

ANA PAULA VILELA CARVALHO

**RECARGA DE ÁGUA NO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO
FUNDO, FELIXLÂNDIA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C331r
2011
Carvalho, Ana Paula Vilela, 1984-
Recarga de água no solo na bacia hidrográfica do Riacho
Fundo, Felixlândia-MG / Ana Paula Vilela Carvalho.
- Viçosa, MG, 2011.
xiv, 61f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 53-61.

1. Hidrologia florestal. 2. Eucalipto. 3. Águas subterrâneas.
4. Solos - Compactação. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDO adapt. CDD 634.9116

ANA PAULA VILELA CARVALHO

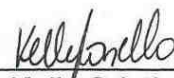
**RECARGA DE ÁGUA NO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO
FUNDO, FELIXLÂNDIA-MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

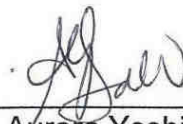
Aprovada: 19 de julho de 2011.



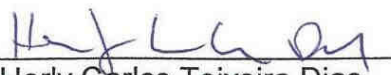
Prof. Haroldo Nogueira de Paiva
(Coorientador)



Prof.^a Kelly Cristina Tonello
(Coorientadora)



Dra. Aurora Yoshiko Sato



Prof. Herly Carlos Teixeira Dias
(Orientador)

Dedico a Deus por iluminar o meu caminho com fé e sabedoria.

Dedico aos meus pais Tadeu e Cidinha
pelo amor e apoio constante.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, fé, fortalecimento, por iluminar e abençoar meus caminhos.

A minha família, em especial aos meus queridos pais, Tadeu e Cidinha e aos meus irmãos Wellyngton e Carol pelo amor, incentivo e carinho. Ao meu avô Boaventura e aos tios Otávio e João (in memoriam) exemplos de humildade e simplicidade. A tia Cidinha e tio Carlos Henrique pelo apoio. A tia Elzira pelo grande carinho e aos meus avós, tios e primos que apoiaram e torceram por mim.

Ao professor Herly Carlos Teixeira Dias pela oportunidade da realização do mestrado e aprendizagem desde a graduação. Ao professor Haroldo Nogueira de Paiva pelo apoio e motivação. À professora Kelly Cristina Tonello e à Dra. Aurora Yoshiko Sato por participarem da banca examinadora e pelas contribuições.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado e financiamento do Laboratório de Hidrologia Florestal.

À Zanini Florestal pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Aos funcionários da Zanini Florestal, José Carlos, Thiago e Isaías por proporcionarem a realização da pesquisa; Warley e Daniel pelo apoio na coleta de dados.

Aos meus queridos amigos que estiveram presentes nos momentos de estudos, alegrias, dificuldades e apoio. À Jacque, Angélica e Carol pela força e amizade durante a convivência em Viçosa tornando-as minhas irmãs de coração. Às amigas Regina, Elisa, Lívia Goulart, aos meus colegas da pós-graduação, Lívia Figueiredo, Júlia, Glau, Ana Flávia, Mariana- Mainha, Erlon e em especial ao Renatinho que sempre disposto a ajudar com um imenso apoio,

estarei sempre agradecida. À Mari Vilar pela amizade e apoio nos trabalhos acadêmicos. Ao Fabrício pelo apoio com as ferramentas do software ArcGIS.

Aos colegas do Laboratório de Hidrologia Florestal-DEF/UFV pelo grande apoio e auxílio na execução da pesquisa: Paulo, João Paulo, Lucas, Otávio e Vanessa.

Ao Thiago pelo companheirismo, amizade e apoio e a D. Iêda e toda a família pela força, carinho e amor.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal pelos preciosos ensinamentos que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial ao Chiquinho pelas palavras de apoio e amizade, à Ritinha e ao Alexandre da secretaria de pós-graduação pela competência, apoio e paciência. À Ritinha, Jamile, Marquione, Imaculada, Noêmia e Cida.

À Universidade Federal de Viçosa e à Pró-Reitoria de Extensão pelas oportunidades, especialmente na participação do Projeto Rondon em janeiro de 2008 em uma verdadeira experiência de vida e cidadania.

E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

ANA PAULA VILELA CARVALHO, filha de Antonio Tadeu Carvalho e de Aparecida Vilela Morais Carvalho, nasceu em 3 de outubro de 1984, em Campo Belo, Minas Gerais.

Em 2004, iniciou o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em janeiro de 2009.

Em 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal na Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua dissertação em julho de 2011.

“O saber a gente aprende com os mestres e os livros.

A sabedoria se aprende com a vida e os humildes.”

Cora Coralina

ÍNDICE

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Processos Hidrológicos.....	3
2.1.1 Precipitação Efetiva	5
2.1.2 Escoamento Superficial	7
2.1.3 Infiltração de Água no Solo	8
2.2 Resistência Mecânica do Solo à Penetração.....	10
2.3 Relações Hídricas e Plantios de Eucalipto.....	11
2.4 Manejo da Bacia Hidrográfica e Plantios de Eucalipto.....	15
2.5 Parâmetros Físicos da Bacia Hidrográfica	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo	20
3.2 Características Morfométricas	22
3.3 Processos Hidrológicos.....	24
3.3.1 Precipitação Efetiva (PE)	24
3.3.2 Escoamento Superficial	26
3.3.3 Infiltração	28
3.4 Determinação da Resistência do Solo à Penetração.....	30
3.5 Determinação do Teor de Umidade do Solo	30
3.6 Monitoramento do Nível do Lençol Freático	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1 Processos Hidrológicos.....	34
4.1.1 Precipitação Efetiva e Escoamento Superficial.....	34
4.1.2 Velocidade de Infiltração e Capacidade de Infiltração	39
4.2 Resistência Mecânica do Solo à Penetração.....	45
4.3 Variação do Nível do Lençol Freático	49
5. CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Página
1	Ciclo Hidrológico nos plantios florestais.....3
2	Influência da vegetação no processo de precipitação.....5
3	Capacidade de infiltração (f_c) e infiltração (f) de água no solo em função do tempo (t).....9
4	Comparativo do consumo de água de florestas e plantio de eucalipto...13
5	Comparação do fator de forma entre duas bacias hidrográficas.....18
6	Método de ordenação dos canais de STRALER (1957).....19
7	Destaque da Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo e sua Cabeceira.....20
8	Uso do solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG...21
9	Localização dos talhões 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia MG.....22
10	Pluviômetro para quantificar a precipitação interna, Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia – MG, 2010.....25
11	A: Coletores arbóreos utilizados para quantificar o escoamento pelo tronco. B: Detalhe do coletor arbóreo, Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia – MG, 2008.....25
12	Parcelas para avaliação do escoamento superficial, Felixlândia- MG, 2010.....26
13	Infiltrômetro de anéis concêntricos para determinação da infiltração de água no solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Fevereiro, 2011.....28
14	Forma de triângulo para determinação da velocidade de infiltração básica na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Fevereiro, 2011.....29
15	Penetrômetro de impacto para determinação da resistência mecânica do solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG, fevereiro, 2011.....30
16	Uso do trado para coleta de amostras de solo, na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG, fevereiro, 2011.....31
17	Localização dos poços piezométricos na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.....32

18	Poço piezométrico para avaliação do nível do lençol freático, Felixlândia-MG, 2010.....	33
19	Precipitação efetiva e escoamento superficial nos talhões 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 nos anos de 2008, 2009 e 2010 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia, MG.....	36
20	Capacidade de Infiltração de água no solo média e resistência a penetração média para cada talhão avaliado na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG, 2011.....	41
21	Teor de umidade nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 nas camadas de 0-10 cm e 20-40 cm de profundidades na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG, fevereiro, 2011.....	42
22	Densidade do solo e matéria orgânica nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44.....	43
23	Resistência mecânica do solo nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 nas profundidades variando de 0-50 cm. Felixlândia- MG, fevereiro, 2011..	48
24	Representação gráfica do nível do lençol freático e precipitação efetiva acumulada (PEA) para 2008, 2009 e 2010 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.....	51

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Comparação entre o consumo de água e a produção de biomassa do eucalipto e outras culturas.....	12
2 Características morfométricas da Bacia de Cabeceira do Riacho Fundo, Felixlândia- MG.....	23
3 Caracterização das oito parcelas de escoamento superficial localizadas na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG.....	27
4 Localização dos poços piezométricos na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG.....	33
5 Precipitação Efetiva (PE) e Escoamento Superficial (ES) nos talhões 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 nos anos de 2008, 2009 e 2010.....	34
6 Velocidade básica de infiltração de água analisada nos seis talhões na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG, 2011.....	39
7 Capacidade de infiltração de água analisada nos seis talhões na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG, 2011.....	39
8 Classificação da velocidade de infiltração d' água nos solos de acordo com o Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos.....	40
9 Análise Granulométrica de amostras de solo coletadas na profundidade de 10 cm nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44.....	42
10 Resistência mecânica do solo média nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Fevereiro, 2011.....	45
11 Profundidade média mensal do lençol freático na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG.....	49

RESUMO

CARVALHO, Ana Paula Vilela, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2011. **Recarga de Água no Solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.** Orientador: Herly Carlos Teixeira Dias. Coorientadores: Haroldo Nogueira de Paiva e Kelly Cristina Tonello.

O plantio de florestas principalmente com espécies exóticas tem crescido a cada dia a fim de suprir a necessidade do mercado interno e externo no que diz respeito à demanda crescente por produtos florestais. E para atingir um nível desejável de preservação da bacia hidrográfica, é necessário o desenvolvimento de estudos voltados ao monitoramento e análise dos principais componentes do ciclo hidrológico. Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a precipitação efetiva, escoamento superficial, infiltração, resistência mecânica do solo à penetração e o nível do lençol freático na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG em área da Zanini Florestal. A precipitação efetiva foi calculada pela soma da precipitação interna e do escoamento pelo tronco. Determinou-se a velocidade de infiltração e capacidade de infiltração de água no solo, em fevereiro de 2011, em seis parcelas, nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 utilizando-se o infiltrômetro de anel. A resistência do solo à penetração foi obtida usando-se um penetrômetro de impacto, em fevereiro de 2011. Os testes de resistência à penetração também foram realizados em fevereiro de 2011, em seis parcelas nos talhões 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 com diferentes tipos de clones, realizando-se oito repetições em cada parcela nas linhas de plantio e entrelinhas, em intervalos de 10 cm de profundidade e atingindo a profundidade de até 50 cm. O monitoramento do nível do lençol freático foi realizado em quatro posições na topossequência, onde foram perfurados quatro poços piezométricos. A precipitação efetiva, escoamento superficial e monitoramento do lençol freático foram avaliados nos anos de 2008, 2009 e 2010. Os valores de escoamento superficial variaram entre os talhões, provavelmente devido ao conjunto de características que cada talhão apresenta. Observou-se que os solos dos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 apresentaram velocidade de infiltração muito rápida de acordo com a classificação do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos. O escoamento superficial de água de chuva foi baixo, não apresentando 1 % em relação à precipitação efetiva, e apresentou pouca

variação ao longo dos anos de 2008, 2009 e 2010. Apesar das camadas analisadas nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 apresentarem altos valores de resistência mecânica verificou-se alta velocidade de infiltração e alta capacidade de infiltração de água no solo nesses talhões. A profundidade do lençol freático variou em função das características hídricas observadas em cada ano de monitoramento e verificou-se que houve recarga do lençol freático ao longo dos anos de 2008, 2009 e 2010.

ABSTRACT

CARVALHO, Ana Paula Vilela, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2011. **Recharge of ground water in Riacho Fundo watershed, Felixlândia-MG.** Adviser: Herly Carlos Teixeira Dias. Co-advisers: Haroldo Nogueira de Paiva and Kelly Cristina Tonello.

The planting of forests mainly with exotic species has grown every day to meet the need of domestic and foreign market with respect to the growing demand for forest products. And to achieve a desirable level of preservation of the watershed, it is necessary to develop studies aimed at monitoring and analysis of the main components of the hydrological cycle. Accordingly, the objective of present study was to evaluate the effective precipitation, runoff, infiltration, soil mechanical resistance to penetration and the groundwater level in the Riacho Fundo watershed, Felixlândia-MG in Zanini's Forest area. The effective precipitation was calculated as the sum of the internal precipitation and stemflow. It was determined the rate of infiltration and infiltration rate of soil water in February 2011 in six plots in plots 35, 36, 39, 40, 42 and 44 using the ring infiltrometer. The soil resistance to penetration was achieved by using an impact penetrometer, in February 2011. The penetration resistance tests were also conducted in February 2011 in six plots in plots 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 and 44 with different types of clones, performing eight repetitions on each parcel on lines planting and between planting lines at intervals of 10 cm deep and reaching depths of up to 50 cm. The monitoring of groundwater level was conducted at four locations in topsequence where there were drilled four piezometric wells. During 2008, 2009 and 2010 there were monitored the effective precipitation, runoff and groundwater. The values of effective runoff ranged from runoff plots, probably due to the set of characteristics that each block has. It was observed that the soils of plots 35, 36, 39, 40, 42 and 44 showed very rapid infiltration rate according to the classification of the Soil Conservation Service of the United States. The superficial runoff of rain water was low and did not show 1 % compared to the effective precipitation, and showed little variation over the years 2008, 2009 and 2010. Despite the layers analyzed in plots 35, 36, 39, 40, 42 and 44 presented high values of mechanical resistance was found high infiltration rate and high capacity of water infiltration into the soil in these plots. The water table depth varied according to the hydric

characteristics observed in each year and it was observed that there was groundwater recharge over the years 2008, 2009 and 2010.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os recursos naturais têm sido utilizados pelo homem de maneira desordenada e muitas vezes de forma inadequada em busca de maior produtividade de alimentos e geração de novas tecnologias capazes de suprir as suas necessidades. Porém dessa forma tem contribuído com uma intensa degradação do ambiente colocando em risco as espécies tanto vegetais quanto animais, contaminando fontes de água, degradando solos e dentre outros impactos ambientais.

A água é um elemento essencial para a vida, todo seu valor pode ser avaliado pelos diversos usos que ela se destina; além de ser um importante componente do organismo humano, tem relevância social, econômica e ambiental, é matéria-prima para inúmeros processos industriais, gera energia, faz parte do ciclo produtivo vegetal e é via de transporte, entre outras funções.

A escassez das águas é apontada pelos organismos nacionais e internacionais como o maior problema ambiental que a humanidade irá enfrentar neste século. A importância da água no contexto geopolítico atual faz dela elemento de pesquisas no intuito de conservar a sua qualidade e melhorar as condições de uso e aproveitamento da mesma em um determinado ecossistema (OLERIANO & DIAS, 2007).

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos têm como principais preocupações minimizar os impactos do uso do solo e eliminar, por meio da reflexão sobre a importância da proteção dos recursos hídricos e realização de atividades educativas e conscientizadoras, o descaso presenciado a cada dia com a água devido ao uso inadequado desse recurso pelo homem.

A ausência de planejamento na utilização dos recursos naturais faz com que o uso de técnicas inadequadas acabe gerando um ciclo de consequências negativas. Entre elas estão a má conservação do solo e da água, a erosão, a baixa produtividade e as perdas econômicas e ambientais.

A quantidade de florestas plantadas principalmente com espécies exóticas tem crescido a cada dia a fim de suprir a necessidade do mercado consumidor no que diz respeito à demanda crescente por produtos florestais. Os plantios florestais de eucalipto visam à garantia do suprimento de matéria-prima para as indústrias de papel e celulose, carvão vegetal para a siderurgia, lenha e biomassa como fonte de energia, óleos essenciais, postes e mourões,

serrados, compensados e painéis reconstituídos como aglomerados, chapas de fibras e MDF.

O Brasil apresenta 6.510.693 ha ocupados por plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus*. Sendo 73,0 % correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* equivalendo a 4.754.334 ha e 27,0 % a plantios de *Pinus* equivalendo a 1.756.359 ha. E apresenta 462.390 ha com outras espécies, como acácia-negra, gmelina, pópulus, seringueira, teca e araucária (ABRAF, 2010).

As plantações florestais geram polêmica no meio social, pois muitos acreditam que essas plantações prejudicam a bacia hidrográfica e degradam a paisagem, principalmente no que diz respeito às características hidrológicas originais. Porém, o efeito visível do consumo de água é comum em qualquer tipo de plantação, seja florestal ou não, em níveis variados, dependendo da espécie plantada.

Para atingir um nível desejável de preservação destes recursos, é necessário o desenvolvimento de estudos voltados ao monitoramento e análise dos principais componentes do ciclo hidrológico. É preciso analisar os fatores que têm influência sobre as bacias hidrográficas, em especial o papel da vegetação e de que maneira ela interfere na dinâmica da água nas bacias hidrográficas, e qual é a sua importância para a manutenção destas, via processos de interceptação pluviométrica, precipitação interna, escoamento pelo tronco e fluxos de água no solo.

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a precipitação efetiva, escoamento superficial, infiltração, resistência mecânica do solo e nível do lençol freático na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Processos Hidrológicos

O ciclo hidrológico é a movimentação que a água realiza entre a atmosfera, os oceanos e os continentes (Figura 1). Sua manutenção se dá pela energia proveniente do sol, uma vez que tal energia aumenta as demandas por evaporação da água líquida ou do derretimento da mesma quando em seu estado sólido (TUCCI, 2001).

