

FREDERICO MESQUITA MARTINS FILHO

**Balanço hídrico e erosão do solo em uma plantação de eucaliptos
novos**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, como parte integrante dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências (Hidráulica e Saneamento).

Orientador: Prof. Tit. Edson Cezar Wendland

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos

2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

M852b Mesquita Martins Filho, Frederico
Balanço hídrico e erosão do solo em uma plantação de eucaliptos novos / Frederico Mesquita Martins Filho; orientador Edson Wendland. São Carlos, 2014.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

1. eucalipto. 2. escoamento fustal. 3. interceptação. 4. monitoramento. 5. parcelas experimentais. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **FREDERICO MESQUITA MARTINS FILHO.**

Título da dissertação: "Balanço hídrico e erosão do solo em uma plantação de eucaliptos novos".

Data da defesa: 30/04/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Titular **Edson Cezar Wendland (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Titular **Walter de Paula Lima**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ESALQ-USP)

aprovado

Prof. Dr. **Luiz Rafael Palmier**
(Universidade Federal de Minas Gerais/UFMG)

APROVADO

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Profa. Associada **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

*Aos meus pais, Frederico e
Fátima, e à minha irmã Flávia.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, por permitir e guiar as minhas escolhas.

Ao meu orientador Edson Wendland, que sempre muito positivo e acessível, me mostrou a importância de trabalhar em equipe e como a clareza e a objetividade podem ser grandes aliadas no sucesso de uma jornada.

Ao meu pai Frederico, meu exemplo profissional. Obrigado pelo incentivo, apoio incondicional e confiança, fundamentais para a realização deste meu projeto de vida.

À minha mãe Fátima, que com muito amor, carinho e serenidade, proporcionou meus dias menos tensos e mais produtivos. Reflito-me na sua sensatez para me tornar uma pessoa melhor.

À minha irmã Flávia, um exemplo de perseverança e competência que tento me espelhar todos os dias.

À minha querida Fernanda Ventin, que com todo amor, calma, cumplicidade e atenção fez dos meus dias difíceis mais harmoniosos e me ensinou a tirar sempre as coisas boas das adversidades que aconteciam.

Ao meu colega de apartamento André Vieira, que fez minha moradia em São Carlos menos saudosa da minha família e mais alegre todos os dias.

À “Ala das Baianas”: Antonio Meira (Tonho), Marcelo Pessoa (Marcelão) e Andrezão. As resenhas, cervejadas e carnes queimadas na laje foram essenciais para desestressar em todos os momentos.

Ao meu primo/irmão Daniel Sarmento, que mesmo distante se fez presente em muitos momentos bons e ruins de minha vida, e ao grande amigo Leonardo Hadade, obrigado pela sabedoria passada e exemplo de um excelente profissional.

Ao grande amigo e colega de laboratório Camilo Cabrera, que me ajudou bastante no experimento com conselhos sempre bem vindos.

Aos demais colegas do LHC: Antonio, Cristian, Davi, Ivan, Marjolly, Murilo, Paulo e Tiago, por estarem sempre dispostos e comprometidos com o sucesso dos projetos e o bom andamento dos trabalhos de campo.

Aos meus colegas e amigos do SHS, pelos momentos de descontração, estudo e boas risadas.

Ao técnico Roberto Bérqamo, pela grande ajuda nos trabalhos de campo e nas engenhocas para tornar o trabalho menos custoso e mais produtivo.

Às funcionárias do SHS: Flávia, Fernanda, Sá e Rose, que sempre muito atenciosas resolviam meus problemas.

Aos fazendeiros Sr. Luiz e Sr. João da Fazenda Monte Alegre, que cuidaram de mim nas coletas de campo e sempre foram muito solícitos para qualquer serviço que precisasse ser feito.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

*“O mundo pertence aos otimistas:
os pessimistas são meros
observadores.”*

Dwight Eisenhower

RESUMO

MARTINS FILHO, F. M. **Balanço hídrico e erosão do solo em uma plantação de eucaliptos novos.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

A área plantada com eucaliptos no Brasil cresceu a uma taxa de 4,7% ao ano nos últimos 7 anos (ABRAF, 2013). Os impactos que as plantações tendem a ocasionar nos recursos hídricos podem ser incertos e imprecisos quando do não conhecimento do clima, solo e espécie plantada. Nesse contexto, o balanço hídrico é uma abordagem largamente recomendada para a boa avaliação e tomada de decisão nos processos hidrológicos. O objetivo deste trabalho foi quantificar experimentalmente o balanço hídrico e a erosão do solo numa plantação de *Eucalyptus grandis* ainda em idade jovem (entre 2 e 3 anos) durante um ano. A instalação experimental foi locada no município de Brotas – SP, a 35 km da cidade de São Carlos. Foram utilizados dois métodos para a coleta da Precipitação interna (Pi) na plantação: calhas e pluviômetros, para verificação estatística. Concluiu-se que a Pi coletada por calhas e pluviômetros são estatisticamente semelhantes, porém o desvio padrão médio dos valores coletados pelas calhas é menor. O Escoamento fustal (Ef) foi coletado com o auxílio de fitas adesivas e mangueiras coladas a 10 troncos, e armazenado em galões. O Escoamento superficial (Es) e os sedimentos provenientes da erosão do solo foram coletados em parcelas experimentais de 100 m² (5,0 x 20,0 m) com a maior dimensão no sentido do escoamento, numa área com declividade de aproximadamente 10%. Os resultados mostram que a Perda por Interceptação (It) correspondeu a 13,0% da Precipitação total (Pt) registrada em 2013. O Ef correspondeu a 2,4% de Pt, não podendo ser desprezado na parcela da It da plantação. O valor de Es foi baixo (0,6% de Pt), pois o solo da área de pesquisa era bastante arenoso (86%). Os valores diários de Evapotranspiração real (Et) foram estimados pela equação de Penman, e resultaram em 938,0 mm no ano de 2013. O valor da Recarga direta (Rd) foi estimado em 250,8 mm, o que está de acordo com trabalhos realizados anteriormente na mesma região. A erosão do solo na plantação foi de 2,21 Mg.ha⁻¹ no ano de 2013, sendo a lâmina d'água e a intensidade máxima da precipitação os principais fatores que provocaram as maiores erosões.

