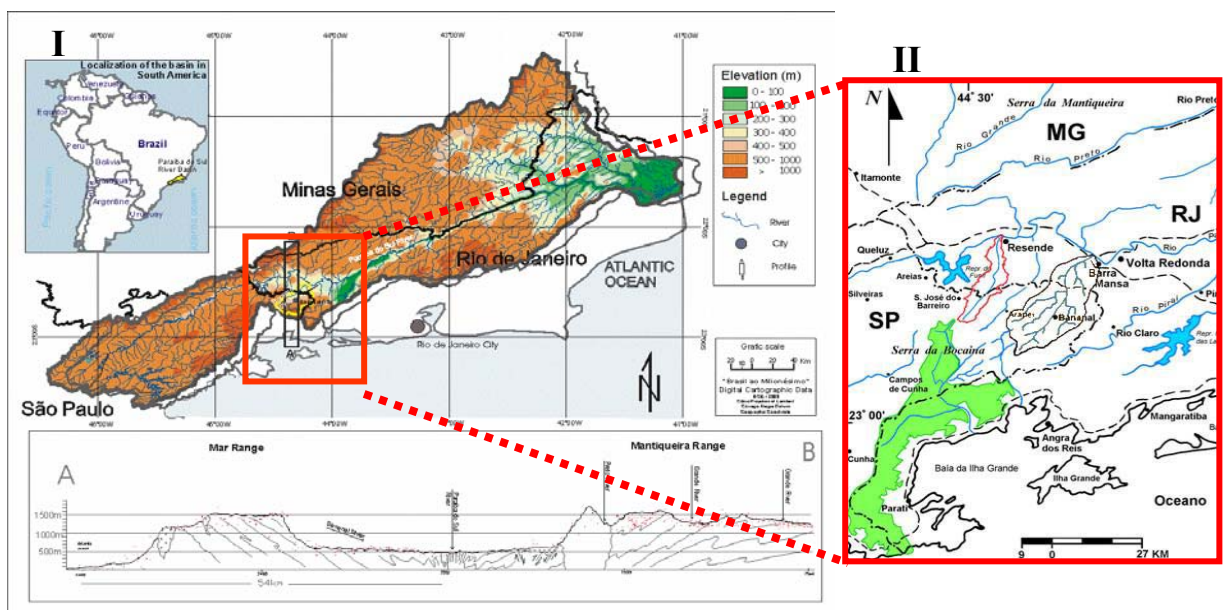


Figura 12 – Localização da bacia do rio Paraíba do Sul (I). A bacia do rio Sesmarias está destacada em vermelho e a bacia do rio Bananal em preto (II). Em (I) está detalhado o perfil topográfico A-B, extraído de Uagoda (2006).

Entretanto, sabe-se que no MVRPS prevalece uma paisagem heterogênea e instável, submetida a mudanças ambientais cada vez mais rápidas, com grandes variações no que diz respeito ao funcionamento dos geoecossistemas (COELHO NETTO, 2003).

Como exemplo, na bacia do rio Bananal é sabido que ocorrem altas taxas de erosão e deposição nas encostas e fundos de vales fluviais. No domínio montanhoso existe uma preponderância dos movimentos de massa, favorecidos pelas maiores declividades das encostas, enquanto no domínio das colinas convexo-côncavas, que possui espessos estoques sedimentares Quaternários, prevalecem mecanismos de erosão linear, como, por exemplo, as voçorocas. Segundo Avelar & Coelho Netto (1992), a formação dessas voçorocas e, conseqüentemente, das concavidades na bacia do rio Bananal, está relacionada com o controle lito-estrutural das fraturas sub-verticais, que permitem a exfiltração da água subterrânea, podendo, em alguns casos, ter ascensão artesianas. A progressão na incisão e/ou recuo desses canais erosivos tende a favorecer a ocorrência de deslizamentos, particularmente junto às encostas mais íngremes, e sua intensificação nas cabeceiras de drenagem vem acarretando um aumento das taxas de assoreamento nos canais fluviais coletores e aumento das enchentes nas planícies de inundação (COELHO NETTO, 2003).

Rocha Leão (2005) concluiu que há aumento na velocidade de incisão vertical e horizontal dessas voçorocas a partir do momento que o canal atinge o saprolito, uma vez que o mesmo apresenta baixa coesão verdadeira, o que facilita a evolução remontante desses canais. Estudos de Fonseca (2006) na fazenda Três Barras, localizada na bacia do rio Bananal, demonstram alguns dos mecanismos erosivos gravitacionais que o processo de voçorocamento pode provocar nas encostas das

cabeceiras de drenagem, como deslizamentos em leque e rastejos, sendo que nesta área também ocorre um paralelismo entre o eixo da voçoroca e as fraturas predominantes das rochas, assim como a ocorrência de artesianismo. Embora estudando em sub-bacias diferentes da bacia do rio Bananal, os resultados de Fonseca (2006) e Rocha Leão (2005) apresentaram concordância no que diz respeito ao atraso dos picos de poro-pressão positiva e os picos de chuva. Esses picos apresentam um atraso médio de três meses quando comparados, evidenciando que a água que exfiltra em ambos os casos provém de um aquífero regional, provavelmente relacionado com a infiltração e percolação da água a partir do domínio montanhoso da Serra do Mar, sendo facilitado pela orientação do mergulho das camadas geológicas de direção NW. Coelho Netto (2003) e Leal (2004), através do mapeamento da rede de fluxos subterrâneos na cabeceira de drenagem próxima a uma voçoroca na fazenda Bela Vista na bacia do rio Piracema, afluente do rio Bananal, concluem que em alguns casos os divisores de água subterrânea podem não coincidir os divisores topográficos, o que justifica um avanço significativo desses canais mesmo quando estes se aproximam dos divisores topográficos. Neste caso estudado, o canal que apresenta a maior área de contribuição superficial avança numa velocidade menor que o outro dígito que apresenta área de contribuição menor, isto porque existe a pirataria da água subterrânea do vale vizinho em direção ao dígito que cresce mais rapidamente.

No MVRPS também existem evidências que, além dos processos mecânicos, os processos químicos também contribuem para a evolução da geomorfologia regional. Felizola & Boulet (1993 e 1996 *apud* COELHO NETTO, 2003) ressaltam a importância da denudação química na formação de depressões fechadas, cuja evolução morfológica daria origem aos vales de cabeceira de drenagem, com base

em estudos efetuados no município de Caçapava/SP, sobre rochas sedimentares Terciárias e Quaternárias da bacia do rio Taubaté, marcadas por inúmeras falhas e fraturas. Estudo de Uagoda *et al.* (2006) realizados em área com domínio de rochas quartzíticas na bacia do rio Preto, afluente do rio Paraíba do Sul, demonstram que os processos químicos têm grande importância na evolução da rede de canais daquela área, com ocorrência de capturas de drenagem através de canais subterrâneos, conhecidos nos locais onde afloram como sumidouros ou funis. Além dessas evidências, esses estudos contabilizam a ocorrência de diversas feições geomorfológicas relacionadas aos ambientes cársticos, como cavernas, *poldjes* e depressões fechadas nos divisores. Coelho Netto (2003) e Leite (2006), estudando na sub-bacia do rio Fortaleza (bacia do rio Bananal), relacionam a formação de depressões fechadas e a abertura de concavidades suspensas próximas aos divisores com o processo de percolação através de fraturamentos subverticais, o que favorece a subsidência geoquímica, promovendo o rebaixamento do latossolo pré-existente e sua subsequente transformação por hidromorfia.

A bacia do rio Sesmarias, assim como as bacias vizinhas do rio Bananal e Barreiro de Baixo, segue as estruturas geológicas herdadas desde o tempo mais antigo e, principalmente, da última fase orogênica do Cenozóico: drena para NE, no reverso da escarpa da falha Atlântica, localmente denominada Serra da Bocaina e relaciona-se às direções estruturas regionais.

Segundo Heilbron (1995 *apud* COELHO NETTO, 2003), o MVRPS é composto basicamente por quatro compartimentos tectônicos com orientação dominante NE-SW, sendo um desses compartimentos autóctone e três alóctones: um ciclo orogênico Brasileiro (Neo-Proterozóico e Câmbrio/Ordoviciano) marcado por forças compressivas e dúcteis responsáveis pela formação do cinturão móvel;

dois ciclos marcados por forças extensivas e rúpteis, relacionados à abertura Atlântica das margens passivas (iniciada no Jurássico) e o *rifting* continental de idades neocretácea e paleogênica.

A litologia regional inclui três grupos: o embasamento, de idade pré-1.8 G.a.; as rochas supra-crustais, pós-1.8 G.a.; e as rochas granitóides pós-tectônica Brasileiro e colisionais. A principal estrutura tectônica herdada deste tempo mais antigo é a megasinformal do Paraíba do Sul. A tectônica cretácea-paleogênica foi responsável pelo *sistema de rifteamento* do sudeste brasileiro, caracterizado por uma série de falhamentos rúpteis e subverticais. Falhas normais com orientação ENE e mergulhos para SE definem o limite dos blocos norte das bacias sedimentares Cenozóica (bacias de Resende e Volta Redonda). As falhas transcorrentes são orientadas no sentido NW-NNW; a zona transtensional de Volta Redonda, orientada no sentido NW-S é uma feição regional marcante e relativa a estes eventos. Trata-se de uma zona de transferência que conectou os *riffts* do Paraíba e da Guanabara, deslocando o eixo da megasinformal do Paraíba, como foi sugerida por Valeriano e Heilbron (1993 *apud* COELHO NETTO, 2003). Estes eventos também foram responsáveis pela propagação regional de dois conjuntos principais de fraturas sub-verticais orientadas para NE-SW e NW-SE.

As falhas normais promoveram soerguimentos e subsidências diferenciais, assim como a exumação de blocos crustais. Desde então, a renovação do relevo marcada pelo rebaixamento regional dos níveis de base e suas estruturas subjacentes, têm influenciado a evolução do sistema regional de drenagem (COELHO NETTO, 2003). O curso médio do rio Paraíba do Sul corre, em sua maior parte, ao longo do *graben* da principal falha normal (ENE), mudando o seu curso

para NW-SE, entre Floriano e Barra Mansa, onde corre sobre a zona transtensional de Volta Redonda.

Estudos realizados na bacia do rio Bananal baseados nos registros estratigráficos e em datações absolutas avaliados em pacotes sedimentares fluviais e de encosta indicam a existência de dois ciclos recentes no tempo geológico de grande atividade morfodinâmica, que ocorreram de forma sincronizada em toda a bacia estudada (DIETRICH *et al.*, 1991; COELHO NETTO *et al.*, 1994; COELHO NETTO, 1999). O primeiro ciclo erosivo-deposicional ocorreu na transição do Pleistoceno para o Holoceno, no período de 10 K.a. a 8 K.a. A.P., quando as condições climáticas se tornaram mais quentes e úmidas no Sudeste brasileiro devido às alterações climáticas globais. O segundo ciclo foi iniciado há cerca de 200 anos atrás e foi induzido pela atuação antrópica na devastação da floresta ombrófila densa para o cultivo do café no MVRPS.

Observando a precipitação média mensal referente à análise de dezoito estações pluviométricas do MVRPS no período de 1970-1999, verifica-se que a pluviosidade média anual da região é de 1700 mm, com maiores índices no compartimento montanhoso (1996 mm) que no de colinas (1509 mm) e chuvas concentradas de Outubro – Março (fig. 13). No entanto, levantamentos realizados na série histórica da estação pluviométrica de Resende/RJ por Figueiró & Coelho Netto (2003 *apud* COELHO NETTO, 2003) indicam alterações nos regimes de chuva ao longo do século XX, que potencializariam a instabilidade das encostas, uma vez que ocorre uma redução das precipitações totais anuais com o aumento da frequência dos períodos de seca e chuva extremas. Segundo esse estudo, aumentou a frequência e a intensidade das chuvas diárias superiores a 100 mm.dia⁻¹, especialmente no alto verão.

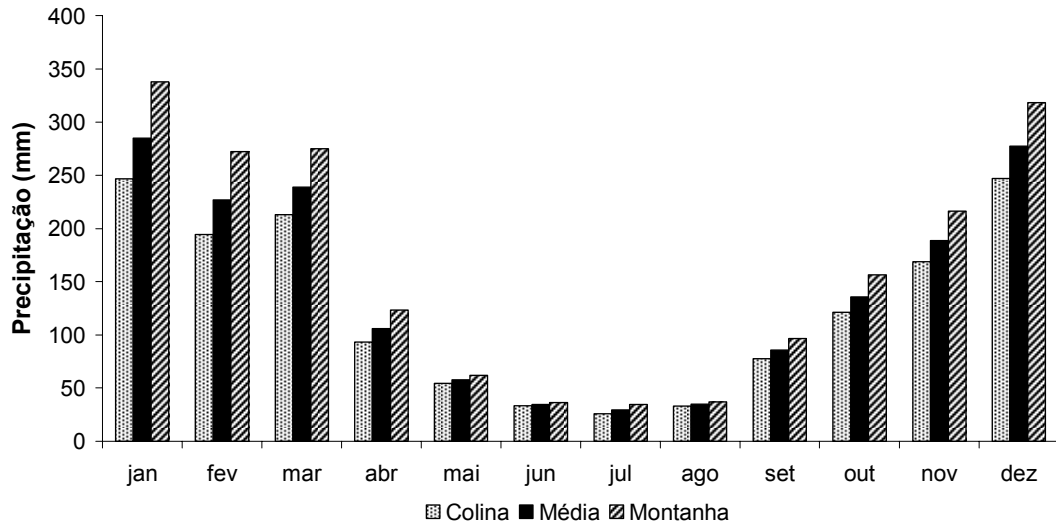


Figura 13 – Pluviosidade mensal média no domínio de colinas e montanhas baseada na análise de 18 estações pluviométricas no MVRPS do ano de 1970-1999.

4.2 ESTAÇÃO EXPERIMENTAL MONTE ALEGRE

A fazenda Monte Alegre/VCP foi escolhida para a instalação da estação experimental Monte Alegre (EEMA) por esta localizada numa área representativa (domínio das colinas convexo-côncavas) dos plantios de eucalipto da bacia do rio Sesmarias. As árvores plantadas nesta fazenda são clones a partir da hibridização das espécies *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, o que acarreta grande homogeneidade no plantio. As árvores são plantadas através da técnica de cultivo mínimo, onde uma cova é aberta e um raio de cerca de 50 cm é limpo ao redor com o uso de enxada (técnica de coroamento). Adições de fertilizantes (NPK) são realizadas nessas covas antes da inserção das mudas que vêm do herbário em tubetes, sendo essas mudas plantadas com espaçamento regular de 3 x 2 m nos divisores e encosta lateral no sentido do declive das encostas, sendo que nas zonas de fundo de vale não ocorre plantio de mudas de eucalipto em virtude dessas áreas

serem APPs (áreas de preservação permanente), apresentando o desenvolvimento de uma vegetação secundária inicial. Rotineiramente, ao longo do desenvolvimento das árvores, são realizadas capinas químicas com a utilização de herbicida e a herbivoria das formigas saúva é controlada com o lançamento de iscas do produto MIREX®.

O plantio da EEMA foi realizado em Abril de 2004, sendo, portanto, um plantio de 1ª rotação. Os ciclos de corte do eucalipto duram, em média, sete anos, sendo as árvores normalmente cortadas na base com a utilização de grandes máquinas (ex. harvester) ou então de forma manual, com o uso de moto-serra. Atualmente não é utilizada a técnica da rebrota nos plantios da VCP nesta região, pois as melhorias genéticas obtidas nos novos genótipos desenvolvidos pela VCP compensam o replantio entre as antigas árvores que são cortadas.

Na figura 14 está representada a localização da EEMA, que possui três postos de instrumentação: o posto Monte Alegre, localizado na área mais baixa da EEMA, local onde são realizadas medidas de pluviometria com a utilização de três pluviômetros convencionais e um pluviômetro digital; o posto Gasoduto, que se situa no cruzamento da estrada não-pavimentada e o gasoduto que corta a Fazenda Monte Alegre, e que está distante 442 m do posto Monte Alegre e 45 m acima da mesma, sendo realizadas medidas de pluviometria com o uso de três pluviômetros convencionais; e o posto Eucalipto, área de estudo que está a 446 m de distância do posto Gasoduto e 15 m acima do mesmo, localizado na zona de cabeceira de drenagem de uma bacia de primeira ordem (15,9 ha) que foi selecionada para investigar a produção, estocagem e capacidade de retenção hídrica (CRH) da serrapilheira, assim como alguns parâmetros hidrológicos (precipitação, interceptação, escoamento superficial e infiltração) em dois domínios geomorfológicos: divisor (D),

com declividade de 8° , e encosta lateral (E), com declividade de 24° ; e em duas posições no plantio: junto ao tronco (JT) e entre os troncos (ET).

A granulometria no topo do solo foi classificada como franco-argilosa, tanto no divisor de drenagem (Argila = 31,4%, Silte = 33,1% e Areia = 35,5%) quanto na encosta lateral (Argila = 32,5%, Silte = 26,1% e Areia = 41,4%).

Mapa Hipsométrico
Bacia do Rio Sesmarias - RJ/SP

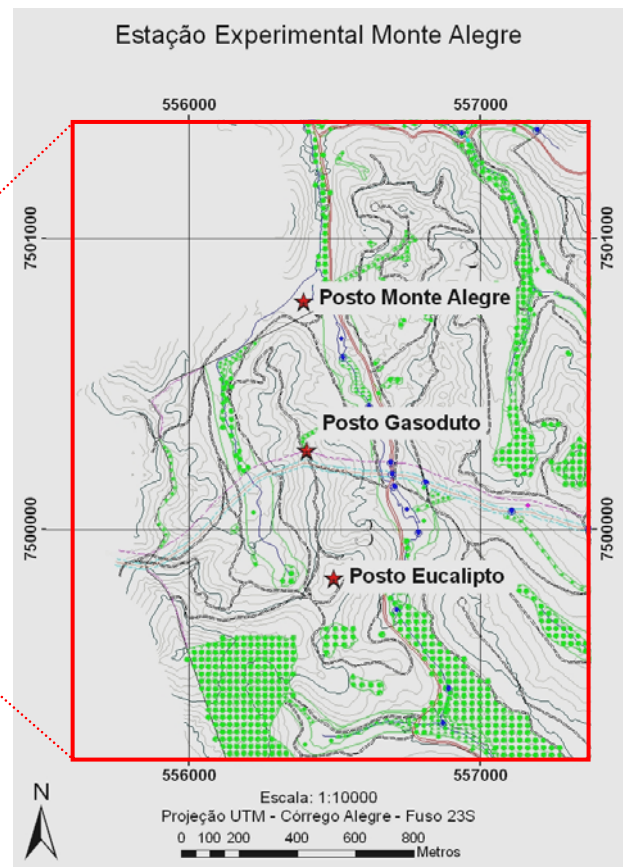
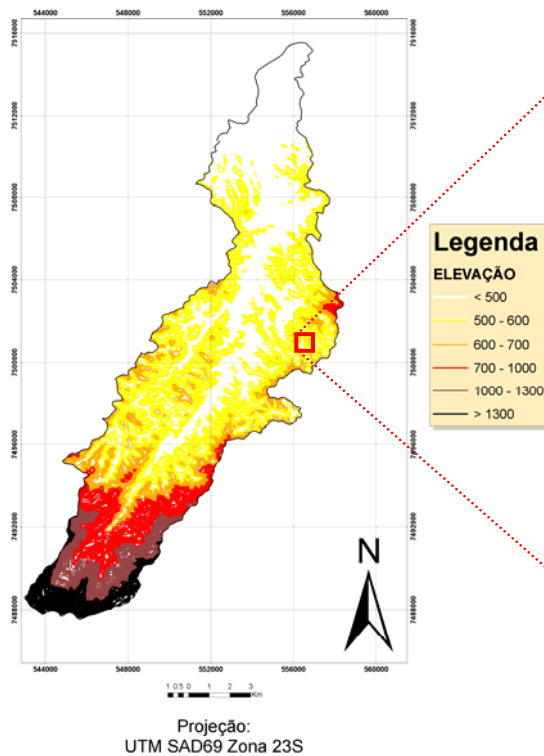


Figura 14 – Mapa de localização da área de estudo: (A) mapa hipsométrico da bacia do rio Sesmarias (SATO *et al.*, 2007); (B) localização da estação experimental Monte Alegre. As estrelas vermelhas marcam a localização dos postos Monte Alegre, Gasoduto e Eucalipto. Em (B) cinza representa as isolinhas altimétricas (equidistância de 5 m), preto as estradas não-pavimentadas e roxo o gasoduto. Áreas em branco representam o plantio de eucalipto e em verde as áreas de floresta nativa.

5 METODOLOGIAS, MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO

Dois mapas de uso e cobertura do solo na escala de 1:50.000 foram gerados para a bacia do rio Sesmarias a partir de dados de sensoriamento remoto, referentes aos anos 2000 e 2007. O objetivo desses mapeamentos era analisar as taxas e as formas de expansão dos plantios de eucalipto dentro da bacia do rio Sesmarias.

Para o ano 2000, foi utilizada uma imagem Landsat ETM+ ortorretificada com passagem em 26 de agosto de 2000, a qual foi submetida a um processo de classificação não-supervisionada (automática) ao passo que, para o ano 2007, a imagem utilizada foi uma Landsat TM com passagem em 5 de maio de 2007 que foi submetida a uma classificação supervisionada (semi-automática). Foram utilizadas metodologias diferentes de classificação para as duas imagens pois, após a realização de sucessivos testes, conclui-se que eram os métodos que melhor se adequavam a cada uma delas.

As imagens foram segmentadas utilizando-se os parâmetros de índice 15 de similaridade entre os pixels e 15 pixels de área mínima de polígono. Ambos os procedimentos de classificação foram realizados com o *software* SPRING (INPE, versão 4.3.3), sendo realizada a distinção de quatro categorias: cobertura arbórea, gramíneas/pastagem, plantios de eucalipto e áreas urbanas.

Para o ano 2007, algumas amostras de cada categoria foram selecionadas, com base nos conhecimentos de campo e nas informações de referência, e em seguida a imagem foi classificada com base nessas amostras, o que não ocorreu para o ano 2000, o qual contou com uma classificação totalmente automática.

Uma revisão foi realizada nos dois mapeamentos para corrigir erros de classificação no ambiente ArcGIS (versão 9.2). Como suporte à solução dessas dúvidas foram utilizadas fotografias aéreas da área na escala de 1:30.000 (IBGE, ano 2004).

5.2 ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO

Para o levantamento trimestral da estrutura da vegetação foi utilizada uma área de 9 x 12 m tanto no divisor quanto na encosta, abrangendo 15 indivíduos em cada domínio. Os dados referentes ao PAP foram mensurados com o auxílio de fita métrica e convertidos em diâmetro à altura do peito (DAP) e em área basal, uma vez que medidas de área basal expressam, além da robustez, a idade dos indivíduos e a dinâmica da população (MARTINS, 1991). Dentro de uma visão sistêmica do ambiente, indica o quanto de cobertura existe sobre o substrato, o que leva à reflexão sobre o modo como o sistema opera suas funções no que concerne à distribuição da água em superfície e sub-superfície (MONTEZUMA, 2005). A altura dos indivíduos foi estimada baseada na média de duas visadas feitas por observadores distintos com a utilização de um suporte de tamanho conhecido para facilitar a estimativa. As medições de abertura do dossel foram realizadas tanto no divisor quanto na encosta e foram calculadas com a utilização de espelho esférico, sendo realizadas quatro medidas, uma para cada sentido (Norte, Sul, Leste Oeste), tendo como referência uma árvore em cada domínio geomorfológico.

5.3 PRECIPITAÇÃO

A precipitação foi avaliada com a utilização de três pluviômetros cilíndricos instalados na área aberta do posto Monte Alegre, com medições de 07/10/2006 até 30/11/2007. Esses pluviômetros foram fabricados a partir de tubos de PVC com 100 mm de diâmetro de abertura e 300 mm de altura, tapados na parte basal por um “cap” e devidamente vedados com massa de calafetar. As bordas superiores dos tubos foram esmerilhadas para que ficassem cortantes, evitando o choque das gotas de chuva com as bordas do tubo. Dentro desse tubo foi inserida uma ponta de garrafa PET de 2 L emborcada e sobre essa estrutura foi depositada uma bola de ping-pong, a fim de evitar a evaporação da água colhida pelos pluviômetros (fig. 15).

Cada pluviômetro foi devidamente identificado através de uma etiqueta com o código de identificação, sendo estas etiquetas afixadas por uma película de Contact® transparente colada sobre as mesmas. Além das etiquetas, cada pluviômetro possuía o seu código de identificação também escrito com caneta de retroprojeter na parte oposta à etiqueta, sendo a tinta desta caneta bastante resistente às intempéries do tempo. Cada pluviômetro ficou apoiado sobre uma estaca de 1,20 m que foi cravada no solo, sendo o pluviômetro preso por um fio de arame, posicionando este conjunto ortogonalmente em relação a um plano sem inclinação.



Figura 15 – (A) Leitor de campo realizando a mensuração do volume de chuva. Estrutura dos pluviômetros cilíndricos, evidenciando a estrutura interna com a garrafa de PET emborcada (B) e a bola de ping-pong (C) utilizada para evitar a evaporação da água coletada.

As leituras do total de chuva diário foram realizadas às 7:00 h por um leitor de campo previamente treinado com a utilização de provetas graduadas de 50, 100 e 500 mL, com graduação de 1 em 1 mL, que eram utilizadas de acordo com o volume precipitado. Os dados de volume foram convertidos em altura (mm) utilizando-se a fórmula:

$$h(mm) = \frac{V}{A} = \frac{V \times 1000}{7850}$$

Onde “h” é a altura de chuva em mm, “V” é o volume, “A” é a área da abertura do pluviômetro, “1000” é o fator de conversão de mL para mm³ e “7850” é igual a área da abertura do pluviômetro em mm².

No dia 13/06/2007 foi instalado no posto Monte Alegre um pluviômetro do tipo báscula, associado a um armazenador de dados digital (*data logger*) modelo Global Water 5-1, uma bateria 12 V e um painel solar para recarga da bateria, a fim de obter dados de intensidade de precipitação, que não é possível obter a partir dos

pluviômetros convencionais, e de total precipitado para comparação com os pluviômetros convencionais alocados neste mesmo posto. O mesmo foi instalado neste local por questões de segurança do equipamento, visto que reside neste local o leitor de campo, sendo previamente calibrado em laboratório e programado para obter dados em intervalos de 10 minutos.

Visando verificar se os dados de precipitação do posto Monte Alegre eram realmente consistentes com os que ocorriam no posto Eucalipto, visto que existe uma distância de 960 m entre eles, no dia 01/09/2007 foram instalados três pluviômetros na área aberta do posto Gasoduto. Desta forma, foi possível avaliar a precipitação neste local, que está apenas 447 m do posto Eucalipto (fig. 14).

A avaliação da precipitação média no domínio de colinas do MVRPS no período de 1970-1999 baseou-se nos dados pluviométricos de 11 estações pluviométricas deste domínio. Essas estações pluviométricas vão desde Cachoeira Paulista/SP a Barra Mansa/RJ, abrangendo a fronteira de expansão dos plantios de eucalipto no MVRPS (tab. 01).

Tabela 01 – Estações pluviométricas utilizadas para a determinação da precipitação mensal média no domínio de colinas do MVRPS para o período de 1970-1999. ANA = Agência Nacional de Águas.

Posto	Código (ANA)	Município	Estado	Altitude	Latitude	Longitude
Barra Mansa	2244042	Barra Mansa	RJ	376	-22:32:17	-44:10:31
Itatiaia	2244031	Itatiaia	RJ	380	-22:30:10	-44:33:15
Glicerio	2244044	Barra Mansa	RJ	390	-22:28:27	-44:13:44
Resende	2244032	Resende	RJ	400	-22:27:58	-44:26:41
Nossa Senhora do Amparo	2244045	Barra Mansa	RJ	400	-22:23:80	-44:06:27
Rioalto	2244043	Barra Mansa	RJ	420	-22:34:36	-44:16:10
Nhangapi	2244030	Resende	RJ	440	-22:30:12	-44:36:56
Bananal	2244133	Bananal	SP	460	-22:41:00	-44:19:00
Queluz (Centro Saude)	2244001	Queluz	SP	500	-22:32:51	-44:46:53
Sao Jose do Barreiro	2244006	Sao Jose do Barreiro	SP	530	-22:39:00	-44:35:00
Usina Bocaina	2244012	Cachoeira Paulista	SP	560	-22:44:00	-44:55:00

Também utilizou-se os dados do posto Arapeí (Código ANA 02244009) para comparação com a precipitação no posto Monte Alegre, isto porque esta estação é a

que está localizada mais próxima deste posto. A série histórica avaliada foi do ano de 1970–1995.

5.4 INTERCEPTAÇÃO PELAS COPAS

5.4.1 Pluviômetros Cilíndricos

Para avaliar o fluxo de atravessamento e a interceptação da precipitação pelas copas arbóreas no posto Eucalipto, no dia 07/10/2006 instalou-se doze pluviômetros cilíndricos abaixo do dossel da plantação. O fluxo de tronco foi negligenciado, uma vez que diversos estudos em plantios de eucalipto demonstram que a sua importância quantitativa é relativamente pequena quando comparado com a pluviosidade total, com números que giram em torno de 1,66% (LACLAU *et al.*, 2003) e 1,73% (VALENTE *et al.*, 1997).

Os pluviômetros foram colocados em dois domínios geomorfológicos: divisor (D), com declividade de 8°, e encosta lateral (E), com declividade de 24°; e em duas posições no plantio: junto ao tronco (JT) e entre os troncos (ET) (fig. 16), formando quatro situações (JT-D, JT-E, ET-D e ET-E), com três réplicas em cada uma dessas situações (tab. 02). Essas posições foram escolhidas pois é sabido que o domínio geomorfológico de divisor de drenagem é uma zona de infiltração de água, enquanto a encosta lateral é tratada como uma zona de transferência de água em virtude da maior declividade. Também optou-se pela disposição dos instrumentos JT e ET para verificar se ocorre variação espacial da entrada de água nos plantios.

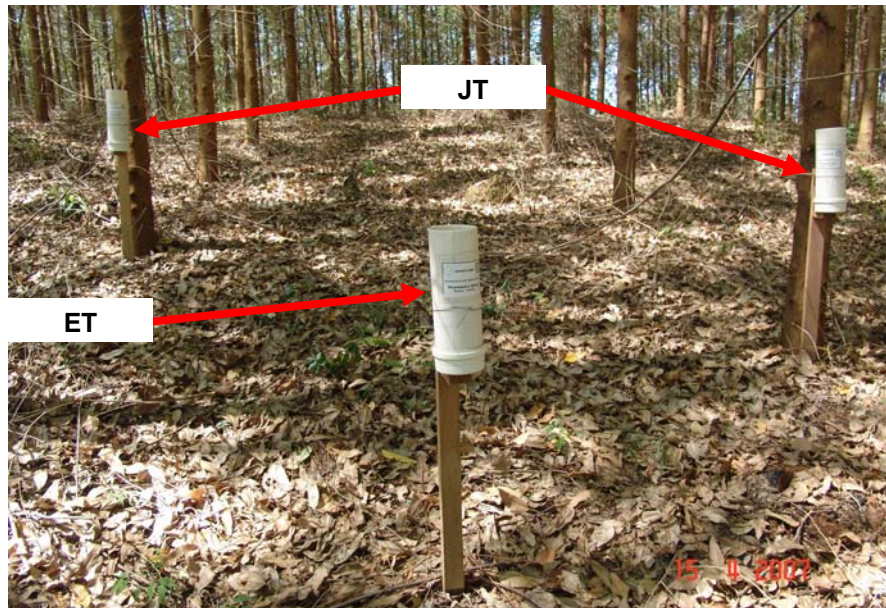


Figura 16 – Disposição espacial dos pluviômetros junto ao tronco (JT) e entre os troncos (ET).

Tabela 02 – Número de pluviômetros em cada situação no posto Eucalipto para determinação do atravessamento e interceptação. JT = junto ao tronco e ET = entre os troncos.

Posição	Divisor	Encosta
JT	3	3
ET	3	3

Como os pluviômetros sob o dossel são idênticos aos utilizados na área aberta do posto Monte Alegre e Gasoduto, utilizou-se a mesma fórmula para cálculo da altura do fluxo de atravessamento:

$$h(mm) = \frac{V}{A} = \frac{V \times 1000}{7850}$$

Onde “h” é a altura do atravessamento em mm, “V” é o volume, “A” é a área da abertura do pluviômetro, “1000” é o fator de conversão de mL para mm³ e “7850” é igual a área da abertura do pluviômetro em mm².