Os processos hidrológicos correspondem a todas as formas de circulação da água no ambiente. A precipitação, interceptação, evaporação, transpiração, infiltração, escoamento superficial são exemplos de processos hidrológicos (BITTENCOURT, 2000).

Nos continentes a água que é precipitada pode seguir vários caminhos: uma parte pode ser devolvida diretamente à atmosfera por evaporação; outra parte pode originar o escoamento sobre a superfície do terreno (escoamento superficial). O restante da água infiltra no solo e a água que se movimenta no perfil do solo representa o processo de percolação. Esta água que infiltra no solo pode atingir os aquíferos quando se movimenta para maiores profundidades, constituindo o escoamento subterrâneo. A água ainda pode acumular nas camadas superiores do solo e voltar à atmosfera através do processo denominado evaporação (SILVA, 2002).

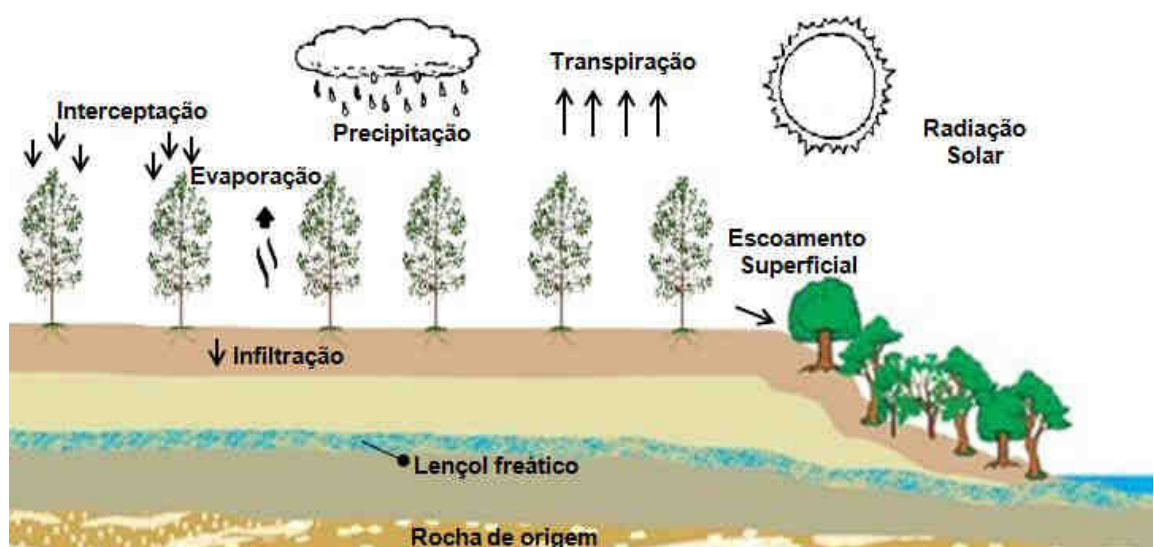


Figura 1- Ciclo Hidrológico nos plantios florestais.
Fonte: Adaptado de www.aracruz.com.br

A precipitação é definida como toda a água, na forma líquida ou sólida, que cai da atmosfera em direção ao solo. Os principais tipos de precipitação são a chuva, a garoa, a neve e o granizo (PINTO et al., 1996). De acordo com a intensidade, duração e frequência da precipitação haverá uma influencia na erosão do solo devido ao impacto das gotas e pelo escoamento superficial produzido (PRUSKI, 1990).

Segundo Helvey & Patric (1965b) citado por Lima (1976) “A interceptação é um processo hidrológico pelo qual a água da chuva é temporariamente retida pelas copas das árvores, sendo subsequente redistribuída em: I) água que respinga ao solo; II) água que escoar pelo tronco; III) água que volta à atmosfera por evaporação”.

A infiltração é o processo que define a entrada da água no solo e determina quanto de água penetra no solo e quanto escoar superficialmente. O uso do solo exerce significativa influência sobre a infiltração e por meio do manejo integrado de bacias hidrográficas baseados em técnicas conservacionistas de solo e água pode-se modificar a capacidade de infiltração (LIMA, 2008).

O processo de evapotranspiração corresponde à combinação de dois processos: a evaporação que é o processo por meio do qual a água líquida é convertida em vapor (vaporização) e removida da superfície evaporante (remoção de vapor) e a transpiração que consiste na vaporização da água líquida contida nos tecidos das plantas e a remoção do vapor à atmosfera. A energia solar e a disponibilidade de água são condições necessárias para sustentar a evapotranspiração (ALLEN, 1998).

O escoamento superficial é um componente do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. O empocamento da água nas depressões existentes na superfície do solo começa a ocorrer somente quando a intensidade de precipitação excede a taxa de infiltração, ou quando a capacidade de infiltração de água no solo for ultrapassada. Desta forma quando é esgotada a capacidade de retenção superficial, a água começa a escoar pela superfície do solo (PRUSKI, 2003).

Em ecossistemas florestais é de fundamental importância o conhecimento quantitativo desses processos hidrológicos para que o balanço hídrico do ecossistema seja completo e os efeitos do desenvolvimento das

florestas e estádios sucessionais sejam percebidos com êxito (TONELLO et al., 2004).

2.1.1 Precipitação Efetiva

A precipitação ao entrar em contato com a cobertura vegetal passa a sofrer interferência das suas características e irá influenciar sob diferentes formas quando em contato à superfície do solo. Considerando um ecossistema florestal, as diferentes formas pelas quais a vegetação interfere na precipitação estão representadas na Figura 2. A precipitação é classificada em precipitação em aberto, precipitação interna, escoamento pelo tronco, interceptação e precipitação efetiva (LIMA, 2008).

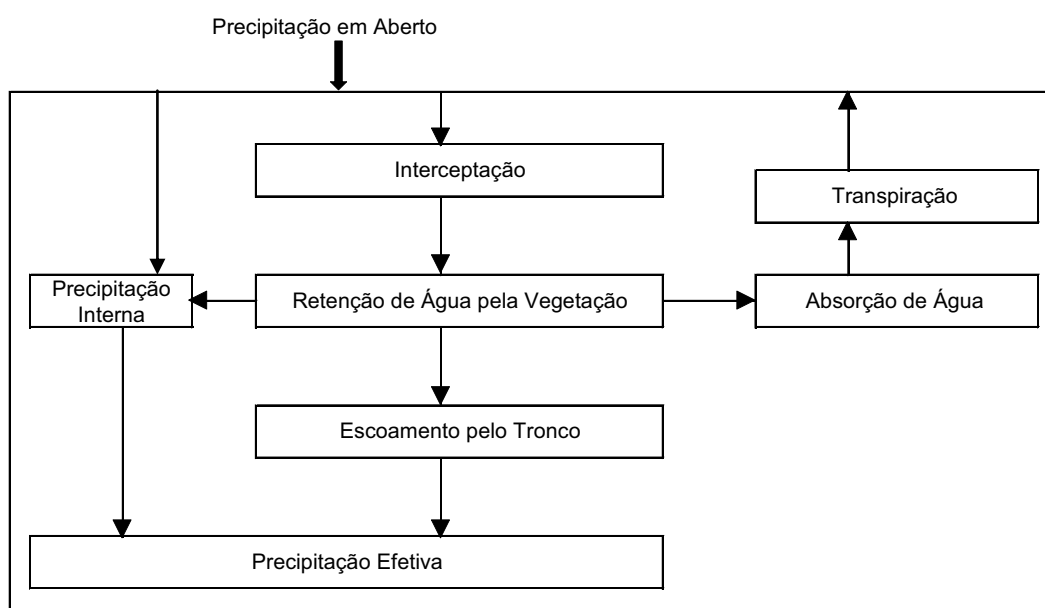


Figura 2- Influência da vegetação no processo de precipitação.
Fonte: Adaptado de LIMA, 2008.

A precipitação em aberto é aquela medida acima do dossel florestal ou acima do nível da copa da vegetação (LIMA, 2008). A precipitação interna é constituída pelas gotas que atravessam diretamente o dossel florestal e as gotas que respingam do dossel. Uma parte da precipitação é temporariamente retida pela cobertura vegetal e depois é evaporada para a atmosfera constituindo o processo denominado de interceptação. Outra parte chega ao

solo como precipitação interna e como fluxo que escoo pelo tronco das árvores (ARCOVA et al., 2003).

A interceptação é um processo hidrológico importante no balanço hídrico, principalmente em áreas com florestas de grande porte. A influência da cobertura vegetal no recebimento e redistribuição das chuvas é significativa no balanço hídrico de um determinado local (OLIVEIRA et al., 2008).

A precipitação efetiva (P_e) é a quantidade de chuva que atinge o solo, sendo resultado da soma da precipitação interna e escoamento pelo tronco. De acordo com Tonello et al. (2004) a precipitação efetiva é influenciada pela cobertura florestal que irá contribuir com o abastecimento da água no solo e ser um indicativo do volume de água efetivamente precipitada na superfície da bacia hidrográfica.

A quantidade de água das variáveis envolvidas na precipitação efetiva depende de fatores relacionados tanto à vegetação quanto a condições climáticas nas quais a floresta está inserida. Em relação à vegetação, tem-se: a quantidade, diversidade e idade das espécies, nível de inclusão de diâmetro a altura do peito (DAP), tipo de coletor de escoamento pelo tronco, arquitetura e forma de copa, estratificação das copas, filotaxia, tipo de folha, tamanho e forma da folha, tipo de casca e irregularidades no tronco, etc (OLIVEIRA JÚNIOR & DIAS, 2005).

Em um estudo desenvolvido na Mata do Paraíso no município de Viçosa-MG, localizada em um trecho de Floresta Estacional Semidecidual no período entre setembro de 2002 e maio 2003, Oliveira Júnior & Dias (2005) observaram uma precipitação efetiva (P_e) de 849,6 mm, correspondendo a 81,7 % da precipitação no aberto (P_a) igual a 1.039,5 mm, em que a precipitação interna (P_i) e o escoamento pelo tronco (E_t) contribuíram com 80,0 % e 1,7 % respectivamente.

No experimento realizado em janeiro a dezembro de 2004 na Floresta Nacional de Caxiuanã no município de Melgaço, Pará a precipitação efetiva foi de 905,4 mm, o que correspondeu a 78,5 % da precipitação total (OLIVEIRA et al., 2008).

Lima (1976) verificou uma menor taxa de escoamento pelo tronco em povoamento de *Pinus caribaea caribaea* em relação ao povoamento de *Eucalyptus saligna*, e conclui que os menores índices de escoamento pelo tronco nas coníferas está relacionada a sua maior rugosidade de casca.

2.1.2 Escoamento Superficial

Os processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica possuem duas direções de fluxo: vertical, representado pela precipitação e evapotranspiração, e horizontal, representado pelo escoamento. A vegetação tem papel fundamental em todo o processo hidrológico da bacia hidrográfica, principalmente na interceptação e evapotranspiração, atuando, indiretamente, em todas as fases do ciclo (TUCCI & CLARKE, 1997).

A presença da cobertura vegetal e matéria orgânica atuam reduzindo a erosão hídrica, uma vez que promove a dissipação da energia cinética das gotas da chuva, diminuindo a desagregação das partículas de solo e o selamento superficial, favorecendo a infiltração de água. Atua, ainda, na redução da velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, no potencial erosivo da enxurrada (COGO et al., 1984; ZHOU et al., 2002).

O escoamento superficial é resultado da água precipitada que não foi interceptada pela cobertura vegetal ou retida sobre a superfície do terreno e não infiltrou e que, conseqüentemente, acaba escoando nos caminhos de maior declividade (TUCCI, 1998). Ocorre quando a intensidade da precipitação excede a velocidade de infiltração da água no solo. Após a velocidade de infiltração ser excedida, a água começa a preencher as depressões existentes na superfície do solo e, na seqüência, começa o escoamento superficial (MOHAMOUD et al., 1990), sendo este considerado o principal responsável pelo rápido aumento da vazão após a ocorrência de uma precipitação (GRIEBELER et al., 2001).

Os principais aspectos que influenciam as alterações no escoamento são: teor de umidade do solo, intensidade da precipitação, diferenças de elevação, profundidade e declividade do solo, grau de desmatamento da bacia hidrográfica (TUCCI & CLARKE, 1997).

O escoamento superficial transporta compostos químicos, matéria orgânica e defensivos agrícolas que além de causarem prejuízos diretos à produção agropecuária, também poluem os cursos d' água (PRUSKI, 2003).

O volume total de água transportado pelo canal de um curso de água é formado pelo escoamento superficial ou escoamento direto que é liberado pela bacia durante e imediatamente após a ocorrência de chuva e pelo afluo de água subterrânea, ou escoamento de base. No entanto, o escoamento

superficial resultante das precipitações é considerado o componente preponderante na formação de cheias ou aumento de vazões dos cursos de água (PINTO et al., 1973).

A análise do escoamento superficial permite identificar o melhor uso do solo para menores perdas de água e solo, portanto é fundamental realizar pesquisas e estudos diretamente relacionados às técnicas de manejo integrado de bacias hidrográficas que priorizem a manutenção dos recursos hídricos em quantidade e qualidade adequadas aos seus devidos fins (VILAR, 2007).

2.1.3 Infiltração de Água no Solo

Infiltração é a passagem de água da superfície para o interior do solo. Portanto, é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e da quantidade de água e ar, inicialmente presentes no seu interior (LIMA, 2008).

A infiltração da água no solo pode ser considerada como a seqüência das fases: a) a entrada de água pela superfície; b) a transmissão da água através do perfil do solo; c) a depleção da capacidade de armazenamento da água do solo (REICHARDT, 1990).

Segundo Horton (1940) "capacidade de infiltração" (f_c) é definida como sendo a taxa máxima com que um dado solo, em determinadas condições, pode absorver água. A velocidade de infiltração (V_i) ou taxa de infiltração representa a taxa de entrada de água no interior do solo (lâmina/tempo, volume/unidade de área na unidade de tempo).

Uma parte da água infiltrada no solo atravessa a região das raízes e alcança maior profundidade, até encontrar camadas impermeáveis, saturando os poros do solo e dando origem ao lençol freático. Um lento movimento de água tem início por meio dos poros do solo até a superfície, dando origem às nascentes podendo formar cursos de pouco volume, mas que devem se tornar fluxos de água bem perceptíveis (SANTANA, 2003; DIAS et al., 2006).

No afloramento da água do lençol freático à superfície, é fundamental que haja infiltração, percolação e abastecimento do lençol freático pela água proveniente da precipitação. No entanto é necessário reduzir as perdas de

água por escoamento superficial e promover a efetiva recarga do lençol freático através da infiltração (VILAR, 2007).

De acordo com Lima (2008) a influência do solo sobre a infiltração é relacionado por características como textura e estrutura. A textura refere-se à quantidade dos elementos contidos no solo sendo divididos em areia, silte e argila, enquanto a estrutura é influenciada pelo arranjo destes componentes, ou seja, a estrutura pode ser afetada pela textura, matéria orgânica, atividade biológica, etc. Esta estruturação irá definir a distribuição e tamanho dos poros, em geral conduzir um aumento da porosidade total, que contribuirá para a melhoria de outras características do solo como: aeração, infiltração, percolação, capacidade de armazenamento de água, melhor desenvolvimento do sistema radicular, etc.

Quando a intensidade da chuva for inferior ao valor da capacidade de infiltração- f_c , esta ocorre a uma taxa menor, referida como infiltração- f (LIMA, 2008). No processo hidrológico de precipitação existe um período inicial durante o qual toda a precipitação se infiltra no solo. Verifica-se na Figura 3 que durante este período a capacidade de infiltração- f_c decresce, até tornar-se menor que a intensidade de precipitação; a partir deste momento, a água começa a acumular-se sobre a superfície do solo e o escoamento superficial pode ocorrer (MEIN & LARSON, 1973).

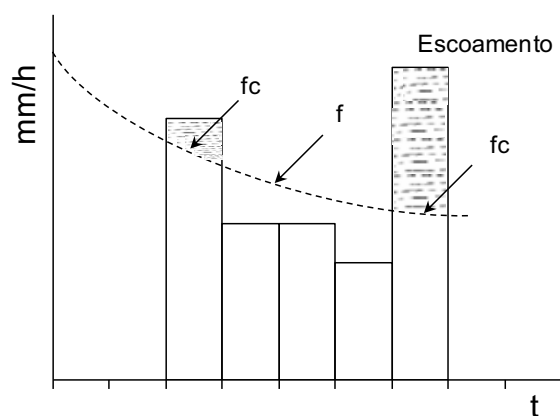


Figura 3- Capacidade de infiltração (f_c) e infiltração (f) de água no solo em função do tempo (t).

Fonte: Adaptado de LIMA, 2008.

Soni et al. (1985) realizaram estudos de infiltração em Uttar Pradesh estado da Índia com plantações de sal (*Shorea robusta*), teca, bambu,

eucalipto e pastagens no qual concluíram que a taxa de infiltração foi maior no plantio de eucalipto.