Palavras-chave: *escoamento fustal, eucalipto, interceptação, monitoramento, parcelas experimentais.*

ABSTRACT

MARTINS FILHO, F. M. **Water balance and soil erosion in a young eucalyptus plantation.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

The planted area of eucalyptus in Brazil increased in a rate of 4.7% per year in the last 7 years (ABRAF, 2013). The impacts of the plantations in the water resources tend to lead to uncertainty and inaccuracy on the knowledge of the climate, soil and planted specie. In this context, the water balance is a largely recommended approach on the decision-making regarding the hydrological processes. The main objective of this work was to quantify experimentally the water balance and the soil erosion in an *Eucalyptus grandis* plantation still in young ages (between 2 and 3 years old) over one year. The experimental installation was set in Brotas – SP, 35 km away from the city of São Carlos. Two methods were utilized to collect the throughfall (Pi): transects and rain gauges, aiming a statistical verification. The result suggests that Pi collected by transects and rain gauges are statistically similar, but the mean standard deviation of the transects is smaller. The Stemflow (Ef) was collected with adhesive tapes connected to 10 stems, and stored in gallons. The Stream flow (Es) and the soil erosion were collected in experimental catchments of 100 m² (5.0 x 20.0 m) with the largest dimension towards the flow, in an area with 10% of slope. The results showed that the Interception loss (It) corresponded to 13.0% of the Gross rainfall (Pt) registered in 2013. The Ef corresponded to 2.4% of the Pt, proving that it can't be neglected on the It calculation. The value of Es was low (0.6% of Pt), because the soil of the catchment was very sandy (86%). The daily values of Evapotranspiration (Et) were estimated by using the Penman-Monteith equation, resulting in 938.0 mm in 2013. The value of Direct recharge (Rd) was estimated in 250.8 mm, and according to previous works done in the same region, it is consistent. The soil erosion in the plantation was 2.21 Mg.ha⁻¹, being the rain depth and the maximum rain intensity the main factors that caused biggest erosions.

Keywords: *eucalyptus, experimental catchments, interception, monitoring, stemflow.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Componentes do Balanço Hídrico. Adaptado de Bonan (2008).....	24
Figura 4.1 – Localização da Instalação Experimental. Imagem do Google Earth, acessado em 29/01/2014. Data da imagem: 10/12/2013.....	38
Figura 4.2 – Estação Climatológica da Fazenda Monte Alegre.	40
Figura 4.3 – Planta esquemática da localização das estações climatológicas no entorno da instalação experimental.	40
Figura 4.4 – Vista panorâmica da instalação experimental.....	41
Figura 4.5 – a) chapa metálica semi-enterrada; b) calha conectada ao tubo.....	42
Figura 4.6 –Seção longitudinal da parcela	43
Figura 4.7 – Delimitação das Parcelas experimentais com barbante e estacas de madeira.	43
Figura 4.8 – Abertura da vala e colocação das chapas metálicas laterais e de fundo.....	44
Figura 4.9 – Calha na base da parcela experimental e reservatório enterrado.	45
Figura 4.10 – Furo na tampa do reservatório para colocação da tubulação da parcela experimental e manta de borracha protegendo o furo.	45
Figura 4.11 – Vista geral da tampa da calha da parcela experimental.....	46
Figura 4.12 – Detalhe do balde de 70 litros dentro do primeiro reservatório e ligação entre reservatórios.....	47
Figura 4.13 – Coleta do solo retido na calha de escoamento superficial.	48
Figura 4.14 – Calha para coleta da precipitação interna. Dimensões: 0,120 m x 5,0 m.	52
Figura 4.15 – Pesagem de um galão de 60 litros, utilizando a balança de mão.	52
Figura 4.16 – Estrutura de aço com a finalidade de evitar a flexão da calha e manter a altura de 30 cm do solo.	53
Figura 4.17 – Pluviômetro tipo <i>Ville de Paris</i> utilizado no experimento. Altura do solo: 1,5 m. Diâmetro do topo: 21 cm.	54
Figura 4.18 – a) Fita helicoidal instalada no tronco; b) detalhe da ligação entre a calha e a mangueira; c) vista geral da calha, mangueira e galão.....	55

Figura 5.1 – Distribuição da Precipitação total ao longo do ano de 2013.....	61
Figura 5.2 – Relação entre a precipitação por evento na Estação Monte Alegre e Estação Santa Maria, no ano de 2013.....	62
Figura 5.3 – Gráfico de Interceptação pela Precipitação total.....	63
Figura 5.4 – Gráfico de correlação entre a coleta da Precipitação interna a partir de calhas e pluviômetros.....	65
Figura 5.5 - Relação da precipitação total e a precipitação interna coletada em calhas e pluviômetros.....	67
Figura 5.6 – Gráfico da relação entre a Precipitação total e o Escoamento fustal em litros. ...	70
Figura 5.7 – Gráfico da relação entre a Precipitação total e a percentagem de Escoamento fustal por evento.....	71
Figura 5.8 – Relação entre DAP e Área de interceptação por muda.	72
Figura 5.9 – Escoamento fustal acumulado em três mudas de eucalipto no ano de 2013, em comparação com a precipitação.	73
Figura 5.10 – Gráfico do total coletado pelo Escoamento fustal em relação ao DAP.....	74
Figura 5.11 – Evolução do escoamento fustal de duas mudas (2 e 7), no ano de 2013.....	75
Figura 5.12 – Troncos de duas mudas de eucalipto, mostrando o descascamento na Muda 7.	76
Figura 5.13 – a) calha instalada acima do nível do solo; b) solo descompactado devido à instalação das parcelas experimentais.	83
Figura 5.14 – Solo nivelado com a calha após evento extremo de 14/janeiro.	84
Figura 5.15 – Evapotranspiração real no ano de 2013, calculada pelo método de Penman para a plantação de eucalipto.....	85
Figura 5.16 – Balanço Hídrico acumulado no ano de 2013.	87
Figura 5.17 – Foto de satélite da plantação após um evento de precipitação com muito escoamento superficial (dezembro/2013) em comparação com imagem anterior (setembro/2011). Fonte: Google Earth, acessado em 05/02/2014.	90
Figura 5.18 – Estrada na plantação de eucalipto após o evento de precipitação do dia 14/janeiro.	90