5.4.2 Pluviômetros em Calha

Avelar (*com. pess.*) indica que em ambientes florestais homogêneos, como os eucaliptais, essa avaliação do fluxo de atravessamento pode ser feita através de um pluviômetro constituído por uma rede de calhas coletoras com área de coleta definida, o que pode reduzir a necessidade da instalação de diversos pluviômetros. No sentido de avaliar essa possibilidade, seis pluviômetros em calha foram instalados na encosta monitorada, sendo três no divisor e três na encosta lateral. Esses pluviômetros em calha foram elaborados a partir de uma calha de chuva de 12 x 500 cm e instalados atravessando de forma diagonal dois trechos entre colunas e dois trechos próximo ao troncos buscando alcançar toda a heterogeneidade interna desses plantios, com uma declividade mínima para que a água se deslocasse por gravidade até um ralo que conduz a água até os galões receptores de 20 L (fig. 17). Esses instrumentos foram instalados em Dezembro de 2006 com apenas um galão receptor, mas verificou-se que em alguns casos o mesmo não era suficiente para armazenar toda a água que escoava pelas calhas. Por este motivo, alguns dados que se referem aos dias de transbordamento dos galões foram retirados das análises, pois sabia-se que os mesmos estariam sendo subestimados. Visando solucionar esse problema, em Janeiro de 2007 foi adicionado mais um galão de 20 L para cada pluviômetro em calha. Os dados de volume foram convertidos em altura (mm) utilizando-se a fórmula:

$$h(mm) = \frac{V}{A} = \frac{V \times 1000}{600000}$$

Onde “h” é a altura de chuva em mm, “V” é o volume, “A” é a área da abertura do pluviômetro em calha, “1000” é o fator de conversão de mL para mm³ e “600000” é a área da abertura do pluviômetro em calha em mm².



Figura 17 – Pluviômetros em calha abrangendo as porções entre as colunas e próximo aos troncos dos eucaliptos.

5.4.3 Pluviômetros Radialmente Dispostos

Após seis meses de mensuração do total de chuva diário (Outubro 2006 – Março 2007), observou-se que o fluxo de atravessamento não se distribuía de forma espacialmente uniforme (resultados e discussão na sessão 6.4.1). Baseado nesses resultados, no dia 18/03/2007 instalou-se vinte pluviômetros de forma radial a um tronco principal de uma árvore no divisor para avaliar a distribuição do fluxo de atravessamento ao redor desse tronco (fig. 18). Foram instalados oito pluviômetros no eixo das colunas e doze no eixo das linhas, com espaçamento regular de 0,5 m. A escolha de uma única árvore somente no divisor para o monitoramento foi baseada no esforço amostral que seria empregado, evitando-se assim que houvesse

a instalação de uma grande quantidade de pluviômetros, o que geraria uma sobrecarga de leitura diária por parte do leitor de campo.

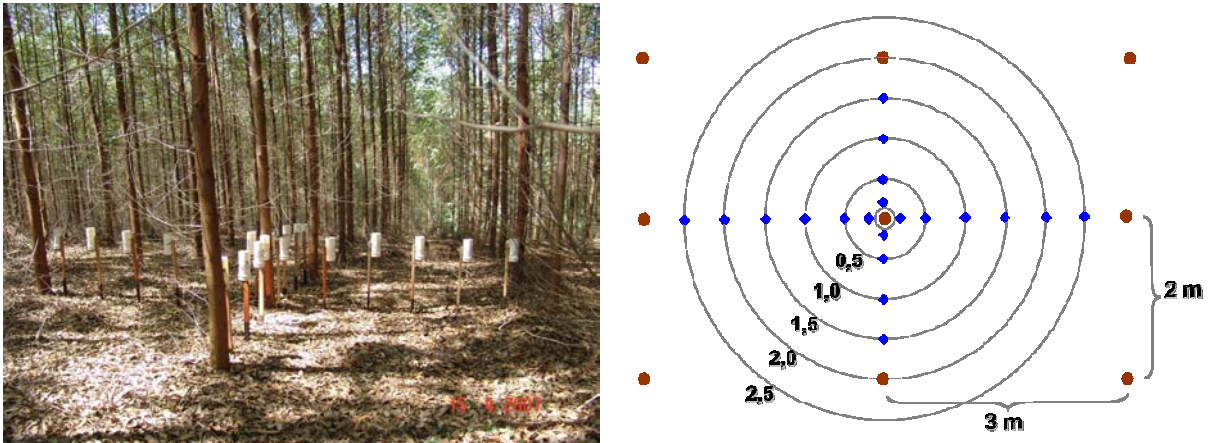


Figura 18 – Distribuição radial dos vinte pluviômetros ao redor do tronco central no divisor. No desenho círculos marrons representam os troncos dos eucaliptos, losangos azuis os pluviômetros e as circunferências imaginárias determinam o espaçamento (0,5 m).

Entretanto, após as discussões e considerações por parte dos pesquisadores, decidiu-se ampliar a rede de pluviômetros, que já englobava o eixo das linhas e de colunas, também para as diagonais (fig, 19), assim como, além do domínio do divisor já instrumentado, também para a encosta lateral. Sendo assim, desmontou-se o experimento anterior, que durou do dia 18/03/2007 a 31/08/2007 e instalou-se o novo experimento de pluviômetros com distribuição radial, sendo utilizados no total 104 pluviômetros (52 no divisor e 52 na encosta lateral). Os dados referentes a este experimento vão do dia 01/09/2007 a 31/11/2007.

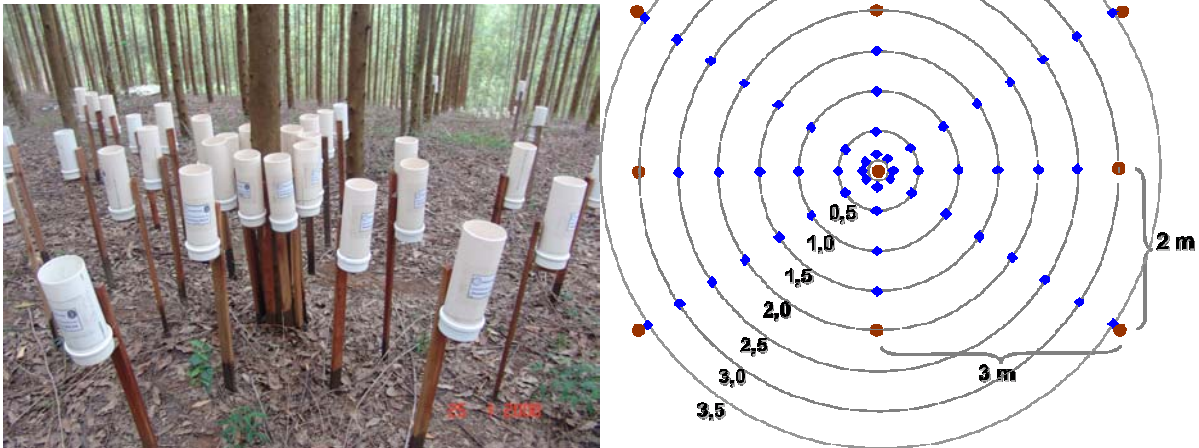


Figura 19 – Distribuição radial dos 52 pluviômetros ao redor do tronco central no divisor. No desenho círculos marrons representam os troncos dos eucaliptos, losangos azuis os pluviômetros e as circunferências imaginárias determinam o espaçamento (0,5 m).

A altura do atravessamento nos pluviômetros foi calculada a partir da fórmula:

$$h(mm) = \frac{V}{A} = \frac{V \times 1000}{7850}$$

Onde “h” é a altura do atravessamento em mm, “V” é o volume, “A” é a área da abertura do pluviômetro, “1000” é o fator de conversão de mL para mm³ e “7850” é igual a área da abertura do pluviômetro em mm².

Nas figuras 18 e 19 estão representadas as distâncias entre troncos e entre pluviômetros que seguem a superfície do terreno. Entretanto, sabe-se que as distâncias numa visão superior, que representa a perspectiva das gotas de chuva ao caírem sobre o dossel (sem considerar o vento), apresentam valores diferentes, especialmente se o terreno apresentar declividade, como na encosta lateral ($\alpha = 24^\circ$). Desta forma, fez-se necessário corrigir as distâncias medidas em campo (medidas na superfície do terreno) para distâncias em visão superior (como das gotas de chuva) para que posteriormente fossem tratados os dados de atravessamento.

Depois de realizar essa correção, utilizou-se os dados de atravessamento dos pontos conhecidos (pluviômetros) para estimar o atravessamento nas demais áreas

não conhecidas através da interpolação dos dados. Utilizou-se o interpolador de Kriging, pois esse interpolador permite uma predição linear dos dados. Parte do princípio que pontos próximos no espaço tendem a ter valores mais parecidos do que pontos mais afastados e assume que os dados recolhidos de uma determinada população se encontram correlacionados no espaço.

5.5 SERRAPILHEIRA

5.5.1 Produção

A produção de serrapilheira tem sido analisada sob o ponto de vista da quantificação da produtividade primária. Padrões de quantificação e distribuição espacial e temporal têm sido empregados a título de se avaliar o estágio de desenvolvimento do ecossistema, além da detecção de distúrbios de diversas naturezas (LOPES *et al.*, 2002 *apud* MONTEZUMA, 2005). Segundo Meentemeyer *et al.* (1982), grande parte da produção primária terrestre está localizada no dossel das árvores, que envia fluxos para o substrato do solo através da produção de serrapilheira. A produção de serrapilheira é uma ligação essencial no ciclo de produção-decomposição, sendo assim um importante processo nessa dinâmica.

A produção de serrapilheira foi analisada com o intuito de se conhecer um dos aspectos de funcionamento da área de plantio após a substituição das pastagens por monoculturas de eucalipto. O período aqui analisado vai do dia 12 de Outubro de 2006 a 20 de Dezembro de 2007, sendo as coletas realizadas com o uso de doze

coletores quadrados (50 x 50 cm) de serrapilheira instalados a cerca de 1,2 m acima do solo (fig. 20) seguindo a distribuição espacial descrita na tabela 03.



Figura 20 – Coletor de serrapilheira (0,5 x 0,5 m) instalado entre os troncos no primeiro plano e na junto ao tronco em segundo plano.

Tabela 03 – Distribuição e número de coletores de serrapilheira em cada situação no posto Eucalipto para determinação da produção de serrapilheira. JT =junto ao tronco e ET = entre os troncos.

Posição	Divisor	Encosta
JT	3	3
ET	3	3

Os coletores de serrapilheira foram vistoriados mensalmente e as amostras em cada um deles foram ensacadas, identificadas e encaminhadas ao laboratório, onde foram devidamente secas ao ar e posteriormente em estufa a 60°C até atingir peso constante, sendo pesadas em seguida em balança de precisão de três casa decimais. Através desse procedimento foi possível determinar a produção em cada coletor através da utilização da seguinte fórmula:

$$\text{Produção (Mg.ha}^{-1}\text{)} = (\text{M} / 0,25) \times 10^{-6} \times 10^4$$

Onde a “produção” é dada em $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, “M” é a massa da amostra, “0,25” é a área do coletor em m^2 , “ 10^{-6} ” é o fator de conversão de g para Mg e “ 10^4 ” é o fator de conversão de m^2 para ha.

Após esse procedimento, as amostras foram separadas em duas frações-componentes: folhas e galhos. Não se observou ao longo do período analisado a produção significativa de material reprodutivo nem de casca, por isso essas categorias não foram incluídas. Em seguida à triagem, foi realizada a pesagem de cada fração-componente separadamente em balança de precisão de três casas decimais.

5.5.2 Estoque e Capacidade de Retenção Hídrica

O estoque de serrapilheira sobre o piso florestal também foi avaliado, sendo realizado trimestralmente através da coleta de doze amostras seguindo a mesma distribuição espacial dos coletores de serrapilheira. As coletas foram realizadas com o auxílio de gabaritos quadrados de $0,25 \times 0,25 \text{ m}$, sendo toda a camada holorgânica retirada da superfície (fig. 21). As amostras foram devidamente ensacadas, identificadas e posteriormente encaminhadas ao laboratório para tratamento. Apenas nas coletas do mês de Janeiro de 2007 foram utilizados gabaritos de $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ de lado. Após essa primeira coleta, Castro Júnior (*com. pess.*) sugeriu a utilização de gabaritos quadrados de $0,25 \times 0,25 \text{ m}$, pois a serrapilheira dos plantios de eucalipto apresentam grande homogeneidade, não necessitando de uma área amostral tão abrangente.



Figura 21 – Coleta com o auxílio de gabarito quadrado para avaliação do estoque de serrapilheira. Antes, com a presença da camada holorgânica e depois, com a remoção completa desta camada.

No laboratório, todas as amostras de estoque de serrapilheira foram encaminhadas para a realização de experimentos de capacidade de retenção hídrica (CRH) que seguiram a metodologia descrita por Blow (1955 *apud* DEUS, 1991) modificada, sendo que as amostras foram analisadas integralmente, sem a retirada de sub-amostras. Neste experimento todo o conteúdo das amostras foi colocado em imersão em água por 90 minutos, drenado o excesso por 30 minutos, pesado em balança de precisão para a determinação do peso úmido (MU) e posteriormente seco em estufa a 60 °C até atingir peso seco constante (MS). Aplicou-se a seguinte fórmula:

$$CRH(\%) = \frac{MU - MS}{MS} \times 100$$

Onde “CRH” é a capacidade de retenção hídrica em porcentagem, “MU” a massa úmida, “MS” é a massa seca e “100” o fator de conversão para porcentagem.

A realização desses experimentos é fundamental para o entendimento do comportamento hidrológico de retenção que a camada de serrapilheira desempenha. Sabe-se que existem limitações para a extrapolação dos dados em laboratório para os de campo, pois o que se estima em laboratório é a capacidade potencial de retenção hídrica pela serrapilheira. A retenção hídrica real só poderia ser obtida se

fossem realizadas coletas depois de cada evento de chuva, o que se torna inviável para esse estudo. Além disso, durante o procedimento de imersão em água há uma grande soltura de partículas minerais que estavam agregadas à malha de raízes finas e aos outros componentes da serrapilheira. Isso torna os resultados de estoque de serrapilheira ainda mais fidedignos, uma vez que se este procedimento não houvesse sido realizado, a massa dessas partículas seria incorporada à análise como massa da serrapilheira, superestimando os dados.

O peso seco do experimento de CRH foi considerado como o estoque de serrapilheira para a área do gabarito de coleta, sendo utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{Estoque (Mg.ha}^{-1}\text{)} = (M / 0,0625) \times 10^{-6} \times 10^4 = M \times 0,16$$

Onde o “estoque” é dado em Mg.ha⁻¹, “M” é a massa da amostra, “0,0625” é a área do gabarito em m², “10⁻⁶” é o fator de conversão de g para Mg e “10⁴” é o fator de conversão de m² para ha.

Após a pesagem, as amostras foram separadas em quatro frações-componentes – folhas, galhos, gramíneas e raízes finas + material fino. Não se observou ao longo do período analisado a produção significativa de material reprodutivo, por isso essa categoria não foi incluída. Agrupou-se as raízes finas com o material fino pois os mesmos muitas vezes se encontravam aderidos, o que impossibilitou a separação desses componentes. Em seguida à triagem, foi realizada a pesagem de cada fração-componente separadamente.

5.5.3 Taxa de Decomposição

O estudo de Olson (1963) é referência na discussão das taxas de decomposição. O parâmetro *k*, que foi largamente discutido por esse autor,

representa o coeficiente de decomposição da serrapilheira, e foi estimado a partir da fórmula:

$$k = \frac{L}{X}$$

Onde k é o coeficiente de decomposição da serrapilheira, L a produção anual de serrapilheira e X o estoque médio de serrapilheira.

É sabido que existem limitações para estimar o k através desta fórmula no caso estudado, visto que esta fórmula se aplica em ambientes onde o estoque de serrapilheira sobre o solo está em equilíbrio dinâmico (*steady state*). Entretanto, visto que na literatura existem diversos estudos que obtêm esse parâmetro pela fórmula acima em plantios de eucalipto e em outros ambientes, decidiu-se utilizá-lo para efeito de comparação com outros resultados. O tempo necessário para que ocorra decomposição de 50% da serrapilheira (meia vida) foi estimado pela equação:

$$T_{0,5} = -\ln 0,5/k$$

Onde $T_{0,5}$ é o tempo para a decomposição de 50% da serrapilheira e k o coeficiente de decomposição da serrapilheira.

5.6 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E INFILTRAÇÃO

Para estimar a infiltração e o escoamento superficial foram instaladas duas parcelas de escoamento do tipo Gerlach modificadas por Villas Boas *et al.* (2005) dentro do plantio de eucalipto, sendo uma no divisor e outra na encosta lateral (fig. 22). Esses domínios geomorfológicos foram selecionados porque é conhecido que o

divisor é uma área de infiltração, enquanto a encosta lateral é uma zona de transferência de água para as porções mais inferiores da encosta.

I Área da Bacia = 15,9 ha

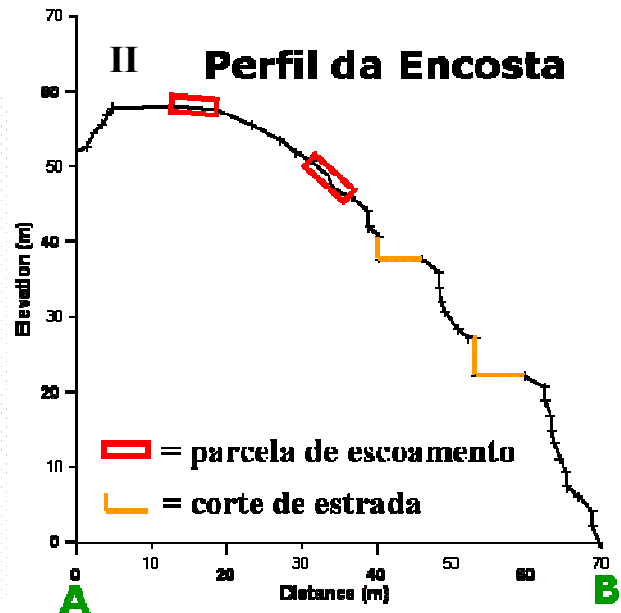
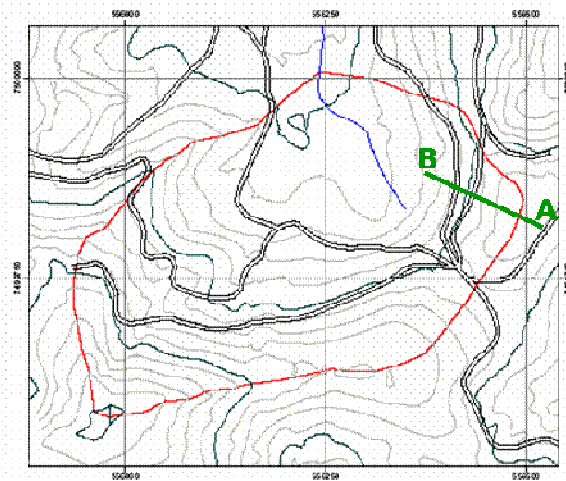


Figura 22 – Localização das parcelas de escoamento na bacia de primeira ordem estudada (I). A linha vermelha indica os divisores, as cinzas as isolinhas altimétricas (equidistância 5 m), as pretas são estradas não-pavimentadas e em verde o perfil (A – B). Em II está representado o perfil da encosta (A - B), com a localização exata das parcelas tanto no divisor quanto na encosta lateral.

Essas parcelas abrangem uma área de 90 m² cada (9 x 10 m), com três colunas e cinco linhas de eucalipto, totalizando quinze indivíduos cada uma, e possuem uma calha coletora na porção terminal com cobertura que conduz a água do escoamento superficial até uma caixa d'água coberta de 1000 L (fig. 23).

As leituras de escoamento também foram realizadas diariamente pelo leitor de campo previamente treinado com a utilização de provetas e baldes graduados.

Os dados de volume foram convertidos em altura (mm) utilizando-se a fórmula:

$$h(mm) = \frac{V}{A} = \frac{V \times 10^3}{9 \times 10^7}$$

Onde “h” é a altura do escoamento superficial em mm, “V” é volume coletado, “A” a área da parcela de escoamento, “ 10^3 ” o fator de conversão de mL para mm^3 e “ 9×10^7 ” a área da parcela de escoamento em mm^2 .

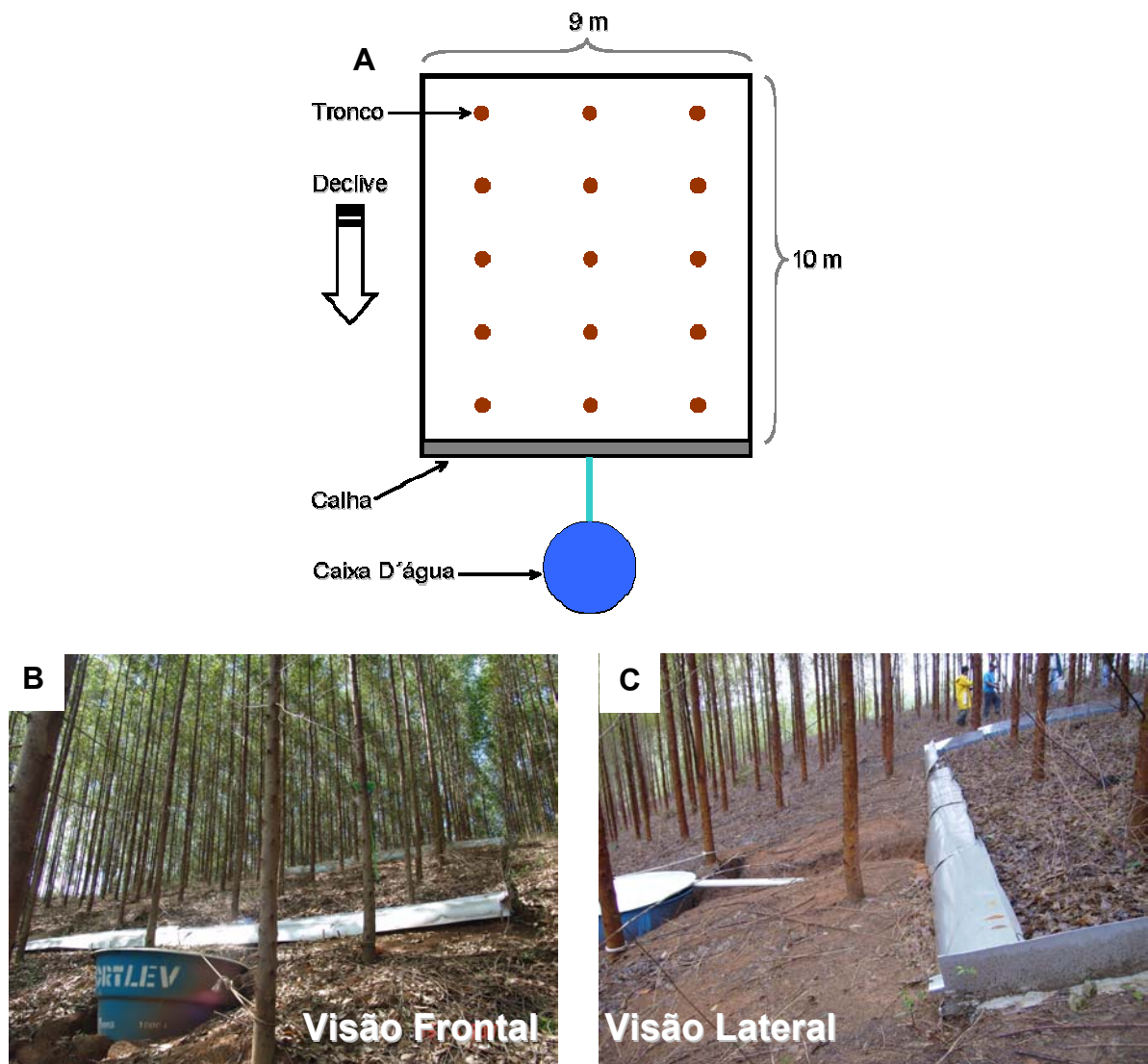


Figura 23 – Parcela de escoamento superficial. A – Desenho esquemático da parcela de escoamento mostrando as quinze árvores que estão contidas na área (círculos marrons). Visão frontal (B) e lateral (C) da parcela de escoamento. Notar em (C) que existe uma cobertura para a calha coletora que impede a precipitação direta sobre a mesma.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO

O mapeamento das áreas do MVRPS foi pela aluna Gabriela Vianna em conjunto com este autor, sendo que ambos encontram-se vinculados ao mesmo projeto de pesquisa.

No ano 2000, a matriz de gramíneas/pastagem estava presente em 76% da área da bacia do rio Sesmarias, principalmente no domínio das colinas convexo-côncavas, enquanto as manchas de cobertura arbórea (23%) concentravam-se no domínio montanhoso correspondente à Serra da Bocaina (Serra do Mar). Para a data mencionada, não foram encontrados plantios de eucalipto na referida bacia e as áreas urbanas (1%), referentes à cidade de Resende/RJ, estavam localizadas no domínio das colinas convexo-côncavas aos arredores da confluência do rio Sesmarias com o rio Paraíba do Sul (fig. 24).

Tanto a matriz de gramíneas/pastagem quanto às manchas de cobertura arbórea sofreram recuo no ano de 2007, respondendo por 71% e 21% da área da bacia do rio Sesmarias, respectivamente. A retração foi de 5% para a classe de gramíneas/pastagem e de 2% para as manchas de cobertura arbórea. O contrário foi verificado para as áreas urbanas que sofreram um acréscimo de 1%, chegando a ocupar 2% da área total da bacia do rio Sesmarias em 2007. Os plantios de eucalipto representavam 6% da cobertura total da bacia do rio Sesmarias no ano 2007, estando todos eles inseridos no domínio das colinas convexo-côncavas na porção centro-oeste. A taxa de expansão dos plantios de eucalipto no período de 2000 a 2007 foi de 122 ha/ano, o que significa uma forte expansão da silvicultura do

eucalipto nesta área, reforçando a idéia de que a divisa do RJ e SP é a fronteira de expansão desta atividade no MVRPS.

A localização dos plantios de eucalipto no domínio das colinas convexo-côncavas (menores amplitudes de relevo e declividades) está relacionada com a maior facilidade de mecanização dos plantios e também com a proximidade da principal via de escoamento da produção (BR 116 – Via Dutra) para a fábrica localizada em Jacareí/SP e do centro local (Areias/SP) onde as empresas terceirizadas que realizam serviços para a VCP se localizam. Esses plantios se apresentam no mosaico da paisagem como manchas, seguindo os limites das fazendas que foram arrendadas pela VCP.

A preponderância da matriz de gramíneas/pastagens no ano de 2007 (>70% da área da bacia) ainda reflete os resquícios da atividade agropecuária nesta região, sendo que esta atividade se encontra em decadência segundo relatos dos moradores locais. Eles alegam que a pecuária extensiva realizada nessas áreas apresenta baixa produtividade e também baixa valoração econômica.

Sobre as manchas de cobertura arbórea, observa-se que elas estão espalhadas por toda a bacia do rio Sesmarias, mas a maior concentração ocorre no domínio montanhoso. Esse padrão também é observado ao se analisar as fotografias aéreas de outras bacias vizinhas, isto porque essas áreas foram historicamente mais preservadas do que aquelas no domínio das colinas convexo-côncavas. Através da análise temporal realizada foi possível concluir que, no cômputo geral, essas manchas de vegetação estão sendo perdidas. Entretanto, este fenômeno foi observado no domínio das colinas convexo-côncavas, enquanto no domínio montanhoso parece haver um adensamento da cobertura arbórea, o que pode ser conseqüência da regeneração da mesma.

A área urbana observada no mapeamento corresponde à parte do sítio urbano da cidade de Resende/RJ, às margens do rio Paraíba do Sul. Segundo o dados do IBGE, o município de Resende possuía 104.549 habitantes pelo censo do ano 2000, sendo que sua população cresceu para 119.729 habitantes no ano de 2006, segundo estimativas do próprio IBGE. Este crescimento de 14,5% na população em seis anos é, provavelmente, uma das causas do incremento nas manchas de área urbana que foi visualizado na análise temporal, junto ao aparecimento do núcleo urbano a sudoeste dos plantios de eucalipto.

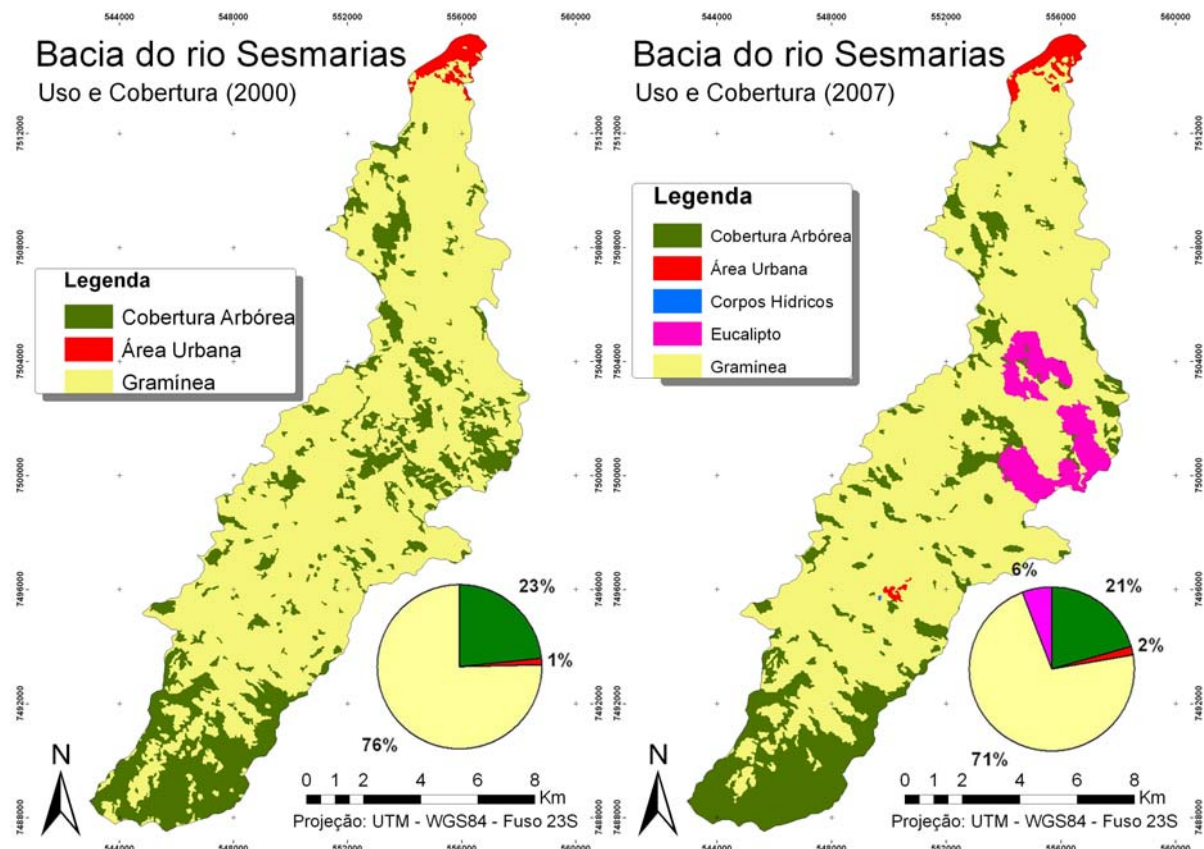


Figura 24 – Mapeamento de uso e cobertura da bacia do rio Sesmarias. Os plantios de eucalipto (magenta) representam 6% da área da bacia e estão localizados no domínio das colinas convexo-côncavas. (VIANNA *et al.*, 2007; SATO *et al.*, 2007).

6.2 ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO

Na tabela 04 observa-se que a diferença de altura das árvores do divisor e da encosta lateral é pequena, sendo que no período analisado ocorreram variações nas medidas em virtude do método empregado para estimar este parâmetro (método de estimativa visual).

Tabela 04 – Estrutura da vegetação no divisor e na encosta lateral. D.A.P. = diâmetro à altura do peito; A.B. = área basal; A.D. = abertura do dossel; e N.A = não aferido. Valores dados em média \pm (desvio padrão). N = 30 (15 no divisor e 15 na encosta).