Antoneli & Thomaz (2009) avaliaram a infiltração de água no solo no mês de agosto e dezembro em sete tipos de uso do solo, sendo eles: agricultura, capoeira, floresta com araucária, reflorestamento com eucalipto, cultivo de *erva-mate* e pastagem na bacia do arroio Boa Vista localizada no Município de Guamiranga (PR). Observaram que a infiltração foi maior nos ensaios realizados em agosto, sendo que o uso com agricultura mecanizada apresentou a maior taxa de infiltração total nos dois períodos avaliados. O uso do solo com pastagem registrou a menor taxa de infiltração nos dois períodos avaliados. Em relação à redução na taxa de infiltração total em comparação a agosto e dezembro, observaram que os usos com capoeira e reflorestamento com eucalipto registraram as menores reduções na infiltração.

A cobertura do solo conserva a estrutura da sua superfície inalterada, em função da interceptação e da absorção do impacto direto das gotas de chuva. A cobertura vegetal reduz acentuadamente a velocidade do escoamento superficial, e mantém elevadas as taxas de infiltração da água no solo (PAIVA, 1999).

2.2 Resistência Mecânica do Solo à Penetração

A compactação do solo é um processo resultante de tensões recebidas em uma área, através da mecanização ou pelo pisoteio animal. A distribuição da compactação no perfil do solo é variável de acordo com a intensidade das pressões externas aplicadas ao solo, tipo de solo e teor de umidade (RAPER & ERBACH, 1990).

O aumento da densidade do solo pode diminuir o desenvolvimento radicular das plantas devido ao impedimento físico (MARTINS et al., 2002). A compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita e transporte florestal que trafegam numa mesma linha várias vezes, assim como a extensão da área impactada, constitui fator de preocupação, em virtude da possibilidade de efeitos prejudiciais para o crescimento da floresta (SEIXAS & SOUZA, 2007; SILVA, et al., 2007 b).

As modificações estruturais causadas no solo pelos diferentes sistemas de manejo podem resultar em maior ou menor compactação, que poderá interferir na densidade do solo, na porosidade, na infiltração de água no solo e no desenvolvimento radicular das culturas (POGGIANI, 1996; TAVARES FILHO et al., 2001).

Segundo Costa et al. (2003), a densidade tende a aumentar com a profundidade o que se deve a fatores tais como: teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, menor penetração de raízes, maior compactação ocasionada pelo peso das camadas subjacentes, diminuição da porosidade total devido a eluviação de argila, dentre outros.

O uso do penetrômetro de impacto, aparelho que mede a resistência mecânica do solo à penetração, permite identificar a profundidade em que se encontram as camadas, naturalmente adensadas ou compactadas devido ao manejo inadequado do solo. O penetrômetro de impacto tem como princípio de funcionamento a penetração de uma haste com ponteira com uma área de projeção no solo através do impacto de um êmbolo de massa conhecida a uma altura constante. Conta-se o número de impactos necessários para que o aparelho penetre a espessura de determinada camada.

Segundo Benghough & Mullins (1990) os penetrômetros fornecem boas estimativas da resistência mecânica do solo à penetração das raízes uma vez que apresentam como principais vantagens a facilidade e a rapidez na obtenção dos resultados. No Brasil, penetrômetros de impacto tem sido bastante utilizados em estudos de ciência do solo para se avaliar o efeito de manejo sobre a compactação do solo (STOLF et al., 1998).

2.3 Relações Hídricas e Plantios de Eucalipto

A água possui três funções principais nas plantas: participar na reação da fotossíntese, ser transpirada pela abertura dos estômatos no processo de transpiração e ser veículo para transporte (como seiva). Essas atividades metabólicas alimentam um ciclo completo da água que, após precipitar-se sobre o solo, é absorvida pelas raízes, evaporada de volta para a atmosfera, precipitando-se novamente sobre o solo (VITAL, 2007).

As espécies do gênero *Eucalyptus* possuem um crescimento rápido em relação às espécies nativas, porém a eficiência no aproveitamento da água por parte das espécies de *Eucalyptus* é maior quando comparado a outras culturas, pois verifica-se maior produção de biomassa por unidade de água consumida (Tabela 1).

Tabela 1- Comparação entre o consumo de água e a produção de biomassa do eucalipto e outras culturas.

Cultura / Cobertura	Eficiência no uso da água
Batata	1 kg de batata / 2.000 L
Milho	1 kg de milho / 1.000 L
Cana-de-açúcar	1 kg de açúcar / 500 L
Cerrado	1 kg de madeira / 2.500 L
Eucalipto	1 kg de madeira / 350 L

Fonte: NOVAIS et al., 1996

A regularidade do dossel numa bacia hidrográfica cuja cobertura seja uma floresta plantada, faz com que a interceptação das gotas de chuva seja praticamente uniforme. Ao comparar as bacias hidrográficas cobertas por florestas de modo geral com as cobertas por pastagens ou outro tipo de vegetação não florestal essas possuem uma vazão hipoteticamente menor. Isto ocorre porque as árvores no seu desenvolvimento necessitam de maior quantidade de água, principalmente nos estágios iniciais. Por isto as bacias cobertas por vegetações não florestais apresentam maior vazão se comparadas com a outra (OLERIANO & DIAS, 2007).

O regime de água subterrânea no solo em plantios de eucalipto não difere substancialmente daquele observado sob plantações de outras espécies florestais, ou mesmo de outros tipos de vegetação (Figura 4). Durante regimes de déficit hídrico a maioria das espécies de eucalipto desenvolve mecanismos fisiológicos de adaptação (MORA & GARCIA, 2000).

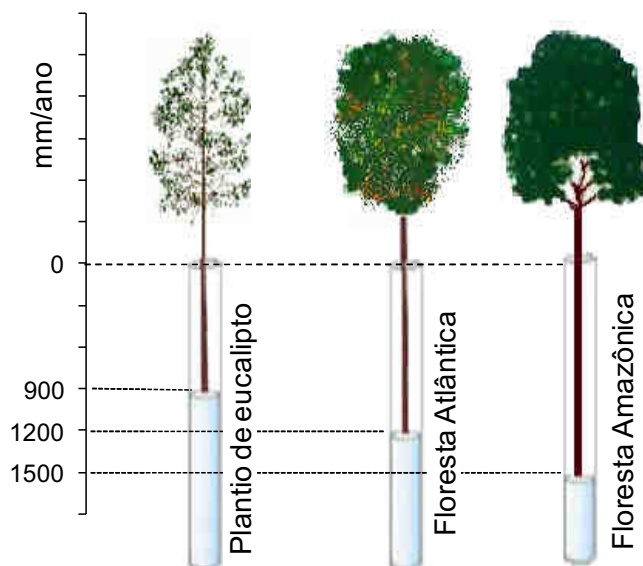


Figura 4- Comparativo do consumo de água de florestas e plantio de eucalipto. Fonte: Adaptado de MORA & GARCIA, 2000.

O consumo de água pelo eucalipto não significa necessariamente que haverá um déficit hídrico no solo da região onde se insere, ou que impacte, negativamente, os lençóis freáticos. Os lençóis freáticos são definidos como reservatórios de água subterrânea e caracterizam por estarem assentados numa camada impermeável de subsolo (rochas, por exemplo) e submetidos à pressão atmosférica local. Estão localizados em geral a mais de 20 m de profundidade, porém é possível encontrar lençóis freáticos localizados superficialmente. Em solos arenosos, de baixa fertilidade (espodossolos), por exemplo, os lençóis freáticos podem ser encontrados a apenas 45 cm da superfície. Assim, o impacto dos plantios de eucalipto sobre os lençóis freáticos deve ser analisado caso a caso (VITAL, 2007).

Estudos realizados num período de sete anos em plantios de eucalipto (*Eucalyptus grandis*) e em uma floresta nativa (Mata Atlântica) localizados na Costa Leste do Brasil indicam, a partir de modelos hidrológicos para o cálculo de balanço hídrico, que as plantações de eucalipto se comparam à floresta nativa quanto à evapotranspiração anual e ao uso de água do solo. Porém em períodos de seca percebe-se que a quantidade de água no solo, em florestas de eucalipto, é menor do que em florestas de mata atlântica. Isso ocorre porque as raízes das árvores de mata atlântica atingem profundidades até 5 m, enquanto as raízes do eucalipto não passam de 2,5 m. Dessa forma, a mata

atlântica utiliza reservas de águas mais profundas do que o eucalipto, acarretando menor ressecamento superficial do solo, ao nível de 2,5 m (ALMEIDA & SOARES, 2003).

A perda de água no solo em plantios de eucalipto não depende apenas do consumo de água pelas plantas, mas também da precipitação pluviométrica da região de cultivo. No entanto, deve-se tomar cuidado especial ao planejar a implantação de florestas de rápido crescimento em áreas de baixa pluviosidade, visto que durante o crescimento mais intenso ocorre, geralmente, uma elevada perda de água por evapotranspiração, podendo provocar uma queda do nível do lençol freático e o desaparecimento temporário ou definitivo de nascentes (POGGIANI, 1996).

Na substituição da vegetação nativa por plantações florestais observou-se um aumento na produção d'água na bacia, por diminuir a perda por interceptação. Porém, é um fato que deve ser estudado em todo o ciclo de rotação da plantação, para que se avaliem também os efeitos do corte raso e do período de estabelecimento da floresta plantada, onde a proteção do solo fica comprometida (BALBINOT et al., 2008).

Almeida & Soares (2003) comparando dados da interceptação pluviométrica do plantio de eucalipto e da floresta nativa no período de setembro de 1995 a setembro de 1996 observou que 24 % do total da precipitação (1379 mm) é interceptada pela Mata Atlântica e 11 % do total da precipitação (1196 mm) é interceptada pelo plantio de eucalipto. Estes valores demonstram que no plantio de eucalipto há uma menor interceptação em relação à mata nativa e segundo Almeida & Soares (2003) estes valores devem ser estudados em comparação com o índice de área foliar (IAF) das espécies, sendo que no determinado estudo o IAF da Mata Atlântica foi o dobro do IAF do plantio de eucalipto.

A presença da cobertura florestal favorece, ainda, a qualidade física do solo uma vez que possibilita melhoria na agregação e elevação da resistência à erosão hídrica. Quaisquer alterações na composição química e na estrutura do solo são refletidas nas características físicas e químicas da água (SILVA et al., 2007 a).

2.4 Manejo da Bacia Hidrográfica e Plantios de Eucalipto

Um grande avanço para o gerenciamento de recursos hídricos foi a Lei nº 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou, no Brasil, o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tendo como preceitos básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a consideração dos múltiplos usos da água, o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da consideração da gestão descentralizada e participativa desse recurso (BRASIL, 1997).

As bacias hidrográficas constituem unidades naturais para a análise de ecossistemas. Elas apresentam características próprias, as quais permitem utilizá-las para testar os efeitos do uso da terra nos ecossistemas. O planejamento do uso da terra deve se basear no conhecimento científico dos recursos existentes na bacia hidrográfica e suas inter-relações (CASTRO, 1980).

A bacia hidrográfica é delimitada no espaço geográfico pelo divisor de águas, representado pela linha que une pontos de cotas mais elevadas, fazendo com que a água da chuva, ao atingir a superfície do solo, tenha seu destino dirigido no sentido de outro córrego ou rio (VALENTE & GOMES, 2005).

O Manejo de Bacias Hidrográficas, na concepção original da Sociedade Americana de Engenheiros Florestais, é definido como o uso racional dos recursos naturais de uma bacia, visando produção de água em quantidade e qualidade (VALENTE & GOMES, 2005).

Segundo Rocha (1997) o manejo de microbacias consiste na elaboração e aplicação de diagnósticos físico-conservacionistas, socioeconômico, ambiental, hídrico, edáfico, botânico e faunístico, a fim de identificar todos os problemas da bacia e propor soluções compatíveis com cada situação.

No que diz respeito à conservação do solo é inegável a proteção exercida pela cobertura vegetal viva e também pela morta (serrapilheira), e estas características podem ser empregadas no manejo de bacias hidrográficas, para produção de água de boa qualidade (BALBINOT et al., 2008).

O regime de corte raso ao final do período de rotação é fator que também podem resultar em perdas consideráveis de solo por erosão. As perdas de solo e de nutrientes prejudicam tanto a qualidade da água quanto a manutenção da produtividade; dessa forma, é muito importante o manejo adequado das plantações florestais (BALBINOT et al., 2008).

O corte raso reduz fortemente o processo de evapotranspiração, modificando o regime hídrico da microbacia. Neste caso, o nível do lençol freático pode subir e o escoamento superficial aumentar, alterando o deflúvio dos rios e prejudicando a qualidade da água. Ainda altera as condições de vida da fauna e dos microrganismos do solo dentro do povoamento cortado e provoca a destruição do subbosque, eventual refúgio e fonte de alimento para a fauna silvestre (POGGIANI, 1996).

Um manejo que leve em consideração as características hidrológicas das microbacias desempenha um importante papel na manutenção da sua produtividade, assim como na conservação do crescimento florestal (RANZINI & LIMA, 2002).

O manejo da bacia hidrográfica apresenta também importante destaque em relação à biodiversidade. É preciso realizar o planejamento de plantios, a fim de preservar os recursos hídricos e as matas nativas, estabelecer corredores de vegetação nativa para a movimentação da fauna e também realizar plantios de enriquecimento nas áreas de preservação permanente e reserva legal.

2.5 Parâmetros Físicos da Bacia Hidrográfica

Uma bacia hidrográfica compreende toda área de captação natural da água da chuva, que proporciona escoamento para o canal principal e seus tributários. O limite superior de uma bacia é o divisor de águas, ou seja, o divisor topográfico, e a delimitação inferior é a saída da bacia, isso é, sua confluência (LIMA & ZAKIA, 1996).

Por meio de dados morfométricos de uma bacia hidrográfica obtidos a partir de alguns parâmetros físicos, como: coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade, altitude, ordem e densidade de drenagem são

obtidas informações que auxiliarão no entendimento da dinâmica da água na bacia hidrográfica.

O tamanho de uma bacia pode variar de centenas de metros quadrados até milhares de quilômetros quadrados. As características físicas da bacia hidrográfica, como área, forma, tipo e densidade da rede de drenagem, geologia, topografia, solos e uso do solo, irão determinar a resposta hidrológica (na forma de vazão) desta bacia a qualquer evento chuvoso (ROMANOVSKI, 2001). A área total inclui todos os pontos situados a altitudes superiores à da saída da bacia e dentro do divisor topográfico que separa duas bacias adjacentes.

Para identificação da forma da bacia hidrográfica relaciona-se a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo da área). A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia. Pode atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia (CARDOSO et al., 2006).

Segundo Horton (1932) o fator de forma é determinado pela seguinte fórmula:

$$F = \frac{A}{L^2}$$

Sendo:

F= Fator de forma

A= Área da bacia hidrográfica (m²)

L= Comprimento do maior eixo da bacia (m)

Através do fator de forma é possível saber se a bacia hidrográfica tem tendência maior e/ou menor de ocorrer enchentes. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior. Na Figura 5 observa-se que a Bacia 1 apresenta um fator de forma menor (0,2), com tendência menor de ocorrer enchentes, já a Bacia 2 apresenta fator de forma maior (0,8), com maior tendência de ocorrer enchentes (LIMA, 2008).

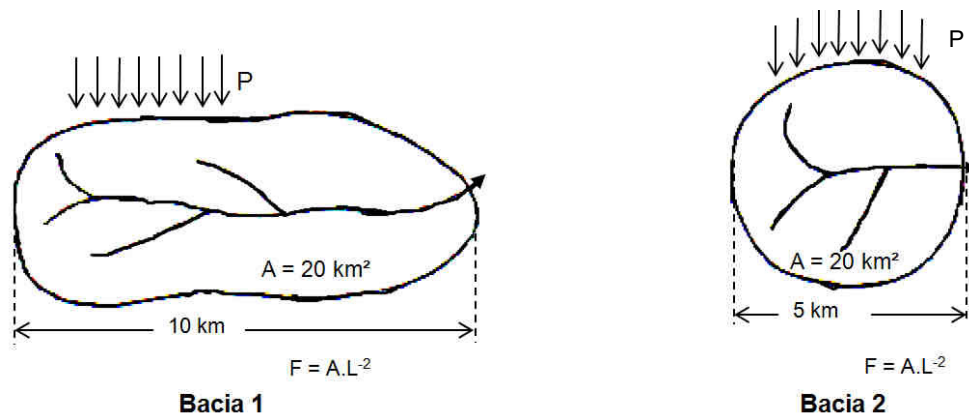


Figura 5- Comparação do fator de forma entre duas bacias hidrográficas.
 Fonte: Adaptado de LIMA, 2008.

O coeficiente de compacidade (CC) relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1 (MOSCA, 2003). Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu CC for mais próximo da unidade.

O coeficiente de Compacidade (CC) é determinado pela seguinte equação:

$$CC = \frac{0,2821P}{A^{0,5}}$$

Sendo:

- CC= Coeficiente de compacidade
- P= Perímetro (m)
- A= Área da bacia hidrográfica (m²)

Outro índice de forma é o chamado índice de circularidade (IC) que é determinado pela relação entre a área da bacia e seu perímetro. O IC tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada (CARDOSO et al., 2006).