Figura 5.19 – Buraco na estrada causado pela enxurrada.	91
Figura 5.20 – Buraco formado na estrada, dentro da plantação de eucalipto: comparativo. ...	92
Figura 5.21 – Gráfico de Pt X Pi para obtenção do Sc e do St.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Precipitação mensal no ano de 2013, interpolada pelo método IDW, e número de eventos verificados em cada mês.	60
Tabela 5.2 – Frequência dos eventos de precipitação ocorridos no ano de 2013.	62
Tabela 5.3 – Teste t-pareado de Wilcoxon para os valores de precipitação interna de calhas e pluviômetros.	64
Tabela 5.4 – Valores de precipitação total e precipitação interna (Pi) coletados em calhas e pluviômetros, por evento de precipitação no ano de 2013.	66
Tabela 5.5 – escoamento fustal por evento. Valores em milímetros (média de 10 calhas), em litros (somatório de 10 calhas) e percentual da Precipitação total.	69
Tabela 5.6 – Crescimento dos DAPs de cada muda.	74
Tabela 5.7 – Comparação da precipitação interna entre eventos de precipitação com lâminas d'água distintas.	77
Tabela 5.8 – Valores comparativos de precipitação interna em eventos com diferentes intensidades máximas em 15 min.	78
Tabela 5.9 – Valores de precipitação interna referentes a dois eventos de precipitação com antecedentes distintos.	79
Tabela 5.10 – Valores de precipitação interna referentes a dois eventos de precipitação ocorridos em estações do ano distintas.	79
Tabela 5.11 – Valores de escoamento fustal (mm) referentes a dois eventos com lâminas d'água distintas.	80
Tabela 5.12 – Valores de escoamento fustal (litros) referentes a dois eventos ocorridos em estações do ano distintas.	81
Tabela 5.13 – Eventos de precipitação e respectivo escoamento superficial.	82
Tabela 5.14 – Erosão do solo nos eventos que ocasionaram escoamento superficial.	89

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO GERAL.....	19
- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
3.1 IMPACTOS DAS PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO NO CICLO HIDROLÓGICO	22
3.2 BALANÇO HÍDRICO.....	23
3.2.1 Precipitação total	24
3.2.2 Perdas por Interceptação.....	26
3.2.3 Evapotranspiração	30
3.2.4 Escoamento Superficial	32
3.2.5 Infiltração e Recarga direta	33
3.3 EROÇÃO DO SOLO	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1 ÁREA DE ESTUDO	38
4.2 ESTUDO DO SOLO	39
4.3 DADOS CLIMATOLÓGICOS	39
4.4 PARCELAS EXPERIMENTAIS – COLETA DE SEDIMENTOS E ESCOAMENTO SUPERFICIAL ..	41
- Instalação das Parcelas Experimentais.....	43
4.5 ESCOAMENTO SUPERFICIAL (ES).....	46
4.6 EROÇÃO DO SOLO	47
4.7 BALANÇO HÍDRICO.....	49
4.7.1 Precipitação (Pt).....	49
4.7.2 Evapotranspiração (Et)	49
4.7.3 Perda por Interceptação (It).....	51
4.8 MODELO RUTTER	57
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1 PRECIPITAÇÃO	60
5.2 PERDA POR INTERCEPTAÇÃO	63
5.2.1 Precipitação interna	64
5.2.2 Escoamento fustal.....	68
5.2.3 Comparação entre eventos de precipitação	76

5.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	82
5.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO	84
5.5 BALANÇO HÍDRICO	86
5.6 EROSIÃO DO SOLO	89
5.7 PARÂMETROS DO MODELO RUTTER	92
6 CONCLUSÃO	95
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	96
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98

1 INTRODUÇÃO

O Eucalipto é uma espécie vegetal nativa da Austrália. Esse país de dimensões continentais tem suas florestas de eucalipto prevalecendo na porção leste, por apresentar clima mais úmido e ameno que na porção central (deserto), e na porção oeste, onde prevalece a espécie florestal *Acácia marginata*.

Utilizado na indústria de papel e celulose desde 1840 (Sjöström, 1993), o eucalipto tornou-se mundialmente utilizado por ter alta produtividade e ser representado por uma imensa diversidade de espécies (cerca de 700), conseguindo assim adaptar-se aos diversos climas mundiais (Coelho, R.M.P. e Novaes, W., 2009). No Brasil, as primeiras mudas de eucalipto para fins comerciais chegaram no ano de 1904, sendo plantadas no Estado de São Paulo, trazidas com a finalidade de suprir a demanda de lenha para combustíveis das locomotivas e dormentes para trilhos da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (Coelho, R.M.P. e Novaes, W., 2009).

Com um crescimento de 33,2% da área plantada com eucalipto em 7 anos (ABRAF, 2007), as plantações de eucalipto chegaram a 5,1 milhões de hectares, no fim de 2012 (ABRAF, 2013). O Estado de São Paulo, segundo colocado no ranking brasileiro dos maiores produtores dessa espécie florestal (ficando atrás do Estado de Minas Gerais), contribui com 20,4% de toda a área plantada com eucalipto no Brasil, o que corresponde a 1,04 milhão de ha (ABRAF, 2013).