	Janeiro de 2007				Abril de 2007			
	DAP (cm)	AB (m ² .ha ⁻¹)	Altura (m)	A.D. (%)	DAP (cm)	AB (m ² .ha ⁻¹)	Altura (m)	A.D. (%)
Divisor	10,4 \pm (3,0)	15,2	15,0 \pm (1,0)	4,7	11,4 \pm (1,0)	15,9	15,6 \pm (1,3)	2,3
Encosta Lateral	10,1 \pm (0,6)	13,3	15,6 \pm (1,3)	5,7	10,4 \pm (0,6)	14,1	15,2 \pm (0,4)	4,7
	Julho de 2007				Outubro de 2007			
Divisor	11,8 \pm (1,1)	17,1	14,36 \pm (0,69)	2,9	11,8 \pm (1,0)	17,0	N.A.	N.A.
Encosta Lateral	10,7 \pm (0,7)	15,2	14,53 \pm (0,66)	6,8	10,7 \pm (0,8)	15,2	N.A.	N.A.

Entretanto é observada diferença no que diz respeito à abertura das copas na comparação entre esses dois domínios, com valores que chegam a 6,76% na encosta lateral e 2,86% no divisor no mês de Julho de 2007. Essa maior abertura do dossel na encosta lateral provavelmente está relacionada com a maior declividade da encosta neste domínio (24°) quando comparada ao divisor (8°), tornando o dossel do eucaliptal mais descontínuo na encosta lateral, conforme pode ser observado na figura 25.

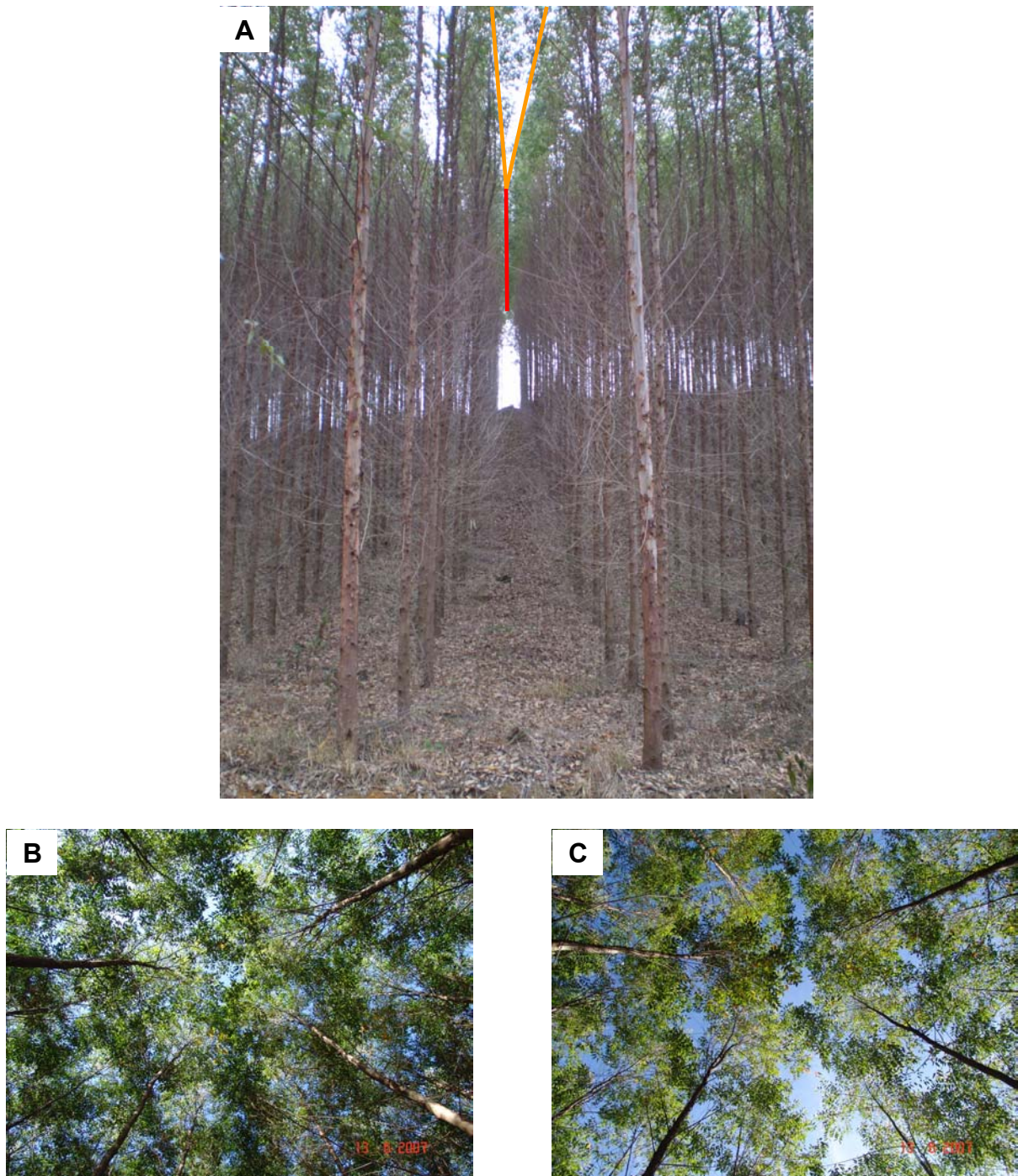


Figura 25 – Visão do dossel do plantio, demonstrando a diferença de abertura de copas no divisor e na encosta lateral. A = perspectiva conjunta do dossel, com maior abertura na encosta lateral (linhas laranjas) que no divisor (linha vermelha). B = vista inferior do dossel no divisor; C = vista inferior do dossel na encosta lateral.

A área basal apresentou uma tendência de aumento até o mês de Julho de 2007, estabilizando a partir deste mês, demonstrando que os troncos dos eucaliptos apresentaram crescimento secundário (em largura) no período analisado (fig. 26). O domínio geomorfológico do divisor apresenta valores de área basal superiores ao

domínio de encosta em todo o período analisado, o que indica maior alocação de energia nos tecidos do tronco pelas árvores do divisor quando comparadas às árvores localizadas na encosta lateral. Esse resultado por estar relacionado com o maior investimento em sustentação por parte das árvores da encosta lateral por se localizarem em terreno mais íngreme, o que resultaria num maior desenvolvimento das raízes mais grossas, relacionadas com a sustentação do corpo vegetal, e um menor investimento nos troncos.

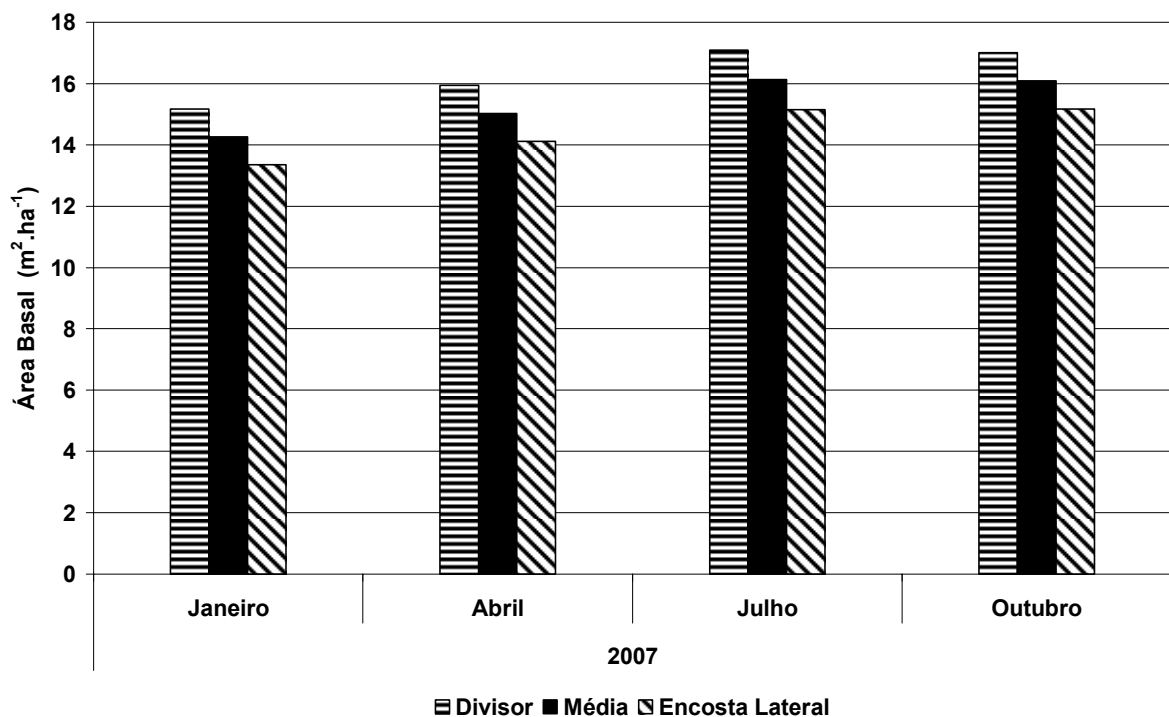


Figura 26 – Área basal do plantio de eucalipto na comparação entre o domínio de divisor e de encosta lateral.

Resultado do DAP (11,70 cm) obtido por Zaia & Gama-Rodrigues (2004) para um plantio de três diferentes espécies de seis anos de idade é bastante similar ao encontrado neste estudo (11,2 cm) em Outubro de 2007. Entretanto, na comparação com o estudo de Gama-Rodrigues & Barros (2002), o valor é inferior ao encontrado por esses autores para um plantio de *Eucalyptus grandis x urophylla* de 16 anos de

idade (DAP = 22,3 cm). A área basal na área de estudo (AB = 16,1 m².ha⁻¹) foi superior ao valor de 12,06 m².ha⁻¹ encontrado por Zaia & Gama-Rodrigues (*op cit.*), e menor que o valor que Gama-Rodrigues & Barros (*op cit.*) obtiveram (30,1 m².ha⁻¹). Esses valores se diferenciam devido às variadas densidades dos plantios, sobrevivência das árvores e DAP nesses estudos.

6.3 PRECIPITAÇÃO

No período analisado (07/10/2006 a 31/12/2007) ocorreram 323 dias sem chuva (71,8% do total de dias) e 127 dias chuvosos (28,2% do total). A precipitação no posto Monte Alegre se distribuiu de forma bastante irregular (fig. 27), sendo Novembro de 2006 o mês mais chuvoso (319 mm) e Agosto de 2007 o mais seco, sem nenhuma ocorrência de chuva ao longo de todo o mês. A maior precipitação diária ocorreu no dia 22 de Janeiro de 2007, com o índice pluviométrico de 90 mm.

Como se pode observar na figura 27, existiu decréscimo de chuva a partir do mês de Fevereiro de 2007 (99 mm) para menos de um terço do mês anterior (310 mm). Essa queda perdurou até o mês de Abril, mês este que ocorreram apenas cinco dias chuvosos, sendo interrompida pela maior precipitação no mês de Maio (98 mm) e posteriormente seguida por meses bastante secos (Junho, Julho, Agosto e Setembro).

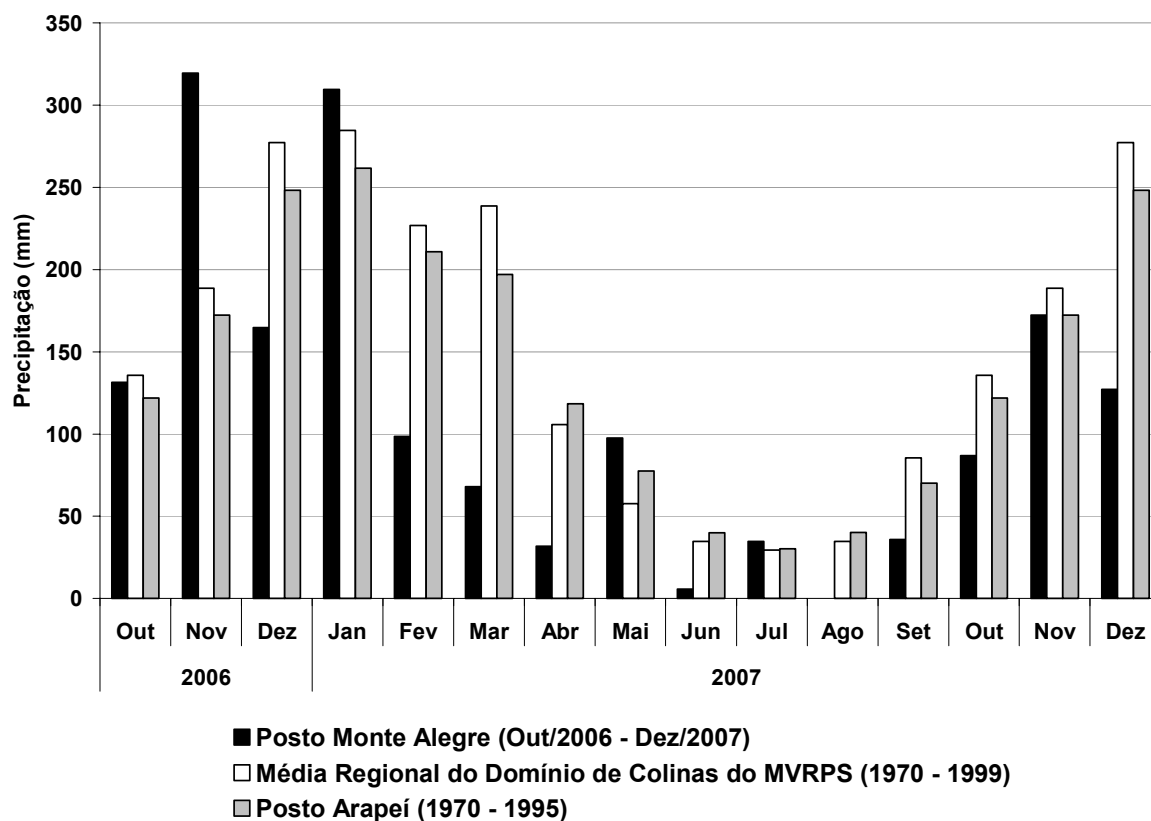


Figura 27 – Regime de distribuição de chuvas mensais: posto Monte Alegre (totais mensais de Outubro/2006 – Dezembro/2007), média regional do domínio de colinas (1970-1999) e médias do posto Arapeí (1970 – 1995).

Os meses de Novembro de 2006, Janeiro, Maio e Julho de 2007 foram os únicos meses que apresentaram índices pluviométricos superiores à média regional no domínio de colinas do MVRPS (1970–1999). Entretanto, o período de Fevereiro à Abril apresentou índice pluviométrico acumulado 65% inferior a essa média histórica, demonstrando que a pequena precipitação em Fevereiro não foi só a ocorrência de um índice atípico para este mês, mas sim o indicador que o período seco no ano de 2007 foi mais extenso e iniciou-se a partir deste mês, visto que os índices pluviométricos não se aproximaram dos seus valores médios nos dois meses subsequentes. Na análise da precipitação acumulada de Janeiro à Dezembro de 2007 (1068 mm) observa-se um decréscimo de 37% na comparação com a média do domínio de colinas do MVRPS (1700 mm) e 33% em relação à média do posto

Arapeí (1588 mm), que é a estação pluviométrica mais próxima da área de estudo, indicando que 2007 foi um ano bastante seco.

Baseado na análise da frequência das classes de precipitação diária (fig. 28 e tab. 05), constata-se que as precipitações inferiores à 5 mm foram as mais freqüentes (33,6%) no posto Monte Alegre, seguindo uma tendência de decréscimo para as maiores precipitações diárias. Na comparação com o posto Arapeí as chuvas de 0–5 mm no posto Monte Alegre foram menos freqüentes, sendo superiores nas classes de 5–10 e 10–20 mm, inferior na classe 30–50 e praticamente com a mesma ocorrência nas demais classes.

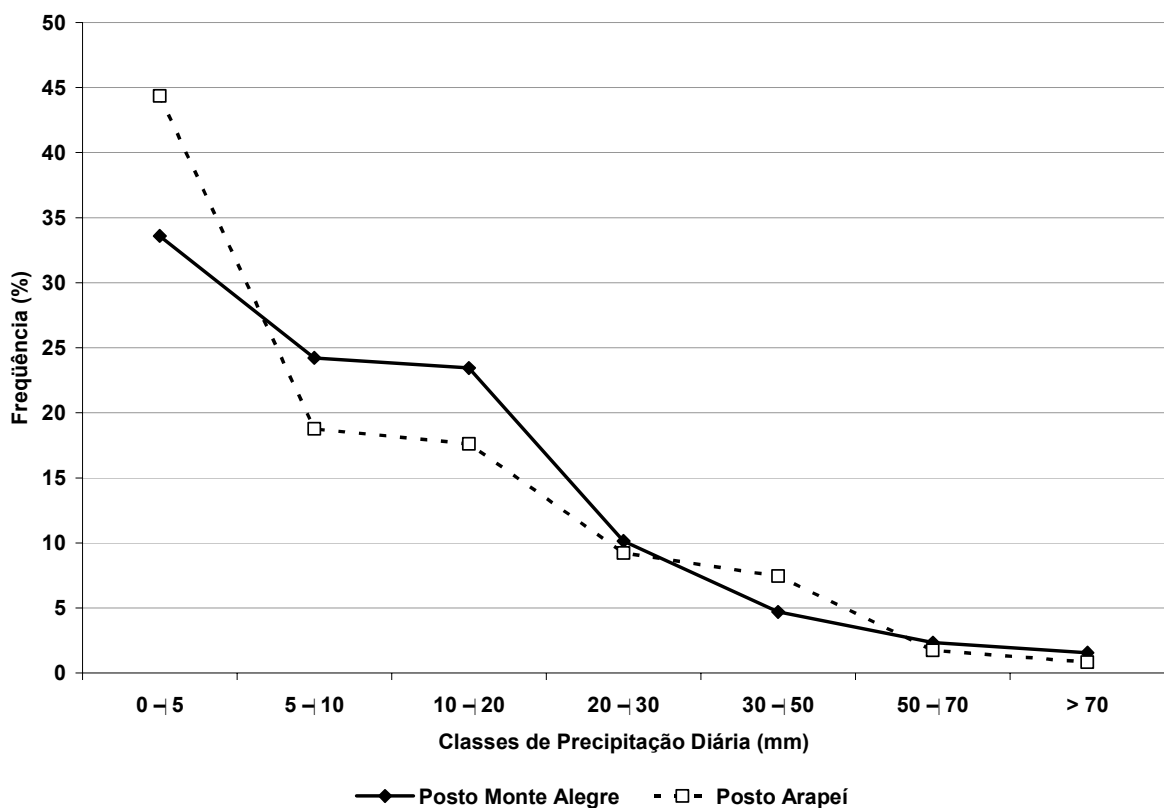


Figura 28 – Distribuição de frequência das classes de precipitação diária no posto Monte Alegre (Outubro/2006- Dezembro/2007) e Arapeí (Janeiro/1970 – Dezembro/1995).

Tabela 05 – Representação da ocorrência de chuvas por classes para os postos Monte Alegre e Arapeí.

Classes (mm)	Posto Monte Alegre		Posto Arapeí	
	% Total de Dias	% Dias Chuvosos	% Total de Dias	% Dias Chuvosos
0	71,6		62,6	
0-5	9,5	33,6	16,6	44,4
5-10	6,9	24,2	7,0	18,8
10-20	6,7	23,4	6,6	17,6
20-30	2,9	10,2	3,5	9,2
30-50	1,3	4,7	2,8	7,4
50-70	0,7	2,3	0,7	1,7
> 70	0,4	1,6	0,3	0,8

Na análise das precipitações mensais no posto Monte Alegre na comparação com a média histórica do posto Arapeí verifica-se que nos meses mais discrepantes (Novembro e Dezembro de 2006, Fevereiro, Março, Agosto e Dezembro de 2007) também ocorreram variações na distribuição das precipitações (fig. 27).

Em Novembro de 2006 chama a atenção o fato de não ter ocorrido nenhuma precipitação diária menor que 5 mm entre todos os 14 dias chuvosos, demonstrando que as precipitações diárias foram maiores que o esperado. As classes 5–10 mm e 10–20 mm foram as mais freqüentes (25,0% cada uma), seguidas por uma similaridade de ocorrência entre as classes 20–30, 30–50 e 50–70 mm, com 16,7% de participação cada uma dessas. Mesmo ocorrendo doze dias chuvosos, dois a menos que o esperado, neste mês choveu 85% acima da média. A justificativa está na ocorrência de precipitações diárias de maior altura, conforme discutido anteriormente e demonstrado na figura 29.

Já no mês seguinte, a precipitação acumulada foi 34% abaixo da média do posto Arapeí. Embora tenham ocorrido 16 dias com chuva em Dezembro de 2006, essas chuvas foram de pequena altura, sendo as classes de menor altura de chuva (0–5, 5–10 e 10–30 mm) as mais representadas, não ocorrendo nenhuma chuva superior a 30 mm, o que justifica os baixos índices de chuva para este mês.

Embora as precipitações de 0–5 mm nos meses de Fevereiro tendam a ser as mais freqüentes na análise histórica (36,1%), no mês de Fevereiro de 2007 essa classe esteve tão representada quanto à de 30–50 mm, ambas com 33,3% de participação. Ocorreram apenas seis dias chuvosos neste mês (21,4% do total de dias), enquanto na média os dias com chuva representam mais da metade de todo o mês (50,1%), o que fez com que a precipitação acumulada em Fevereiro de 2007 atingisse apenas 47% do total esperado.

No mês de Março de 2007 o índice pluviométrico foi 64% abaixo da média do posto Arapeí, reafirmando que o início do período seco no ano de 2007 foi antecipada. Também ocorreram alterações na distribuição das precipitações, sendo mais freqüentes as classes de 5–10 mm e 10–20 mm, com 33,3% de representação cada uma. Na média histórica a classe mais representativa é a de 0–5 mm, com 44,0% de representação. Em média ocorrem 16 dias com chuva em Março, mas no mês analisado foram apenas seis, o que justifica os baixos índices pluviométricos indicados.

A ausência de chuva ao longo de todo mês de Agosto de 2007 chama a atenção. Pela série histórica do posto Arapeí, Agosto é o segundo mês mais seco de todo o ano, com média de precipitação de 40 mm, só sendo superado por Julho, quando os índices médios são de apenas 30 mm. Em geral ocorrem apenas seis dias com chuva neste mês, com maior freqüência dos dias com chuvas de menor altura, como, por exemplo, as precipitações na faixa de 0–5 mm, que representam mais da metade do total de dias chuvosos (61,1%).

Dezembro de 2007 também foi um mês que apresentou resultados bastante discrepantes na comparação com o posto Arapeí. Neste mês choveu apenas 51% do total esperado e ocorreram apenas treze dias chuvosos, quando a média é de

dezoito. A classe 0–5 mm foi igualmente representada na comparação com o posto Arapeí, embora não tenha sido verificada a ocorrência de nenhum dia com precipitação superior a 30 mm, sendo essa a principal explicação para os baixos índices de chuva.

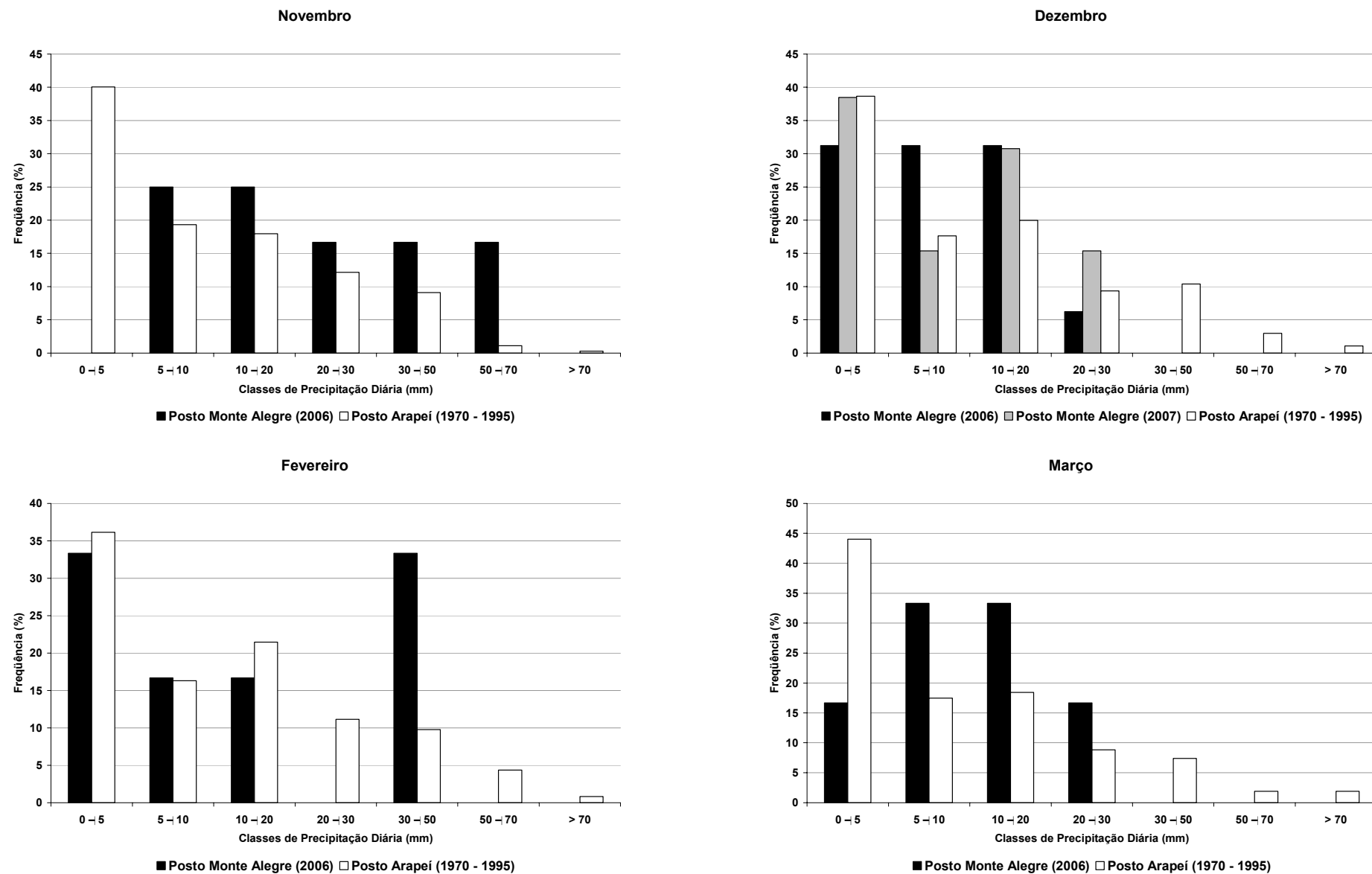


Figura 29 – Distribuição das classes de precipitação diária do posto Monte Alegre e do posto Arapeí (1970 – 1995).

Para fins de aferição das medidas de precipitação pelos pluviômetros realizou-se uma análise da relação do desvio padrão pela média de precipitação diária dos três pluviômetros inicialmente colocados no posto Monte Alegre (fig. 30).

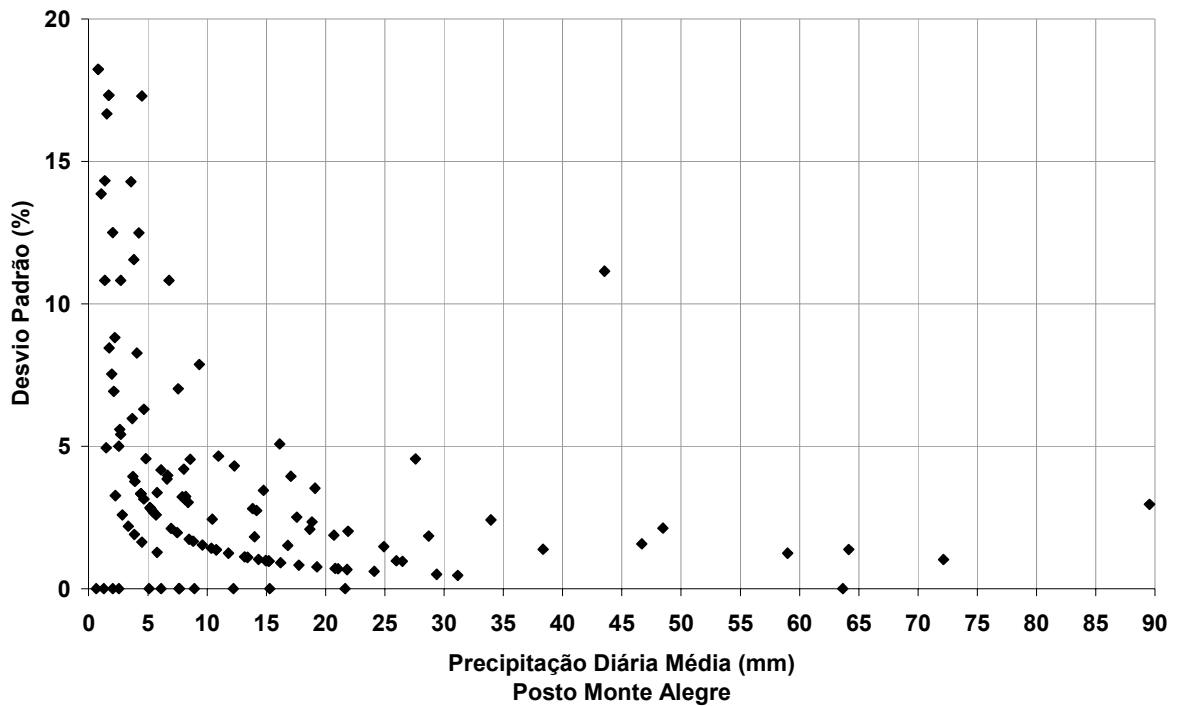


Figura 30 – Relação da precipitação diária média e o desvio padrão dos pluviômetros do posto Monte Alegre.

Observa-se que os maiores desvios são registrados nas precipitações diárias menores que 5 mm, o que se traduz em maiores imprecisões nessas medidas de pequena altura de chuva. O desvio nessa faixa pode estar relacionado com a faixa ótima de leitura dos aparelhos (pluviômetro e proveta), ou às próprias características de distribuição espacial das precipitações com altura ≤ 5 mm. Entretanto, o desvio padrão ao longo de todo o período chuvoso é de 3,2%, o que indica repetibilidade dos dados de precipitação apresentados.

Em Setembro de 2007 foram instalados mais três pluviômetros no posto Gasoduto, que fica mais próximo da área onde foi medido o atravessamento e a

intercepção, a fim de comparar se as medidas dos pluviômetros no posto Monte Alegre eram similares (fig. 31).

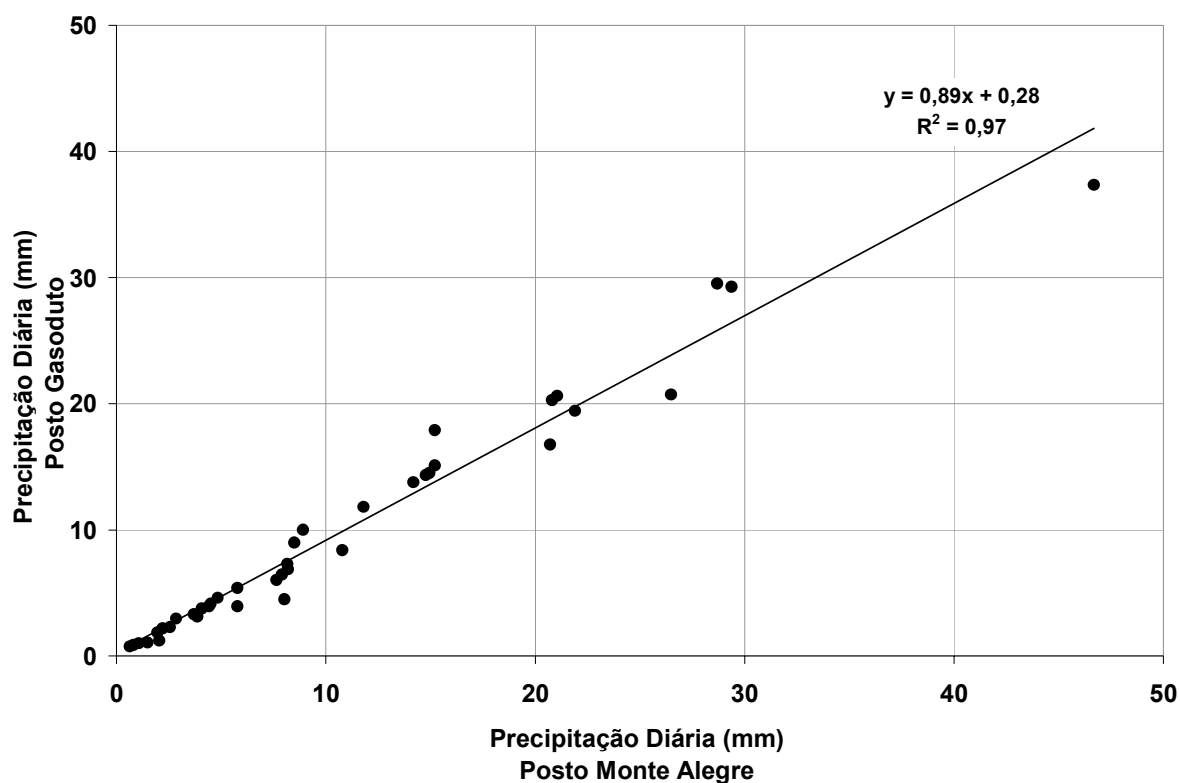


Figura 31 – Correlação da precipitação diária entre o posto Monte Alegre e Gasoduto.