O índice de circularidade proposto por Miller em 1953 (citado por CHRISTOFOLETTI, 1974), é obtido pela seguinte fórmula:

$$IC = \frac{12,75 \times A}{P^2}$$

Sendo:

IC=índice de circularidade
 A=área de drenagem (m²)
 P=perímetro (m)

De acordo com o método de ordenamento de Sthraler (1957) os canais primários (nascentes) são designados de 1ª ordem. A junção de dois canais primários forma um de 2ª ordem, e assim sucessivamente (Figura 6). A junção de um canal de uma dada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste. A ordem da bacia é determinada pelo canal de ordem maior.

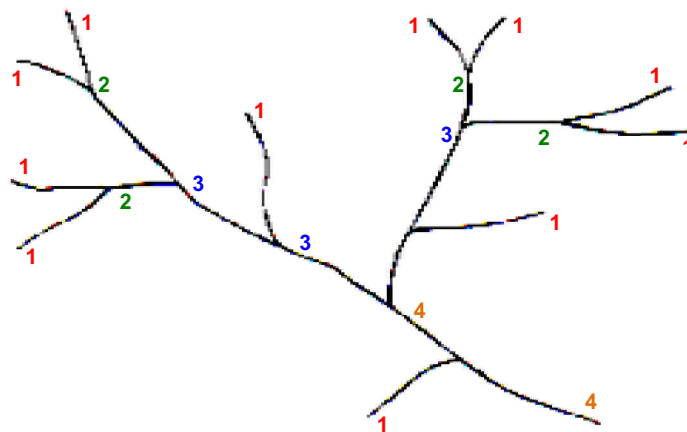


Figura 6- Método de ordenação dos canais de STHRALER (1957).

A relação de bifurcação (Rb) proposta por Horton (1932) é o resultado da divisão do número de canais de uma dada ordem (n), pelo número de canais de ordem imediatamente superior (n+1). O valor médio dos Rb individuais da bacia representa a razão de bifurcação média para a bacia.

Segundo Horton (1932) a densidade de drenagem (DD), definida como sendo a razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia hidrográfica, é um índice importante, pois reflete a influência da geologia, topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, e está relacionado com o tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia. Segundo Sthraler (1957) quanto à densidade de drenagem, as bacias podem ser

classificadas em: baixa DD: 5,0 km/km²; média DD: 5,0 - 13,5 km/km²; alta DD: 13,5 - 155,5 km/km²; muito alta DD: > 155,5 km/km².

A densidade de drenagem é determinada pela seguinte fórmula:

$$DD = \frac{A}{L}$$

Sendo:

DD = densidade de drenagem (km/km²)
L = comprimento total de todos os canais (km)
A = área da bacia hidrográfica (km²)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo deságua na represa de Três Marias, Rio São Francisco. O estudo foi realizado na bacia de cabeceira na qual é tipicamente florestal e está integralmente localizada em áreas da Zanini Florestal, no município de Felixlândia-MG (Figura 7).

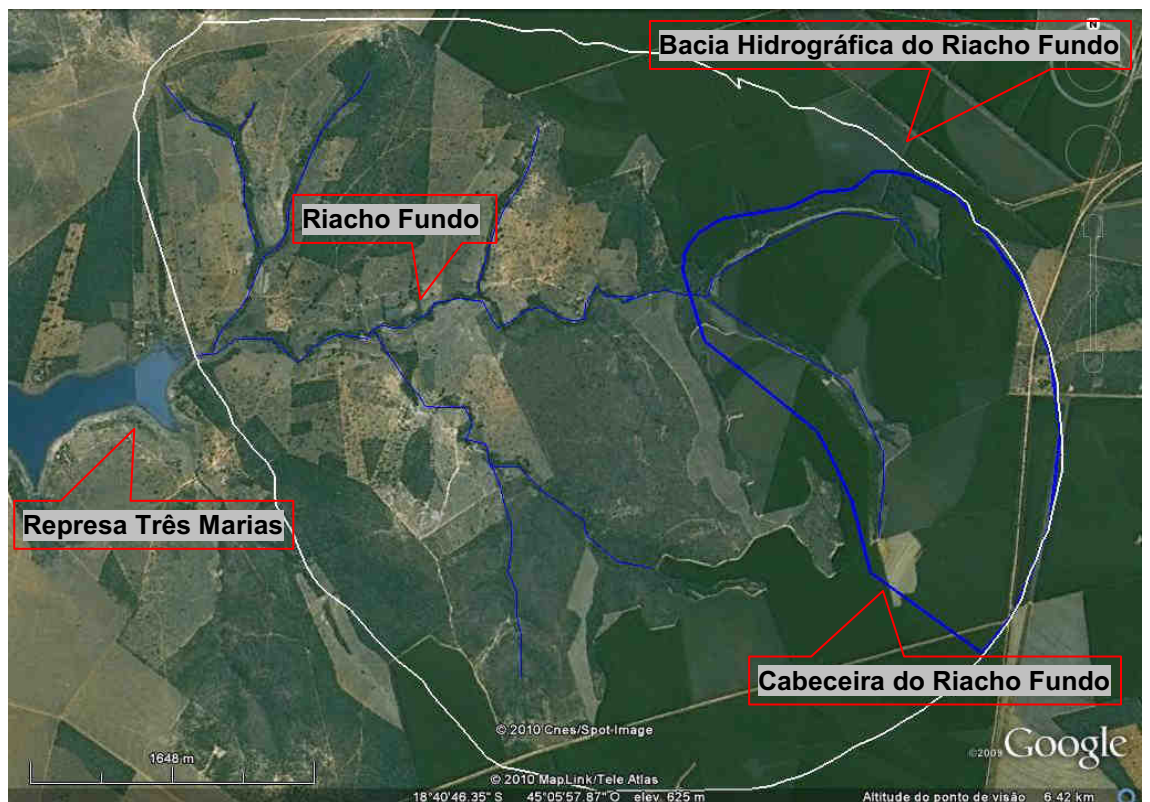


Figura 7- Destaque da Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo e sua Cabeceira.
Fonte: Adaptado do Google Earth, 2011.

A bacia de cabeceira possui uma área de 719,92 ha e é ocupada em sua maior parte com talhões de eucalipto, 81,7 %, possui 8,5 % das terras com estradas florestais e 9,8 % de reserva, cerrado, conforme a Figura 8.

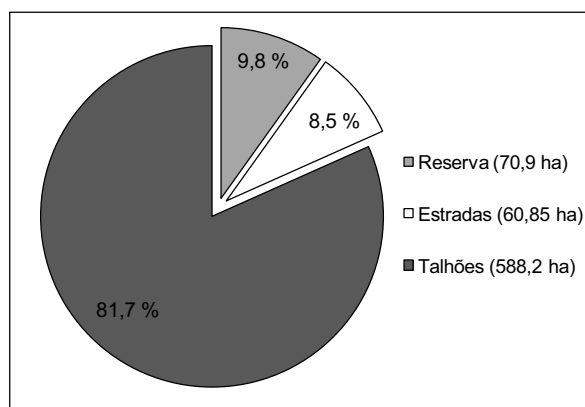


Figura 8- Uso do solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Fonte: Zanini Florestal, 2008.

O município de Felixlândia está localizado na região Centro Norte de Minas Gerais. Apresenta altitudes máximas e mínimas de 961 m e 502 m, respectivamente (ALMG, 2010). Conforme a classificação de Köppen, o clima da região se caracteriza por ser úmido mesotérmico, com moderada deficiência de água no inverno (Aw) e, a vegetação natural predominante é constituída por cerrado tropical subcaducifólio. A precipitação média anual é de 1.235 mm, apresenta temperatura média máxima anual de 25,3 °C e mínima anual de 15,5 °C (SETZER, 1946).

Os Latossolos se constituem nas principais unidades de solos da região de Felixlândia que, de modo geral, apresentam baixa fertilidade natural, baixos teores de bases trocáveis, alta acidez e altos teores de alumínio nas camadas subsuperficiais que, associados a baixos níveis de cálcio, constitui-se no fator mais limitante para o desenvolvimento radicular em profundidade (LOPES, 1983).

As formações florestais nativas na região onde estão localizadas as propriedades da Zanini Florestal fazem parte de um processo de proteção de áreas de reserva legal e de preservação permanente há mais de vinte anos e, existem, portanto, fragmentos de vegetação do Cerrado em bom estado de conservação.

3.2 Características Morfométricas

A bacia de cabeceira foi delimitada por meio de levantamento das coordenadas geográficas em GPS de precisão, corrigidas e trabalhadas utilizando-se o SIG ArcGis. A Figura 9 representa o mapa com a localização dos oito talhões estudados, denominados como 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.

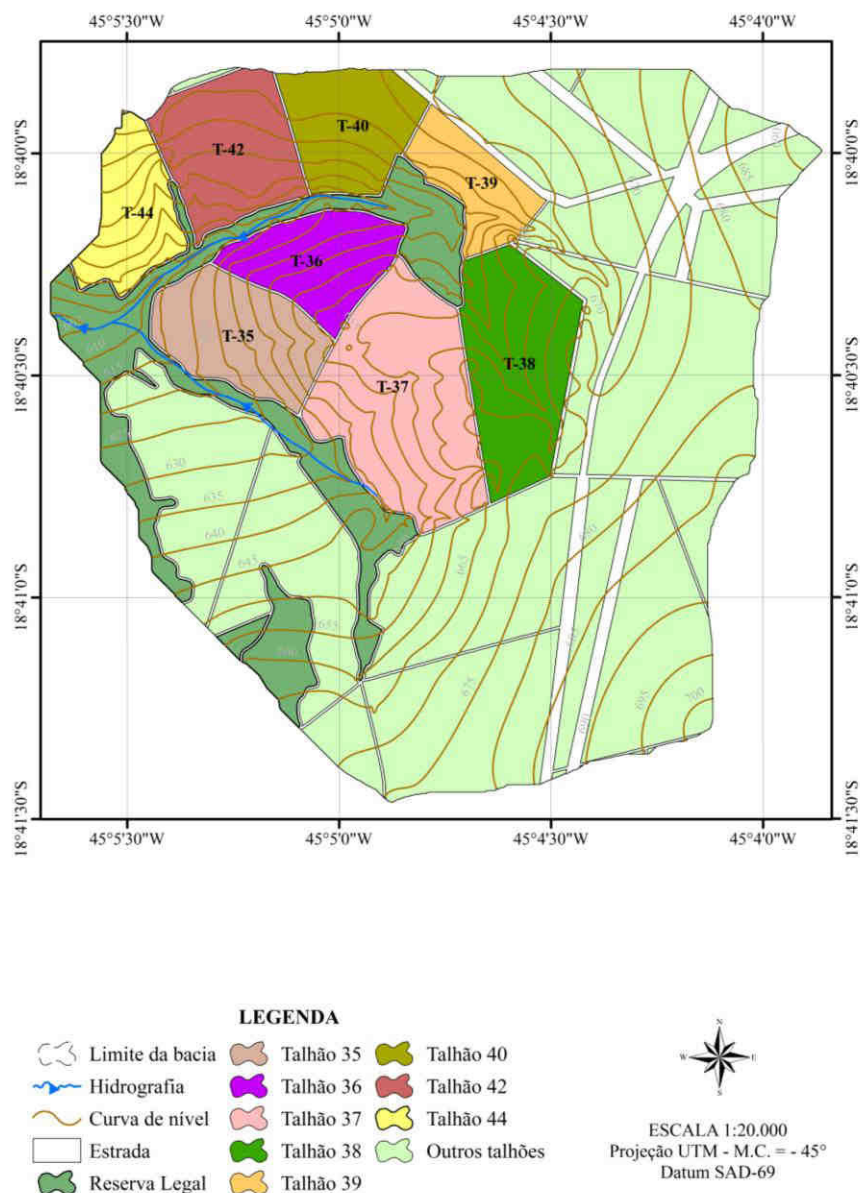


Figura 9- Localização dos talhões 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.
Fonte: Zanini Florestal, 2008.

As características morfométricas da Bacia de Cabeceira do Riacho Fundo tais como a geometria, características da rede de drenagem,

características do relevo e classes de declividades estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2- Características morfométricas da Bacia de Cabeceira do Riacho Fundo, Felixlândia- MG.

Geometria	
Área (ha)	719,95
Perímetro (Km)	12,90
Coeficiente de compacidade (CC)	1,30
Fator de forma (F)	0,70
Índice de circularidade (IC)	0,60
Características da rede de drenagem	
Comprimento total dos canais (Lt) - Km	2,92
Comprimento do canal principal (Lp) - m	1598,70
Altitude mínima do canal principal - m	604,50
Altitude máxima do canal principal - m	637,80
Ordem da bacia	2
Densidade de drenagem (DD) - Km/ Km ²	0,40
Comprimento do maior eixo da bacia (L) - m	3257,70
Características do relevo	
Orientação	Noroeste
Declividade mínima (%)	0,00
Declividade média (%)	4,45
Declividade máxima (%)	56,75
Altitude mínima (m)	604,50
Altitude média (m)	657,57
Altitude máxima (m)	701,07
Classes de declividades	
	ha
Plano (0 a 3%)	251,32
Suave ondulado (3% a 8%)	397,20
Ondulado (8% a 20%)	69,16
Forte ondulado (20% a 45%)	2,26
Montanhoso (45% a 75%)	0,01
	719,95

Fonte: Zanini Florestal, 2008.

O Coeficiente de Compacidade (CC) da bacia foi de 1,3 sendo caracterizada como uma bacia alongada, pois de acordo com Mosca (2003) um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é superior a 1.

O Índice de Circularidade (IC) apresenta um valor de 0,6 caracterizando a bacia com uma forma alongada, pois o IC tende para a unidade à medida que

a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada.

A Bacia de Cabeceira do Riacho Fundo apresenta-se de segunda ordem, o que reflete uma bacia com pequeno grau de ramificação. A altitude variou entre 604,5 m altitude mínima e 701,1 m altitude máxima e amplitude altimétrica de 96,6 m.

De acordo com a classificação de Sthraler (1957) uma bacia com densidade de drenagem-DD com até 5,0 km/km² é determinada como baixa DD, desta forma a bacia hidrográfica do Riacho Fundo apresenta baixa densidade de drenagem.

3.3 Processos Hidrológicos

3.3.1 Precipitação Efetiva (PE)

A precipitação efetiva foi calculada pela soma da precipitação interna (PI) e do escoamento pelo tronco (Et), como mostra a equação 1:

$$\boxed{PE = PI + Et} \quad (1)$$

Sendo:

PE= Precipitação Efetiva (mm)
PI = Precipitação Interna (mm)
Et = Escoamento pelo tronco (mm)

Para quantificar a precipitação interna foram instalados doze pluviômetros em cada talhão, seis nas entrelinhas e seis na linha de plantio, espaçados 5,25 metros (m) por 2,60 m entre si e com área de captação de 176,71 cm² (Figura 10).



Figura 10- Pluviômetro para quantificar a precipitação interna, Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia – MG, 2010.

Para quantificar o escoamento pelo tronco foram adaptados nove coletores à base de poliuretano nos troncos das árvores em cada talhão, sendo cinco em uma fileira e quatro em outra fileira adjacente (Figura 11).



Figura 11- A: Coletores arbóreos utilizados para quantificar o escoamento pelo tronco. B: Detalhe do coletor arbóreo, Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia – MG, 2008.

3.3.2 Escoamento Superficial

O escoamento superficial foi determinado em oito parcelas localizadas nos talhões 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 nos anos de 2008, 2009 e 2010.

As parcelas experimentais localizadas na área de estudo foram delimitadas por placas de ardósia. Na parte inferior de cada parcela experimental, foram colocados galões coletores acoplados por conexão tubular com declive suficiente para permitir o livre escoamento da água da chuva até o local de inserção do galão coletor (Figura 12). A Tabela 3 representa a caracterização das oito parcelas do escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.

O escoamento superficial foi obtido por meio da seguinte fórmula:

$$ES (mm) = V (L) / A (m^2)$$

Sendo:

ES = Lâmina de água escoada (mm)

V= Leitura do volume de água escoada (L)

A = Área da parcela do escoamento superficial (m²)



Figura 12- Parcelas para avaliação do escoamento superficial, Felixlândia-MG, 2010.

Tabela 3- Caracterização das oito parcelas de escoamento superficial localizadas na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.

Parcela	Talhão	Área Parcela (m ²)	Declividade da Parcela (graus)	Espaçamento do Eucalipto (m)	Status/ Ciclo	Espécie (Clone)	Ano de Implantação do Eucalipto /Ano da Reforma ou Talhadia	Idade Atual do Eucalipto (anos)
1	35	73,26	11°	3,5 X 2,6	Reforma/2	A*/ B**	2001/ 2008	3,2
2	36	57,16	15°	3,5 X 2,6	Talhadia/1	B	2001/ 2008	3,2
3	37	56,35	5°	3,5 X 2,6	Talhadia /1	C	2001/ 2009	2,3
4	38	73,26	9°	3,5 X 2,6	Talhadia /1	D	2001/ 2008	3,5
5	39	56,00	8°	3,5 X 2,6	Talhadia /1	B	2001/ 2008	3,2
6	40	72,80	14°	3,0 X 3,0	Reforma/2	A*/ E**	2001/ 2008	3,1
7	42	58,22	11°	3,5 X 2,6	Talhadia /1	F	2001/ 2008	2,8
8	44	56,70	13°	3,5 X 2,6	Talhadia /1	G	2001/ 2008	2,3

3.3.3 Infiltração

Determinou-se a velocidade de infiltração e capacidade de infiltração em seis parcelas localizadas nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 (Figura 9), utilizando-se o infiltrômetro de anel, que consiste de dois cilindros concêntricos metálicos de 3 mm de espessura com os anéis interno e externo medindo 18 e 15 cm de altura e 6 e 12 cm de diâmetro, respectivamente, com uma das bordas biseladas para facilitar a penetração no solo (Figura 13).