Porém, esse crescimento exacerbado pode trazer impactos ambientais negativos quando do não conhecimento da região plantada (Chanie *et al.*, 2013). Isso fez com que os órgãos públicos e a comunidade científica atentassem para os potenciais danos no ciclo hidrológico causados pelas plantações no ambiente local e quais danos a longo prazo essa nova cultura pode causar.

Ao longo dos 110 anos do plantio das primeiras mudas de eucalipto para fins comerciais e muita pesquisa desenvolvida sobre os impactos ambientais inerentes a esse tipo de cultura florestal, foram encontrados bons trabalhos científicos brasileiros que quantificaram experimentalmente o balanço hídrico e a erosão do solo em plantações de

eucalipto com idades relativamente jovens para o corte (Lima, 1976; Soares e Almeida, 2001; Ranzini e Lima, 2002; Almeida *et al.*, 2013).

O estudo detalhado do balanço hídrico compreende a quantificação de suas componentes e possíveis impactos no ciclo hidrológico e geológico da região. O principal impacto na geologia está relacionado à erosão do solo, proveniente do escoamento superficial de eventos de precipitação extremos.

A erosão hídrica do solo tem sido cada vez mais preocupante em grande parte do mundo. A perda de fertilidade e degradação física de imensas áreas é um fator limitante na produtividade da agricultura, levando a severas perdas financeiras. Nos Estados Unidos, estudos indicam que se gasta em torno de 35 bilhões de dólares todos os anos devido a efeitos *in situ* e *ex situ* da erosão (Morgan, 2009).

Os dados de campo são importantes para a calibração de modelos matemáticos e melhor embasamento na tomada de decisão de órgãos gestores de bacias hidrográficas, recursos hídricos e meio ambiente. Além disso, a quantificação dos sedimentos causadores da erosão do solo pode justificar ou não o reflorestamento de áreas cujo solo está degradado e exposto a intempéries, de acordo com o tipo de solo e regime pluviométrico.

Nesse sentido, a partir de um trabalho experimental, foi proposta a quantificação do balanço hídrico e da erosão do solo em uma plantação jovem de *Eucalyptus grandis*. Esse trabalho consistiu na coleta de dados de eventos de precipitação, em equipamentos instalados no interior da plantação. O período de coleta de dados consistiu em 1 ano completo, começando em janeiro/2013 e terminando em dezembro/2013. Com isso foi possível iniciar os estudos de avaliação dos efeitos da cultura no balanço hídrico, identificando as diversas componentes que este constitui.

2 OBJETIVO GERAL

Quantificar experimentalmente o balanço hídrico e a erosão do solo durante 1 ano, numa plantação de *Eucalyptus grandis* com idade entre 2 e 3 anos.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1 – Quantificar experimentalmente a precipitação interna, o escoamento fustal e o escoamento superficial na plantação;

2 – Comparar estatisticamente os dados de precipitação interna coletados a partir de dois métodos;

3 – Comparar eventos de precipitação e a relação dessa com a interceptação; e

4 – Quantificar experimentalmente a erosão do solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 IMPACTOS DAS PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO NO CICLO HIDROLÓGICO

As plantações de eucalipto tiveram um crescimento muito rápido sobre grandes áreas, em todas as partes do mundo, crescendo a preocupação sobre potenciais efeitos negativos no ciclo hidrológico (Shi *et al.*, 2012). Enquanto alguns pesquisadores referem-se ao reflorestamento com eucalipto como sendo benéfico quanto à quantidade de água que chega ao solo (Lima, 1976; Soares e Almeida, 2001), outra vertente refere-se ao reflorestamento com eucalipto como sendo prejudicial à recarga do aquífero, dada sua alta taxa de transpiração (Barreto, 2006; Lucas, 2012).

Os principais impactos hidrológicos sobre o meio ambiente, consequentes do reflorestamento com eucaliptos, são alterações nas perdas por interceptação, no uso da água pelas plantas, na transpiração das plantas e na demanda de água para outros componentes do ciclo hidrológico, como a infiltração da água no solo e posterior recarga do aquífero.

Existe uma grande quantidade de trabalhos científicos relacionados ao uso da água pelo eucalipto, porém, devido à grande diversidade de espécies que se adequam em diferentes climas, fica praticamente impossível se fazer uma conclusão generalizada sobre o assunto (Caldato e Schumacher, 2013; Shi *et al.*, 2012).

Lima (1976) estudou experimentalmente a interceptação da chuva em uma plantação de *E. saligna Smith* e encontrou um valor em torno de 12%, considerado equivalente quando comparado a valores de florestas nativas como a Mata Atlântica de 15% (Fujieda *et al.*, 1997) e a Savana africana de 10,3% (Nizinski *et al.*, 2011).

Shi *et al.* (2012) encontraram, na literatura, valores de transpiração para plantações de eucalipto que variavam entre 0,5 e 8 mm.d⁻¹, porém são mais comumente encontrados valores entre 2 e 4 mm.d⁻¹. Essa amplitude nos valores deve-se, principalmente, ao comportamento das plantas durante seu crescimento e à sazonalidade, pois quando em períodos secos as plantas transpiram menos.

Em períodos secos, a transpiração chega a ser 5 vezes menor do que em períodos chuvosos para plantações com 2 anos de idade (Roberts e Rosier, 1993). No norte da Austrália, as taxas de transpiração atingiram 3,8 mm.d⁻¹ no período chuvoso e 2,0 mm.d⁻¹ no período seco (Cook *et al.*, 1998).

Nizinski *et al.* (2011) estudaram comparativamente o balanço hídrico na Savana africana (vegetação que se assemelha ao Cerrado brasileiro) e numa plantação de eucalipto, submetidas ao mesmo regime de chuvas, encontrando valores de evapotranspiração de 821 mm.ano⁻¹ e 1.127 mm.ano⁻¹, respectivamente.