Observa-se que no posto Gasoduto as precipitações diárias são inferiores ao do posto Monte Alegre na ordem de 8% (fig. 32). Esses resultados indicam que as chuvas no MVRPS são bastante localizadas, com variações significativas mesmo considerando pequenas distâncias, como é o caso entre os dois postos, que estão distantes por apenas 442 m e por um desnível de 45 m.

Embora essas medidas apresentem diferenças (fig. 32), mas como nem toda a faixa de variação dos dados do posto Monte Alegre está compreendida na correlação acima, além do fato da série temporal de aquisição de dados deste posto ser mais extensa que a do posto Gasoduto, foi definida a utilização dos dados do

posto Monte Alegre para a determinação dos valores de atravessamento e intercepção pelas copas das árvores de eucalipto, conforme será demonstrado e discutido posteriormente.

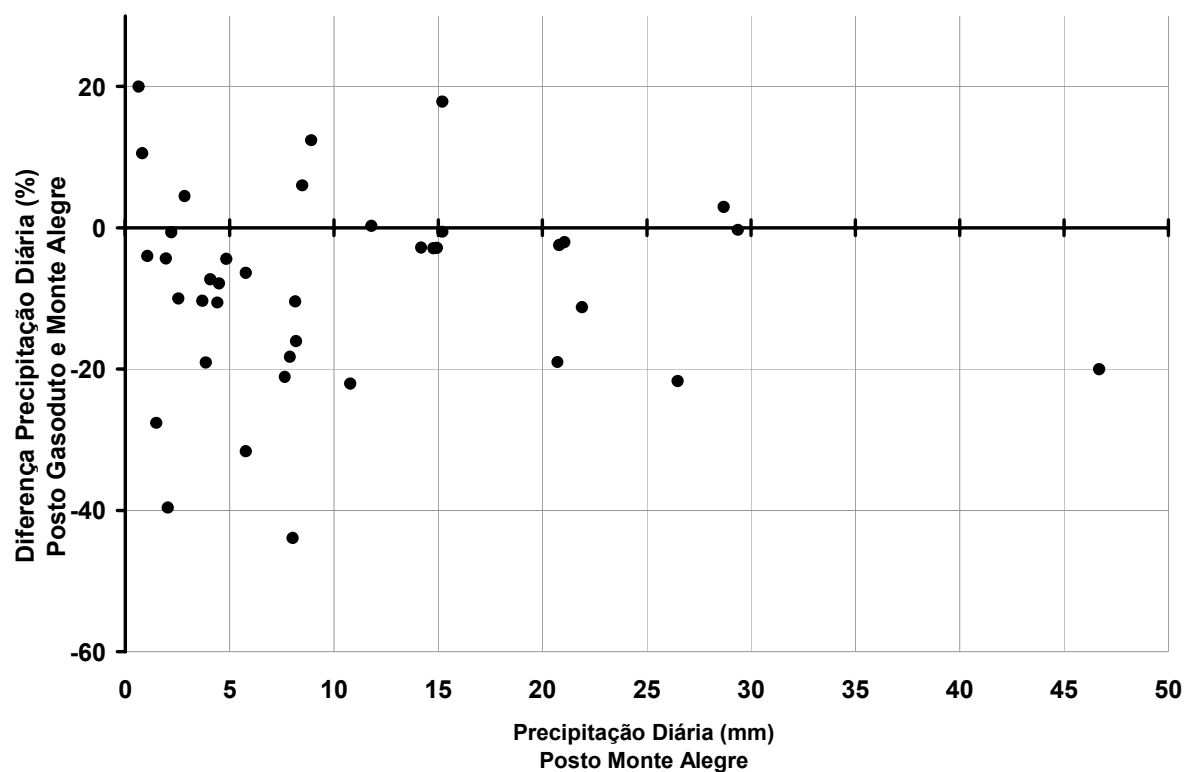


Figura 32 – Diferença (%) da precipitação diária entre o posto Gasoduto e Monte Alegre.

Na figura 33 está representada a relação da precipitação diária média e o desvio padrão dos postos Monte Alegre e Gasoduto para o mesmo período de medição (03/09/2007 – 31/12/2007).

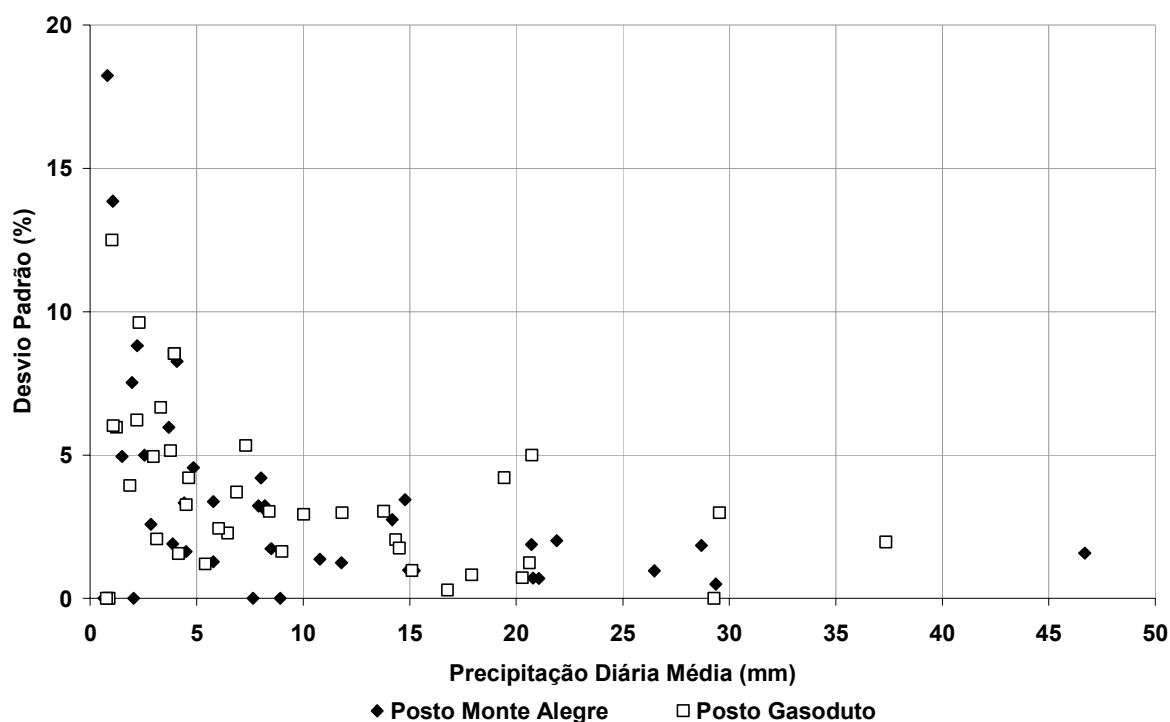


Figura 33 – Relação da precipitação diária média e o desvio padrão dos pluviômetros do posto Monte Alegre e do posto Gasoduto.

Embora os índices pluviométricos no posto Gasoduto sejam inferiores ao do posto Monte Alegre, conforme indicado anteriormente, as variações das medidas no posto Gasoduto apresentam similaridade a outra, com maiores desvios nas precipitações de menor altura, com uma tendência de decréscimo para as maiores precipitações diárias. Como discutido anteriormente, essa variabilidade pode estar relacionada com a faixa ótima de leitura dos aparelhos ou à própria variabilidade espacial das menores precipitações.

Realizou-se uma comparação entre os dados do pluviômetro digital e os três pluviômetros convencionais do posto Monte Alegre. Os dados de chuva dos dias 03 e 29/09/2007 não foram comparados entre os instrumentos uma vez que ocorreu falha na aquisição dos dados no pluviômetro digital. Na avaliação comparativa entre eles, verificou-se que os diferentes instrumentos apresentaram correlação de 99%, o

que indica que eles se comportam de maneira sincronizada, conforme esperado (fig. 34).

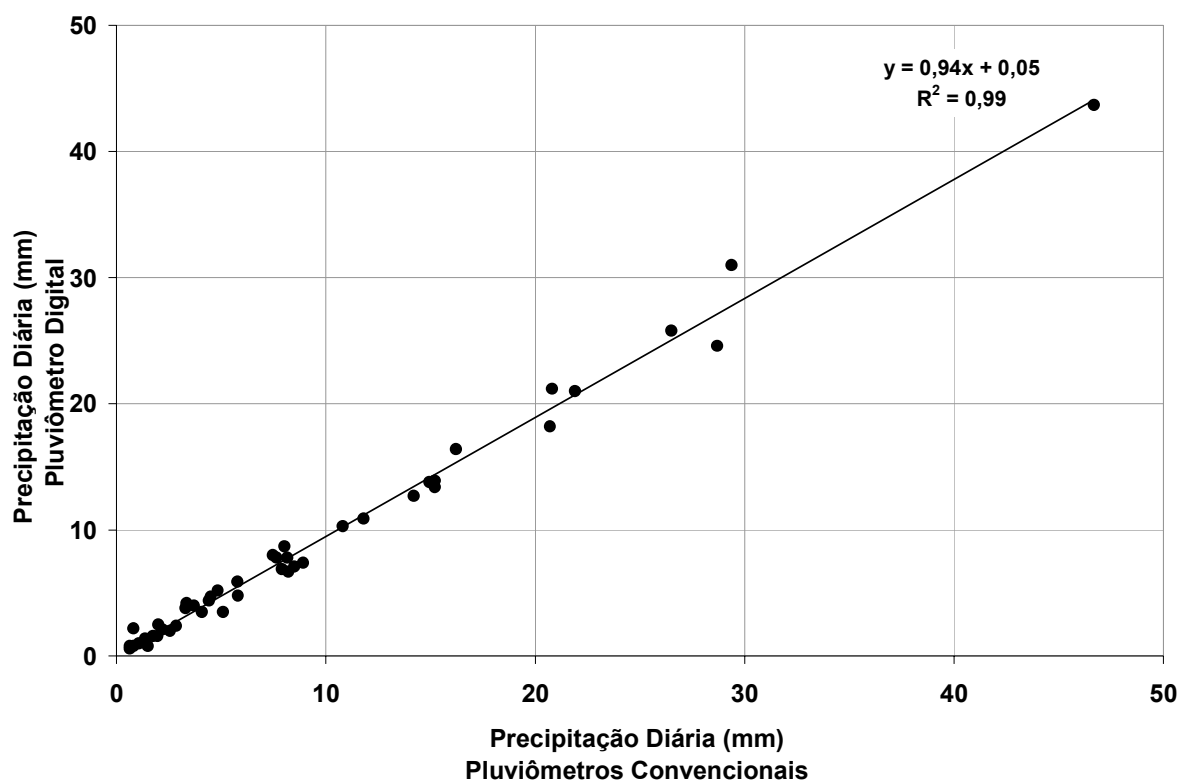


Figura 34 – Correlação da precipitação diária entre a média dos três pluviômetros convencionais e o pluviômetro digital do posto Monte Alegre.

Os dados, em média, foram 4% inferiores no pluviômetro digital, demonstrando que as medidas realizadas nos outros instrumentos são fidedignas. As maiores divergências na comparação dos instrumentos foram encontradas nas precipitações < 5,0 mm, o que reforça a proposição anterior de que as precipitações dessa classe são mais variáveis espacialmente, o que gera maiores divergências entre os pluviômetros (fig. 35).

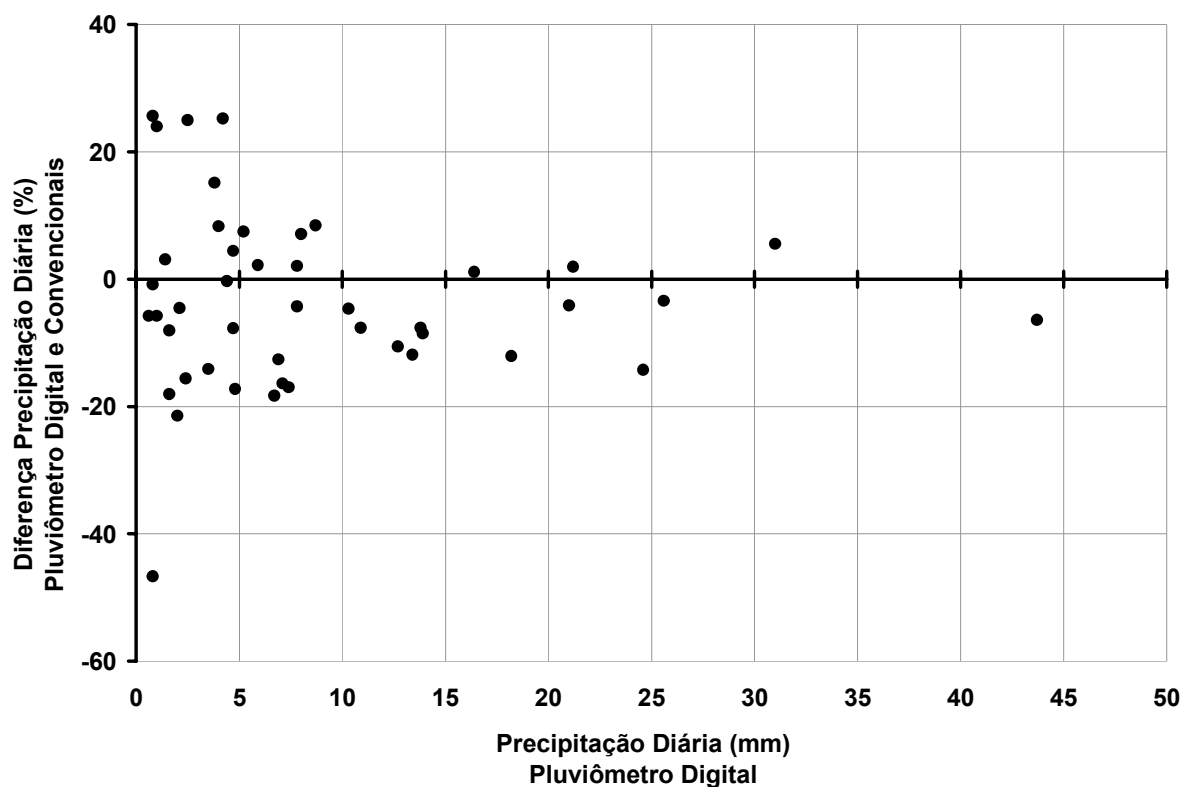


Figura 35 – Diferença (%) da precipitação diária entre o pluviômetro digital e a média dos três pluviômetros convencionais do posto Monte Alegre.

Através da interpretação da figura 36, constata-se que existe uma tendência da intensidade de chuva se correlacionar positivamente com a precipitação diária, mas essas variáveis não estão intimamente ajustadas, uma vez que o coeficiente de correlação é de 0,45.

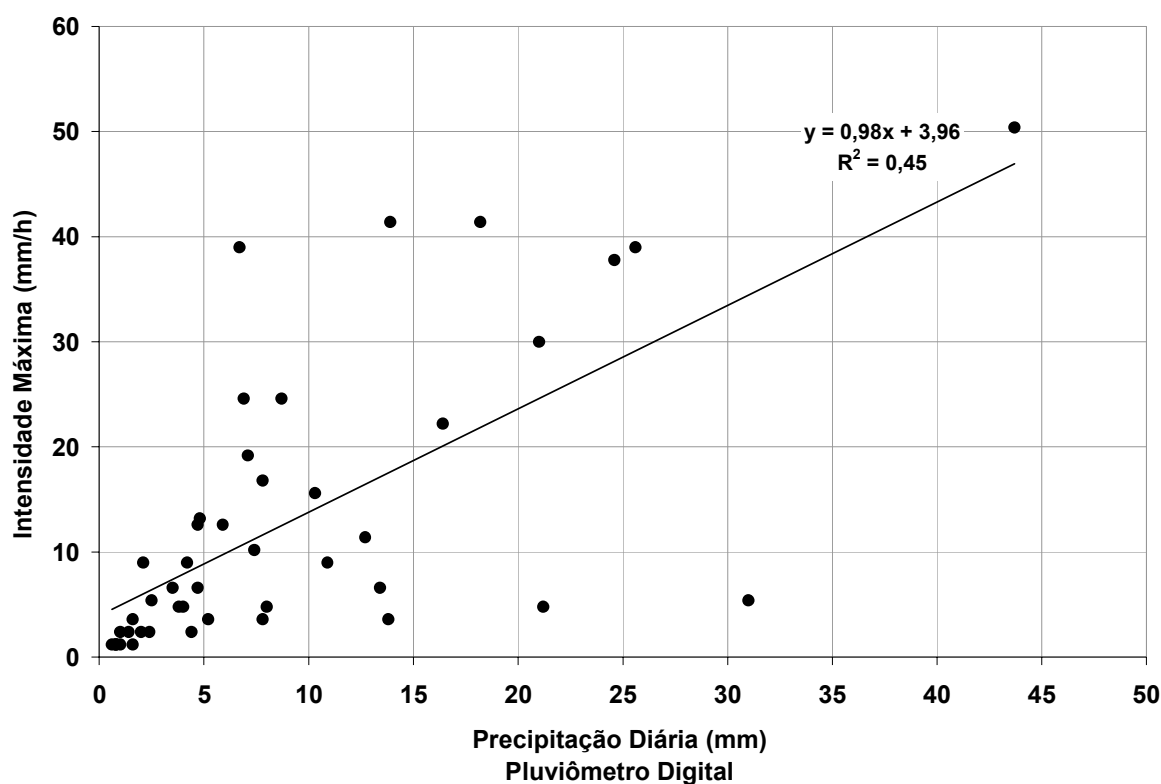


Figura 36 – Correlação da precipitação diária e a intensidade máxima da precipitação observada para o mesmo dia no pluviômetro digital.

6.4 INTERCEPÇÃO PELAS COPAS

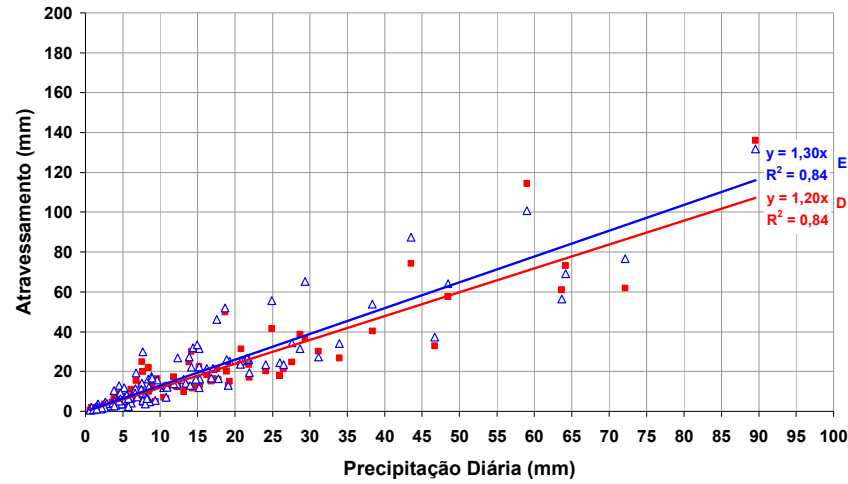
6.4.1 Pluviômetros Cilíndricos

Os dados referentes ao dia 23/01/2007 e 17/04/2007 foram retirados da análise por apresentarem inconsistência. Baseado na análise dos doze pluviômetros cilíndricos instalados abaixo do dossel do eucalipto foi observado que existe maior atravessamento na encosta lateral (E) (130%) que no divisor (D) (110%), e maior atravessamento junto ao tronco (JT) (153%) que entre os troncos (ET) (88%), conforme demonstrado na tabela 06.

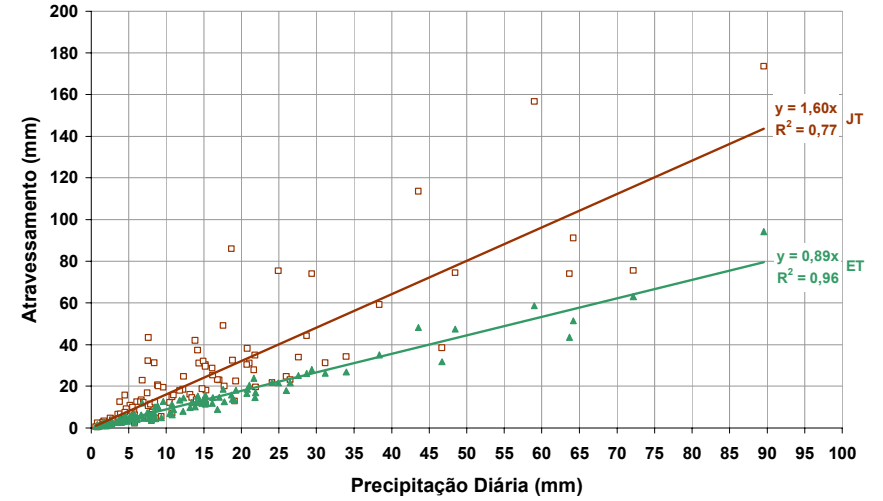
Tabela 06 – Atravessamento (%) nas situações analisadas.

	Divisor	Encosta	JT	ET
MÉDIA ± (S)	110 ±(50)	130 ± (59)	153 ± (88)	88 ± (23)
MÁX	330	392	567	187
MÍN	37	44	39	42

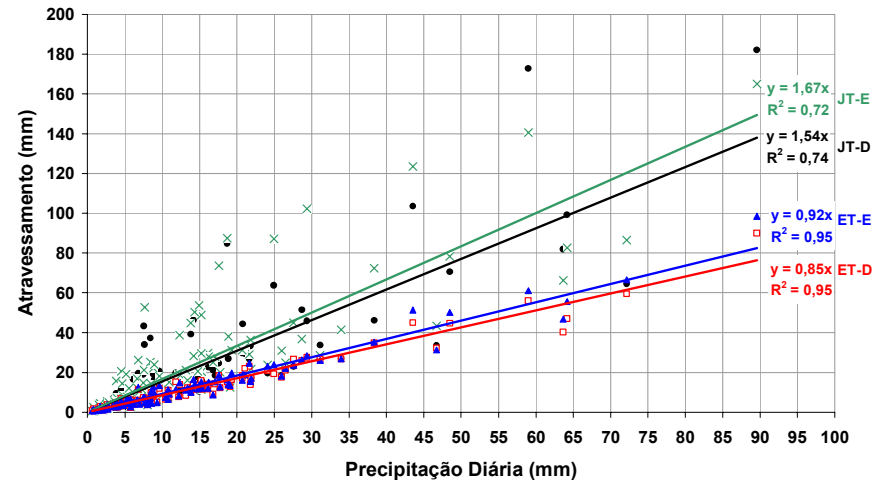
A diferença dos resultados na comparação dos pluviômetros no divisor e na encosta é menor que nas posições JT e ET. Isso nos levou a analisar os resultados, buscando entender quais fatores justificam os valores nas diferentes posições. Para isso, foram realizadas diversas correlações, conforme demonstrado na figura 37.



■ Divisor ▲ Encosta



□ Junto ao Tronco ▲ Entre os Troncos



• JT-D × JT-E □ ET-D ▲ ET-E

Figura 37 – Correlação entre a precipitação e o atravessamento em diversas posições. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos.

Baseado na interpretação dos gráficos acima verifica-se que o atravessamento é maior na encosta lateral em virtude do maior atravessamento JT-E em comparação com JT-D e também dos maiores valores de ET-E na comparação com ET-D. O maior atravessamento na encosta está relacionado com a maior abertura no dossel no domínio de encosta, conforme discutido anteriormente e demonstrado na tabela 06 e figura 25.

Os dados de atravessamento JT indicam concentração de fluxos, visto que o atravessamento supera os 100%, enquanto ET é indicado um atravessamento de 88%, que corresponde a uma interceptação de 12%. A hipótese levantada para explicar esses resultados baseia-se na convergência de fluxos para próximo aos troncos que seria gerada pelos galhos, uma vez que eles apresentam arquitetura convergente, conforme representado na figura 38.

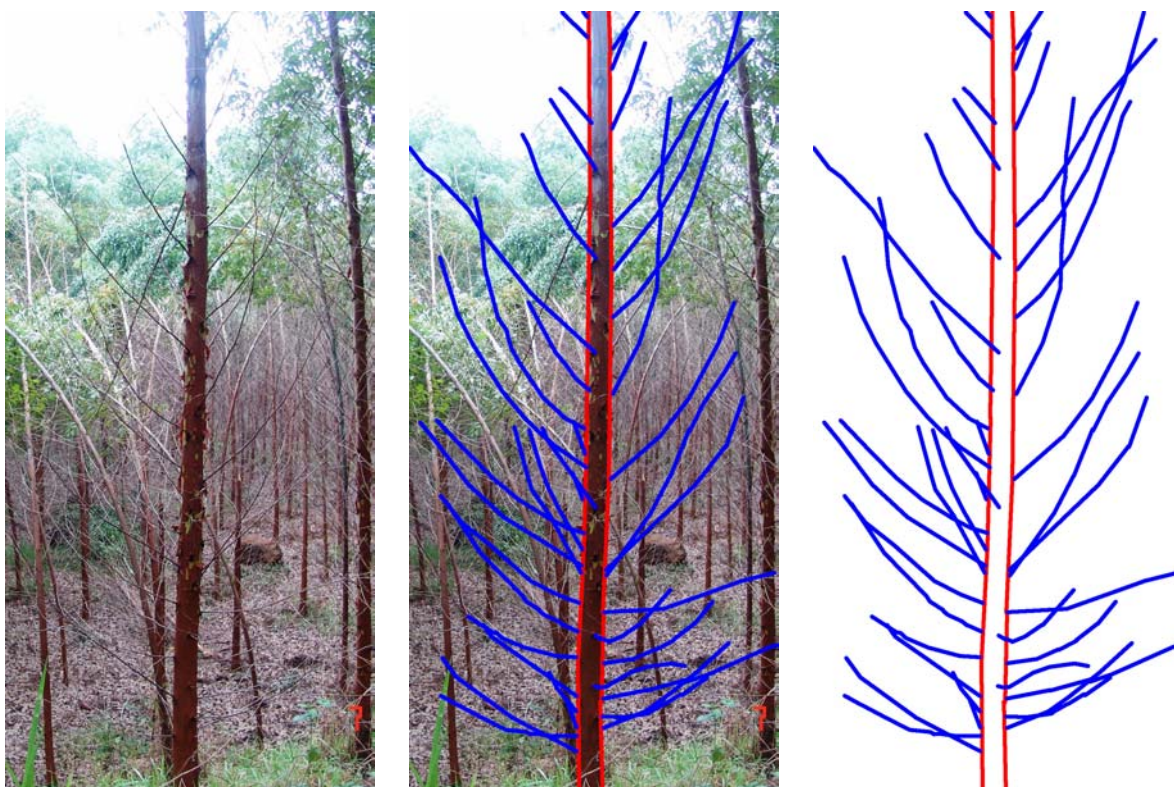


Figura 38 – Arquitetura convergente dos galhos do plantio de eucalipto.

A análise da dispersão dos dados nas diversas posições representada na figura 39 corrobora essa hipótese. Observa-se que os dados de dispersão no divisor e na encosta apresentam similaridade, ambas com grande dispersão, não sendo possível distinguir os dois grupos. Já na análise comparativa entre JT e ET, é observado que na posição JT são encontradas variações maiores que em ET, com grande distinção entre os dois conjuntos de dados. Na análise separada de cada uma das posições, verifica-se novamente que os pluviômetros JT-E e JT-D são os que apresentam os maiores desvios, enquanto ET-D e ET-E apresentam desvios inferiores.

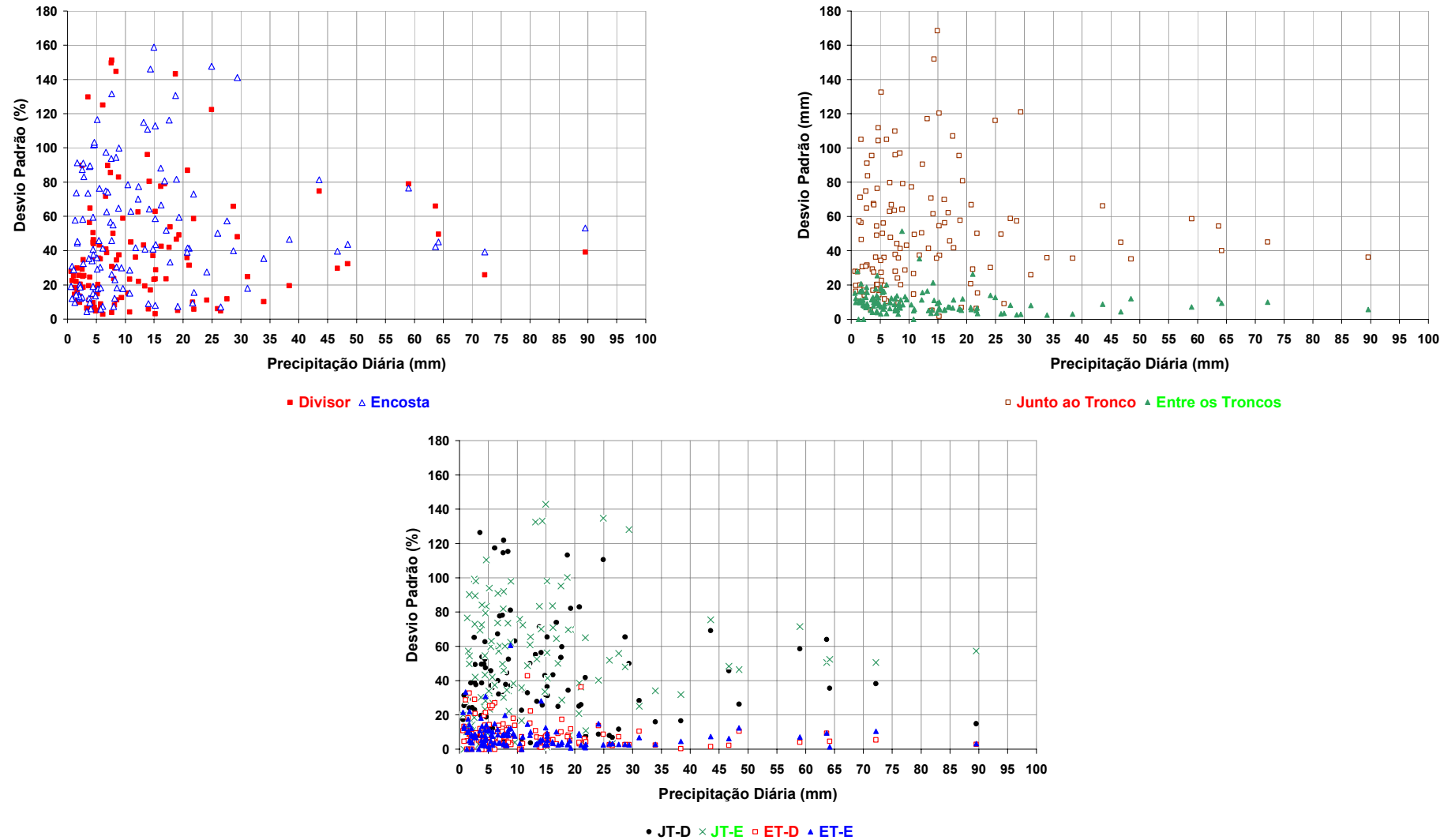


Figura 39 – Correlação entre a precipitação e o desvio padrão dos pluviômetros em diversas posições. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre os troncos.