Figura 13- Infiltrômetro de anéis concêntricos para determinação da infiltração de água no solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Fevereiro, 2011.

Para a realização do ensaio, colocou-se água no cilindro externo e após a diminuição da velocidade de infiltração no anel externo, a água foi colocada no anel interno com auxílio de uma régua graduada, para o posicionamento do nível d'água e mantendo a água no anel externo. Foi feita a leitura em intervalos de tempo variando entre 1 min, 2 min, 5 min e 10 min, que foram escolhidos em função da velocidade da infiltração.

A taxa de infiltração básica (infiltração constante) foi determinada quando a leitura do anel interno se repete pelo menos três vezes seguidas (BRANDÃO et al., 2002). Desta forma as medições foram suspensas quando a lâmina infiltrada se repetia nas condições de mesmo intervalo de tempo, a fim de determinar a velocidade de infiltração básica. Foram realizadas três

repetições eqüidistantes de um metro, em forma de um triângulo eqüilátero em cada talhão (Figura 14).



Figura 14- Forma de triângulo para determinação da velocidade de infiltração básica na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Fevereiro, 2011.

A velocidade de infiltração (VI) foi calculada a partir da equação:

$$VI = \frac{\text{Lâmina infiltrada (mm)}}{\text{Tempo (h)}}$$

A determinação da capacidade de infiltração (CI) foi calculada a partir da equação:

$$CI = \frac{\text{Lâmina infiltrada acumulada (mm)}}{\text{Tempo acumulado(h)}}$$

Os dados de velocidade de infiltração (VI) e capacidade de infiltração (CI) foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

3.4 Determinação da Resistência do Solo à Penetração

Os testes de resistência do solo à penetração foram realizados nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44, com diferentes clones no período de fevereiro de 2011. Foram realizadas no total oito repetições em cada talhão nas linhas de plantio e entrelinhas, em intervalos de 10 cm de profundidade e atingindo a profundidade de até 50 cm. A altura de lançamento do êmbolo foi de 50 cm (Figura 15).

Os dados de resistência mecânica do solo foram convertidos em MPa utilizando-se a Planilha do Penetrômetro Versão 1.0 elaborada pela Sondaterra equipamentos. Na Planilha coloca-se a altura de lançamento do êmbolo com massa conhecida de 1,6 Kg, os intervalos iniciais e finais de profundidade atingida pelo êmbolo e o número de impactos que foram realizados para atingir os determinados intervalos de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm e 40-50 cm de profundidade.



Figura 15- Penetrômetro de impacto para determinação da resistência mecânica do solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG, fevereiro, 2011.

3.5 Determinação do Teor de Umidade do Solo

Para determinar o teor de umidade nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 coletou-se amostras de solo com quatro repetições em cada talhão nas profundidades de 0-10 cm e 20-40 cm utilizando o trado mecânico (Figura 16).

As amostras foram colocadas em recipientes previamente pesados e lacrados para não perder umidade original. As amostras foram pesadas em uma balança de precisão na Zanini Florestal e depois colocadas em uma estufa no Laboratório de Hidrologia Florestal da Universidade Federal de Viçosa- UFV à temperatura de 105° por 20 h até que o peso das amostras tornou-se constante, e sendo pesadas novamente na mesma balança de precisão. Esse Método Padrão de Estufa é baseado na diferença de peso entre uma amostra contendo água antes e após uma secagem. O teor de umidade foi calculado pela seguinte fórmula:

$$U\% = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100$$

Sendo:

M_1 = Peso do solo contendo água + Peso do recipiente (g)

M_2 = Peso do solo seco + Peso do recipiente (g)

M_3 = Peso do recipiente de amostragem (g)



Figura 16- Uso do trado para coleta de amostras de solo, na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG, fevereiro, 2011.

A partir das amostras de solos coletadas a 10 cm de profundidade nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 determinou-se também a análise granulométrica, a densidade do solo e a matéria orgânica. As análises foram realizadas pelo Laboratório de Rotina do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa- UFV.

3.6 Monitoramento do Nível do Lençol Freático

O monitoramento do nível do lençol freático foi realizado em quatro posições na topossequência, onde foram perfurados 4 poços piezométricos na área da Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo (Figura 17).

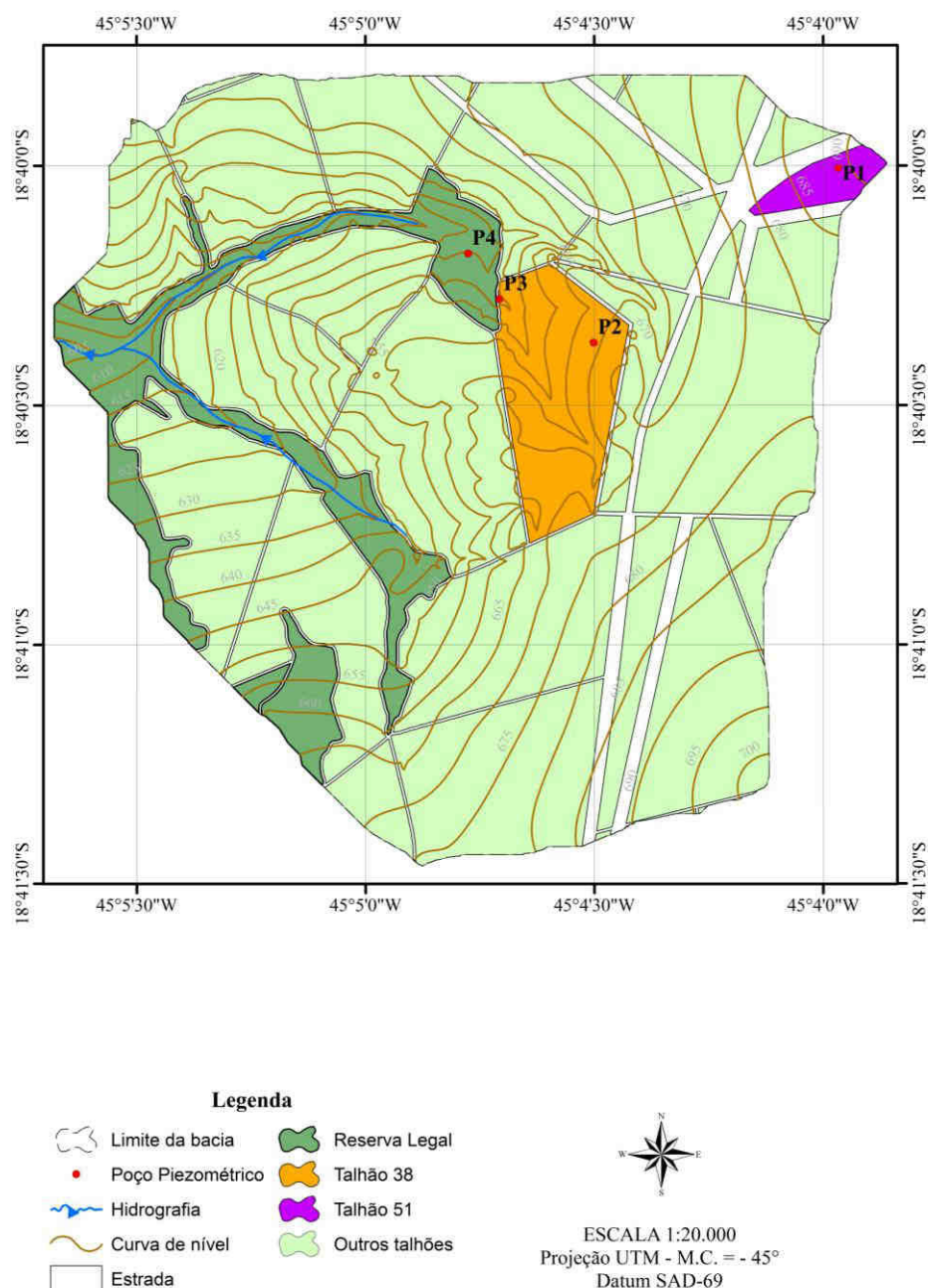


Figura 17- Localização dos poços piezométricos na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.
Fonte: Zanini Florestal, 2008.

Os poços piezométricos foram instalados em diferentes localidades: topo de morro, poço piezométrico 1; terço superior da encosta, poço piezométrico 2;

terço médio da encosta, poço piezométrico 3 e poço piezométrico 4 localizado na posição mais baixa do terreno (localizado dentro de uma área de reserva, cerrado em regeneração) (Tabela 4).

Tabela 4- Localização dos poços piezométricos na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG.

Poços Piezométricos	1	2	3	4
Talhão	51	38	38	Área de Reserva
Latitude	18°40'00,3"	18°40'22,17"	18°40'16,71"	18°40'11,45"
Longitude	45°03'58,06"	45°04'30,08"	45°04'42,44"	45°04'46,53"
Profundidade	25m	21m	16m	10m

O aparelho utilizado para medir o nível do lençol freático foi o TLC Meter - Modelo 107 que é constituído por uma fita métrica e um sensor de nível de água. O sensor quando entra em contato com o nível da água ativa um alarme e nesse ponto é realizada a leitura da profundidade do lençol freático diretamente sobre a fita métrica (Figura 18).



Figura 18- Poço piezométrico para avaliação do nível do lençol freático, Felixlândia- MG, 2010.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Processos Hidrológicos

4.1.1 Precipitação Efetiva e Escoamento Superficial

Os valores da precipitação efetiva- PE e escoamento superficial- ES estão representados na Tabela 5.

Tabela 5- Precipitação Efetiva (PE) e Escoamento Superficial (ES) nos talhões 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 nos anos de 2008, 2009 e 2010.

Talhão	Total 2008			Total 2009			Total 2010		
	PE (mm)	ES (mm)	ES (%)	PE (mm)	ES (mm)	ES (%)	PE (mm)	ES (mm)	ES (%)
35	374,00	0,00	0,00	1015,40	1,80	0,18	1090,50	1,65	0,15
36	729,50	2,48	0,34	445,60	1,54	0,36	1067,80	6,23	0,58
37	1204,30	4,09	0,34	12,70	0,33	2,60	666,20	2,18	0,33
38	472,80	1,28	0,27	972,80	2,97	0,32	1037,20	3,18	0,31
39	1164,2	1,80	0,15	849,00	2,85	0,34	612,50	2,67	0,44
40	-	-	-	1146,50	3,02	0,26	1103,70	1,59	0,14
42	732,80	0,50	0,07	458,80	3,22	0,70	1151,30	6,08	0,52
44	717,30	1,39	0,19	-	-	-	631,40	4,15	0,65

Observa-se na Tabela 5 que existe diferença entre as precipitações efetivas nos diferentes talhões. Esta diferença pode ser devido à morfologia dos clones plantados em cada uma das parcelas. Em 2008, a maior taxa de escoamento superficial (0,34 %) foi verificada nos talhões 36 e 37, sendo que o talhão 36 apresenta maior declividade da parcela do escoamento superficial em relação aos demais talhões (Tabela 3). Em 2009 verificou-se maior taxa de escoamento superficial (0,70 %) no talhão 42 e em 2010 a maior taxa (0,65 %) foi verificada no talhão 44.

Para uma mesma intensidade de chuva os solos, com os respectivos usos e manejo, podem apresentar diferentes índices de escoamento de água de chuva superficialmente em função da declividade ou do manejo sobre o solo. A Tabela 3 ilustra a localização das parcelas, bem como a sua área, espaçamento utilizado, talhão, status do plantio e o clone utilizado.

Verifica-se pela Figura 19 que os valores de escoamento superficial variam entre parcelas, provavelmente devido ao conjunto de características que cada talhão apresenta. Incluem-se nestas características o solo, com menor variação, a declividade do terreno, a cobertura florestal e de sub-bosque e as características de cada clone. Verifica-se que algumas das parcelas não possuem os dados completos devido ao corte raso do talhão.

Observa-se que os valores de escoamento superficial são baixos em relação à precipitação efetiva ocorrida em cada mês não atingindo 1 % nos anos de 2008 e 2010. Em 2009 apenas no talhão 37 verifica-se um escoamento superficial atingindo 2,60 % e com uma precipitação efetiva menor em relação aos outros talhões, podendo esse escoamento ter sido ocasionado por uma precipitação de maior intensidade. Isto indica que em termos de aproveitamento da água de chuva para infiltração é quase total nestes ambientes.

Lima (1988) comparou o escoamento superficial em parcelas reflorestadas com *Eucalyptus grandis* e uma parcela que permaneceu o tempo todo sem vegetação, como testemunha. Verificou-se que com o crescimento da floresta, houve uma sensível diminuição do escoamento e da perda de solo das parcelas florestadas em relação à parcela sem cobertura vegetal, que continuou apresentando taxas elevadas de escoamento e de erosão.

A fim de determinar o escoamento superficial utilizando-se um simulador de chuvas em diferentes culturas em um Nitossolo Háplico no Planalto Sul Catarinense, Bertol et al. (2007) verificaram que houve diferença de comportamento do escoamento superficial, tanto entre tratamentos quanto entre cultivos, no que se refere à forma de crescimento da enxurrada e ao volume total de enxurrada. Por exemplo, nos cultivos de milho e feijão o escoamento superficial na semeadura direta tradicional em resíduo dessecado (ST) foi de apenas 5 % do volume de chuva no cultivo de milho e de 7 % no cultivo de feijão, enquanto no preparo convencional (PC) essa perda foi de 16 % e 34 % respectivamente.

Assim, os valores de escoamento superficial encontrados na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo são baixos se comparados com os resultados de escoamento superficial encontrados por Bertol et al., 2007.

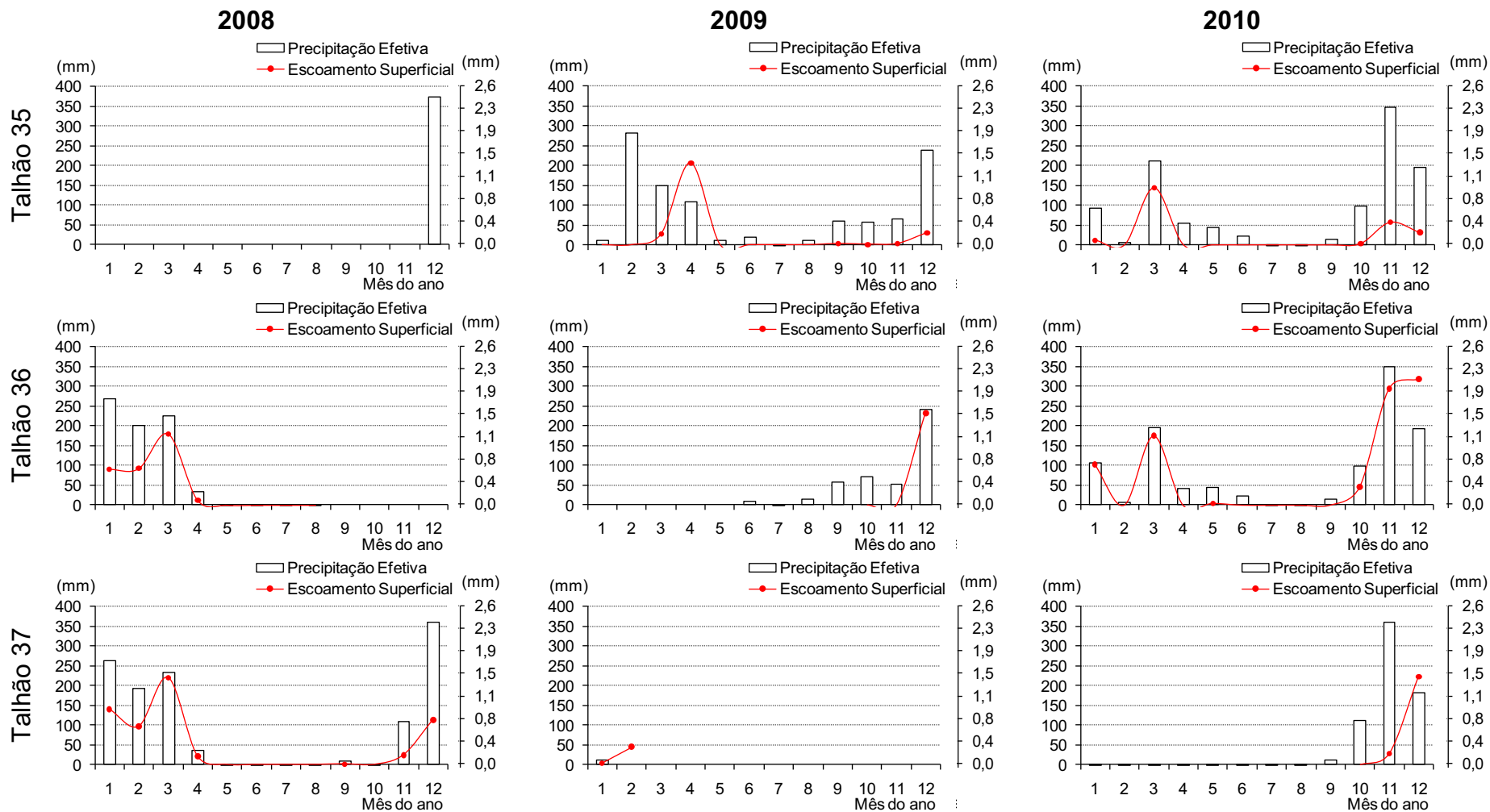


Figura 19- Precipitação efetiva e escoamento superficial nos talhões 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42 e 44 nos anos de 2008, 2009 e 2010 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.