Os valores de transpiração de uma plantação são dependentes do Índice de Área Foliar (IAF, ou LAI – Leaf Area Index) (Shi *et al.*, 2012). Este índice é definido pela área das folhagens dividida pela área do contorno da projeção da planta no chão, sendo, portanto, adimensional. Estudos indicam que quanto maior o IAF das plantações de eucalipto, ou seja, quanto mais densa for a cobertura da plantação, maior a transpiração dessa plantação. Hatton *et al.* (1998) e Baldocchi e Meyers (1991) concluíram que existe uma forte relação entre o IAF de uma muda de eucalipto e sua média diária de transpiração, para uma vasta gama de espécies de eucaliptos.

Outro impacto ambiental provocado pelas plantações de eucalipto foi estudado por Chanie *et al.* (2013), que fizeram um estudo bastante específico no solo de plantações de eucalipto na Etiópia e obtiveram resultados utilizando o teste WDPT (*Water Drop Penetration Time*), com o qual demonstraram que o solo perde capacidade de absorção com o desenvolvimento da cultura. Acerca da erosão do solo, Calder *et al.* (1993) enfatizam que o impacto das gotas de água desagrega o solo, que pode ser transportado caso haja escoamento superficial. Essas partículas menores de solo preenchem os microporos e macroporos da superfície levando a criar uma camada impermeável que reduz a infiltração, produzindo maior escoamento superficial. Em florestas mistas naturais (Cerrado, Amazônia e Mata Atlântica, por exemplo), existe uma camada de vegetação rasteira que não permite o impacto das gotas de chuva no solo, minimizando o efeito da erosão e aumentando a infiltração.

3.2 BALANÇO HÍDRICO

O Balanço Hídrico envolve a quantificação dos componentes de um determinado sistema com o intuito de se melhor entender o comportamento do ciclo da água, a fim de se utilizar mais racionalmente os recursos hídricos (Tucci, 2007). Sua quantificação envolve um estudo da continuidade de massa e troca de energia da plantação no tempo e no espaço, controlando-se o conteúdo volumétrico num dado volume de controle predefinido de acordo

com o estudo. Os componentes principais do sistema são a Precipitação (P_t), Evapotranspiração (E_t), Interceptação (I_t), Escoamento superficial (E_s) e Infiltração (I_n) (Figura 3.1).

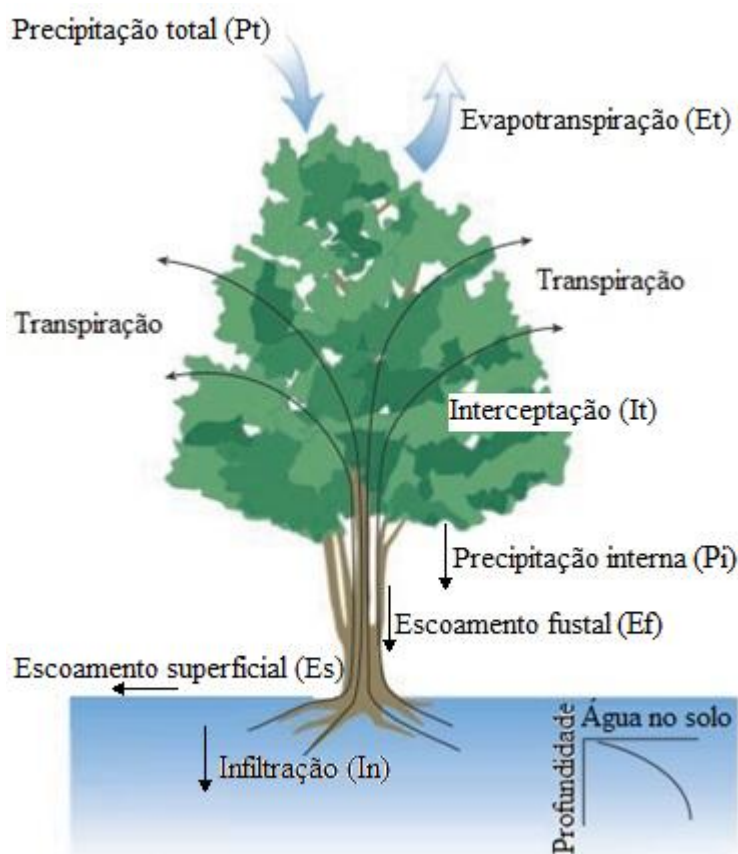


Figura 3.1 – Componentes do Balanço Hídrico. Adaptado de Bonan (2008).

A seguir será revisada cada componente do balanço hídrico separadamente na literatura e como esses se comportam numa plantação de eucalipto.

3.2.1 Precipitação total

A forma mais comum de precipitação no Brasil é a chuva, podendo ser classificada como convectiva, orográfica ou frontal. As chuvas convectivas são as causadoras de maiores

impactos negativos no meio ambiente e na erosão do solo, por serem geralmente de elevada intensidade e pouca duração, restritas a áreas pequenas, podendo assim causar grandes inundações e desmoronamentos de terra (Tucci, 2007). No Estado de São Paulo, as chuvas ocorrem com maior frequência entre os meses de outubro e abril, sendo em sua maioria chuvas convectivas e frontais.

O método mais utilizado nos estudos hidrológicos para medir a precipitação em uma determinada área é com o uso de pluviômetros e pluviógrafos. O pluviômetro é um aparelho totalizador que marca a altura de chuva acumulada no período de 24 horas, devendo ser verificado diariamente no mesmo horário. Já o pluviógrafo é um aparelho que registra automaticamente a precipitação ao longo do tempo (Tucci, 2007). Entretanto, esses equipamentos não fornecem informações de variabilidade espacial da precipitação, fornecendo informações pontuais. Por isso, uma vez que essas informações espaciais são necessárias para aplicações meteorológicas e hidrológicas, faz-se necessária a instalação de uma rede de pluviômetros, configurados no terreno com uma densidade adequada para a área e seu regime de chuvas.