Esses resultados indicam que os fluxos de atravessamento que chegam aos pluviômetros ET são oriundos apenas da água que atravessa o dossel logo acima dos mesmos, enquanto nos pluviômetros JT os fluxos de atravessamento provêm da água que atravessa o dossel bem próximo aos troncos sem ter a sua trajetória alterada acrescida daquela que é convergida pelos galhos de áreas mais distantes. Isto acaba tornando a contribuição do atravessamento para os pluviômetros JT muito mais heterogênea, visto que esses fluxos concentrados pelos galhos têm sua quantidade também definida pela arquitetura dos galhos (ângulo em relação ao tronco, densidade de galhos, distribuição espacial dos galhos) e pelas próprias características dos galhos (comprimento, número de ramificações, quantidade de folhas, entre outros), o que justifica essa maior variabilidade dos dados.

Com relação às implicações desse maior fluxo de atravessamento próximo aos troncos, tenderá a ocorrer infiltração dessa água no solo, pois neste ponto ocorre a maior concentração da malha de raízes. Conforme estudo de Silveira (2004) em ambiente florestal, as raízes formam caminhos preferenciais para a percolação da água no solo, gerando, inclusive, zonas saturadas suspensas logo abaixo das mesmas. Estudos em áreas com gramíneas para pastagem também indicam maior condutividade hidráulica na faixa de enraizamento, inclusive com a formação de uma faixa de saturação a 40 cm de profundidade na base das raízes (DEUS, 1991). No caso estudado, não é conhecido se essa água recarregará o aquífero, pois as raízes também são os locais de absorção de água. Estudos realizados por Zhou *et al.* (2002) no sul da China indicam uma menor umidade no solo nas áreas plantadas com espécies *Eucalyptus* do que em áreas com solo exposto, isso devido à absorção de água pelas raízes das espécies de *Eucalyptus*. Estudos de Sharda *et al.* (1998) realizados no sul da Índia indicam diferenças de

comportamento hidrológico entre a primeira e a segunda rotações num plantio de eucalipto, demonstrando que durante a segunda rotação ocorreu a redução do nível d'água quando comparado à primeira rotação, isto porque ocorreu um aumento da malha de raízes no perfil do solo. Sendo assim, se faz necessário desdobrar os estudos na área para compreender as alterações na hidrologia subterrânea provocada por esses plantios.

Resultados da literatura representados na tabela 07 indicam que a interceptação nas áreas de floresta ombrófila e plantios de *Eucalyptus* varia de 5,3% a 24,0%, sendo esta variação muitas vezes explicada pela idade dos plantios. Para efeito de comparação, em ambiente de floresta ombrófila os valores podem chegar até a 25,4%, como em Miranda (1992). Os resultados deste estudo apresentados anteriormente indicam a necessidade de cuidados na avaliação do fluxo de atravessamento e, conseqüentemente, dos valores de interceptação. Se todos os doze pluviômetros fossem agrupados para a obtenção de dados de atravessamento os resultados seriam surpreendentes, com valor de atravessamento de 126%. Miranda (1992), em seu estudo sobre a interceptação na floresta ombrófila densa do maciço da Tijuca/RJ, também discute que em alguns pluviômetros ocorriam, com freqüência, valores de atravessamento superiores a 100%.

Tabela 07 – Intercepção (I) pelas copas para florestas naturais de eucalipto, plantações e floresta ombrófila densa. D = divisor; E = encosta; ET = entre os troncos; JT = junto ao tronco.

Espécie	Condições	I (%)	Referência
<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	plantação, 3,5 anos, ET	12,3	Este estudo
<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	plantação, 3,5 anos, JT	-52,5*	Este estudo
<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	plantação, 3,5 anos, D	-10,4*	Este estudo
<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	plantação, 3,5 anos, E	-29,8*	Este estudo
<i>Eucalyptus camadulensis</i>	plantação, 7 anos	14,3	Karschon & Heth (1967) ^a
<i>Eucalyptus camadulensis</i>	plantação, 3 anos	7,1	Karschon (1971) ^a
<i>Eucalyptus camadulensis</i>	rebrota, 1 ano	5,3	Karschon (1971) ^a
<i>Eucalyptus melanopholia</i>	árvores isoladas	11,0	Prebble & Stirk (1980) ^a
<i>Eucalyptus obliqua</i>	regeneração, 40 anos	15,0	Feller (1981a) ^a
<i>Eucalyptus obliqua</i>	floresta adulta	18,0	Tsykin & Laurenson (1982) ^a
<i>Eucalyptus regnans</i>	floresta adulta	24,0	Brookes & Turner (1964) ^a
<i>Eucalyptus regnans</i>	floresta adulta	23,2	Duncan <i>et al.</i> (1978) ^a
<i>Eucalyptus regnans</i>	regeneração, 40 anos	18,7	Duncan <i>et al.</i> (1978) ^a
<i>Eucalyptus regnans</i>	regeneração, 40 anos	18,5	Feller (1981a) ^a
<i>Eucalyptus saligna</i>	plantação, 6 anos	12,2	Lima (1976) ^a
<i>Eucalyptus signata</i>	floresta adulta	22,0	Westman (1978) ^a
<i>Eucalyptus spp.</i>	floresta fechada	23,3	Duncan <i>et al.</i> (1978) ^a
<i>Eucalyptus spp.</i>	floresta aberta	10,6	Smith (1974) ^a e Smith <i>et al.</i> (1974) ^a
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	plantação, 6 anos	11,7	George (1978) ^a
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	plantação, 6 anos	11,5	Ghosh & Subba Rao (1979) ^a
<i>Eucalyptus umbra</i>	floresta adulta	22,0	Westman (1978) ^a
Floresta ombrófila densa	floresta fechada	25,4	Miranda (1992)
Floresta ombrófila densa	floresta fechada	17,0	Coelho Netto (1985)

* = atravessamento superior a 100%

^a = *apud* Lima (1996)

Na análise temporal representada na figura 40, podemos verificar que os dados na mesma posição em relação ao tronco quando analisados separadamente apresentam grande coincidência, respondendo similarmente aos impulsos de chuva. Na comparação dos pluviômetros JT e ET observa-se que os valores JT são bastante superiores aos de ET, sendo essas diferenças ainda maiores nos períodos mais úmidos. Essa maior diferença no atravessamento entre os pluviômetros JT e ET nos dias de maior precipitação está relacionada com a convergência dos fluxos para junto aos troncos, visto que, se a área de contribuição de chuva para os pluviômetros JT é maior que ET, quanto maior a chuva, mais distintos serão os valores de atravessamento em cada posição.

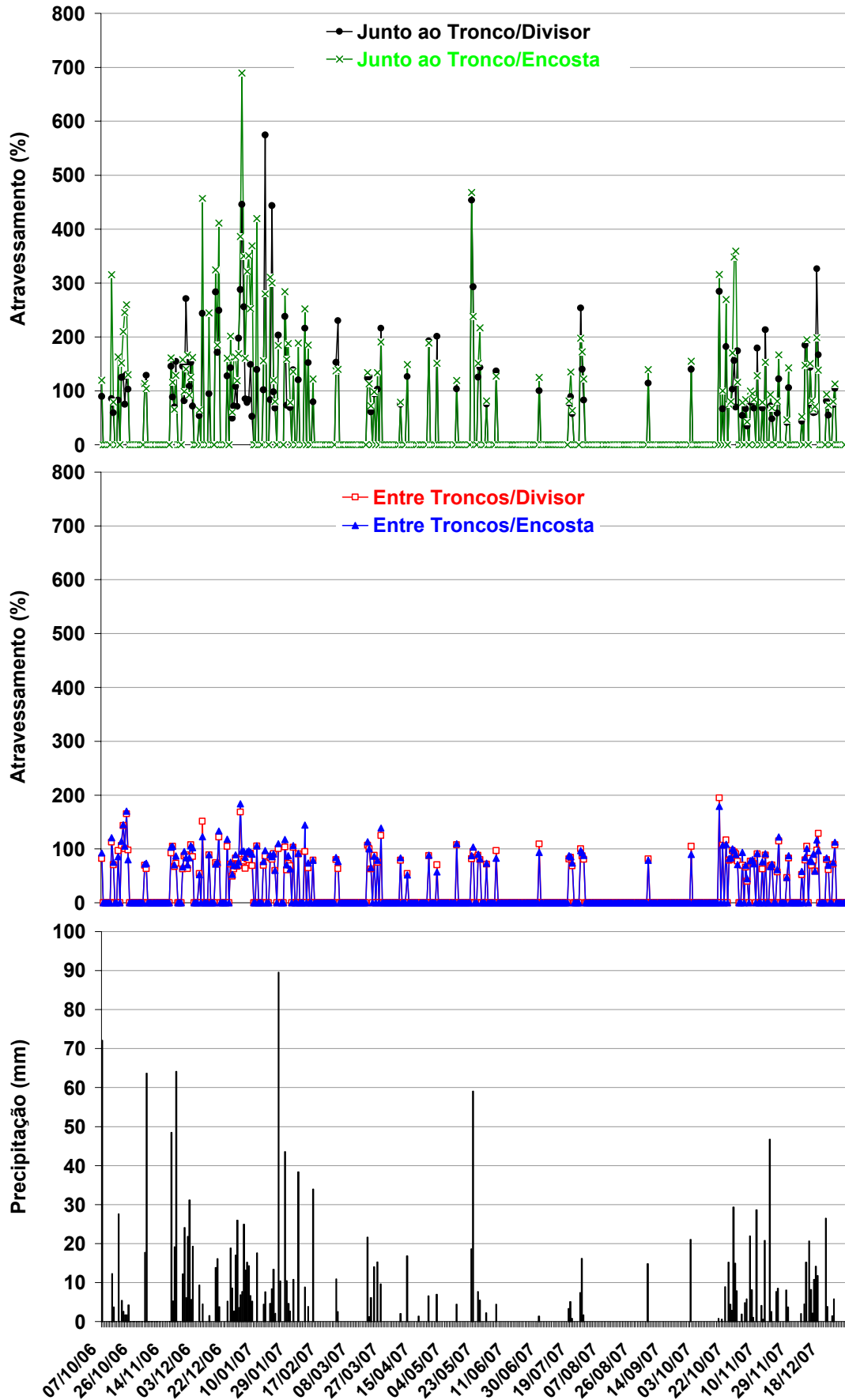


Figura 40 – Ritmo de precipitação diária (barras) e atravessamento (linhas) nas diferentes posições.

Em nenhum dia chuvoso foi observada a interceptação total da precipitação, mesmo para a chuva de apenas 0,6 mm que ocorreu no dia 18/10/2007, que apresentou valor de atravessamento médio de 95%. Este fenômeno de interceptação total das chuvas não ocorreu provavelmente devido ao espaçamento regular entre as árvores, à baixa densidade de árvores e à ocorrência de apenas uma espécie no plantio de eucalipto, sendo todos os indivíduos clonados, o que gera dificuldade no fechamento do dossel em virtude da grande homogeneidade do plantio e da inexistência de estratificação do dossel. Lima (1976), em seu estudo comparativo entre povoamentos de eucalipto e de pinheiros em Piracicaba/SP, também relata resultado semelhante, quando em nenhuma das 64 chuvas monitoradas, com uma variação de 0,8 – 65 mm, foi observado interceptação total da precipitação. Inclusive, na menor chuva analisada (0,8 mm) o atravessamento foi de 80%, sendo também explicado pela densidade do plantio e o não-fechamento completo do dossel. Lima (*op cit.*) supõe que à medida que o fechamento do dossel se complete o atravessamento só deverá ocorrer a partir de um determinado valor mínimo de chuva. No entanto, esse autor não faz nenhuma menção aos efeitos da intensidade de chuva e da umidade antecedente no fluxo de atravessamento, conforme será abordado a seguir.

Através da observação da figura 41 é possível afirmar que a intensidade máxima da chuva não foi uma variável que influenciou diretamente o atravessamento. Embora a faixa de variação do atravessamento seja bastante grande, observa-se que grandes atravessamentos foram encontrados em dias que apresentaram baixa intensidade de chuva e à medida que as intensidades de chuva aumentaram a faixa de variação se reduziu. Essa baixa correlação entre estas

variáveis indicam que outros fatores devem ser importantes para explicar o atravessamento, como a umidade antecedente, que será discutido a seguir.

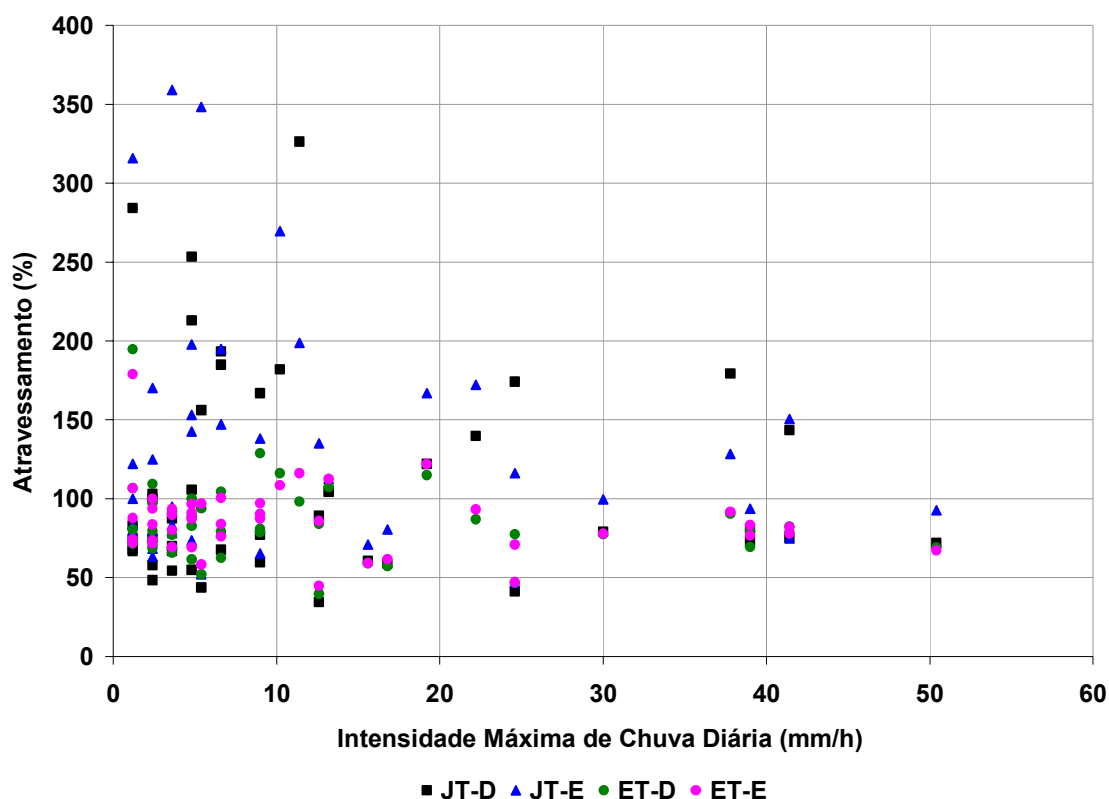


Figura 41 – Correlação da intensidade máxima da chuva diária e o atravessamento diário nos pluviômetros cilíndricos nas diversas posições. D = divisor, E = encosta, JT = junto ao tronco e ET = entre os troncos.

Comparou-se o atravessamento dos dias chuvosos que apresentaram no mínimo cinco dias de estiagem antecedente e aqueles dias que não apresentaram essa condição, sendo separadas em três classes distintas de precipitação diária (< 50% da média, média \pm 50% e > 50% da média). Foi definido como valor de corte 50% da média e não o desvio padrão, pois o desvio padrão da precipitação diária é muito elevado (88% da média), o que tornaria o intervalo da classe das menores precipitações muito reduzido.

Verifica-se que o atravessamento nos dias chuvosos antecidos por um período de estiagem não ocorre conforme o esperado, sendo esperado menor

atravessamento na comparação com os dias que não atendem a essa condição (tab. 08 e fig. 42). Para as chuvas da classe $< 6,6$ mm verifica-se um maior atravessamento nos dias antecedidos por estiagem em todas as situações, com grandes diferenças entre os dias com estiagem e sem estiagem. Na classe de valores intermediários, entre 6,6 e 19,6 mm, só não ocorre maior atravessamento na posição ET, mas mesmo assim a diferença no período de estiagem e sem estiagem é pequena (12%) quando comparada à posição JT (29%). Nessa faixa (entre 6,6 e 19,6 mm) a posição que explica mais fortemente o aumento no atravessamento ET são os pluviômetros posicionados em ET-D, com aumento do atravessamento de 85% para 102%. Já na faixa de precipitações $> 19,6$ mm existe maior atravessamento nos pluviômetros JT para os dias sem estiagem antecedente e um menor atravessamento ET nesta mesma situação.

Tabela 08 – Atravessamento (%) nas diversas posições divididas por classes de precipitação e em condições com e sem estiagem antecedente ≥ 5 dias. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos.

Precipitação	Situação	D	E	JT	ET	JT-D	JT-E	ET-D	ET-E
< 50% Média ($< 6,6$ mm)	Com Estiagem	177	180	219	138	217	222	138	138
	Sem Estiagem	95	120	128	87	106	151	85	89
Média \pm 50% ($6,6 < X < 19,6$ mm)	Com Estiagem	135	158	206	87	185	227	85	88
	Sem Estiagem	130	142	177	95	159	195	102	89
> 50% Média ($> 19,6$ mm)	Com Estiagem	119	126	143	102	136	150	101	102
	Sem Estiagem	113	125	153	85	142	163	83	88

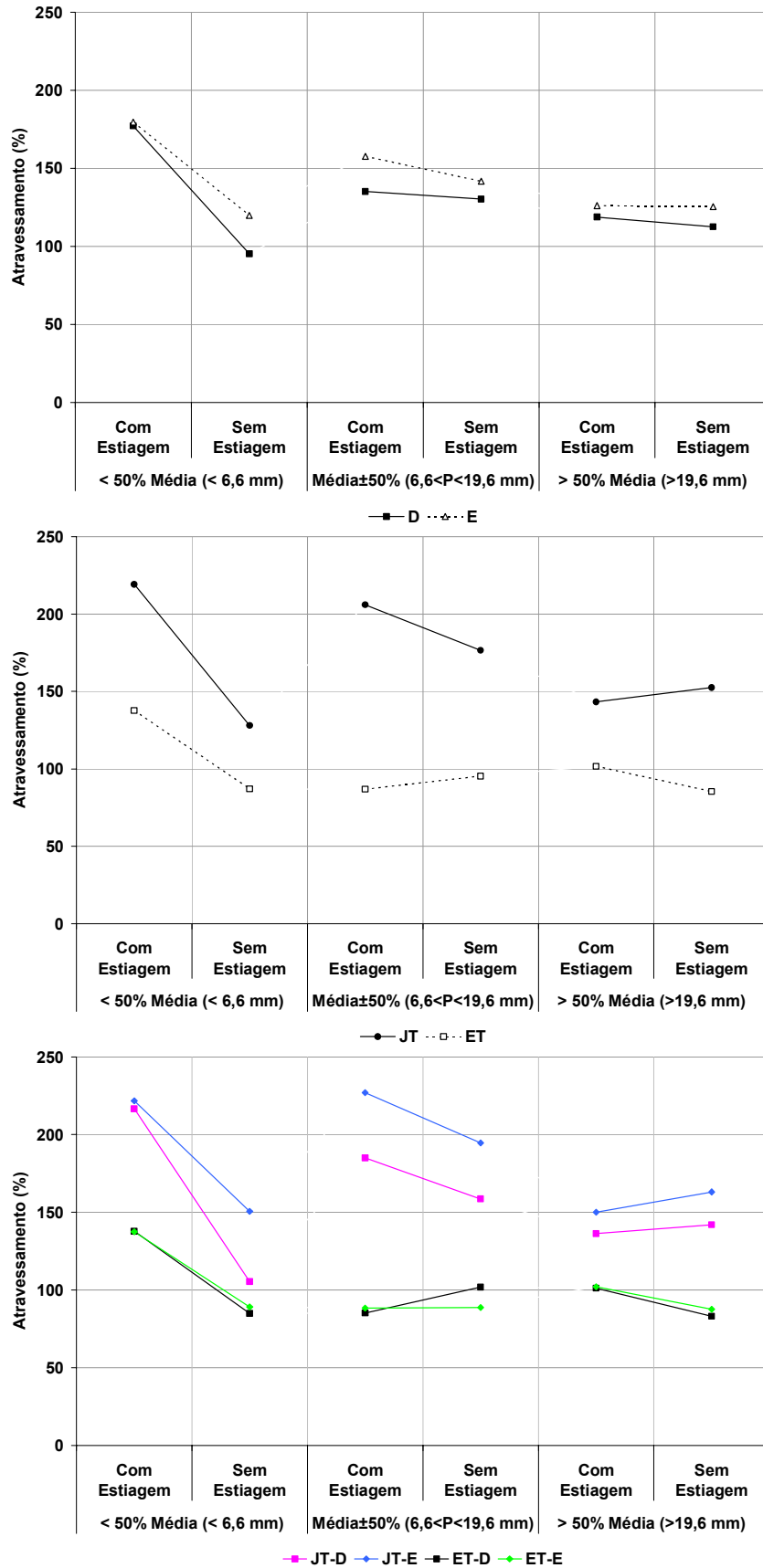


Figura 42 - Atravessamento (%) nas diversas posições divididas por classes de precipitação e em condições com e sem estiagem antecedente ≥ 5 dias. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos.

Os resultados indicam que a estiagem apresenta efeito contrário ao esperado, aumentando o atravessamento pelas copas no plantio de eucalipto. Segundo o estudo de Coelho Netto (1985) para o ambiente de floresta ombrófila densa no Maciço da Tijuca/RJ, o atravessamento é menor durante os meses secos, quando as copas arbóreas não estão saturadas, enquanto nos meses de maior umidade o atravessamento tende a ser maior, visto que ocorre saturação da capacidade de armazenamento das copas. Visando elucidar essa questão, para período de Outubro de 2006 a Dezembro de 2007 foi analisado o atravessamento diário nos cinco meses mais secos (Março, Abril, Junho, Julho e Setembro de 2007) e nos cinco meses mais úmidos (Outubro, Novembro, Dezembro de 2006, Janeiro e Novembro de 2007). Agosto de 2007 não foi inserido na análise dos meses mais secos pois não apresentou nenhum dia chuvoso, o que impossibilita a avaliação do atravessamento.

Constatou-se que nos meses mais secos o atravessamento foi superior ao dos meses úmidos, com maior diferencial nos pluviômetros ET, que recebem maior influência das folhas. Observa-se também que os pluviômetros JT-D também seguem essa tendência, sendo que esses pluviômetros recebem maior influência das folhas na comparação com JT-E, pois o dossel no divisor se encontra mais fechado e contínuo, conforme discutido anteriormente na seção 7.2. Desta forma, levanta-se a hipótese de que a estiagem provoca hidrofobia nas folhas, o que ocasiona maior atravessamento nos períodos mais secos (tab. 09 e fig. 43).

Tabela 09 – Atravessamento (%) nas diversas posições nos cinco meses mais secos e mais úmidos da série histórica de Outubro de 2006 a Dezembro de 2007. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos.

Situação	D	E	JT	ET	JT-D	JT-E	ET-D	ET-E
Meses Secos	132	134	165	101	163	167	101	102
Meses Úmidos	109	137	160	87	134	185	84	89

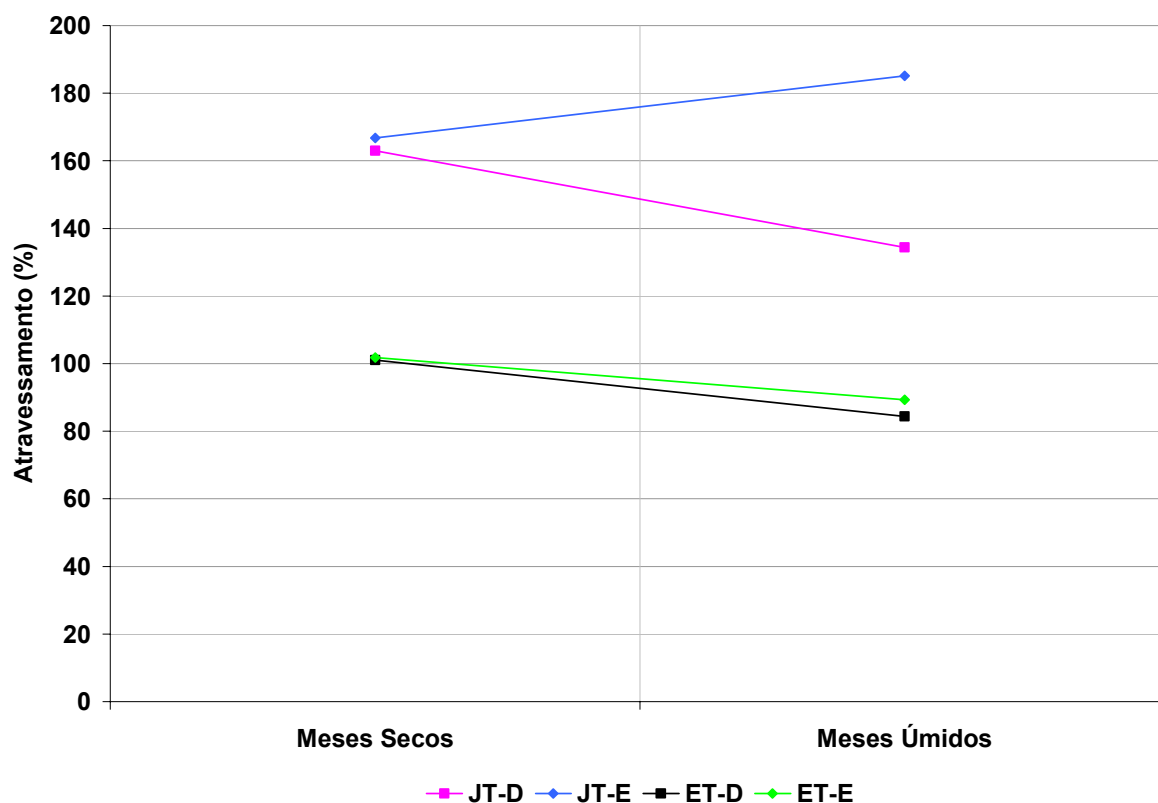


Figura 43 – Atravessamento (%) dos pluviômetros cilíndricos nas diversas posições nos cinco meses mais secos e mais úmidos da série histórica de Outubro de 2006 a Dezembro de 2007. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos.

6.4.2 Pluviômetros em Calha

Com relação aos pluviômetros em calha, os dados referem-se ao período de 22 de Dezembro de 2006 à 31 de Dezembro de 2007. Em cinco dias chuvosos ocorreram problemas, pois ocorreu o transbordamento dos galões coletores da chuva de atravessamento. Nesses casos foram utilizados os valores de enchimento

máximo dos galões, mas é sabido que o volume de atravessamento supera os valores adotados.

Conforme se observa na tabela 10, o resultado de atravessamento nos pluviômetros em calha foi maior no divisor (92%) do que na encosta (87%). Esses dados são distintos dos encontrados para os pluviômetros cilíndricos, nos quais o atravessamento na encosta foi superior ao do divisor. Essa diferença entre os instrumentos pode tanto estar relacionada com os fluxos de atravessamento que não são considerados nos pluviômetros cilíndricos, uma vez que eles apresentam medidas pontuais, como também pelo menor número de réplicas das calhas, que pode trazer maior nível de imprecisão na amostragem.

Tabela 10 – Atravessamento (%) nas calhas no domínio de divisor e de encosta.

Posição	Divisor	Encosta
MÉDIA ± (S)	92 ± (49)	87 ± (41)
MÁX	470	396
MÍN	22	31

Baseado nos dados dos pluviômetros em calha observa-se que a interceptação foi da ordem de 8% no divisor e 13% na encosta, sendo o valor médio considerando os dois domínios geomorfológicos de 10%. Esses valores de interceptação estão na faixa de variação de interceptação para plantios de eucalipto demonstrado na tabela 07.

É observado que os pluviômetros em calha apresentaram menor desvio padrão quando comparado aos pluviômetros cilíndricos (fig. 44), que chegaram a apresentar desvio padrão > 140%. O fato desses instrumentos integrarem grande parte da heterogeneidade interna dos plantios de eucalipto acarreta nos menores desvios dos dados, mostrando que esses instrumentos são mais indicados para

avaliação dos fluxos de atravessamento quando o objetivo é chegar a um valor geral, sem maior distinção espacial dos fluxos de atravessamento.

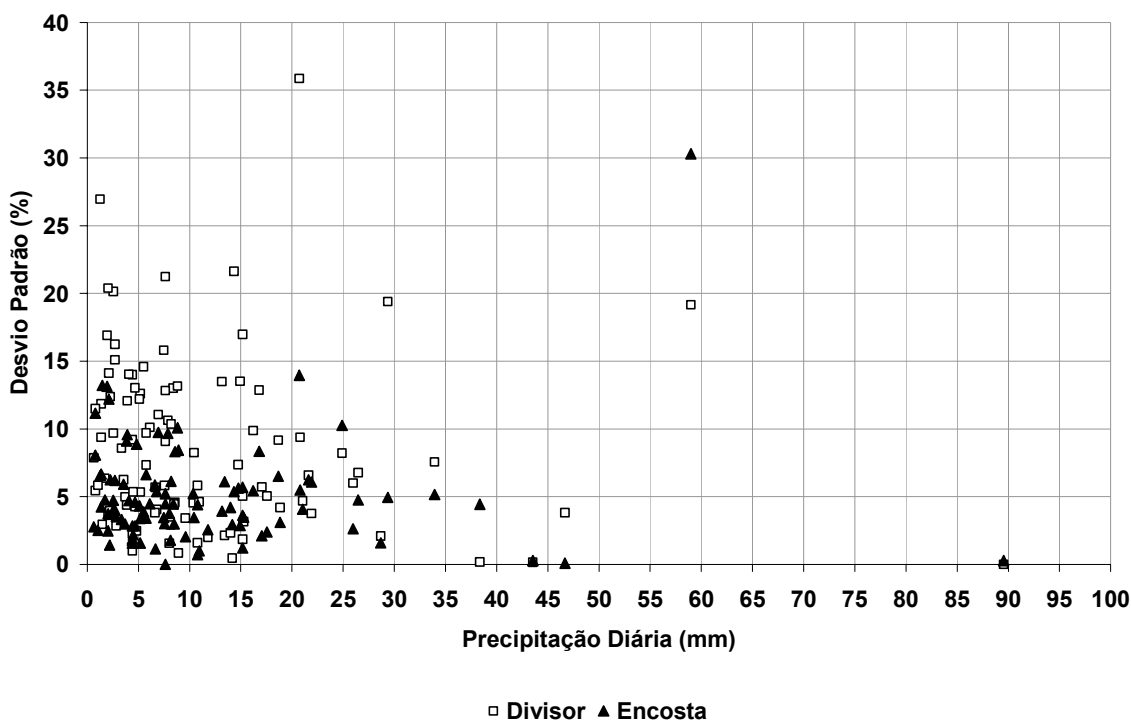


Figura 44 – Correlação entre a precipitação e o desvio padrão dos pluviômetros em calha no domínio de divisor e de encosta.

Desta forma, se faz necessário refletir se a utilização de pluviômetros cilíndricos é o melhor instrumento para a determinação dos valores de interceptação. Os resultados aqui apresentados indicam que esses instrumentos são muito úteis para a avaliação da variação espacial do atravessamento, mas não foi possível extrair um valor geral de interceptação com base neles. Para esse fim é mais aconselhável a utilização de pluviômetros em calha, que amostram áreas maiores e que englobam melhor as variações pontuais no atravessamento. Esse tipo de discussão metodológica é fundamental, pois muitas vezes os dados de interceptação são utilizados nos modelos de balanço hídrico para indicar perdas de água do sistema. Se esses valores de interceptação não forem definidos a partir de métodos

que levem em consideração as ponderações expostas acima, provavelmente estaremos fornecendo aos modelos hidrológicos dados que se afastam da realidade.

No que diz respeito às implicações da intensidade máxima da chuva no fluxo de atravessamento detectado nos pluviômetros em calha, verifica-se que, assim como nos pluviômetros cilíndricos, essas variáveis não se encontram correlacionadas (fig. 45).