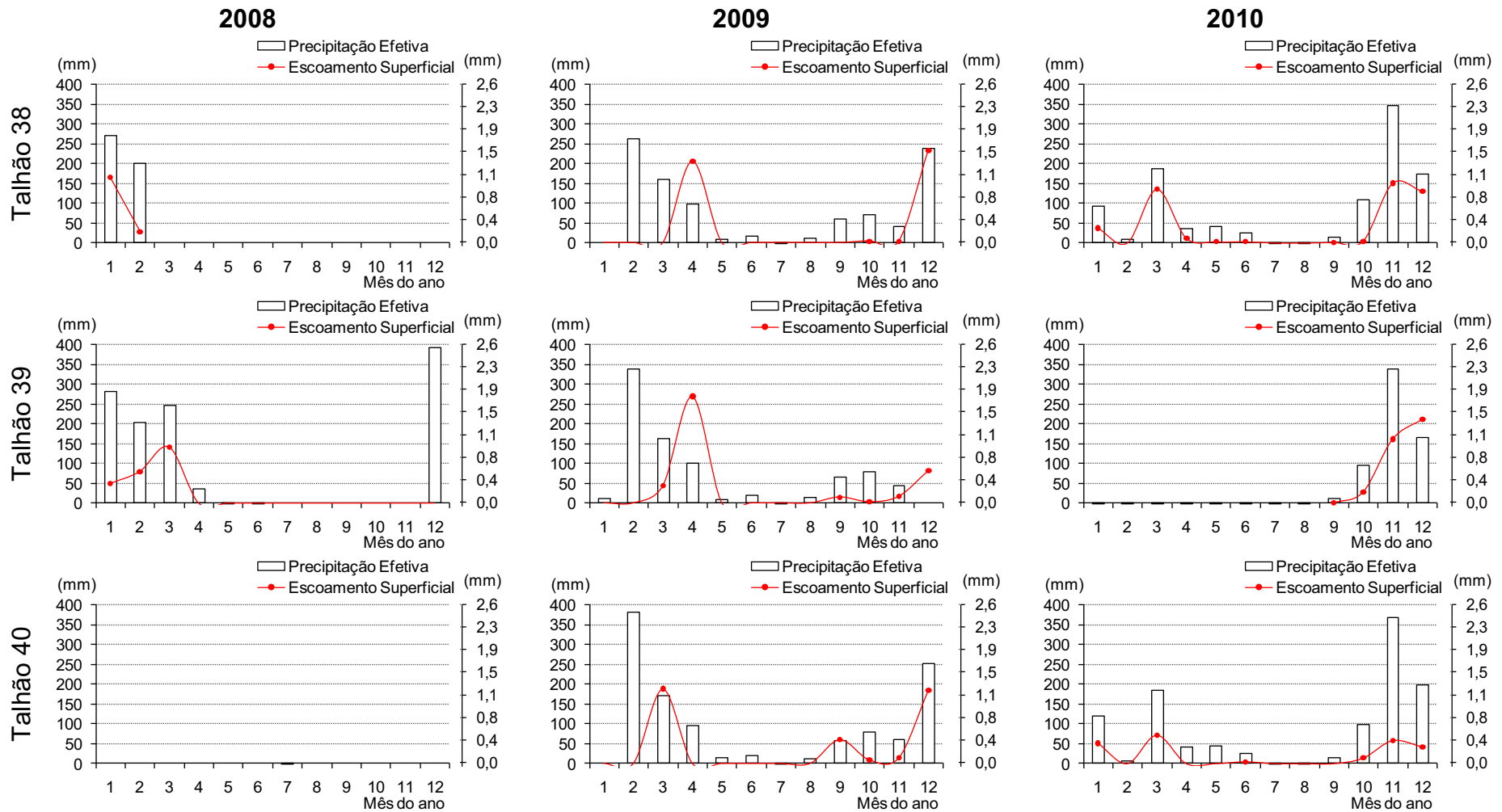


Figura 19- Continuação.

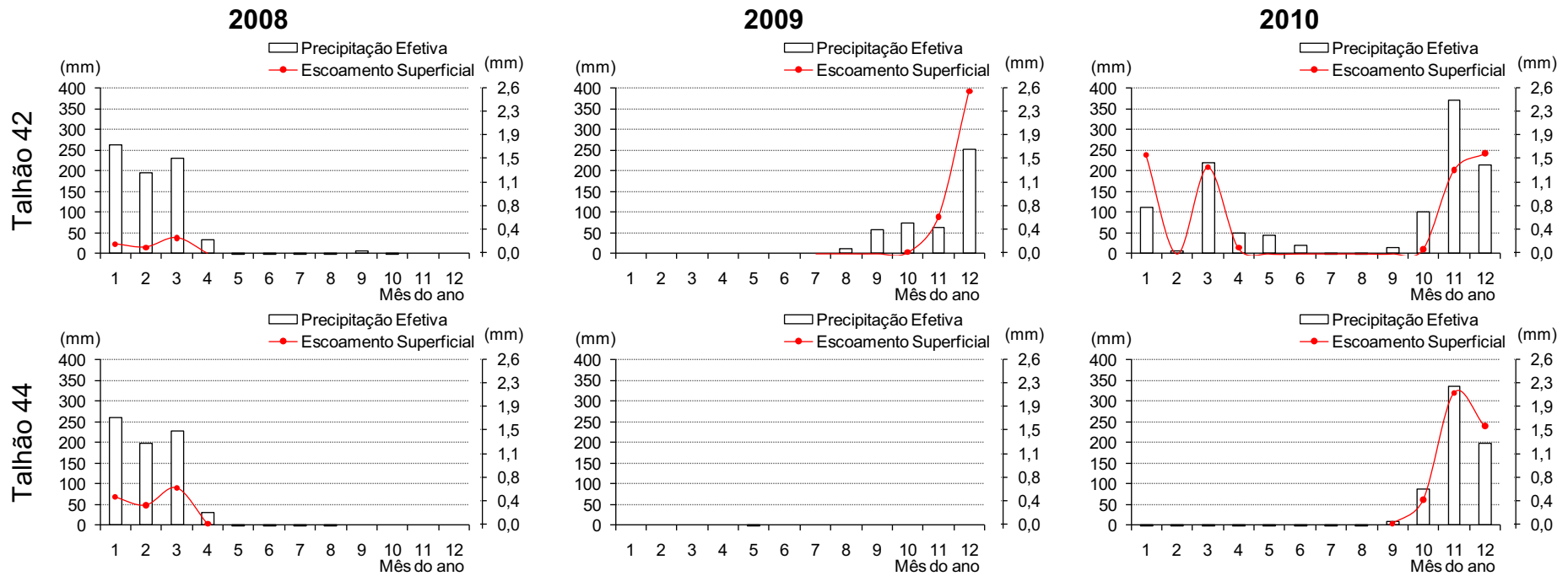


Figura 19- Continuação.

4.1.2 Velocidade de Infiltração e Capacidade de Infiltração

Avaliando a velocidade básica de infiltração e capacidade de infiltração nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 verificou-se que houve efeito do talhão sobre a velocidade básica de infiltração e sobre a capacidade de infiltração (Tabela 6 e Tabela 7).

Tabela 6- Velocidade básica de infiltração de água analisada nos seis talhões na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG, 2011.

Talhão	Velocidade básica de infiltração (mm/h)			Média (mm/h)*
	R1	R2	R3	
35	2.400	3.000	1.200	2.200 a
36	480	540	480	500 b
39	240	252	780	424 b
40	150	660	120	310 b
42	270	420	420	370 b
44	975	540	1.350	955 b

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

R1= Repetição 1; R2=Repetição 2; R3=Repetição 3.

Tabela 7- Capacidade de infiltração de água analisada nos seis talhões na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG, 2011.

Talhão	Capacidade infiltração (mm/h)			Média (mm/h)*
	R1	R2	R3	
35	2402	3198	1450	2350 a
36	510	612	610	577 b
39	240	252	810	434 b
40	170	660	150	327 b
42	270	450	480	400 b
44	1075	570	1600	1082 b

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

R1= Repetição 1; R2=Repetição 2; R3=Repetição 3.

Observou-se que os solos dos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 apresentaram a velocidade de infiltração muito rápida de acordo com a classificação do Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (Tabela 8). Neste caso os solos destes talhões apresentam boa drenagem com baixa tendência ao escoamento superficial de água.

Tabela 8- Classificação da velocidade de infiltração d' água nos solos de acordo com o Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos.

Termo Descrito	Velocidade de Infiltração (mm/h)
Muito Rápida	>254
Moderada a Rápida	254 a 127
Moderada	127 a 63,5
Lenta a Moderada	63,5 a 20
Lenta	20 a 5
Muito lenta	<5

Fonte: Adaptado de Soil Survey Staff (1993).

Os valores de velocidade básica de infiltração encontrados foram acima de 254 mm/h e desta forma descritos como velocidade de infiltração rápida. Os valores de velocidade de infiltração podem variar de acordo com o método utilizado para a avaliação da taxa de infiltração.

Pott & Maria (2003) avaliaram a velocidade de infiltração básica (VIB) por meio de quatro métodos: infiltrômetro de aspersão, permeâmetro, infiltrômetro de tensão e infiltrômetro de pressão e encontraram diferença significativa entre os valores de VIB obtidos por meio de cada método de determinação nos três solos estudados. No Latossolo textura argilosa, o infiltrômetro de pressão determinou valor de VIB 7,2 vezes maior que o encontrado com o infiltrômetro de aspersão.

A metodologia utilizando o infiltrômetro de anéis (infiltrômetro de pressão) pode gerar falhas e superestimar os dados, pois seu valor é caracterizado em solos sem cobertura vegetal, não considerando o selamento superficial provenientes da precipitação; ocorre deformação da estrutura do solo decorrente da cravação dos anéis; a área dos anéis do infiltrômetro é pequena e a coluna de água nos anéis forma uma pressão sobre o solo.

Os valores de Capacidade de Infiltração de água no solo não mostraram tendências visíveis quando comparados com a resistência mecânica do solo à penetração uma vez que o talhão 40 apresentou os menores valores de resistência mecânica do solo tanto para a camada de 0-50 cm quanto para a camada de 0-10 cm de profundidade e, no entanto não apresentou o maior valor de capacidade de infiltração de água no solo. O talhão 35 apresentou a maior capacidade de infiltração de água no solo, porém encontra-se com uma resistência mecânica do solo maior que o talhão 40 para a camada de 0-50 cm

de profundidade e maior que os talhões 36 e 40 para a camada de 0-10 cm de profundidade (Figura 20).

Observa-se, na Figura 20, que o talhão 40 apresentou a menor resistência mecânica do solo, porém não apresentou a maior capacidade de infiltração, isto se deve provavelmente ao fato da infiltração de água não ser dependente apenas da entrada de água no solo, mas também de outras variáveis como a transmissão da água no perfil e depleção da capacidade de armazenamento da água do solo e também as características físicas do solo de cada talhão. Para Dunne & Leopold (1978) a capacidade de infiltração em um solo é influenciada por vários fatores como: intensidade e duração da chuva, umidade antecedente, textura do solo, cobertura vegetal e o manejo do solo.

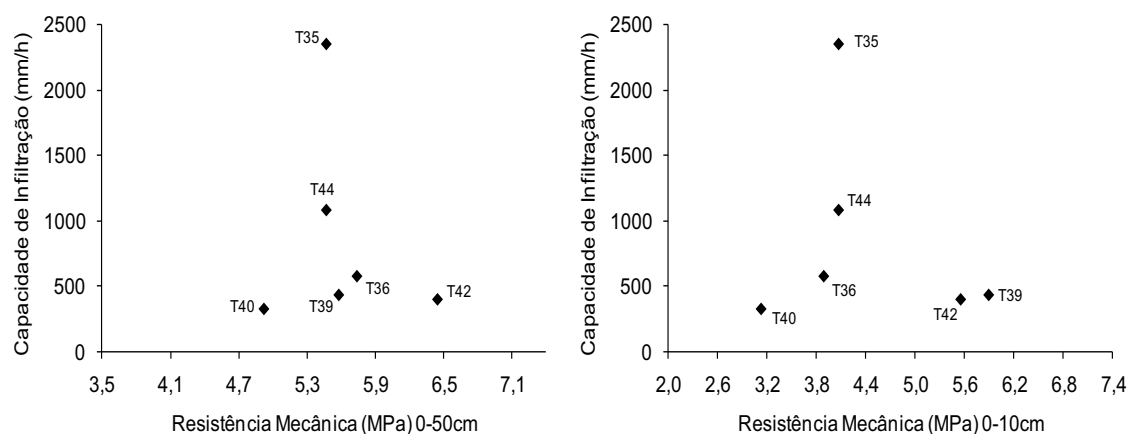


Figura 20- Capacidade de Infiltração de água no solo média e resistência a penetração média nas camadas de 0-10 cm e 0-50 cm de profundidade para cada talhão avaliado na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia – MG, 2011.

Observa-se também que durante o período em que foram realizados os testes de infiltração o solo encontrava-se com baixo teor de umidade (Figura 21), apesar de ter sido realizado no mês de fevereiro, período chuvoso, não havia registro de precipitação a 30 dias na área experimental.

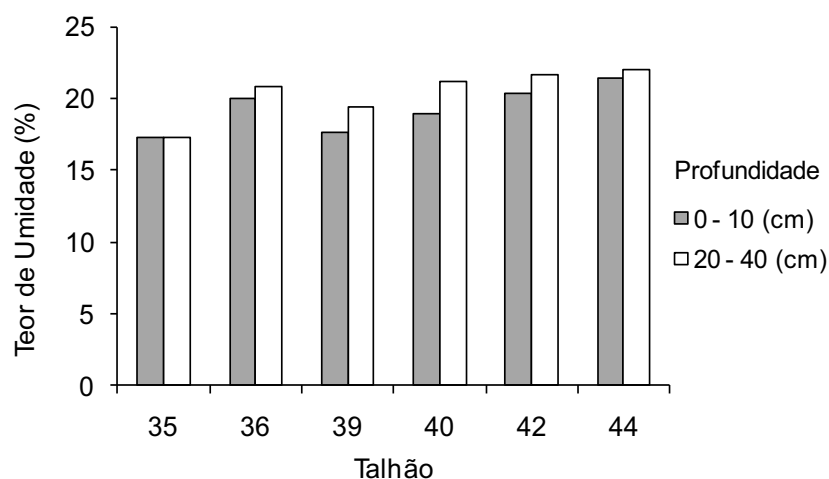


Figura 21- Teor de umidade nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 nas camadas de 0-10 cm e 20-40 cm de profundidades na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Fevereiro, 2011.

Em relação à análise granulométrica das amostras de solo verificou-se que a classe textural nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 é de Argilosa (Tabela 9).

Tabela 9- Análise Granulométrica de amostras de solo coletadas na profundidade de 10 cm nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44.

Análises Granulométricas dag/Kg					
Talhão	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural
35	4	5	34	57	Argilosa
36	3	6	32	59	Argilosa
39	8	16	16	60	Argilosa
40	6	10	24	60	Argilosa
42	4	4	33	59	Argilosa
44	3	4	35	58	Argilosa

Os Latossolos de textura argilosa ou muito argilosa apresentam, sob condições naturais, excelentes condições físicas oriundas da microestrutura granular, fortemente desenvolvida, referentes à infiltração de água no solo e à resistência a erosão (TORMENA et al., 1998).

Segundo Kertzmann (1996) os Latossolos normalmente são muito argilosos e possuem muitos microagregados e a água retida dentro desses microagregados pode ser extraída do solo apenas com tensões muito

elevadas, devido ao diminuto diâmetro dos poros, o que a torna praticamente indisponível para as plantas; no entanto, trata-se de um teor de água sempre presente no solo, conferindo-lhe uma umidade permanente, mesmo que reduzida. De acordo com Carlesso & Zimmermann (2000) a camada argilosa limita a infiltração em condições de saturação do solo.

Rigato et al. (2005) estudando a influência dos atributos físicos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda* aos 12 anos de idade em Telêmaco Borba (PR), verificaram que os sítios de textura argilosa apresentaram maiores valores de porosidade total, enquanto que em solos com textura mais arenosa, a porosidade total foi menor. Além disso, os autores também verificaram uma maior produtividade no sítio localizado sobre um Cambissolo de textura argilosa.