A WMO (*World Meteorological Organization*) publicou algumas recomendações com o objetivo de padronizar a coleta de dados, com o número mínimo de estações meteorológicas por área. Porém, esses parâmetros de densidade de pluviômetros ainda não foram claramente estabelecidos, cabendo ao projetista o bom senso na alocação dos mesmos (Barreto, 2006).

Uma outra maneira de se medir a precipitação em aberto é a utilização de radares meteorológicos, para a obtenção de dados espaciais de precipitação. Apesar disso, erros associados a esses métodos ainda são relativamente elevados, quando se deseja uma quantificação pontual da chuva (Santos *et al.*, 2001). Os radares funcionam com pixels que variam de 0,1 x 0,1 km a 2 x 2 km, sendo realmente medido o volume naquele instante numa determinada altura do solo (Pedersen *et al.*, 2010).

A variabilidade espacial de um evento está relacionada com o tipo e a intensidade da precipitação. Para chuvas convectivas, com altas intensidades e durações relativamente pequenas, a variabilidade espacial tende a ser maior que em eventos com baixa intensidade e longa duração, como é o caso das chuvas frontais.

Alguns métodos de interpolação de dados de precipitação têm sido propostos, como, por exemplo: Polígonos de Thiessen (Thiessen, 1911); Peso do Inverso da Distância (IDW –

Inverse Distance Weighting); Isoietas (McCuen, 1989); e Geoestatísticas (Royle *et al.*, 1981; Goovaerts, 2000). A escolha do método mais adequado para a interpolação dos dados de precipitação é uma difícil tarefa, já que não existe um método ótimo para todos os casos (Yoon *et al.*, 2012). Apesar disso, o método mais utilizado para interpolação de dados de pluviógrafos é o *IDW* (Shi *et al.*, 2012).

O método do *IDW* consiste na ponderação dos dados de precipitação coletados nas estações meteorológicas de acordo com suas distâncias. O inverso da distância é aplicado, pois quanto maior a distância da estação em relação ao local de interesse, menor sua importância para o resultado final da interpolação. Esse método pode ser visualizado, para dois dados de precipitação, na Equação à seguir:

$$Pt_{ij} = \frac{\frac{Pt_i}{d_i^\alpha} + \frac{Pt_j}{d_j^\alpha}}{\frac{1}{d_i^\alpha} + \frac{1}{d_j^\alpha}} \rightarrow Pt_{ij} = \frac{Pt_i \cdot d_j^\alpha + Pt_j \cdot d_i^\alpha}{d_i^\alpha + d_j^\alpha}$$

Na qual Pt_{ij} é a precipitação em aberto, ponderada de acordo com as distâncias d_i e d_j de cada estação meteorológica, que por sua vez forneceram os dados Pt_i e Pt_j , respectivamente; α é a ordem da distância.

3.2.2 Perdas por Interceptação

A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo por algum tipo de vegetação, seja ela de grande porte e/ou rasteira. Essa parcela do balanço hídrico depende de diversos fatores, como, por exemplo, as características da precipitação, tipo e densidade da vegetação e período do ano.

As perdas por interceptação numa plantação de eucalipto dependem das características da precipitação como intensidade, volume e chuva antecedente, índice de área foliar (IAF), espécie, idade da plantação, espaçamento entre mudas, características morfológicas do fuste, cobertura do dossel, período do ano e intensidade do vento (Tucci, 2007; Llorens e Domingo, 2007).

O erro na coleta dos dados de interceptação pode ser muito grande, caso não se tomem os devidos cuidados. Segundo Helvey e Patric (1965), pequenas tempestades de precipitação são as mais suscetíveis de grandes erros, mas são pouco representativas do resultado final da perda por interceptação. Nesses casos, para eventos de precipitação acima de 25 mm, um erro na coleta dos dados de interceptação de 5% seria razoável.

Existem alguns modelos matemáticos que simulam a perda por interceptação em diferentes vegetações. Os mais utilizados são o modelo Rutter (Rutter *et al.*, 1975), o modelo Gash (Gash e Morton, 1978) e o modelo de tanque (Hashino *et al.*, 2002), além dos modelos de balanço hídrico como o UAPE (Soares e Almeida, 2001) e o SWAT (Srinivasan e Arnold, 1994).

No modelo Rutter, a precipitação total incidente na plantação atinge a superfície do solo de três maneiras: (1) diretamente através de clareiras, sem interagir com a cobertura vegetal (precipitação interna livre); (2) interagindo com a cobertura vegetal, tocando as folhas e drenando a partir do momento que a precipitação ultrapassa a capacidade de retenção da cobertura vegetal (drenagem da cobertura); (3) interagindo com os galhos e tronco, ocorrendo quando a capacidade de retenção da cobertura vegetal é ultrapassada (escoamento fustal). A base conceitual do modelo Rutter requer parâmetros que descrevem a morfologia específica da vegetação. Esses são o coeficiente de precipitação interna livre (p), o coeficiente de fracionamento do escoamento fustal (p_t), a capacidade de armazenamento da cobertura vegetal (S_c) e a capacidade de armazenamento do escoamento fustal (S_t). O modelo, então, estima a precipitação interna, o escoamento fustal e a interceptação da chuva pela vegetação a partir dos dados meteorológicos de entrada.