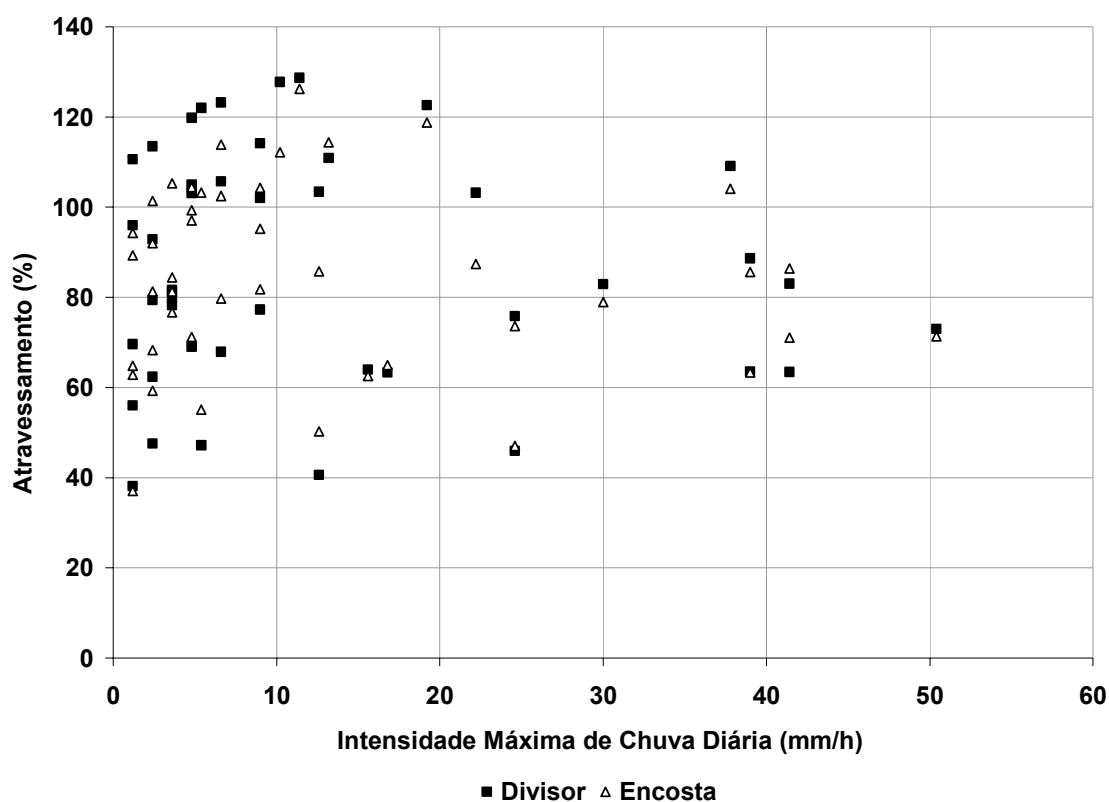


Figura 45 - Correlação da intensidade máxima da chuva diária e o atravessamento diário nos pluviômetros em calha no divisor e na encosta lateral.

Sobre a interferência do período seco no atravessamento, realizou-se, conforme feito com os pluviômetros cilíndricos, o levantamento dos cinco meses mais secos e mais úmidos do período de coleta de dados (fig. 46). Como as calhas foram instaladas posteriormente aos pluviômetros cilíndricos, alguns meses não foram coincidentes. Para a classe dos meses secos foram levantados os dados de

atravessamento dos meses de Março, Abril, Junho, Julho e Setembro de 2007, enquanto para a classe dos meses úmidos foram utilizados os dados dos meses de Dezembro de 2006, Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro de 2007.

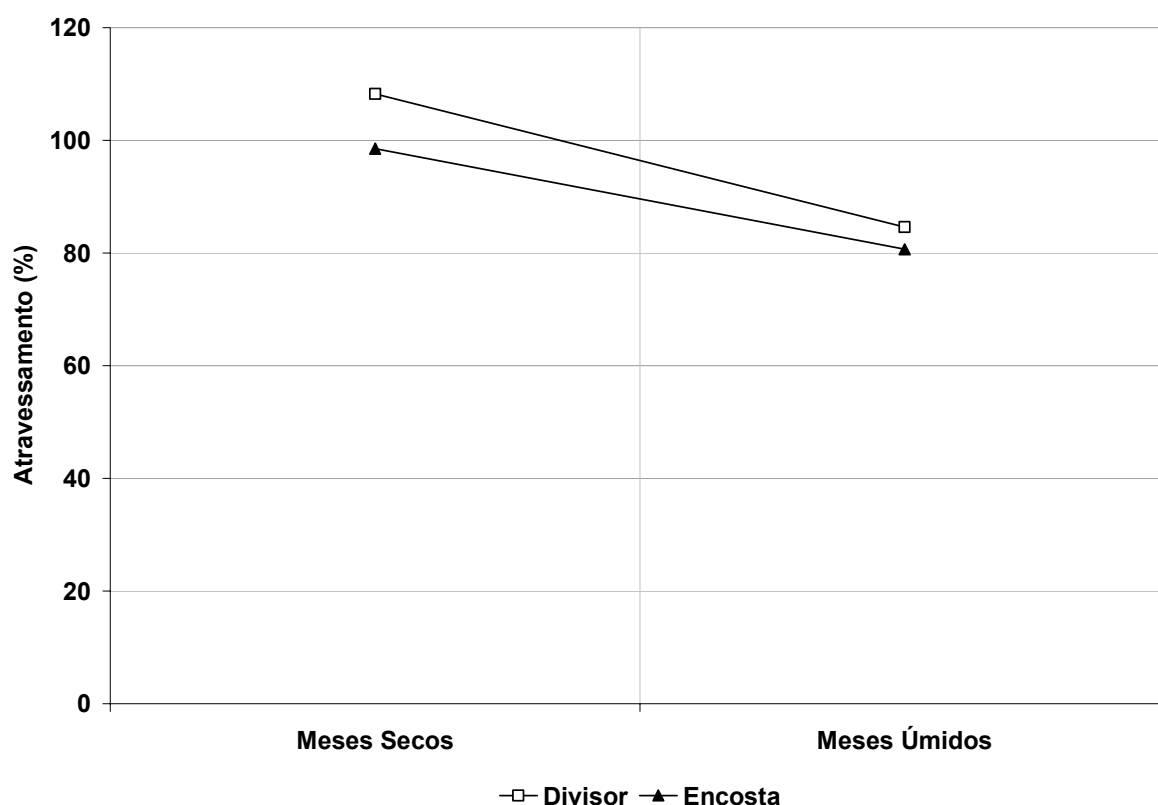


Figura 46 - Atravessamento (%) dos pluviômetros em calha no domínio de divisor e de encosta nos cinco meses mais secos e cinco meses mais úmidos da série histórica de Dezembro de 2006 a Dezembro de 2007.

Conforme observado na figura 46, o atravessamento nos meses secos foi superior nos dois domínios geomorfológicos (divisor e encosta) na comparação com os meses mais úmidos. Sendo assim, reforça-se a hipótese de que a estiagem exerce sobre a vegetação de eucalipto um efeito contrário ao esperado, produzindo algum tipo de hidrofobia, o que ocasiona maiores atravessamentos.

Esses resultados de maior atravessamento no período seco em comparação com o úmido vão de encontro aos descritos por Laclau *et al.* (2003). Este autor, também utilizando pluviômetros em calha num plantio de *Eucalyptus* na savana do

Congo, encontrou valores de interceptação de 6% no período chuvoso e 23% no seco, o que indica menor atravessamento no período seco e maior no período úmido. Entretanto, essa comparação deve ser ponderada, uma vez que o estudo de Laclau *et al.* (2003) foi realizado no Congo, num clima de monções, onde a precipitação média dos meses secos é de apenas 7,4 mm e a estação úmida responde por mais de 97% da precipitação anual.

6.4.3 Pluviômetros Radialmente Dispostos

Sobre o primeiro experimento com disposição radial dos pluviômetros em relação a uma árvore central, que consiste na análise de dados do dia 20/03/2007 a 31/08/2007, verifica-se que existe maior atravessamento junto ao tronco da árvore central (fig. 47). Além disso, existe a indicação de que na área de influência da copa logo ao redor da árvore o atravessamento é reduzido para $< 100\%$, indicando o efeito da interceptação nestas áreas. A água coletada dessa área de influência das copas é concentrada em grande parte para junto ao tronco devido à convergência dos galhos, provocando um “efeito funil”, gerando uma injeção pontual de água sobre o solo nesta posição.

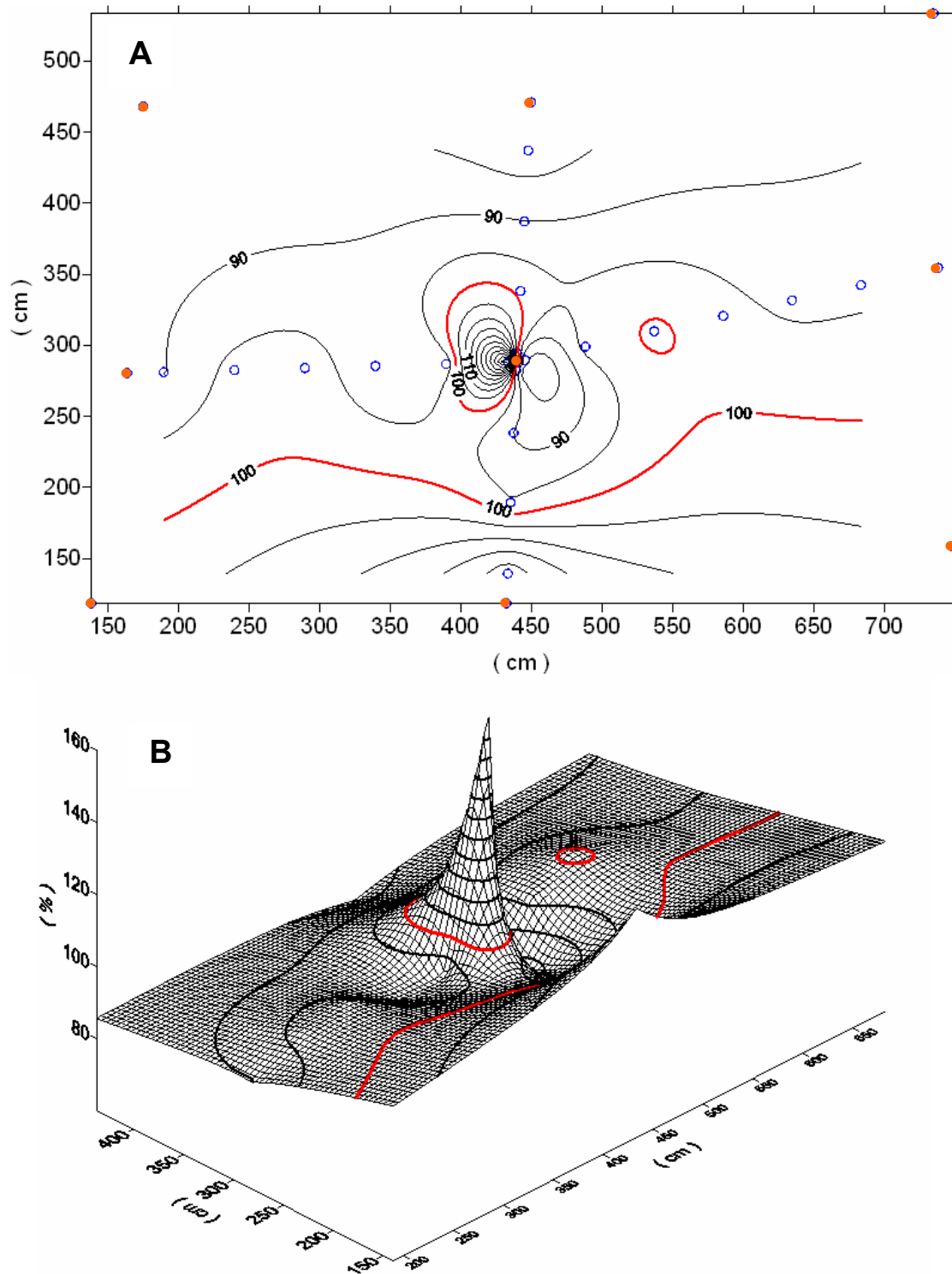


Figura 47 – Variação espacial do atravessamento em relação à árvore central. Em (A) estão representadas as linhas de equi-atravessamento (%) e em (B) está a visualização em 3D. Círculos azuis abertos representam os pluviômetros e os círculos laranjas fechados representam as árvores. As linhas de equi-atravessamento estão representadas em ambos os desenhos, sendo a linha em vermelho correspondente ao atravessamento igual a 100%. As medidas nos eixos X e Y estão em cm a partir de um *datum* local.

Já no experimento em que a malha de pluviômetros foi adensada e que foram monitorados o divisor e a encosta lateral, do dia 01/09/2007 a 31/12/2007, verifica-se que essa tendência de maior acúmulo dos fluxos de atravessamento junto ao tronco da árvore central também é observada (fig. 48).

Além disso, a existência de uma zona de maior influência das copas logo ao redor do tronco central fica demonstrada pela redução dos fluxos de atravessamento. Uma outra observação diz respeito ao novo aumento do atravessamento em alguns pontos próximos às árvores ao redor, onde o aumento do atravessamento está relacionado com a convergência dos fluxos de atravessamento para junto aos seus troncos. Fica assim comprovada a influência que os galhos convergentes têm na concentração dos fluxos para junto ao tronco, o que acarreta uma injeção pontual de água nessa posição.

Observa-se também que o atravessamento ao redor da árvore central no divisor é espacialmente mais simétrico que na encosta lateral. Este resultado está relacionado com a disposição das copas arbóreas, que se encontram mais igualmente niveladas no divisor que na encosta, portanto apresentando maior uniformidade. Já na encosta lateral, o dossel da árvore central está mais exposto do lado que está voltado para o declive, o que justifica os maiores atravessamentos neste lado e a menor simetria dos dados de atravessamento.

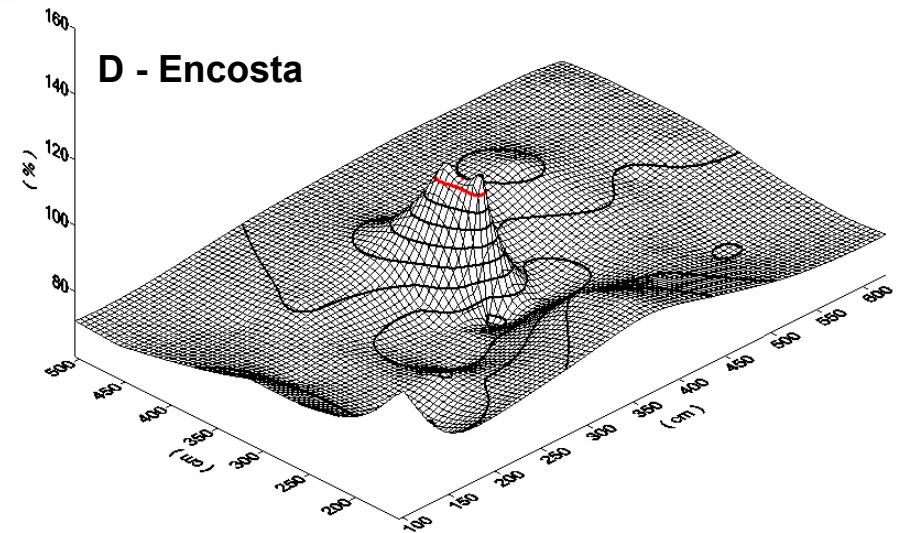
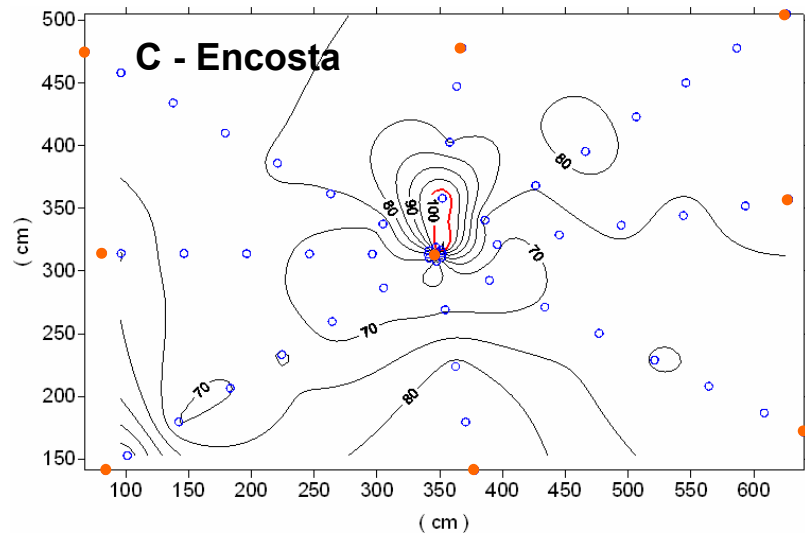
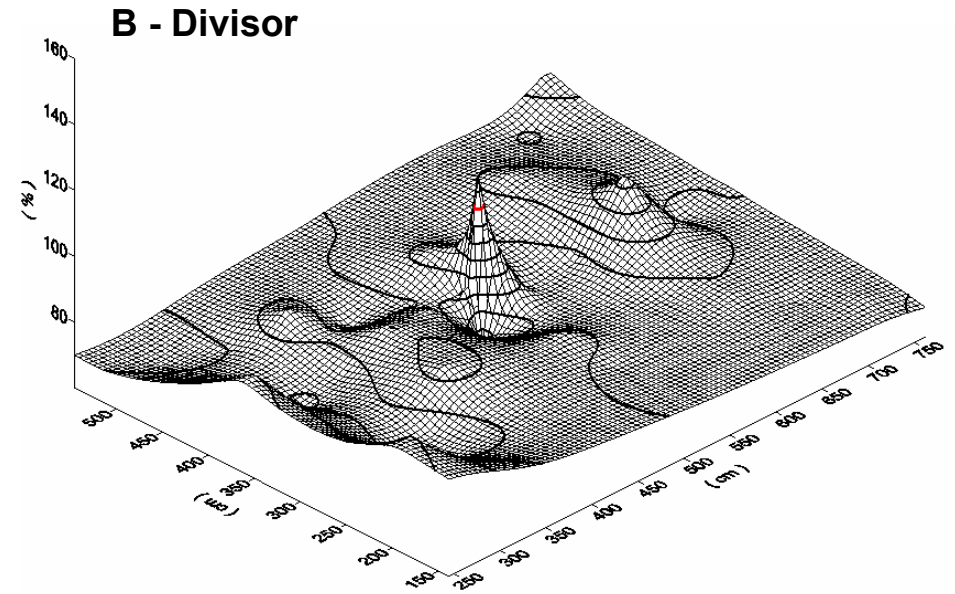
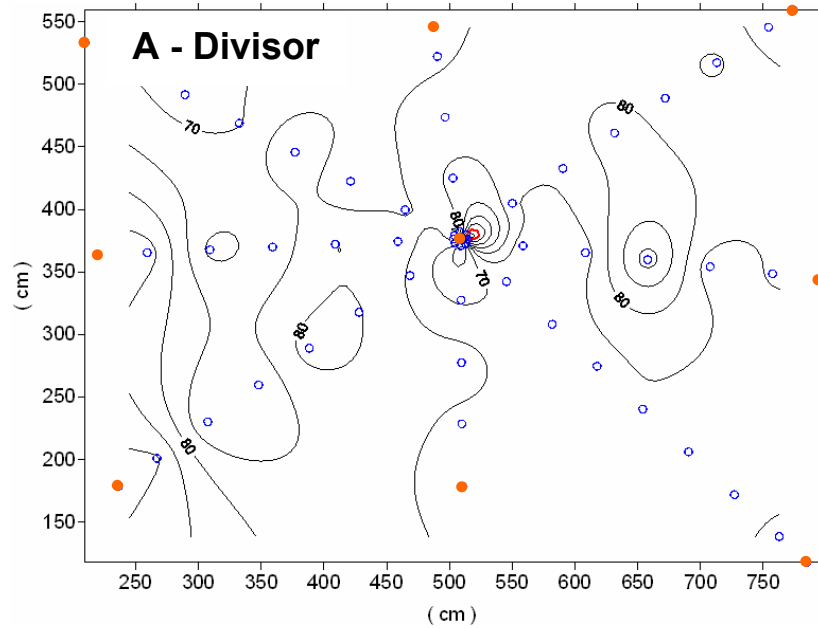


Figura 48 – Variação espacial do atravessamento em relação à árvore central. Em (A - Divisor) e (C - Encosta) estão representadas as linhas de equi-atravessamento (%) e em (B - Divisor) e (D - Encosta) estão as visualizações em 3D. Círculos azuis abertos representam os pluviômetros e os círculos laranjas fechados representam as árvores. As linhas de equi-atravessamento estão representadas em ambos os desenhos, sendo a linha em vermelho correspondente ao atravessamento igual a 100%. As medidas nos eixos X e Y estão em cm a partir de um *datum* local.

6.5 SERRAPILHEIRA

6.5.1 Produção

A caducifolia, que consiste no processo de queda natural de folhas e outros componentes das copas arbóreas, consiste um importante mecanismo de transferência de nutrientes das plantas para o solo. Este processo é resultante da interação de variáveis metabólicas intrínsecas ao metabolismo de cada espécie vegetal, como também dos estímulos ambientais, como o fotoperíodo, temperatura, estresse hídrico, entre outros.

A produção média de serrapilheira acumulada no período de 12 de Outubro de 2006 a 20 de Dezembro de 2007 para a área de estudo foi de $4,64 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, sendo que o período de 13 de Fevereiro a 15 Março de 2007, com produção de $1,69 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, correspondeu a 36% da produção no período avaliado (fig. 49). A produção acumulada de serrapilheira no divisor ($5,72 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) se distinguiu bastante da encosta lateral ($3,56 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), não ocorrendo distinção nas áreas junto ao tronco ($4,96 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e entre os troncos ($4,32 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Pela análise da figura 49, verifica-se que a produção no divisor nas duas posições em relação ao tronco (JT-D e ET-D) foi a que mais se destacou, apresentando as maiores valores, enquanto a produção nas duas posições da encosta (JT-E e ET-E) também tendeu a se comportar sincronicamente, mas com índices menores que o divisor.

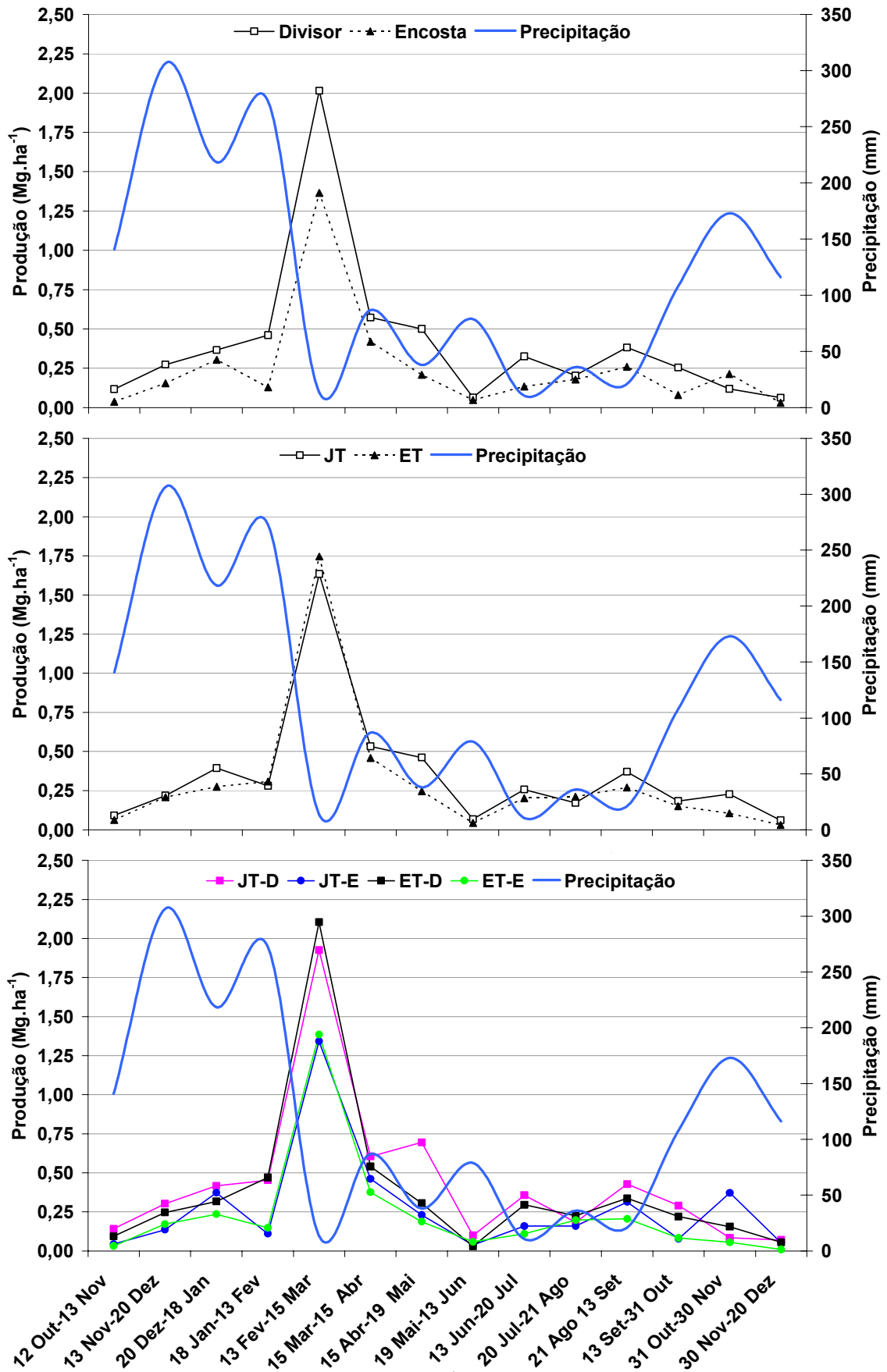


Figura 49 - Produção de serrapilheira (Mg.ha⁻¹) nas diversas posições e precipitação (mm) acumulada para o período de 12 de Outubro de 2006 a 20 de Dezembro de 2007. D = divisor; E = encosta; JT = junto ao tronco; e ET = entre troncos.

Como se observa na figura 49, no período do dia 13 de Fevereiro a 15 de Março de 2007 ocorreu um decréscimo da precipitação para apenas 13 mm, o que levou a uma resposta da vegetação à nova condição de menor umidade com maior produção de serrapilheira, especialmente de folhas. Considerando todo o período analisado, ocorreu maior produção de serrapilheira no divisor ($5,72 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) que na encosta lateral ($3,56 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), sendo que a produção de serrapilheira no divisor só não foi maior que na encosta lateral no penúltimo período analisado (fig. 49), explicado pela maior produção JT-E. A maior produção de serrapilheira no divisor pode estar relacionada com o fato das áreas do divisor possuírem uma área de contribuição hídrica menor que a encosta lateral, tanto superficialmente quanto sub-superficialmente, o que ocasiona uma menor disponibilidade de água no divisor. Desta forma, as árvores no divisor estariam mais sujeitas aos efeitos do estresse hídrico durante o período seco, o que ocasionaria uma produção acumulada de serrapilheira de $4,06 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no divisor e de $2,61 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ na encosta lateral do dia 13 de Fevereiro a 13 de Setembro, quando a precipitação acumulada no período foi de apenas 285 mm. Sabe-se que a perda de folhas é um comportamento fisiológico que visa diminuir a evapotranspiração da planta, uma vez que a umidade diminuiu após o decréscimo das precipitações a partir do mês de Fevereiro, tornando o elemento água um recurso mais escasso. Existem estudos que demonstram que é através das folhas que as plantas perdem mais de 95% da água que elas evapotranspiram (RAVEN *et al.*, 2001). Zákia (*com. pess.*) ressalta que os mais de trinta anos de melhoramento genético aos quais a espécie plantada na Estação Experimental Monte Alegre foi submetida levaram ao aprimoramento das respostas dessas plantas ao estresse hídrico. De acordo com Montezuma (2005), a produção

de serrapilheira diferenciada entre trechos da encosta pode estar relacionada, além com a distribuição da água no solo, também com a ação diferenciada dos ventos.

Um fato que deve ser ressaltado nessa análise de produção de serrapilheira consiste na utilização dos dados de chuvas pertinentes ao período entre as coletas de serrapilheira. Em alguns estudos são exibidos os dados de precipitação mensal (SCHUMACHER *et al.*, 1994; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2003), o que pode acarretar erros na comparação com os dados de produção de serrapilheira se as coletas não são realizadas com o mesmo período de tempo. Outra observação diz respeito à prática de relacionar a produção de serrapilheira com a estação do ano, não levando em consideração a ocorrência de estações e/ou meses atípicos, como a precipitação em Fevereiro de 2007 neste estudo, ou então generalizando as condições climáticas de uma estação para uma vasta abrangência geográfica, como na discussão de Cunha *et al.* (2005).

Na seqüência da análise dos dados de produção de serrapilheira, mesmo com os índices pluviométricos seguindo baixos nos períodos seguintes, a produção de serrapilheira diminuiu significativamente (fig. 49). Provavelmente após o estresse hídrico que os eucaliptos foram submetidos no período de Fevereiro-Março e a conseqüente grande perda de folhas, há indícios de que nos meses seguintes a vegetação já havia realizado modificações fisiológicas em resposta à condição de baixa umidade, por isso a produção de serrapilheira não continuou elevada. Corrêa Neto *et al.* (2001) encontram resultados semelhantes, com maior produção de serrapilheira no início dos meses mais secos.

A produção média anual (Outubro/2006 - Outubro/2007) de serrapilheira foi de 4,43 Mg.ha⁻¹, com maior produção no divisor (5,54 Mg.ha⁻¹) que na encosta lateral (3,32 Mg.ha⁻¹), conforme indicado na comparação com outros estudos da tabela 11.

Tabela 11 – Produções anuais de serrapilheira (Mg.ha⁻¹) em diversos estudos. D= divisor, E = encosta, JT = junto ao tronco, ET = entre os troncos e ND = não disponível no estudo consultado.