A densidade do solo nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 foi avaliada na camada de 0-10 cm e verificou-se que nessa camada a densidade do solo encontra-se com valores compreendidos entre 1,03 e 1,09 g cm⁻³ (Figura 22).

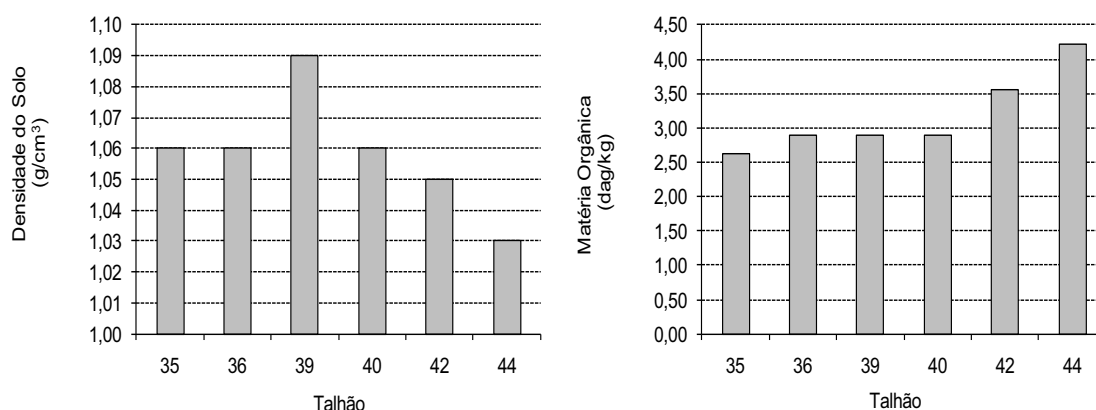


Figura 22- Densidade do solo e matéria orgânica na camada de 0-10 cm nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44.

A Densidade do solo (Ds) é uma propriedade que avalia a massa de sólidos pelo volume. Os valores normais para solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 g cm⁻³, enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 g cm⁻³. Os valores de Ds que estão associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se em torno de 1,65 g cm⁻³ para solos arenosos e 1,45 g cm⁻³ para solos argilosos (REINERT & REICHERT, 2006).

De acordo com Camargo & Alleoni (1997), os valores médios considerados ideais para Densidade do solo-Ds estão compreendidos na faixa

de 1,0 e 1,2 g cm⁻³. Desta forma a Ds na camada de 0-10 cm de profundidade nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 encontra-se em condições ideais.

Esses dados podem variar de acordo com a profundidade da camada analisada. No estudo realizado por Cavenage et al. (1999) em seis áreas: cerrado (vegetação natural), culturas anuais (milho – *Zea mays* L.) em sistema convencional há 18 anos, eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis*), pinus (*Pinus caribaea* var. *hondurensis*), mata ciliar (reflorestada com espécies nativas) e pastagem (*Brachiaria decumbens*), as quais vêm sendo utilizadas, consecutivamente, há 10 anos, e três profundidades (0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,40 m) verificou-se que a densidade do solo diminuiu com o aumento da profundidade, para as áreas, exceto para as áreas com culturas anuais e com cerrado, onde o menor valor encontra-se na primeira camada (0,00-0,10 m).

Segundo Costa et al. (2003) valores mais elevados de densidade do solo em superfície, em plantios florestais, podem estar relacionados ao tempo de utilização da área, arquitetura do sistema radicular, pouca cobertura do solo durante o período inicial de crescimento das plantas, trânsito de máquinas e implementos agrícolas, e condições de umidade do solo no preparo do solo e plantio das mudas.

Avaliou-se também a matéria orgânica nas amostras coletadas nas camadas com profundidade de 10 cm nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44. Para a camada analisada de 0-10 cm de profundidade o talhão 44 apresentou o maior teor de matéria orgânica em relação aos demais talhões (Figura 22).

De acordo com Turner & Lambert (2000) em plantios de *Eucalyptus globulus*, no oeste da Austrália, ocorreu uma diminuição no carbono do solo após o estabelecimento do povoamento em três anos estudados e as modificações das taxas de carbono no solo variam com o tipo de solo.

Os plantios florestais com eucalipto são responsáveis por melhorias nas condições do solo, principalmente no que se refere à matéria orgânica e a atividade microbiológica, o que, conseqüentemente, beneficia as suas propriedades físicas, também promovem uma maior macro-agregação do solo em comparação com áreas agrícolas e outras espécies florestais (LIMA, 1996).

4.2 Resistência Mecânica do Solo à Penetração

Os talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 apresentaram valores de resistência mecânica do solo na profundidade de 0-50 cm compreendidos entre 4,92 á 6,45 MPa. O talhão 40 apresentou a menor média de resistência mecânica (4,92 MPa) entre os talhões (Tabela 10). E o talhão 42 apresentou a maior média de resistência mecânica (6,45 MPa) entre os talhões (Tabela 10).

Em relação à camada de 0-10 cm de profundidade o talhão 40 também apresentou a menor média de resistência mecânica (3,13 MPa) entre os talhões. E o talhão 39 apresentou a maior média de resistência mecânica (5,89 MPa) para a camada de 0-10 cm de profundidade entre os talhões (Tabela 10).

Tabela 10- Resistência mecânica do solo média nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Fevereiro, 2011.

Talhão	Resistência Mecânica- MPa	Resistência Mecânica- MPa
	0-50 cm	0-10 cm
35	5,47	4,07
36	5,74	3,89
39	5,58	5,89
40	4,92	3,13
42	6,45	5,55
44	5,47	4,07

Segundo Arshad et al. (1996), para culturas agrícolas em solos com resistência à penetração maior que 2,0 MPa, o crescimento de raízes é limitado e, naqueles com valores abaixo de 1,0 MPa, a resistência pode ser assumida como pequena. No entanto, em solos não revolvidos anualmente, são toleráveis valores de resistências até 4 MPa, devido à permanência e continuidade de poros, atividade biológica mais ativa e maior estabilidade de agregados. Segundo Grant & Lanfond (1993), valores na faixa de 1,5 a 3,0 MPa são restritivos ao crescimento radicular.

A penetração de raízes de espécies florestais é geralmente dificultada em resistências do solo a partir da faixa entre 2,5 e 3,0 MPa (GREACEN & SANDS, 1980). No entanto, é preciso realizar maiores estudos direcionados aos plantios de eucalipto no que diz respeito ao crescimento radicular em solos

com resistência mecânica elevada a fim de verificar a influência do manejo do solo na compactação e desenvolvimento radicular das plantas.

Os talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 apresentaram valores médios acima de 4 MPa e esses altos valores da resistência mecânica do solo nesses talhões podem estar associados ao uso do solo na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo que antes dos plantios de eucalipto era pastagem (Tabela 10, Figura 23).

O período no qual foram realizados os testes de resistência mecânica do solo, em fevereiro de 2011, apesar de ser período chuvoso, encontrava-se com o solo em condições de baixo teor de umidade (Figura 21), uma vez que não havia registro de chuva na área experimental a 30 dias. Para Klein et al. (1998), pequenas reduções na umidade proporcionam incrementos acentuados da resistência do solo à penetração.

O talhão 40 (Figura 23) apresentou valores de resistência mecânica média do solo até 4 MPa em relação às camadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade, nas demais camadas analisadas esses valores encontram-se acima deste.

Percebe-se que cada um dos talhões apresenta repetições com variações bruscas nos valores de resistência mecânica, pois as repetições por talhão foram avaliadas tanto na linha de plantio quanto nas entrelinhas (Figura 23).

Os Latossolos argilosos do cerrado brasileiro são susceptíveis à compactação, pois têm sido utilizados com sistemas de preparo que revolvem o solo e juntamente com períodos de chuvas intensas e a temperaturas elevadas, favorecem a degradação rápida do solo (STONE & SILVEIRA, 2001). As camadas compactadas nas parcelas podem influenciar negativamente o crescimento do sistema radicular das plantas, a absorção de nutrientes pelo impedimento do fluxo d'água no solo, além de reduzir a condutividade e disponibilidade de água.

O uso do penetrômetro apresenta desvantagens devido a influência da presença de raízes e rochas no solo que aumentam os valores da resistência mecânica e também os efeitos do teor de água do solo nas leituras, cuja diminuição geralmente implica no aumento da resistência ao penetrômetro (SEIXAS & SOUZA, 2007).

Em um estudo sobre “Camadas de Impedimento Mecânico do Solo em Sistemas Agrícolas com a Soja” objetivando avaliar a relação entre a

densidade global e a resistência do solo à penetração, obtida com penetrômetro, em diferentes teores de umidade em Latossolos Roxo do norte do Paraná, Torres & Saraiva (1999) verificaram que a resistência à penetração aumentou com a redução dos teores de umidade do solo e essa tendência foi mais acentuada nas densidades maiores. O mesmo também foi verificado no talhão 39 que apresentou maior densidade do solo ($1,09 \text{ g/ cm}^3$) em relação aos demais talhões e também maior resistência mecânica do solo (5,89 MPa) para a camada de 0-10cm.

Na bacia em estudo foi observado baixo teor de umidade nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 (Figura 21), e desta forma no talhão 35 para a camada de 40-50 cm de profundidade verificou resistência mecânica de 11,86 MPa; no talhão 42 para a camada de 20-30 cm verificou-se resistência mecânica de 11,46 MPa e no talhão 44 para a camada de 40-50 cm verificou-se resistência mecânica de 11,86 MPa (Figura 23). Assim, observou-se altos valores de resistência mecânica do solo nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 em condições de baixo teor de umidade do solo.

Torres & Saraiva (1999) verificaram que no plantio de soja a resistência à penetração foi de 1,5 MPa quando a umidade do solo estava em torno de 37% e de 16 MPa, quando a umidade estava em torno de 21%, evidenciando a grande variação da resistência com a mudança dos teores de umidade. Os autores consideram ainda que é precipitado definir a compactação do solo utilizando somente as avaliações feitas com o penetrômetro. Sendo indispensável avaliar outros parâmetros do solo para esta conclusão.

Resistência Mecânica (MPa)

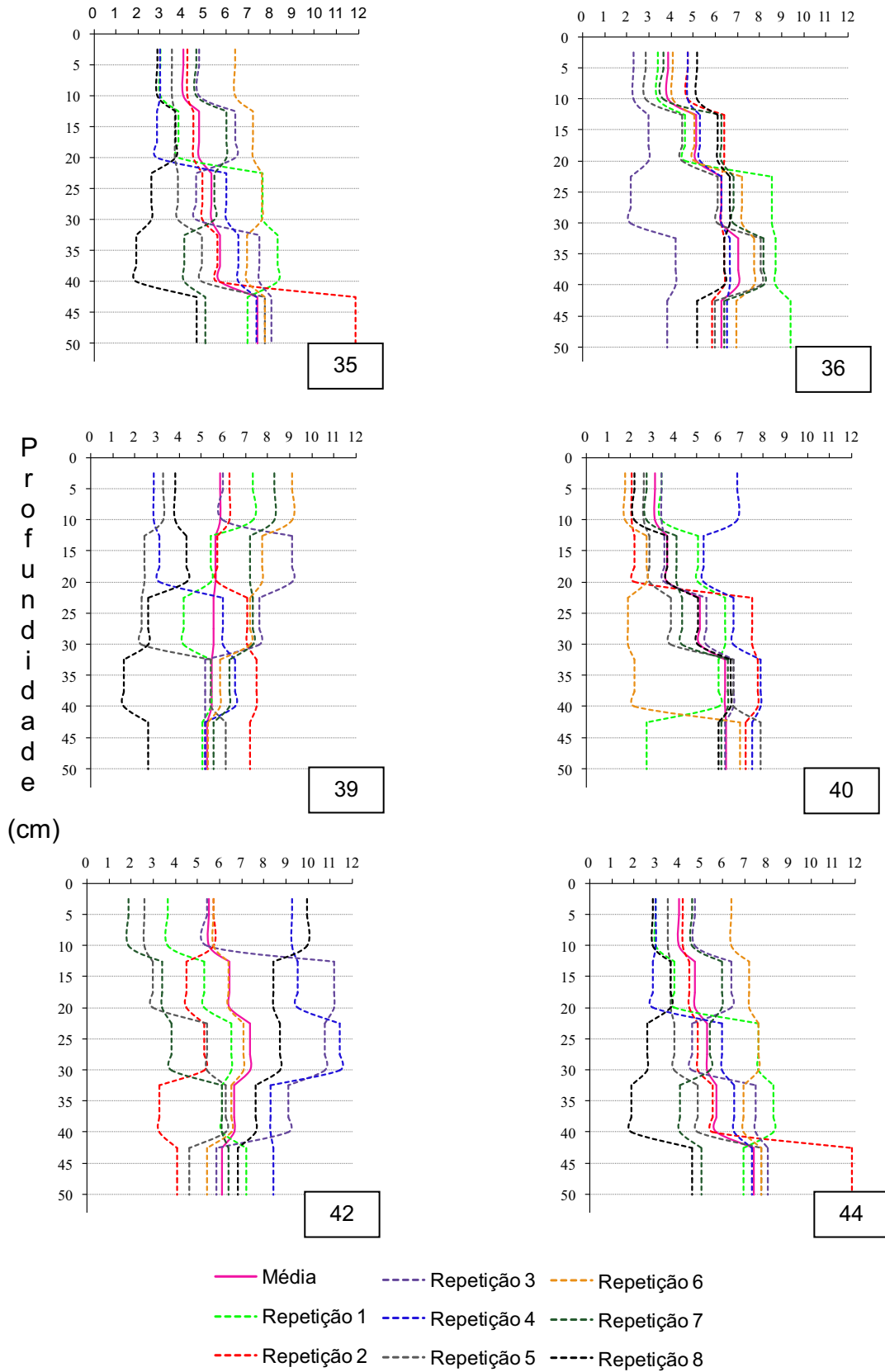


Figura 23- Resistência mecânica do solo nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 em profundidade variando de 0-50 cm. Felixlândia- MG, fevereiro, 2011.

4.3 Variação do Nível do Lençol Freático

Na Tabela 11 encontram-se as médias mensais da profundidade do lençol freático. Verifica-se que no topo do morro, poço piezométrico 1, o lençol freático encontra-se bem mais profundo que os demais em todos os meses e anos observados. Os poços piezométricos 2 e 3 apresentam profundidade semelhante sendo que o primeiro está localizado no ponto mais alto da encosta que o último. Percebe-se que o poço piezométrico 3 apresenta uma recarga de água maior do que o poço piezométrico 2 devido ao fluxo de água subterrânea que vem das partes mais altas do terreno. Já o poço piezométrico 4, além da posição mais baixa, ao contrário dos demais, está localizado dentro de uma área de reserva, cerrado em regeneração e apresenta profundidade menor, ou seja apresenta maior recarga devido ao fluxo de água subterrânea que vem das partes mais altas do terreno onde estão localizados os poços piezométricos 1, 2 e 3.

Tabela 11- Profundidade média mensal do lençol freático na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia- MG.

Profundidade do Lençol Freático (m) 2008					Profundidade do Lençol Freático (m) 2009					Profundidade do Lençol Freático (m) 2010				
Poço	P1	P2	P3	P4	Poço	P1	P2	P3	P4	Poço	P1	P2	P3	P4
Jan	21,39	12,88	12,99	2,93	Jan	20,94	16,19	10,53	3,56	Jan	20,95	16,28	10,54	3,60
Fev	25,00*	9,95	9,45	2,95	Fev	25,00*	7,73	3,84	1,03	Fev	21,09	17,69	11,77	3,82
Mar	25,00*	9,38	6,06	1,88	Mar	21,26	8,46	3,94	1,30	Mar	21,25	18,66	11,26	3,48
Abr	25,00*	8,56	5,31	1,55	Abr	10,49	9,50	3,96	1,24	Abr	16,04	19,06	12,26	3,94
Mai	21,30	12,01	5,37	2,22	Mai	20,51	10,95	4,15	1,64	Mai	25,00*	19,30	13,48	5,22
Jun	21,30	12,43	5,78	2,53	Jun	20,14	12,70	5,11	2,13	Jun	25,00*	19,44	14,34	6,41
Jul	-	-	-	-	Jul	20,03	13,40	6,10	2,69	Jul	25,00*	17,44	13,14	7,61
Ago	21,48	14,51	8,37	3,63	Ago	20,09	14,33	7,55	3,24	Ago	25,00*	19,87	15,67	8,27
Set	25,00*	15,41	9,40	3,91	Set	20,21	14,77	8,92	3,46	Set	25,00*	20,24	16,00*	8,63
Out	25,00*	16,72	10,75	4,21	Out	20,39	15,12	10,21	3,63	Out	25,00*	21,00*	16,00*	10,00*
Nov	25,00*	18,60	12,16	4,92	Nov	20,60	15,81	11,49	3,75	Nov	25,00*	18,86	14,47	3,85
Dez	-	-	-	-	Dez	20,86	16,51	12,41	3,73	Dez	25,00*	13,31	11,60	3,22
MEDIA	23,55	13,05	8,56	3,07	MEDIA	20,47	13,87	7,35	2,62	MEDIA	23,28	18,50	13,38	5,67

P1= Poço Piezométrico localiza-se no topo do morro.