A perda por interceptação é usualmente indicada na literatura como o resultado da diferença entre a quantidade de água que chega no topo da cobertura vegetal (P_t) e a parte que atinge o solo em forma de Precipitação efetiva (P_e), dividido pela P_t , isto é:

$$I (\%) = \frac{P_t - P_e}{P_t}$$

Lima (1976) e Klaassen *et al.* (1996) definem Precipitação efetiva (P_e) como sendo a parcela da precipitação que, após retida pelas copas, efetivamente chega ao solo florestal. Existem duas formas da precipitação atingir o solo: Precipitação interna (P_i) e por

escoamento pelo tronco das plantas, ou Escoamento fustal (E_f). Assim, P_e pode ser obtida como:

$$P_e = P_i + E_f$$

A maior parcela da P_e é dada pela Precipitação interna (Lima, 1976; Nizinski *et al.*, 2011; Shinzato *et al.*, 2011), fato que ocorre em precipitações maiores que a capacidade de armazenamento, ou de retenção, da plantação. A outra parcela da P_e é o Escoamento fustal (E_f), que apesar da sua magnitude (de 1% a 3% da P_t), não deve ser desprezado no cálculo da interceptação (Germer *et al.*, 2010).

Helvey e Patric (1965) afirmam que apesar de apresentar um pequeno volume e ser relativamente caro para medir, o escoamento fustal é normalmente negligenciado nos estudos de interceptação, porém estimativas precisas só são possíveis com a medição dessa componente.

As folhas das árvores de grande porte têm uma capacidade de retenção da água, que posteriormente escorre e cai no solo, conhecida como capacidade de armazenamento do dossel da vegetação. Segundo Shinzato *et al.* (2011), o escoamento fustal ocorre numa plantação de *Eucalyptus cloeziana* em eventos de $P_t > 6,6$ mm. Lima (1976) encontrou experimentalmente que o E_f inicia numa plantação de *Eucalyptus saligna* Smith em precipitações acima de 2,5 mm. Ainda segundo esse autor, a capacidade de armazenamento está entre 0,5 e 1,5 mm.

Shi *et al.* (2012), em seu estudo de revisão com diversos trabalhos com espécies de eucaliptos em diferentes regiões, afirmaram que devido ao fato de a precipitação ter maior intensidade em regiões tropicais e ocorrerem em períodos de tempo mais curtos, a interceptação tende a ser menor que em regiões onde a precipitação é majoritariamente de menor intensidade. Com isso, pode-se afirmar que, quanto maior a intensidade com que a precipitação atinge o dossel da plantação de eucalipto, menor a parcela que ficará retida.

Por apresentarem uma vegetação homogênea, com apenas um nível de interceptação, as plantações florestais com fins comerciais tendem a ter menores valores de interceptação da chuva que florestas nativas. Ferreira *et al.* (2005) estudaram a interceptação da chuva na Floresta Amazônica intacta, obtendo valores de até 25% do total precipitado que fica retido

na copa das árvores e plantas rasteiras. Almeida e Soares (2003) encontraram o valor da interceptação numa mata Atlântica de 24% da precipitação total, justificando este alto valor devido ao IAF ser quase três vezes maior que o de uma plantação de eucalipto.

Em uma plantação de *E. camadulensis* com 9 anos de idade, Calder *et al.* (1992) encontraram uma perda por interceptação de 10%, numa região onde a precipitação anual média é de 440 mm. Valente *et al.* (1997) mediram em campo a interceptação da precipitação numa plantação de *E. globulus*, em Portugal, e encontraram valores em torno de 11%.

No Brasil, as perdas médias por interceptação para uma plantação de *E. grandis* encontram-se em 11% da precipitação anual, com perdas maiores em períodos secos (Soares e Almeida, 2001). Almeida *et al.* (2013) modelaram o balanço hídrico numa plantação de *E. grandis*, em Minas Gerais – Brasil, e as perdas por interceptação foram de 9% de Pt. Balieiro *et al.* (2007) obtiveram como resultado de seu experimento em uma plantação também de *E. grandis* em idade adulta, o valor da perda por interceptação em torno de 15,6% de Pt, sendo o Ef responsável por 5,9% de Pt. Lima (1976) estudou experimentalmente a perda por interceptação numa plantação de *E. saligna Smith*, localizada no Estado de São Paulo – Brasil, e encontrou valores de 12,2% da precipitação total.

Alguns estudos quantificaram a capacidade de retenção de plantações de eucalipto de diferentes espécies. Calder *et al.* (1997) encontraram valores em torno de $0,45 \pm 0,1$ mm para uma plantação de *E. camadulensis*. Nizinski *et al.* (2011) encontraram valores, para uma plantação de *E. saligna*, em torno de 0,9 mm.

Existem diversas metodologias para a coleta da Precipitação interna (Pi) numa plantação de eucalipto. Para a medição da interceptação numa floresta temperada nativa do Canadá, Buttle e Farnsworth (2012) utilizaram duas calhas à altura do solo com 14 metros de comprimento cada e 10 pluviômetros com $81,7 \text{ cm}^2$ de área ($D = 10,2 \text{ cm}$) cada um, a 35 cm do solo. Bulcock e Jewitt (2012) utilizaram três calhas confeccionadas em chapas de aço galvanizado com dimensões de $0,1 \times 2,0 \text{ m}$. Balieiro *et al.* (2007) mediram a Pi em 9 funis confeccionados em polietileno, com $176,7 \text{ cm}^2$ de área ($D = 15 \text{ cm}$) cada, conectados por tubos a galões de 2 litros. Durante a pesquisa, a leitura de dados foi realizada todos os dias pela manhã. Zhou *et al.* (2002) utilizaram em seu experimento dois coletores circulares à altura do solo, com 10 m^2 de área ($D = 3,57 \text{ m}$) cada, conectados um ao outro e a uma canaleta de seção triangular, provida de um fluviógrafo automático na extremidade. Lima (1976) realizou seu experimento com 12 pluviômetros instalados dentro da plantação de

eucalipto. Cada pluviômetro com 127 cm² de área ($D = 12,7$ cm) tinha o volume armazenado, para coleta após cada evento de precipitação.