Produção	Material	Idade	Vegetação	Densidade	Referência
5,5 (D)	total	4,5	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	1666	Este estudo
3,3 (E)	total	4,5	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	1666	Este estudo
4,7 (JT)	total	4,5	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	1666	Este estudo
4,2 (ET)	total	4,5	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	1666	Este estudo
5,9 (JT-D)	total	4,5	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	1666	Este estudo
5,2 (ET-D)	total	4,5	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	1666	Este estudo
3,4 (JT-E)	total	4,5	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	1666	Este estudo
3,2 (ET-E)	total	4,5	<i>Eucalyptus grandis x urophylla</i>	1666	Este estudo
4,0	total	6	<i>Acacia nilotica</i>	N.D.	Gill <i>et al.</i> (1987) ^a
2,6	total	7	<i>Agathis damara</i>	N.D.	Bruijnzeel(1985) ^a
6,2	total	21	<i>Agathis damara</i>	N.D.	Bruijnzeel(1985) ^a
8,6	total	8,5	<i>Casuarina eequisetifolia</i>	10000	Parrotta(1999)
4,5	total	6,0	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1666	Zaia & Gama-Rodrigues(2004)
7,2	total	7	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	N.D.	Schumacher <i>et al.</i> (1994)
11,3	total	8-9	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	N.D.	Cozzo(1971) ^a
1,9	folhas	12	<i>Eucalyptus globulus</i>	N.D.	Venkataramanan <i>et al.</i> (1983) ^a
5,6	total	8,0	<i>Eucalyptus grandis</i>	2000	Cunha <i>et al.</i> (2005)
3,8	total	1,5	<i>Eucalyptus grandis</i>	1600	Cunha <i>et al.</i> (2005)
5,3	total	5,0	<i>Eucalyptus grandis</i>	3333	Cunha <i>et al.</i> (2005)
4,8	total	6,0	<i>Eucalyptus grandis</i>	1666	Zaia & Gama-Rodrigues(2004)
9,4	total	16,0	<i>Eucalyptus grandis</i>	1111	Gama-Rodrigues & Barros(2002)
3,1	total	7	<i>Eucalyptus grandis</i>	N.D.	Schumacher <i>et al.</i> (1994)
9,6	total	27	<i>Eucalyptus grandis</i>	N.D.	Turner & Lambert(1983) ^a
4,2	folhas	27	<i>Eucalyptus grandis</i>	N.D.	Turner & Lambert(1983) ^a
3,5	total	adulta	<i>Eucalyptus obliqua</i>	N.D.	Attiwill(1968) ^a
5,0	total	6,0	<i>Eucalyptus pellita</i>	1666	Zaia & Gama-Rodrigues(2004)
6,4	folhas	adulta	<i>Eucalyptus pilularis</i>	N.D.	Webb <i>et al.</i> (1969) ^a
7,7	total	adulta	<i>Eucalyptus regnans</i>	N.D.	Ashton(1975a) ^a
4,0	folhas	adulta	<i>Eucalyptus regnans</i>	N.D.	Ashton(1975a) ^a
5,4	total	8,5	<i>Eucalyptus robusta</i>	10000	Parrotta(1999)
7,5	total	5,0	<i>Eucalyptus saligna</i>	N.D.	Carpanezi(1980) ^a
5,5	folhas	6,0	<i>Eucalyptus saligna</i>	N.D.	Poggiani(1976) ^a
4,4	folhas	7-10	<i>Eucalyptus saligna</i>	N.D.	Poggiani(1985) ^a
10,0	total	adulta	<i>Eucalyptus saligna</i>	N.D.	Turner e Lambert(1983) ^a
2,3	folhas	5,0	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	N.D.	Singh(1982) ^a
5,4	folhas	9,0	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	N.D.	Singh(1982) ^a
3,3	total	5,0	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	N.D.	George(1982) ^a
3,8	total	7,0	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	N.D.	George(1982) ^a
6,2	total	10	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	N.D.	George(1982) ^a
7,0	total	12	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	N.D.	Pande e Sharma(1986) ^a
5,9	total	10	<i>Eucalyptus torelliana</i>	N.D.	Schumacher <i>et al.</i> (1994)
7,0	total	16,0	<i>Eucalyptus urophylla</i>	1111	Gama-Rodrigues & Barros(2002)
3,8	total	adulta	<i>Eucalyptus viminalis</i>	N.D.	Turner & Lambert(1983) ^a
8,5	total	5	Floresta ombrófila densa	N.D.	Oliveira(1999)
7,4	total	25	Floresta ombrófila densa	N.D.	Oliveira(1999)
1,0	total	50	Floresta ombrófila densa	N.D.	Oliveira(1999)
7,0	total	–	Floresta secundária tardia	3500	Montezuma(2005)
3,1	folhas	adulta	<i>Floresta temperada</i>	N.D.	aigneaud & Denaver-de Smet(197
10,0	total	adulta	Floresta tropical	N.D.	Carpanezi(1980) ^a
6,7	folhas	adulta	Floresta tropical	N.D.	Carpanezi(1980) ^a
7,4	total	adulta	Floresta tropical	N.D.	Klinge & Rodrigues(1968) ^a
4,7	folhas	7	<i>Gochnatia sp</i>	N.D.	Garrido(1981) ^a
2,4	total	16	<i>Joanesia princeps</i> (Dandá)	1111	Gama-Rodrigues & Barros(2002)
9,7	total	8,5	<i>Leucaena leucocephala</i>	10000	Parrotta(1999)
8,3	acículas	11-14	<i>Pinus caribaea</i>	N.D.	Poggiani(1985) ^a
7,1	acículas	11-14	<i>Pinus oocarpa</i>	N.D.	Poggiani(1985) ^a
9,6	total	60	<i>Pinus roxburghii</i>	N.D.	Sharma e Pande(1989) ^a
4,3	acículas	9	<i>Pinus taeda</i>	N.D.	Poggiani <i>et al.</i> (1987) ^a
6,9	total	60	<i>Tectona grandis</i>	N.D.	Sharma & Pande(1989) ^a

^a = *apud* Lima (1996)

Sendo assim, o valor médio de produção de serrapilheira da área de estudo ($4,43 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) apresentou valores intermediários aos dados levantados na bibliografia que trata de plantios de eucalipto, sendo similares aos encontrados por Zaia & Gama-Rodrigues (2004) no Norte fluminense. Na comparação com estudos realizados em florestas ombrófilas, a produção de serrapilheira levantada na área de estudo foi menor. Um fator que deve ser levado em consideração na comparação desses estudos é a idade do plantio, pois existe uma tendência de plantios mais antigos produzirem mais serrapilheira em função das maiores copas arbóreas, conforme indica Cunha *et al.* (2005). Outro fator importante na análise é a densidade da vegetação. Como no plantio estudado o espaçamento é regular entre as árvores ($3 \times 2 \text{ m}$), com uma densidade de $1.666 \text{ indivíduos}\cdot\text{ha}^{-1}$, é esperado que exista maior produção de serrapilheira em florestas mais densamente povoadas. Um exemplo são os valores encontrados por Guo & Sims (1999), onde plantios de *Eucalyptus brookerana* com densidades de 2340, 4130 e $9803 \text{ ind}\cdot\text{ha}^{-1}$ tiveram produções de serrapilheira de 7,86, 10,30 e $10,65 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Neste mesmo estudo, os plantios de *Eucalyptus saligna* com 2000, 3060, 5710, 10750 e $20000 \text{ ind}\cdot\text{ha}^{-1}$ produziram respectivamente 3,62, 4,90, 6,53, 6,59 e $8,67 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, demonstrando que as densidades dos plantios são importantes para o entendimento do total de serrapilheira produzida.

De acordo com os resultados, as áreas no divisor apresentam maior produção de serrapilheira, sendo o posicionamento na encosta um importante fator para justificar as taxas de produção de serrapilheira em virtude da disponibilidade hídrica diferenciada nos diversos domínios geomorfológicos das encostas. Entretanto, Montezuma (2005), no seu estudo no Maciço da Tijuca/RJ, obteve resultados com maior produção de serrapilheira na zona deposicional de uma clareira ($3,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$

$1.\text{ano}^{-1}$) que no seu topo ($3,3 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$). Já Macedo (2004 *apud* MONTEZUMA, 2005), em estudo na floresta ombrófila densa do Maciço da Pedra Branca/RJ, observa valores de $10,4 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no divisor e $9,1 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ no fundo de vale, resultados que são correspondentes ao encontrado neste estudo.

Os componentes da serrapilheira produzida foram avaliados através do fracionamento do material produzido. Na tabela 12 está demonstrada a composição média da serrapilheira produzida nas diversas posições estudadas no plantio. Observa-se que na questão da composição, a serrapilheira produzida no divisor e na encosta não apresentam grande diferenciação. No entanto, ao comparar JT e ET, é observado que JT a porcentagem de galhos é maior (26%) que ET (17%). Esses resultados são explicados pela maior massa e estrutura mais robusta dos galhos, que acabam por não planar na queda como as folhas, sendo depositados junto aos troncos das árvores.

Numa análise temporal mais detalhada da composição da serrapilheira JT e ET, observamos que ao longo de quase todo o período preponderou a produção de folhas nas duas posições, entretanto de Setembro a Outubro de 2007 verifica-se uma maior contribuição dos galhos no total de serrapilheira produzida (fig. 50). Observações de campo indicam que a partir desta época, quando o plantio completava 3,5 anos e os indivíduos tinham cerca de 15 m, as árvores perderam grande parte de seus galhos mais baixos, galhos esses que são mais velhos e já não possuíam folhas. Este processo chama-se desrama, sendo natural dos eucaliptos híbridos utilizados neste plantio.

Tabela 12 – Composição média mensal (%) da serrapilheira produzida nas diversas posições. D = divisor, E = encosta, JT = junto ao tronco e ET =entre os troncos.

Material	Divisor	Encosta	JT	ET	JT-D	JT-E	ET-D	ET-E
Folhas	80	77	74	83	78	70	81	84
Galhos	20	23	26	17	22	30	19	16

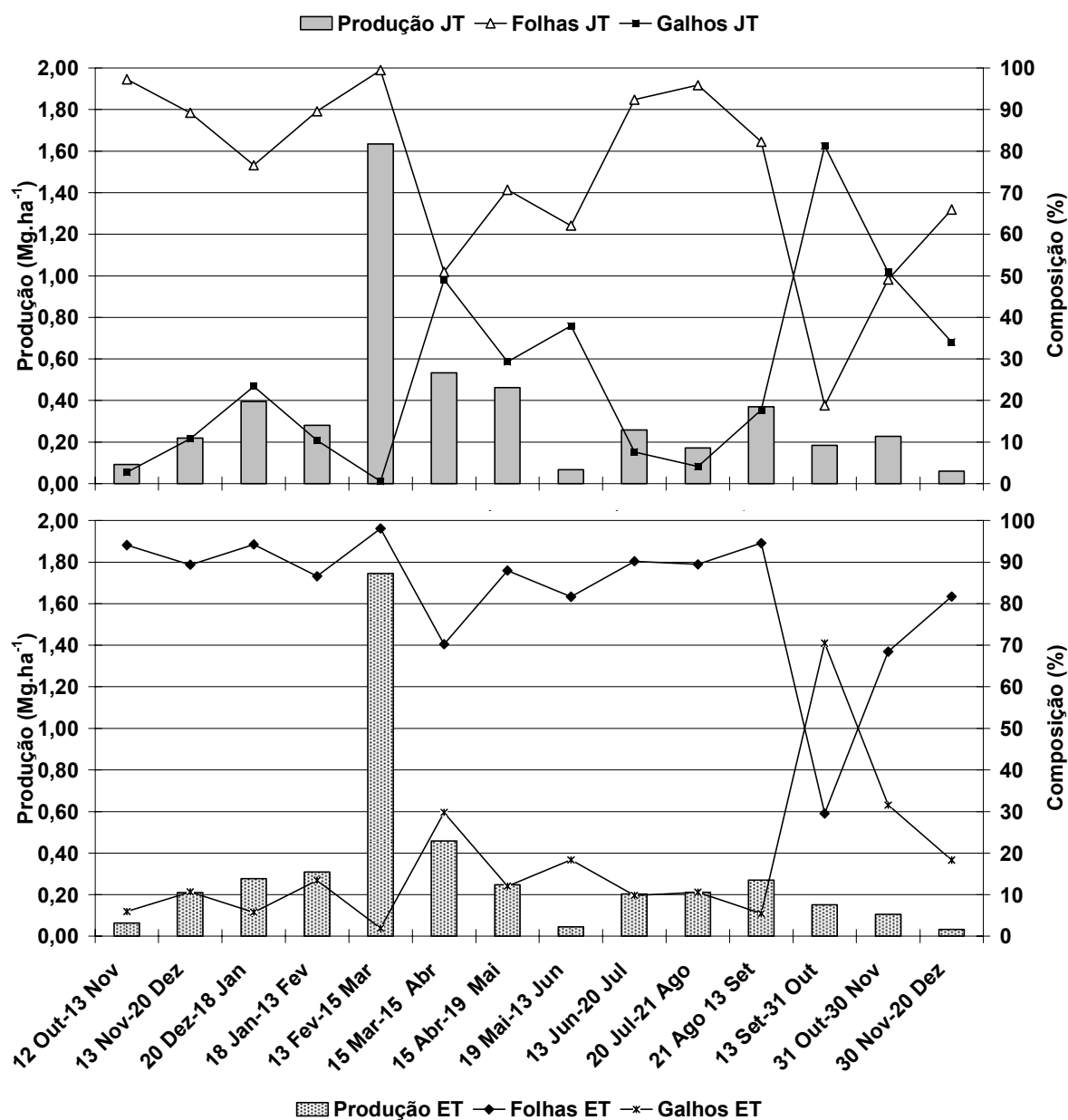


Figura 50 – Valores de produção de serrapilheira (barras) nas duas posições em relação ao tronco (JT e ET) e composição do material produzido (linhas). JT = junto ao tronco e ET = entre troncos.

Cunha *et al.* (2005) também encontram maior contribuição de folhas no aporte de serrapilheira, contribuindo com 61,8% na área de 1ª rotação, 75,9% na área de rebrota com 1,5 ano e 54,5% com rebrota de 5 anos, enquanto os galhos contribuíram com 23,3%, 17,5% e 25,2%, respectivamente. Outro estudo conduzido por Zaia & Gama-Rodrigues (2004) indica a participação das folhas em 65,5%, 66,6% e 66,7% do total de serrapilheira produzida, enquanto os galhos respondem por 25,8%, 21,0% e 25,7% para as espécies *Eucalyptus grandis*, *E. camaldulensis* e *E. pellita*, respectivamente. Guo & Sims (1999) descrevem que, embora as folhas tenham contribuído com mais de 90% do total produzido, os outros componentes tendem a aumentar sua participação a medida que a densidade dos plantios aumenta. Entretanto, mesmo em condições de alta densidade, a fração folhas continua como a que mais contribui para o total produzido. Gama-Rodrigues & Barros (2002) apontam valores de 95% de participação das folhas no total produzido pela floresta nativa, 77% num plantio de eucalipto e 88% num plantio de dandá, sendo os valores do plantio de eucalipto bastante similares ao encontrado neste estudo (79%).

6.5.2 Estoque e Capacidade de Retenção Hídrica

No que tange os resultados do estoque de serrapilheira, os dados demonstram um aumento gradativo no período analisado, atingindo o valor máximo em Outubro de 2007, com maior estoque de serrapilheira no divisor ($16,6 \text{ Mg.ha}^{-1}$) na comparação com a encosta lateral ($13,2 \text{ Mg.ha}^{-1}$), e em ET ($16,5 \text{ Mg.ha}^{-1}$) do que JT ($13,3 \text{ Mg.ha}^{-1}$), conforme demonstrado na tabela 13.

Tabela 13 – Estoque de serrapilheira ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e acúmulo no período de Outubro de 2006 a Outubro de 2007 nas diversas posições. JT = junto ao tronco e ET = entre os troncos.

	2006		2007			
	Outubro	Janeiro	Abril	Julho	Outubro	Acúmulo
Média	8,2	9,2	11,9	12,0	14,9	6,7
Divisor	8,3	9,8	11,5	13,0	16,6	8,3
Encosta	8,1	8,6	12,3	11,1	13,2	5,2
JT	7,4	10,3	12,4	12,6	13,3	5,8
ET	8,9	8,1	11,4	11,5	16,5	7,6

Estudo realizado no sul da Bahia relata valores de estoque de serrapilheira de $13,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para plantios de *Eucalyptus grandis* x *urophylla*, de $0,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ numa área de dandá/boleira (*Joannesia princeps*), ambas com 16 anos e espaçamento 3 x 3 m, além de $10,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ numa área de floresta natural (GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002). Cunha *et al.* (2005) descreve valores de $9,6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (8 anos, 1ª rotação e espaçamento 2 m x 2,5 m), $13,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (1,5 ano, 2ª rotação e espaçamento 2,5 m x 2,5 m) e $23,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (cinco anos, 2ª rotação e espaçamento 2 m x 1,5 m) num plantio de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense, enquanto Ribeiro *et al.* (2002) obteve valores de $58,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ num plantio de *E. globulus* em Portugal com 26 anos e espaçamento 3 x 3 m. Garay *et al.* (2004), na comparação de uma área povoada por *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis* de sete anos de idade no relevo de tabuleiros no Espírito Santo, obtém valores de 10,37 e 4,89 $\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente, estando esses valores provavelmente relacionados com diferenças na produção de serrapilheira. Montezuma (2005) descreve valores durante o período de inverno de $11,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para uma área de floresta ombrófila densa no Morro do Archer e de 3,9, 6,3 e $15,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no topo, na zona de deposição e nas bordas de uma cicatriz de deslizamento na Floresta da Tijuca/RJ.

A acumulação anual no período de Outubro de 2006 a Outubro de 2007 foi de $6,7 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 13). Em estudo realizado em Viçosa/MG num sistema agroflorestal

composto por espécies nativas e frutíferas de dez anos de idade, Arato *et al.* (2003) encontraram acumulação anual de serrapilheira de 8,7 Mg.ha⁻¹, enquanto Zaia & Gama-Rodrigues (2004) descrevem valores de acumulação 4,76, 7,73 e 9,69 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ para plantios de *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *E. pellita*, respectivamente.

O elevado valor de estoque e de acumulação de serrapilheira estão relacionados com a baixa taxa de decomposição da serrapilheira do eucalipto, conforme será discutido na sessão 6.5.3.

O fracionamento do estoque de serrapilheira indica que existe um domínio das folhas de eucalipto (50% do peso seco total), seguido pelas raízes e material fino (33%), os galhos respondem por 10% e as gramíneas por 7%. Chama a atenção a ocorrência de 7% de gramíneas no estoque total de serrapilheira, que é o indicativo de que o uso antecedente era realmente de pastagem, sinalizando a mudança de uso da terra.

A respeito da capacidade de retenção hídrica (CRH) da serrapilheira, os resultados obtidos demonstram que a serrapilheira de eucalipto, apesar de ser mais homogênea que a de florestas ombrófilas, apresenta uma alta capacidade de retenção hídrica (232% em média), conforme a tabela 14. Essa alta capacidade de retenção hídrica pela serrapilheira é um importante fator minimizador do escoamento superficial, uma vez que parte da água que chega ao topo do solo através do atravessamento e fluxo de tronco fica retida nesse compartimento. Além disso, os estudos de Coelho Netto (1987) indicam que a camada de serrapilheira inibe o escoamento superficial, favorecendo a infiltração da água no solo.

Tabela 14 – Capacidade de retenção hídrica (%) da serrapilheira nas diversas posições. JT = junto ao tronco e ET = entre os troncos.

	2006		2007			Média
	Outubro	Janeiro	Abril	Julho	Outubro	
Divisor	183	326	193	218	165	217
Encosta	342	349	172	195	176	247
JT	252	340	191	210	180	235
ET	273	336	174	203	162	230

Maiores diferenças na CRH são encontradas na comparação do divisor com a encosta do que na comparação de JT e ET. A menor CRH no divisor (217%) do que na encosta (247%) está relacionada com a maior presença na encosta de gramíneas remanescentes do uso anterior, que era de pastagem. Uma CRH de até 500% foi observada para gramíneas do gênero *Paspalum* na bacia do rio Bananal na época de estiagem por Deus (1991).

O fato da CRH ter diminuído no mês de Abril está relacionada com a grande produção de serrapilheira que ocorreu no mês anterior. Com essa produção ocorreu um grande aporte de folhas com baixo grau de decomposição. Sabe-se que essas folhas mais íntegras possuem uma menor CRH, visto que elas têm uma menor superfície relativa comparadas às folhas em avançado estágio de decomposição. Coelho Netto (1985) observou valores de CRH de 162% (horizonte O₁ – serrapilheira em início de decomposição) e 201% (O₂ – serrapilheira em avançado estágio de decomposição), enquanto Vallejo (1982) de 248% (O₁) e 297% (O₂), ambos em áreas de vegetação ombrófila.

Para fins de comparação com o estudo de Miranda (1992) para o ambiente de floresta ombrófila densa, considerando a CRH (232%) e o estoque de serrapilheira médio (11,2 Mg.ha⁻¹) no período analisado para o plantio de eucalipto, verifica-se que a serrapilheira teria a capacidade de reter até 2,6 mm de chuva. Esse valor é maior que o encontrado por Miranda (1992) na floresta da Tijuca/RJ, que descreve

capacidade retenção de 2 mm de chuva, demonstrando que a serrapilheira do eucalipto desempenha importante função hidrológica. Entretanto, esse valor no estudo conduzido no plantio de eucalipto representa o valor potencial de retenção de chuva pela serrapilheira, uma vez que está calculado sobre a CRH em laboratório. Mesmo assim, a partir desse dado verifica-se que o fluxo de atravessamento não fica retido no compartimento de serrapilheira, podendo seguir por dois caminhos: ou o escoamento em superfície ou a infiltração no solo. Sobre esse aspecto será discutido na sessão 7.6.

6.5.3 Taxa de Decomposição

O coeficiente de decomposição da serrapilheira levantado neste estudo ($k=0,39$) é comparável com outros estudos realizados por outros autores em plantios de eucalipto (GUO & SIMS, 1999; GUO & SIMS, 2001a; GUO & SIMS, 2001b; REZENDE et al., 2001; RIBEIRO *et al.*, 2002; GUO & SIMS, 2002; ZAIA & GAMA-RODRIGUES, 2004), e normalmente menores quando comparado aos outros tipos de vegetação (ARATO *et al.*, 2003; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2003; MONTEZUMA, 2005; GAMA-RODRIGUES *et al.*, 2007) conforme demonstrado na tabela 15. A taxa de renovação de 50% da serrapilheira ($T_{0,5}$) corresponde a 1,78 ano, ou o equivalente a 649 dias, o que indica uma decomposição bastante lenta da serrapilheira produzida.

Tabela 15 – Coeficientes de decomposição da serrapilheira em diversos estudos.

K	Vegetação	Densidade	Localização	Referência
0,39	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>urophylla</i>	1666	Resende,RJ	Este Estudo(2007)
0,94	<i>Eucalyptus bookerana</i>	2340	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,80	<i>Eucalyptus bookerana</i>	4130	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,76	<i>Eucalyptus bookerana</i>	9803	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,35	<i>Eucalyptus botryoides</i>	N.D.	Oringi, Nova Zelândia	Guo & Sims(2002)
0,24	<i>Eucalyptus botryoides</i> (não irrigado)	2340	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,29	<i>Eucalyptus botryoides</i> (não irrigado)	4130	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,36	<i>Eucalyptus botryoides</i> (não irrigado)	9803	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,34	<i>Eucalyptus botryoides</i> (irrigado)	2340	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,37	<i>Eucalyptus botryoides</i> (irrigado)	4130	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,80	<i>Eucalyptus botryoides</i> (irrigado)	9803	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims(1999)
0,44	<i>Eucalyptus globulus</i>	N.D.	Oringi, Nova Zelândia	Guo & Sims (2002)
0,52	<i>Eucalyptus globulus</i>	N.D.	Palmerston North, Nova Zelândia	Guo & Sims (2001b)
0,47	<i>Eucalyptus globulus</i> (área controlada)	1111	Furadouro, Portugal	Ribeiro et al.(2002)
1,81	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1666	Campos dos Goytacazes,RJ	Zaia & Gama-Rodrigues(2004)
1,17	<i>Eucalyptus grandis</i>	1666	Campos dos Goytacazes,RJ	Zaia & Gama-Rodrigues(2004)
1,62	<i>Eucalyptus pellita</i>	1666	Campos dos Goytacazes,RJ	Zaia & Gama-Rodrigues(2004)
0,78	<i>Eucalyptus grandis</i> (solo de floresta atlântica)	N.D.	Belo Horizonte, Minas Gerais	Rezende et al.(2001)
0,41	<i>Eucalyptus saligna</i>	N.D.	N.D.	Poggiani(1985) ^a
0,82	<i>Eucalyptus</i> ssp.	N.D.	N.D.	Waring & Schlesinger(1985) ^a
0,96	Floresta primária	N.D.	Porto Seguro, BA	Gama-Rodrigues et al.(2007)
0,96	Floresta primária	N.D.	Porto Seguro, BA	Gama-Rodrigues et al.(2003)
1,07	Floresta secundária	N.D.	Porto Seguro, BA	Gama-Rodrigues et al.(2007)
0,55	Floresta secundária	N.D.	Porto Seguro, BA	Gama-Rodrigues et al.(2003)
0,64	Sistema agroflorestal heterogêneo	N.D.	Viçosa,MG	Arato et al.(2003)
0,62	Floresta secundária tardia	3500	Rio de Janeiro, RJ	Montezuma(2005)
0,01 a 1,34	Espécies tropicais	N.D.	N.D.	Waring & Schlesinger(1985) ^a

^a = apud Lima (1996)

Em plantios de *Eucalyptus sp.* são relatadas baixas taxas de decomposição, acarretando acúmulo de material orgânico e, por conseguinte, aumento da quantidade de nutrientes na interface serrapilheira-solo (LOUZADA *et al.*, 1997; GUO & SIMS, 1999; GUO & SIMS, 2001; DUTTA & AGRAWAL, 2001; RIBEIRO *et al.*, 2002; GUO & SIMS, 2002; GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002; ZAIA & GAMA-RODRIGUES, 2004; CUNHA *et al.*, 2005). O valor superior do estoque de serrapilheira nesse estudo quando comparado aos resultados dos estudos realizados em ambiente de floresta ombrófila pode ser explicado pela menor taxa de decomposição da serrapilheira nos eucaliptais que em ambientes de floresta ombrófila (LOUZADA *et al.*, 1997; GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002), em virtude de fatores externos, como a temperatura e umidade microclimáticas (GUO & SIMS, 2001a), pequena abundância e diversidade de fauna e flora decompositora. Essa baixa taxa de decomposição é, em parte, também decorrente da eficiente retranslocação de nutrientes (ciclagem bioquímica) pelo eucalipto, que mantém os

nutrientes imobilizados na biomassa das árvores e produz serrapilheira de baixa qualidade nutricional (GUO & SIMS, 2002; GAMA-RODRIGUES & BARROS, 2002).

6.6 ESCOAMENTO SUPERFICIAL E INFILTRAÇÃO

O escoamento superficial no período analisado foi extremamente baixo, sendo mais expressivo somente em dois eventos nos quais a precipitação total diária foi > 50 mm (fig. 51). A média da relação Q (escoamento superficial) / P (precipitação), utilizando-se para esses cálculos a precipitação no posto Monte Alegre, foi de 0,1% no divisor e 0,2 % na encosta, tendo como valores máximos 1,3% e 3,8%, respectivamente, que ocorreu no dia em que a precipitação foi de 90 mm. Embora a serrapilheira da encosta tenha uma maior CRH, o fator declividade é mais relevante para explicar o comportamento hidrológico do escoamento superficial, sendo a declividade da encosta (24°) três vezes maior que a do divisor (8°). Esses resultados não desqualificam a grande importância que a camada de serrapilheira possui no favorecimento da infiltração da água no solo, conforme indica o estudo de Coelho Netto (1987). No divisor apenas um dia chuvoso teve escoamento superior a 1,0%, enquanto na encosta foram quatro dias. Dos 52 dias de chuva analisados no período de 22 de Dezembro à 31 de Maio neste experimento, em 41 dias no divisor e 34 dias na encosta o escoamento superficial foi de 0,0%.

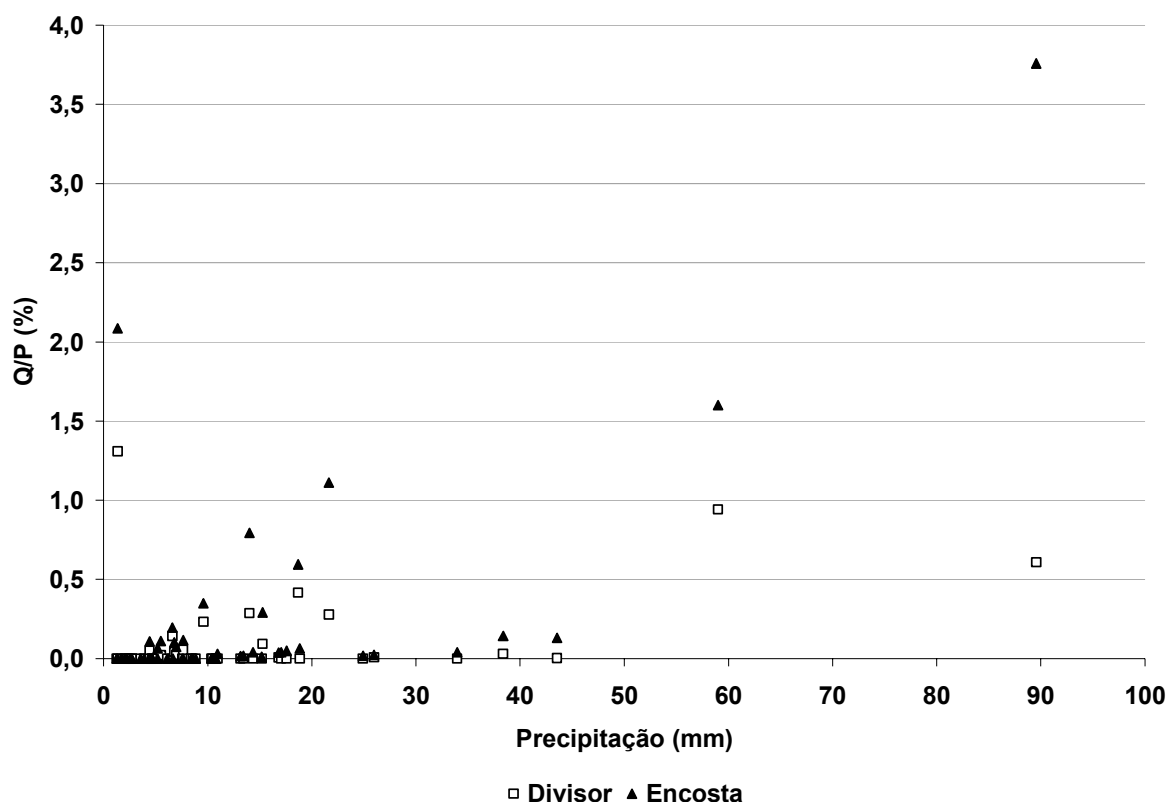


Figura 51 – Correlação da precipitação e a relação Q/P (escoamento superficial / precipitação) nas parcelas de escoamento do divisor e da encosta.

Os resultados de Lima (1990) demonstram que o escoamento superficial tende a diminuir ano a ano com o desenvolvimento da vegetação após o plantio, pois a mesma reduziria o impacto das gotas sobre o solo e dificultaria o escoamento superficial. Em seu estudo, durante o primeiro ano nos plantios com espaçamento 3 x 2 m, o escoamento superficial médio foi da ordem de 1,71% e 2,41% em dois plantios que receberam duas e uma aragem, respectivamente. Com três anos, como os resultados avaliados nesse estudo, o escoamento superficial foi de 0,08% e 0,19%, respectivamente. Esses resultados são semelhantes aos encontrados, que tem valor médio de 0,1% no divisor e 0,2% na encosta.

Na comparação com o uso e cobertura antecedente da terra, que era de gramíneas para pastagem, o plantio de eucalipto apresentou valores similares aos descritos por Deus (1991) em seu experimento conduzido na cabeceira de

drenagem de uma bacia não-canalizada coberta por gramíneas na bacia do rio Bananal. Deus (*op cit.*) relata valores de escoamento muito baixos (média = 0,2%; máximo = 1,0%; mínimo = 0,0%), demonstrando que, no que tange o escoamento superficial, esses dois ambientes apresentam comportamento hidrológico similar.

Entretanto, resultados de Croke *et al.* (1999) indicam que a maior parte do escoamento superficial que ocorre em plantios de eucalipto está relacionada com as estradas de rodagem não-pavimentadas, pois as mesmas apresentam baixa capacidade de infiltração, favorecendo a ocorrência de escoamento superficial Hortoniano até em eventos de baixa intensidade.