P2= Poço Piezométrico localiza-se no terço superior da encosta.

P3= Poço Piezométrico localiza-se no terço médio da encosta.

P4= Poço Piezométrico localiza-se no ponto mais baixo do terreno na Área de Reserva.

* = Ausência de água no Poço Piezométrico.

- = Não houve monitoramento nos Poços Piezométricos.

A Figura 24 ilustra a distribuição da profundidade do lençol ao longo do ano. Verifica-se com mais clareza que à medida que a precipitação efetiva aumenta, o nível da água nos poços fica mais próximo da superfície do terreno

em todas as posições topográficas da paisagem. Da mesma forma, nos momentos em que a chuva cessa o nível do lençol tende a baixar, pois é este montante que mantém a vazão do Córrego do Riacho Fundo.

Observa-se ainda pela Figura 24 que em 2008 a precipitação efetiva acumulada foi maior em relação aos anos de 2009 e 2010. Para o ano de 2008 nos meses de março e abril verificou-se que houve recarga do lençol freático nos poços piezométricos com exceção no poço piezométrico 1. A partir de maio os poços piezométricos apresentaram uma tendência de queda do nível do lençol freático.

O poço piezométrico 1 ao longo dos anos de 2008, 2009 e 2010 apresentou problemas e acredita-se que a ausência de água e presença de solo no fundo do poço seja ocasionado por falha na construção do mesmo.

Para 2009 verificou-se que houve recarga nos poços piezométricos 2, 3 e 4 no mês de fevereiro. A partir de maio com a queda da precipitação verificou-se que todos os poços piezométricos apresentaram o nível do lençol freático mais distante a superfície.

Em 2010 verificou-se menores valores de precipitação em comparação aos anos de 2008 e 2009. Ao longo dos meses de maio a setembro o nível dos poços foi apresentando uma queda e em outubro todos os poços piezométricos apresentaram ausência de água. Nos meses de novembro e dezembro com o início da precipitação verificou-se recarga nos poços piezométricos 2, 3 e 4.

Essa variação do nível do lençol freático em relação à precipitação também foi verificada por Ranzini et. al (2004) na qual os 3 poços piezométricos, localizados na microbacia cuja cobertura vegetal é a Mata Atlântica, registraram o nível do lençol freático próximo a superfície e após o término da chuva o lençol freático desceu rapidamente.

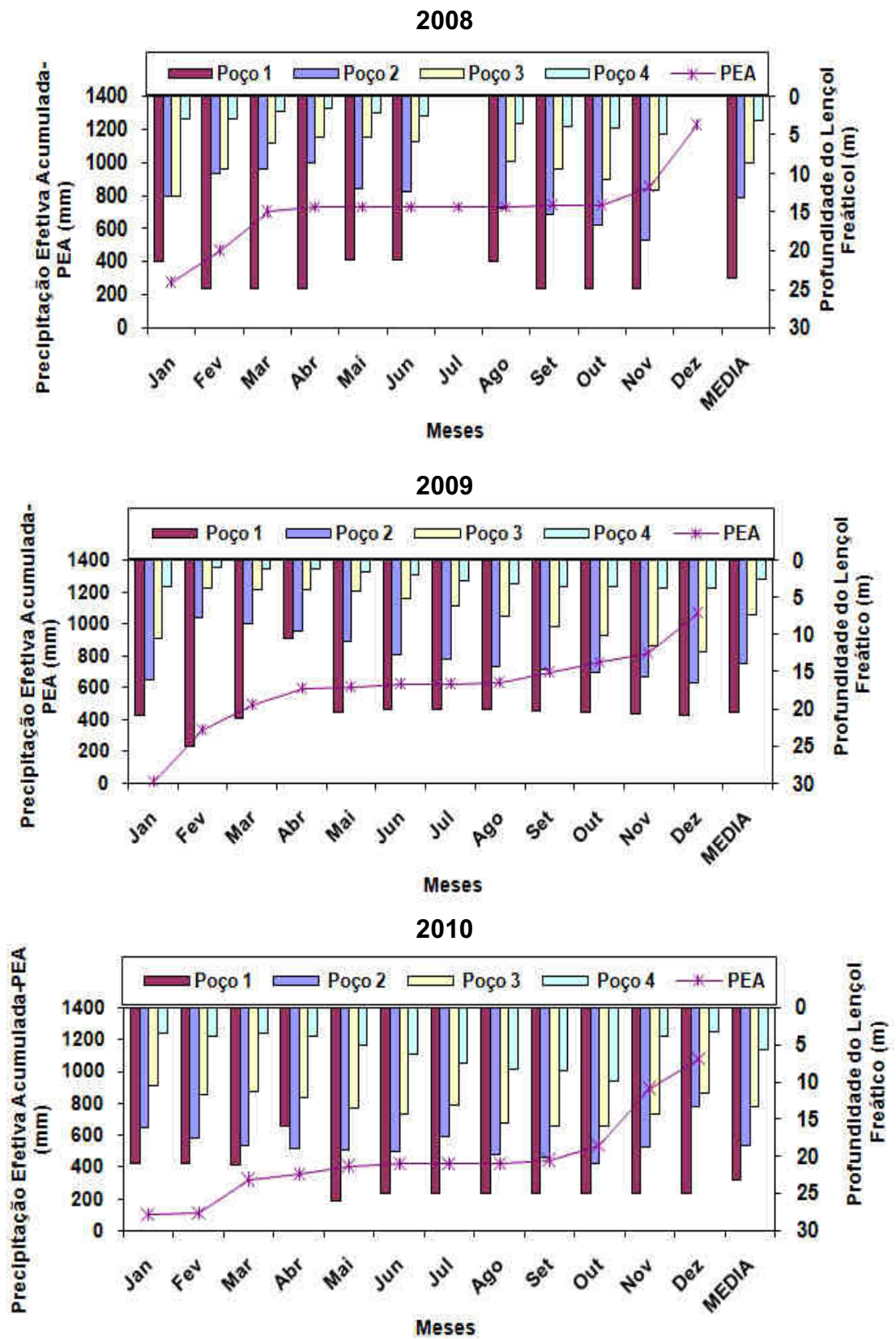


Figura 24- Representação gráfica do Nível do Lençol Freático e Precipitação Efetiva Acumulada (PEA) para 2008, 2009 e 2010 na Bacia Hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG.

5. CONCLUSÕES

Existem diferenças na precipitação efetiva entre os talhões provavelmente devido à arquitetura de copa do clone plantado em cada talhão que atua influenciando na interceptação da precipitação e escoamento pelo tronco.

O escoamento superficial de água de chuva foi baixo, não apresentando 1% em relação à precipitação efetiva, e apresentou pouca variação ao longo dos anos de 2008, 2009 e 2010.

Apesar das camadas analisadas nos talhões 35, 36, 39, 40, 42 e 44 apresentarem altos valores de resistência mecânica verificou-se alta velocidade de infiltração e alta capacidade de infiltração de água no solo nesses talhões.

A profundidade do lençol freático variou em função das características hídricas observadas em cada ano de monitoramento e verificou-se que houve recarga do lençol freático ao longo dos anos de 2008, 2009 e 2010.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário Estatístico ABRAF 2011- Ano Base 2010**. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/>>. Acesso em 27 jun. 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M.; **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

ALMG- **Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/index.asp?grupo=estado&diretorio=munmg&arquivo=municipios&municipio=25705>>. Acesso em: 20 out. 2010.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Comparação de infiltração de água no solo mensurada em período seco e úmido, em diferentes usos da terra na bacia do arroio Boa Vista, Guamiranga, Paraná. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 301-318, 2009.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha-SP. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.257-262, 2003.

ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, p.123-141, 1996.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência- Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v.4, n.1, p.131-149, 2008.

BENGOUGH, A.G.; MULLINS, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal of Soil Science**, v.41, p.341-358, 1990.

BERTOL, I., BARBOSA, F. T., FABIAN, E. L., PEGORARO, R., ZAVASCHI, E., GONZÁLEZ, A. P., VÁZQUEZ, E. V. Escoamento superficial em diferentes sistemas de manejo em um Nitossolo Háplico típico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.3, p.243-250, 2008.

BITTENCOURT, J. L. G. **Relação entre a ocupação do solo e o comportamento hidrológico do Rio Pequeno-São José dos Pinhais-PR**. Curitiba-Paraná, 2000. 197f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná.

BRANDÃO, V. S., PRUSKI, F. F., SILVA, D. D. **Infiltração de água no solo**. Viçosa-MG, Editora UFV, 2003. 98p.

BRASIL. **Lei 9.433/97**, 8 jan.1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente /Secretaria de Recursos Hídricos. 1997.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997.132p.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F. L. **Água no solo: Parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: UFSM, 2005. 88p.

CASTRO, P. S. e. **Influência da cobertura florestal na qualidade da água em duas bacias hidrográficas na região de Viçosa, MG**. Piracicaba-SP, 1980. 107f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M.; BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.4, p.997-1003, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1974. 149p.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society of America**, v.48, p.368-373, 1984.

COSTA, A. M.; SOUZA, M. A. S.; SILVA JUNIOR, A. M.; FALQUETO, R. J.; BORGES, E. N. Influência da cobertura vegetal na densidade de três solos do cerrado. In: Simpósio Regional de Geografia: Perspectivas para o Cerrado no Século XXI, 2., 2003, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: [s.n.], 2003. p.1-8.

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetada pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

DIAS, H. C. T. SILVA, A. P. S.; TONELLO, K. C.; CARDOSO, C. A.; ALVES, M. R.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C. **Proteção de Nascentes**. Brasília: SENAR, coleção 103, 80p., 2006.

DUNNE, T.; LEOPOLD, L. B. **Water in environmental planning**. W. H. Freeman; 1st edition, 818p. 1978.

GRANT, C. A.; LAFOND, G. P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in Southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, n. 2, p. 223-232. 1993.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of Forest soils. A review. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, p.163-89, 1980.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JÚNIOR, D.; SILVA, D. D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.25, n.2, p.411-417, 2001.

HORTON, R. E., 1940. **An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity**. Soil Science Society of America Proc., 5: 399-417.

HORTON, R. E., 1932. **Drainage Basin Characteristics**. Trans. American Geophysical Union, 13: 350-361.

KERTZMANN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação**. São Paulo, 1996. 153f.. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.18, n.2, p.45-54, 1998.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2 ed. Piracicaba-SP. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2008. 253p.

LIMA, W. P. **Impactos ambientais do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996. 301p.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.10, n.29, p.11-21, 1996.

LIMA, W. P. Escoamento superficial, perdas de solo e de nutriente em microparcelsas reflorestadas com eucalipto em solos arenosos no município de São Simão, SP. **IPEF**, n.38, p.5-16, 1988.

LIMA, W. P. Interceptação da chuva em povoamentos de eucalipto e de pinheiro. **IPEF**, Piracicaba, n.13, p.75-90, 1976.

LOPES, A. S. **Solos sob "cerrado"**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fósforo, 1983. 162 p.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Avaliação de atributos físicos de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v.8, n.1, p.32-41, 2002.

MEIN, R. G.; LARSON, C. L. Modeling infiltration during a steady rain. **American Geophysical Union**, Washington, v.9, n.2, p.384-394, 1973.

MOHAMOUD, Y. M.; EWING, L. K.; BOAST, C. W. Small plot hydrology: I. Rainfall infiltration and depression storage determination. **Transactions of the ASAE, St. Joseph**, v.33, n.4, p.1121-1131, 1990.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112p.

MOSCA, A. A. O. **Monitoramento hidrológico de duas bacias hidrográficas visando à identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. Piracicaba-SP, 2003. 96f.. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz (ESALQ/USP).

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M. Aspectos nutricionais e ambientais do eucalipto. **Revista Silvicultura**, v.18, n.68, p.10-17, 1996.

OLERIANO, E. S.; DIAS, H. C. T. A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto. In: **Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, 2007. Taubaté-SP, p.215-222.

OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F.; SOUSA, F. A. S; COSTA, A. C. L; BRAGA, A. P. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiuanã, na Amazônia Oriental., **Acta Amazônica**, Manaus-AM, v.38, n.4. p.723-732, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.O; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. Sociedade de Investigações Florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.1. p.9-15, 2005.

PAIVA, K. W. N. **Perdas de solo e água em função da porcentagem de cobertura de solo e da energia única da precipitação**. Viçosa, MG, 1999. 66f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.

PINTO, F. A., FERREIRA, P. A., PRUSKI, F. F., ALVES, A. R., CECON, P. R. Equação de chuvas intensas para algumas localidades do estado de Minas Gerais. **Engenharia Agrícola**, v.16, n.1, p.91-104, 1996.

PINTO, N. L. S; HOLTZ, A. C. T; MARTINS, J. A. **Hidrologia de Superfície**. Editora Edgard Blucher, 1973. 179p.

POGGIANI, F. Monitoramento ambiental de plantações florestais e áreas naturais adjacentes. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.10, n.29, p.22-35, 1996.

POTT, C. A.; MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.27, n.1, p.19-27, 2003.

PRUSKI, F. F., BRANDÃO, V. S., SILVA, D. D. **Escoamento Superficial**. Viçosa-MG, Editora UFV, 2003. 88p.

PRUSKI, F. F. **Análises de precipitações extremas e de escoamento superficial, para áreas agrícolas, da região Oeste do Paraná**. Viçosa-MG, 1990. 109f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa.

RANZINI, M.; RIGHETTO, A. M.; LIMA, W. P.; GUANDIQUE, M. E. G.; ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Processos hidrológicos de uma microbacia com Mata Atlântica, na Serra do Mar, SP. **Scientia Forestalis**, n.66, p.108-119, 2004.

RANZINI, M.; LIMA, W. P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, n.61, p.144-159, 2002.

RAPER, R.; ERBACH, D. Prediction of soil stresses using the finite element method. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 33: 725-730, 1990.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, 2006. 18p.

RIGATO, M. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005.

ROCHA, J. S. M. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: UFSM, 1997.423p.

ROMANOVSKI, Z. **Morfologia e aspectos hidrológicos da Microbacia Rua Nova, Viçosa, MG, para fins de manejo**. Viçosa-MG, 2001. 84f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa.

SANTANA, D. P. **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Sete Lagoas-MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SEIXAS, F.; SOUZA, C. R. Avaliação e efeito da compactação do solo, devido à frequência de tráfego, na produção de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.6, p.1047-1052, 2007.

SETZER, J. **Contribuição para o estudo do clima do Estado de São Paulo**. São Paulo: Escolas Profissionais Salesianas, 1946. 239 p.

SILVA, A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.108-114, 2007 a.

SILVA, S. R.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; MENDONÇA, E. S.; LEITA, F. P. Alterações do solo influenciadas pelo tráfego e carga de um "forwarder" nas entrelinhas de uma floresta de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.31, n.2, p.371-377, 2007 b.

SILVA, J. M. A. **Modelo Hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em Bacias Hidrográficas: desenvolvimento e aplicação**. Viçosa-MG, 2002. 137f.. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa.

SONI, P.; NAITHANI, S.; MATHUR, H. N. Infiltration studies under different vegetation cover. **Indian Journal of Forestry**, 8:3, 170-173; 1985.

SOUZA, V. V.; DIAS, H. C. T.; COSTA, A. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. C. Análise da qualidade das águas das precipitações em aberto e efetiva em um fragmento secundário da Mata Atlântica, no município de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.737-743, 2007.

STHALER, A.N., 1957. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Trans. American Geophysical Union, 38: 913-920.

STOLF, R.; CASSEL, D. K.; KING, L. D.; REICHARDT, K. Measuring mechanical impedance in clayey gravelly soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.22, n.2, p.189-196, 1998.

STONE L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.25, n.2, p.395-401, 2001.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TONELLO, K. C.; CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. S.; ALVES, M. R.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C. Precipitação efetiva em plantio de pinus. **Revista da Madeira**, v.83, p.118-121, 2004.

TORMENA, C. A.; SILVA,.; LIBARDI, P. L. Caracterização do Intervalo Hídrico Ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v.22, n.4, p.573-581, 1998.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed Universidade/ UFRGS, ABRH. 2001. 943p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH. 1998. 669p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1. p.135-152, 1997.

TURNER, J.; LAMBERT, M. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.133, n.3, p.231-247, 2000.

USDA, **Soil survey manual**. Washington, DC, USA, Soil Survey Division Staff, 1993. 437p.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de Nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. 1^a. ed. Viçosa-MG: Aprenda Fácil, 2005. 210p.

VILAR, M. B. **Escoamento superficial de água de chuva em área de contribuição de nascentes**. Viçosa-MG, 2007. 46f.. Monografia Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa.

VITAL, M. H. F. Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. **Revista do BNDES**, Rio de Janeiro, v.14, n.28, p.235-276, 2007.

ZHOU, G. Y.; MORRIS, J. D.; YAN, J. H.; YU, Z. Y.; PENG, S. L. Hydrological impacts of reforestation with eucalypts and indigenous species: a case study in Southern China. **Forest Ecology and Management**, v.167, p.209-222, 2002.