7 CONCLUSÕES

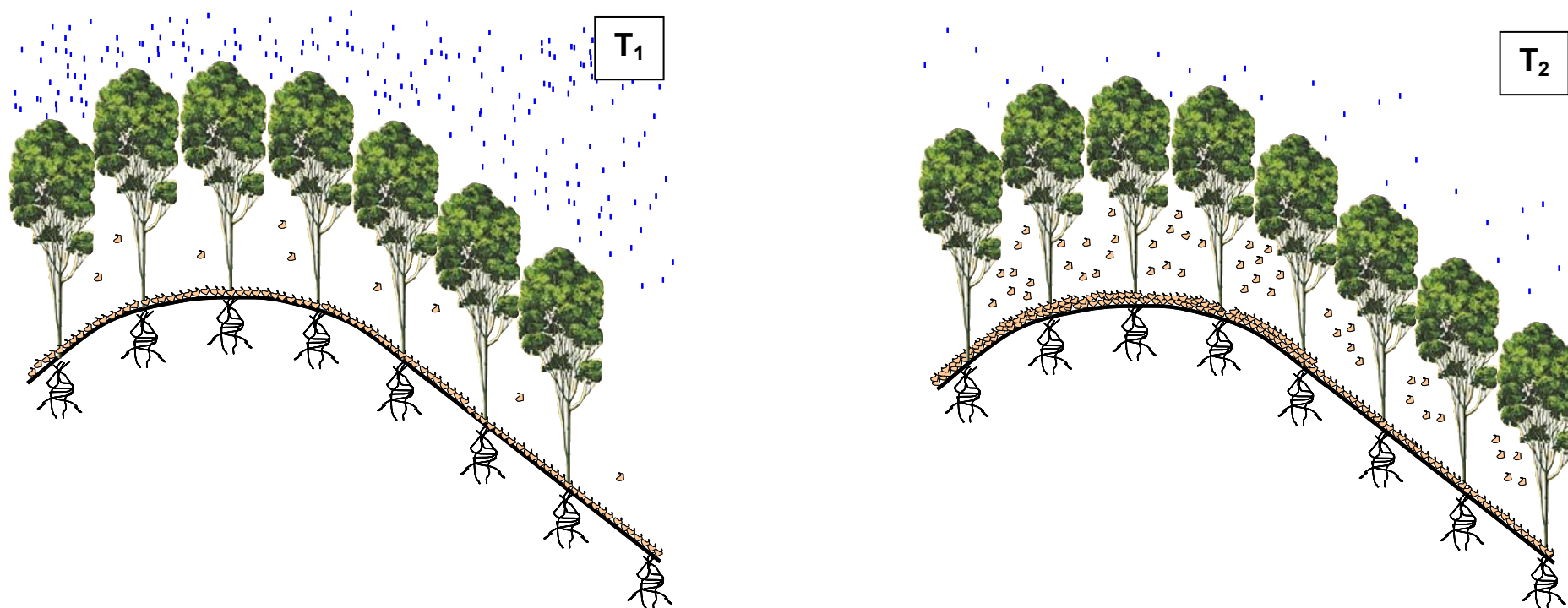
- I) No ano de 2000 não existiam plantios de eucalipto na bacia do rio Sesmarias, enquanto no ano de 2007 os plantios de eucalipto já cobriam 6% da área da bacia, sobrepondo principalmente as antigas áreas de pastagem no domínio das colinas convexo-côncavas. Considerando esses dois recortes temporais, a taxa de expansão nesta bacia foi de 122 ha.ano^{-1} ;
- II) O domínio de encosta lateral apresenta maior abertura do dossel em virtude da declividade da encosta, o que gera diferenças no comportamento hidrológico;
- III) Os fluxos de atravessamento são espacialmente variados. Eles apresentam maior concentração junto aos troncos na comparação com os espaços entre os troncos devido à arquitetura convergente dos galhos.
- IV) Ocorre maior atravessamento nos períodos de estiagem, o que sugere a existência de hidrofobia nas estruturas do dossel durante os períodos secos;
- V) Os pluviômetros em calha são os instrumentos mais indicados para avaliar os fluxos de atravessamento de forma integrada, pois abrangem grande parte da heterogeneidade interna dos plantios de eucalipto. Entretanto, quando o objetivo do estudo é analisar a variabilidade espacial dos fluxos de atravessamento, os pluviômetros cilíndricos são os mais indicados, pois eles apresentam medidas pontuais;
- VI) Através dos experimentos com os pluviômetros radialmente dispostos comprovou-se que os galhos convergem os fluxos para junto ao tronco, o que provoca uma grande injeção pontual de água na base das árvores;
- VII) A vegetação do plantio de eucalipto respondeu rapidamente à redução dos índices pluviométricos com grande produção de serrapilheira. As árvores no

divisor responderam mais acentuadamente em virtude da menor área de contribuição hídrica;

- VIII) O coeficiente de decomposição da serrapilheira do eucalipto apresentou um baixo valor ($k = 0,39$), o que indica uma baixa taxa de decomposição, levando 649 dias para decompor 50% do estoque de serrapilheira;
- IX) O estoque de serrapilheira apresentou tendência de aumento ao longo do período de monitoramento, refletindo, não apenas o aumento da produção de serrapilheira, mas também a baixa taxa de decomposição, que favorecem o aumento do estoque;
- X) a capacidade de retenção hídrica da serrapilheira do eucalipto é semelhante a observada na serrapilheira de floresta ombrófila densa, o que indica que ambas podem regular semelhantemente a entrada de água no solo;
- XI) o escoamento superficial no plantio de eucalipto é muito reduzido, com média de 0,1% na relação Q/P no divisor e 0,2% na encosta lateral, sendo comparável ao do uso antecedente de gramíneas para pastagem. Dois fatores provavelmente estão associados para explicar essa grande infiltração da água no solo: o grande estoque de serrapilheira e a injeção pontual de água na base dos troncos, local abaixo do qual deve ser encontrada a maior densidade de raízes, que são vias preferenciais de percolação de água no solo;

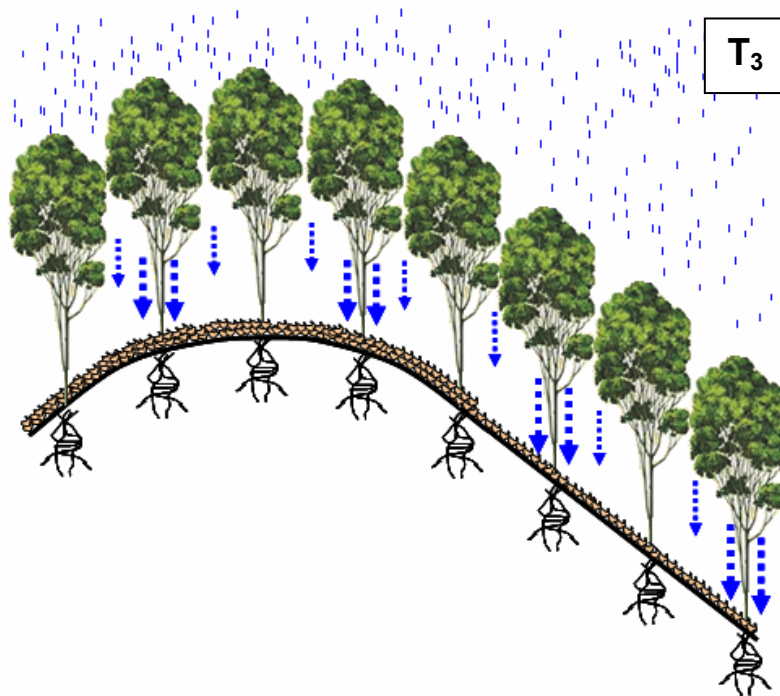
MODELO HIDROLÓGICO PARA O PLANTIO DE EUCALIPTO

A seguir será demonstrado o modelo que resume os principais resultados encontrados neste estudo:

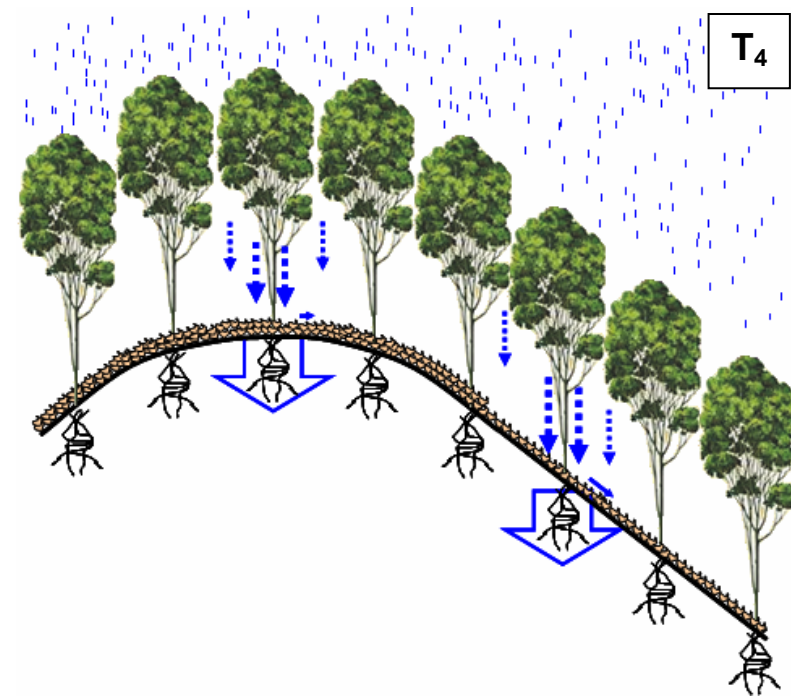


Em T_1 é observado que não existe grande diferença entre o estoque de serrapilheira do divisor e da encosta lateral. Durante o período chuvoso a produção de serrapilheira entre esses dois domínios geomorfológicos também não apresenta diferença acentuada.

No momento T_2 inicia-se a estiagem, o que gera grande queda de folhas. As áreas do divisor apresentam maior produção de serrapilheira na comparação com a encosta lateral em virtude da menor área de contribuição hídrica. O estoque de serrapilheira também se diferencia entre os dois domínios geomorfológicos. Existe uma tendência de acumulação desse material em vista do baixo coeficiente de decomposição ($k=0,39$).



Em T_3 está representada a precipitação que incide sobre o dossel do plantio. Verifica-se que o atravessamento é espacialmente variado, com maior magnitude junto aos troncos do que entre os troncos, tanto no divisor quanto na encosta lateral. Esse maior atravessamento junto aos troncos está relacionada com a arquitetura convergente dos galhos.



Em T_4 é demonstrado que, embora o escoamento superficial na encosta lateral (0,2% da precipitação) seja maior que no divisor (0,1% da precipitação), quase a totalidade da água que atravessa o dossel infiltra no solo, provavelmente utilizando as raízes como vias preferencias de percolação.

DESDOBRAMENTOS DA PESQUISA

As conclusões dessa dissertação de mestrado desdobraram novos questionamentos que serão abordados no prosseguimento desta pesquisa. São esses os questionamentos que serão investigados:

- I) O fato do escoamento superficial ser reduzido no plantio de eucalipto (*stricto sensu*) está relacionado com a maior facilidade da água percolar no solo próximo aos troncos, onde há maior atravessamento e deve haver maior concentração de raízes, considerando que estas são vias preferenciais de percolação, conforme indica Silveira *et al.* (2004)?
- II) Como sugere Croke *et al.* (1999), o principal problema de erosão superficial nos plantios de eucalipto (*lato sensu*) está nas estradas não-pavimentadas. Quais são as taxas de erosão nas estradas dos plantios de eucalipto no médio vale do rio Paraíba do Sul? Quais os controles e que medidas podem ser adotadas para reduzir a magnitude deste processo?
- III) Quais alterações hidrológicas ocorrerão na cabeceira de drenagem após o corte do eucalipto? E existem variações hidrológicas em virtude da utilização ou não da rebrota no plantio de eucalipto?
- IV) Na comparação de três cabeceiras de drenagem com diferentes usos e coberturas (silvicultura de eucalipto, gramíneas para pastagem e floresta ombrófila), quais são as variações sazonais detectadas em cada uma delas no que tange a hidrologia de superfície (escoamento superficial e quantidade e qualidade da água dos canais) e subsuperfície (absorção de água pelas raízes, recarga de aquífero e variação do nível freático)?

REFERÊNCIAS

ABDALAD, M.A.; SATO, A.M.; COELHO NETTO, A.L. (2005): "Resultante sócio-espacial da expansão do eucalipto no vale do rio Paraíba do Sul." XXVII Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural da UFRJ, Rio de Janeiro/RJ, 177-178.

ALMEIDA, A.C. & SOARES, J.V. (2003): "Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil." Revista Árvore 27(2): 159-170.

ANDREASSIAN, V. (2004): "Waters and forests: from historical controversy to scientific debate." Journal of Hydrology 291(1-2): 1-27.

ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. (2003): "Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa – MG." Revista Árvore 27(5): 715-721.

ARAÚJO, L.S. (1999): "Análise da cobertura vegetal e biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/Landsat e JERS-1." Dissertação (mestrado), INPE. 129p.

ARMSON, K.A. (1977) "Forest Soils: properties and processes", University of Toronto Press, Canada.

AVELAR, A.S. & COELHO NETTO, A.L. (1992): "Fraturnas e desenvolvimento de unidades geomorfológicas côncavas no médio vale do rio Paraíba do Sul." Rev. Bras. Geociências 22(2): 222-227.

BACELLAR, L.D.P. (2005): "O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas." Geo.br 1: 1-39.

BOLFE, É.L.; FONSECA, E.L.; PEREIRA, R.S. & MADRUGA, P.R.A. (2003): "Verificação da exatidão em classificação digital de povoamentos florestais em imagem orbital mediante três índices." In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Belo Horizonte.

CANAVESI, V. & PONZONI, F.J. (2007): "Relações entre variáveis dendrométricas de plantios de *Eucalyptus sp.* e valores de FRB de superfície de imagens do sensor TM/Landsat 5." In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis.

CASTRO JÚNIOR, E. (1991): "O papel da fauna endopendônica na estruturação física do solo e seu significado para a hidrologia de superfície." Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 150p.

CASTRO, F.C. & CENTENO, T.M. (2005): "Segmentação de imagens geradas por perfilamento a laser para delimitação de árvores individuais em uma área de reflorestamento de eucaliptos." In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Goiânia.

CLEVELÁRIO JÚNIOR, J. (1988): "Quantificação da massa e do reservatório de nutrientes na serrapilheira da bacia de drenagem no alto rio da Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, e avaliação da sua participação na ciclagem de nutrientes." Dissertação (mestrado) Programa de Geoquímica/UFF. 152p.

COELHO NETTO, A L. (1999): "Catastrophic Landscape Evolution in a Humid Region (SE Brazil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes." *Supplementi di Geografia* 162 (III), Tomo 3: 21-48.

COELHO NETTO, A L. (2003): "Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): Bases para um Modelo de Formação e Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural." *Rev. Bras. Geomorfologia*, Ano 4(2): 118-167.

COELHO NETTO, A.L. (1985): "Surface hydrology and soil erosion in a tropical mountainous rainforest drainage basin, Rio de Janeiro." Phd thesis, Katholieke Univ. Leuven, Belgium, 185p.

COELHO NETTO, A.L. (1987): "Overlandflow production in a tropical rainforest catchment: the role of litter cover." *CATENA* 14(3): 213-231.

COELHO NETTO, A.L. (1994): "Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia", *in* Geomorfologia; uma atualização de bases e conceitos, (Guerra, A.J.T;Cunha,S.B, orgs.) Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, pp.93-148.

COELHO NETTO, A.L.; FERNANDES, N.F.; DANTAS, M.E.; DIETRICH, W.E.; MONTGOMERY, D., DAVIS. J.C., PROCTOR, I., VOGGEL, J. & SOUTHON, J. (1994): "¹⁴C AMS evidences of two Holocene erosion-sedimentation cycles in SE Brasil: stratigraphy and stratigraphic inversions." 14th Intern. Sedimentary Congress, IAS-Internat. Association of Sedimentologists, Recife: 28-30.

COELHO NETTO, A.L.; SANCHE, M. & PEIXOTO, M.N.O. (1986): "Precipitação e intercepção florestal em ambiente tropical montanhoso." *Ver. Brás. de Engenharia* 4(2)

CORRÊA NETO, T.A.; PEREIRA, M.G.; CORREA, M.E.F. & ANJOS, L.H.C. (2001): "Decomposição de serrapilheira e mesofauna edáfica em áreas de eucalipto e floresta secundária." *Floresta e Ambiente* 8(1): 70-75.

COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & CUNHA, G.M. (2005): "Decomposição e liberação de nutrientes da serrapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense." *Revista Árvore* 29(4): 563-570.

CROKE, J.; HAIRSINE, P. & FOGARTY, P. (1999): "Runoff generation and redistribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Austrália." *Journal of Hydrology* 216(1-2): 56-77.

CUNHA, G.M.; GAMA-RODRIGUES, A.C. & COSTA, G.S. (2005): "Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no Norte Fluminense." *Revista Árvore* 29(3): 353-363.

DANTAS, M.E. (1995): "Controles naturais e antropogênicos na sedimentação fluvial, espacialmente não uniforme, na bacia do rio Bananal (SP/RJ): médio vale do rio Paraíba do Sul." Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 142p.

DEUS, E. (1991): "O papel da escavação das formigas do gênero *Atta* na hidrologia de encostas e áreas de pastagem – Bananal (SP)". Dissertação (Mestrado), PPGG/IGEO/UFRJ. 135p.

DIETRICH, W.E. & DUNNE, T. (1993): "The channel head", in *Channel Network Hydrology*, (Beven, K. & Kirkby, M.J., eds), John Wiley & Sons, Chichester, pp. 175-219.

DIETRICH, W.E.; MONTGOMERY, D.; COELHO NETTO, A.L. & MOURA, J.R.S. (1991): "Evidence for regional aggradation starting in the Early Holocene in southeastern Brazil and for degradation due to deforestation." *Am. Geoph. Union, Fall Meet., San Francisco, USA/EOS*, vol. 70(43):1124.

DUNNE, T. & LEOPOLD, L.B. (1978): "Water in Environmental Planning", W.H. Freeman and Company, New York.

DUTTA, R.K. & AGRAWAL, M. (2001): "Litterfall, litter decomposition and nutrient release in five exotic plant species planted on coal mine spoils." *Pedobiologia* 45(4): 298-312.

FONSECA, A.P. (2006): "Análise de mecanismos de escorregamento associados a voçorocamento em cabeceiras de drenagem na bacia do rio Bananal (SP/RJ)." Tese (Doutorado), COPPE/UFRJ. 348p.

FREIRE ALLEMÃO, A.V. (1997): "Recarga e drenagem em solos florestados: o papel dos sistemas radiculares." Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 136p.

GAMA, F.F.; SANTOS, J.R.; MURA, J.C. & FREITAS, C.C. (2007): "Utilização de dados polarimétricos e interferométricos SAR para estimativa de biomassa de povoamentos de *Eucalyptus*." In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis.

GAMA-RODRIGUES, A.C. & BARROS, N.F. (2002): "Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil." *Revista Árvore* 26(2): 193-207.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F. & COMERFORD, N.B. (2007): "Biomass and nutrient cycling in pure and mixed stands of native tree species in southeastern Bahia, Brazil." *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31:287-298.

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

GARAY, I.; PELLENS, R.; KINDEL, A.; BATRROS, E. & FRANCO, A.A. (2004): "Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brazil: a contribution to the study of sustainable land use." *Applied Soil Ecology* 27: 177-187.

GUERRA, A.J.T. (1994): "Processos erosivos nas encostas", in *Geomorfologia; uma atualização de bases e conceitos*, (Guerra, A.J.T;Cunha, S.B, orgs.)Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, pp.149-209.

GUO, L.B. & SIMS, R.E.H. (1999): "Litter decomposition and nutrient release via litter decomposition in New Zealand eucalypt short rotation forests." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 75: 133-140.

GUO, L.B. & SIMS, R.E.H. (2001a): "Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand I. external effects." *Soil Biology and Biochemistry* 33(10): 1381-1388.

GUO, L.B. & SIMS, R.E.H. (2001b): "Effects of light, temperature, water and meatworks effluent irrigation on eucalypt leaf litter decomposition under controlled environmental conditions." *Applied Soil Ecology* 17:229-237.

GUO, L.B. & SIMS, R.E.H. (2002): "Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand: II. internal effects." *Soil Biology and Biochemistry* 34(7): 913-922.

HERWITZ, S.R. (1987): "Raindrop impact and water flow on the vegetative surfaces of trees and the effects on stemflow and throughfall generation." *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 425-432.

HEWLETT, J.D. & NUTTER, W.D. (1969): "An outline of forest hydrology – Chapter 7: surface water, streamflow and the hydrograph." University of Georgia Press, Athens: 87-105.

HEWLETT, J.D. (1982): "Principles of forest hydrology" University of Georgia Press, USA.

HORTON, R.E. (1933): "The role of infiltration on the hydrologic cycle." *Trans. Am. Geophys. Union* 145: 446-460.

HORTON, R.E. (1945): "Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrological approach to quantitative geomorphology." *Bull. Geol. Soc. Am.* 56:275-330.

JANSEN, R.C. (2001): "Distribuição dos sistemas radiculares em encostas florestadas e sua influência sobre a infiltração." Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 118p.

KIRKBY, M.J. (1994): "Process, models and theoretical Geomorphology" (ed.), Chichester, John Wiley & Sons.

KRONKA, F.J.N.; NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K.; KANASHIRO, M.M.; YWANE, M.S.S.; LIMA, L.M.P.R.; GUILLAUMON, J.R.; BARRADAS, A.M.F.; PAVÃO, M.; MANETTI, L.A. & BORGIO, S.C. (2005): "Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento no Estado de São Paulo." In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, Goiânia.

KURZ, I.; COXON, C.; TUNNEY, H. & RYAN, D. (2005): "Effects of grassland management practices and environmental conditions on nutrient concentrations in overland flow." *Journal of Hydrology* 304: 35-50.

KURZ, I.; O'REILLY, C.D. & TUNNEY, H. (2006): "Impact of cattle on soil physical properties and nutrient concentration in overland flow from pasture in Ireland." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 378-390.

LACLAU, J.P.; RANGER, J.; BOUILLET, J.P.; NZILA, J.D.; DELAPORTE, P. (2003): "Nutrient cycling in a clonal stand of *Eucalyptus* and an adjacent savanna ecosystem in Congo: 1. Chemical composition of rainfall, throughfall and stemflow solutions." *Forest Ecology and Management* 176: 105-119.

LEAL, P.J.V. (2004): "Relação entre fluxos subterrâneos de vales vizinhos e a expansão da rede de drenagem via voçorocamento na bacia do rio Bananal, SP." Dissertação (Mestrado), PPGG/IGEO/UFRJ. 133p.

LEITE, A.F (2006): "Variações hidrogeoquímicas nos compartimentos montanhoso e colinoso da bacia do rio Bananal (SP): subsídios à compreensão dos processos de intemperismo." Tese (Doutorado), PPGG/IGEO/UFRJ. (em finalização).

LIMA, W.P. (1976): "Intercepção da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro." *IPEF* 13: 75-90.

LIMA, W.P. (1990): "Overland flow and soil and nutrient losses from Eucalyptus plantations." *IPEF International* 1:35-44.

LIMA, W.P. (1996): "Impacto ambiental do eucalipto." São Paulo: EDUSP (2^a ed.), 301p.

LIMA, W.P.; JARVIS, P.; RHIZOPOULOU, S. (2003): "Stomatal responses of *Eucalyptus* species to elevated CO₂ concentration and drought stress." *Scientia Agricola* 60(2): 231-238.

LIMA, W.P; ZÁKIA, M.J.B.; LIBARDI, P.L. & SOUZA FILHO, A.P (1990): "Comparative evapotranspiration of *Eucalyptus grandis*, pine and natural "cerrado" vegetation measure by the soil water balance method." *IPEF Internacional* (1): 5-11.

LOUZADA, J.N.C.; SCHOEREDER, J.H.; MARCO JÚNIOR, P. (1997): "Litter decomposition in semideciduous forest and *Eucalyptus spp.* crop in Brazil: a comparison." *Forest Ecology and Management* 94: 31-36.

MARTINEZ-MURILO, J.F. & RUIZ-SINOGA, J.D. (2007): "Seasonal changes in the hydrological and erosional response of a hillslope under dry-Mediterranean climatic conditions (Montes de Málaga, South of Spain)." *Geomorphology* 88(1-2):69-83.

MARTINS, F.R, (1991): "Estrutura da floresta mesófila." Campinas, SP. Ed. UNICAMP. 246p.

MCCONNELL, W.J. & MORAN, E.F. (2001): "Meeting in the middle: the challenge of meso-level integration." LUCR Report Series, 56p.

MEENTEMEYER, V.; BOX, E.O. & THOMPSON, R. (1982): World patterns and amounts of terrestrial plant litter production." *BioScience* 32 (2): 125-128.

MIELKE, M.S.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F.; PENCHEL, R.M.; MARTINEZ, C.A.; ALMEIDA, A.C. (1999): "Stomatal control of transpiration in the canopy of a clonal *Eucalyptus grandis* plantation." *Trees* 13: 152-160.

MIRANDA, J.C. (1992): "Intercepção das chuvas pela vegetação florestal e serrapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca, RJ." Dissertação (mestrado) PPGG/IGEO/UFRJ. 100p.

MONTEZUMA, R.C. (2005): "Produção e reabilitação funcional do piso florestal em clareira de deslizamento – Parque Nacional da Tijuca, Rio de Janeiro." Tese (Doutorado), PPGG/IGEO/UFRJ. 294p.

MUSGRAVE, G.W. (1947): "The quantitative evolution of factors in water erosion: a first approximation." *Journal of Soil and Water Conservation* 2(3): 133-139.

NEGREIROS, A.B. (2004), "Variabilidade do atravessamento de chuvas em ambiente de floresta clímax e suas relações com a estrutura da vegetação: O caso da mata do Pai Ricardo – Floresta da Tijuca - RJ", Monografia de Graduação, Depto. Geografia/IGEO/UFRJ.

OLIVEIRA, R.R. & COELHO NETTO, A.L. (2001): "Captura de nutrientes atmosféricos pela vegetação na Ilha Grande, RJ." *Pesquisas Botânica* 51: 31-49.

OLIVEIRA, R.R.; SILVA, E. & MACEDO, G.V. (2003): "Biomassa de raízes finas e serrapilheira em floresta secundária no Maciço da Pedra Branca, RJ." *Eugeniana* 26:325-337.

OLSON, J.S. (1963): "Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems." *Ecology* 4 (2): 322-331

PARROTTA, J.A. (1999): "Productivity, nutrient cycling and succession in single-and-mixed-species plantation of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta* and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico." *Forest Ecology and Management* 124:45-77.

PETRAGLIA, C. & DELL'ACQUA, M. (2007): "Actualización de la cartografía forestal del Uruguay con imágenes del año 2004." In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis.

PONZONI, F.J. & SHIMABUKURO, Y.E. (2007): "Sensoriamento remoto no estudo da vegetação." São José dos Campos/SP: A. Silva Vieira Ed., 127p.

RAVEN, P.H.; EVERT, R.F. & EICHHORN, S.E. (2001): "Biologia vegetal" 6ª ed., Guanabara Koogan, Rio de Janeiro.

REZENDE, J.L.P.; GARCIA, Q.S.; SCOTTI, M.R.M.M.L. (2001): "Laboratory decomposition of *Dalbergia nigra* All. Ex. Benth and *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex. Maiden leaves in forest and eucalypt plantations soils." Acta. Bot. Bras. 15(3):305-312.

REZENDE, M.L.; VALE, A.B.; REIS, M.G.F.; SILVA, A.F. & NEVES, J.C.L. (1994): Regeneração natural de espécies florestais nativas em sub-bosque de *Eucalyptus grandis* e em mata secundária no Município de Viçosa, Zona da Mata, MG, Brasil. Anais do I Simpósio Sul-Americano e II Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, Foz do Iguaçu: 409-418.

RIBEIRO, C.; MADEIRA, M. & ARAÚJO, M.C. (2002): "Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes." Forest Ecology and Management 171: 31–41.

ROCHA LEÃO, O.M. (2005): "Evolução regressiva da rede de canais por fluxos de água subterrânea em cabeceiras de drenagem: bases geo-hidroecológicas para a recuperação de áreas degradadas com controle de erosão." Tese (Doutorado), PPGG/IGEO/UFRJ. 247p.

SANTOS, C.R.; CASAGRANDE, B.; ROSENDO, J. S. & ROSA, R. (2007): "O uso do geoprocessamento na detecção de Pinus e vegetação natural no município de Indianópolis – MG." In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Florianópolis.

SATO, A.M.; VIANNA, L.G.G., ALMEIDA, R.C.G., AVELAR, A.S. & COELHO NETTO, A.L. (2007): "Changing landscape mosaic of the mid-Paraíba do Sul river valley: geo-hydroecological responses to *Eucalyptus* growth." In: 25 Years of Landscape Ecology: Scientific Principles in Practice, Wageningen, Netherlands. p. 526.

SCARANO, F.R.; RIOS, R.I.; ESTEVES, F.A. (1998): "Tree species richness, diversity and flooding regime: case studies of recuperation after anthropic impact in

brazilian flood-prone forests.” *International Journal of Ecology and Environmental Sciences* 24: 223-235.

SHARDA, V.N.; SAMRAJ, P.; SAMRA, J.S.; LAKSHMANAN, V. (1998): “Hydrological behaviour of first generation coppiced bluegum plantations in the Nilgiri sub-watersheds.” *Journal of Hydrology* 211: 50–60.

SHIMABUKURO, Y.E.; FILHO, P.H.; KOFFLER, N.F. & CHEN, S.C. (1978): “Classificação automática de reflorestamento de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* em Mogi Guaçu-SP, utilizando dados do satélite Landsat.” *IPEF* 16: 74-87.

SHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. & SIMÕES, J.W. (1994): “Transferências de nutrientes das copas para o solo através da deposição de folheto em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus torelliana*, plantados em Anhembi, SP.” *IPEF*, 47:56-61.

SILVEIRA, C.S. (2004): “Infiltração e transporte de solutos na zona não saturada de um solo florestal – Parque Nacional da Tijuca, RJ.” *COPPE/UFRJ*. 217p.

SILVEIRA, C.S.; BARBOSA, M.C. & COELHO NETTO, A.L. (2005): “A tracer experiment as an alternative methodology to understand infiltration pathway in a tropical rainforest soil.” *Solos e Rochas* 28(3): 261-270.

SOARES, J.V. & ALMEIDA, A.C. (2001): “Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing *Eucalyptus* plantation in Brazil.” *Journal of Hydrology* 253(1-4): 130-147.

SOARES, J.V.; XAVIER, A.C. & ALMEIDA, A.C. (2001): “Balanço de água em Eucaliptos com a caracterização do dossel por técnicas de Sensoriamento Remoto.” In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, Foz do Iguaçu.

SOARES, V.P.; GUIMARÃES, W.D.; RIBEIRO, C.A.A.S. & SILVA, A.S. (2005): “Uso de imagens Landsat-7 ETM+ para o mapeamento de plantações de *Eucalyptus* na região Norte de Minas Gerais.” *Floresta* 35 (1): 137-149.

SOARES, V.P.; HOFFER, R.M.; BRITES, R.S. & RIBEIRO, C.A.A.S. (1996): “Monitoramento de plantações de *eucalyptus spp* no Vale do Rio Doce através de imagens TM/Landsat 5.” In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, Salvador.

TUCCI, C.E.M., BERTONI, J.C. (2000): “Hidrologia: ciência e aplicação”, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2 ed. Porto Alegre, 943p.

UAGODA, R.E.S. (2006): "Reconhecimento geomorfológico de relevo cárstico em rochas quartzíticas: bacia hidrográfica do ribeirão Santana, médio vale do rio Paraíba do Sul." Dissertação (Mestrado), PPGG/IGEO/UFRJ

UAGODA, R.E.S., AVELAR, A.S., COELHO NETTO, A.L. (2006): "Depressões fechadas em relevo cárstico-quartzítico, bacia do Ribeirão Santana, médio vale do rio Paraíba do Sul." Anuário do Instituto de Geociências/UFRJ 29(2): 87-100.

VALENTE, F.; David, J.S.; Gash, J.H.C. (1997): "Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models." Journal of Hydrology 190: 141-162.

VALLEJO, L.R. & Vallejo, M.S. (1981): "Aspectos da dinâmica hidrológica em áreas florestadas e suas relações com os processos erosivos: primeiros resultados." Anais do IV Simpósio do Quaternário do Brasil.

VALLEJO, L.R. (1982): "A influência do "litter" na distribuição das águas pluviais." Tese Doutorado, PPGG/IGEO/UFRJ. 123p.

VIANNA, L.G.G.; SATO, A.M.; FERNANDES, M.C. & COELHO NETTO, A.L. (2007): "Fronteira de expansão dos plantios de eucalipto no geocossistema do médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ)." In: Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, IPABHi, 367-369.

VILLAS BOAS, F.S. (2005): "Nova metodologia para confecção e instalação de parcelas hidro-erosivas do tipo Gerlach." XXVII Jornada Giulio Massarani de Iniciação Científica, Artística e Cultural da UFRJ – CT e CCMN: 285-286.

WAGNER, A.P.L. & DUCATI, J.R. (2005): "Estudo de floresta *Pinus* no Nordeste do estado do Rio Grande do Sul com imagens do sensor ASTER." In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Goiânia.

XAVIER, A.C. (1998): Estimativa de propriedades biofísicas de plantações de eucaliptos a partir de dados Landsat-TM." Dissertação (mestrado), INPE. 116p.

ZAIA, F. C. & GAMA-RODRIGUES, A. C. (2004): "Nutrient cycling and balance in eucalypt plantation systems in north of Rio de Janeiro State, Brazil." Rev. Bras. Ciência do Solo 28(5): 843-852.

ZHOU, G.Y.; MORRIS, J.D.; YAN, J.H.; YU, Z.Y. & PENG, S.L. (2002): "Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in southern China." Forest Ecology and Management 67 (1-3): 209-222.