Fica claro que, de uma maneira geral, ao utilizar calhas com longas extensões ou um número maior de pluviômetros dentro da área, deseja-se obter o valor mais preciso e que mais se aproxime da realidade para a coleta dos dados de interceptação. Consultando esses métodos utilizados em experimentos anteriores e adaptando-os da melhor maneira possível para a plantaç o estudada, atentando sempre para a qualidade e a padroniza o na aferi o dos dados,   que se pode definir a metodologia aqui adotada. Ainda assim, decidiu-se utilizar dois m todos na mesma  rea, que s o descritas no cap tulo 4.

3.2.3 Evapotranspira o

A transpira o nas plantas vasculares, como   o caso do eucalipto, ocorre principalmente por meio de poros microsc picos presentes na superf cie das folhas, conhecidos como est matos (Larcher, 2006).

As diferen as entre a transpira o das planta es de eucalipto em per odos secos e chuvosos ficam evidentes quando se analisa o IAF ( ndice de  rea Foliar). O IAF est  diretamente ligado   transpira o das plantas. Whitehead e Beadle (2004) encontraram resultados de IAF maiores em planta es bem supridas com  gua e fertilizantes do que em florestas nativas da mesma esp cie de eucalipto na Austr lia. Xavier *et al.* (2002) encontrou uma rela o de diminui o do IAF com a idade, indicando que a planta o tem uma transpira o cada vez menor ao longo do tempo.

A densidade de mudas, inerente ao espa amento utilizado na planta o, interfere diretamente na taxa de transpira o. Kallarackal e Somen (1997) estimaram a transpira o em duas planta es de *E. tereticornis* com densidades diferentes, a partir das equa es de Penman-Monteith. A primeira planta o tinha densidade de 1.800 mudas.ha⁻¹ e resultou numa transpira o entre 0,6 e 1,2 mm.h⁻¹. A segunda planta o tinha uma densidade de 1.090 mudas.ha⁻¹ e a transpira o resultou entre 0,2 e 0,6 mm.h⁻¹.

A irrigação também é um fator associado ao aumento da transpiração pela plantação. Hubbard *et al.* (2010) compararam a transpiração em duas plantações de *E. grandis*, no Brasil, sendo uma submetida a chuva e irrigação e outra apenas à chuva, resultando uma diferença de 385 mm.ano⁻¹ a mais na transpiração da plantação irrigada.

A sazonalidade é de extrema importância na taxa de transpiração das plantações de eucalipto. Em períodos secos, essas taxas tendem a ser menores que em períodos chuvosos, exatamente devido à escassez de água no solo. Soares e Almeida (2001) concluíram que, ao fim de um período seco, uma plantação de *E. grandis* com 9 anos de idade chegou a 30% do seu potencial de transpiração. Além disso, houve nessa mesma pesquisa um déficit de transpiração em torno de 125 mm, traduzindo assim um fluxo ascendente de água da zona saturada abaixo das raízes das plantas, evitando que houvesse o fechamento dos estômatos. Almeida e Soares (2003), em um estudo comparativo acerca da transpiração em uma plantação de *E. grandis* e uma Floresta Ombrófila Densa, sugeriram que o eucalipto exerce um controle estomático mais eficiente que o da floresta durante o período seco.

A idade da plantação é um fator preponderante na quantificação da taxa de transpiração numa plantação de eucalipto. Roberts *et al.* (2001) encontraram os seguintes valores decrescentes de transpiração com o aumento da idade em florestas de *E. sieberi*: 2,2 mm.d⁻¹, 1,4 mm.d⁻¹ e 0,8 mm.d⁻¹ para florestas dessa espécie com, respectivamente, 14, 45 e 160 anos de idade.

Almeida *et al.* (2013) obtiveram valores de evapotranspiração numa modelagem de balanço hídrico, numa plantação de *E. grandis*, cujo valor total foi de 965 mm.ano⁻¹, com valor médio diário de 2,5 mm. Além disso, a relação entre a ET e a precipitação total foi de 0,86, significando que 86% de toda a precipitação retornou à atmosfera via evapotranspiração, valor relativamente elevado em se comparando com outros tipos de florestas plantadas.

Uma vez que a transpiração está relacionada com o IAF, as plantações de eucalipto tendem a atingir a taxa máxima de uso da água na idade entre 3 e 4 anos (Almeida *et al.*, 2007). Após essas fases, o eucalipto começa a perder folhagem naturalmente e a transpiração é reduzida aos poucos, com o passar do tempo.

O tipo de solo, declividade média do terreno e localização são fatores que limitam a transpiração por parte das plantações de eucalipto. Huber e Trecaman (2004) estudaram a eficiência do uso de água em plantações de *Pinus radiata* e observaram que as menores taxas

de transpiração estiveram associadas a solos com boa capacidade de retenção de água e menor quantidade de vegetação competidora.

Caldato *et al.* (2013) concluíram que apesar de existirem muitos trabalhos realizados com eucalipto no mundo, não se pode extrapolar ou generalizar os resultados para as situações enfrentadas. No Brasil, por existirem mais plantações na região sudeste que em todo o resto do país (ABRAF, 2013), as pesquisas são mais desenvolvidas para o tipo de clima dessa região e para a espécie *Eucalyptus grandis*.

3.2.4 Escoamento Superficial

O escoamento superficial se inicia quando o solo atinge a saturação e não tem mais capacidade de infiltrar água. Scott e Lesch (1997) obtiveram resultados a longo prazo do escoamento superficial numa plantação de *E. grandis* que ocupou toda a bacia de um rio na África do Sul. Após três anos de plantada, o impacto negativo da plantação sobre o escoamento foi estatisticamente considerável ($P < 0,05$) e com nove anos a plantação diminuiu significativamente a vazão do córrego localizado próximo à plantação. A média pluviométrica dessa região era de 1.200 mm.ano⁻¹. Mesmo depois de realizado o corte da plantação, Scott e Lesch (1997) encontraram que uma bacia hidrográfica com solo arenoso precisou de cinco anos para voltar a ter a mesma vazão no córrego de antes da plantação.

Lima (1990) observou experimentalmente que a percentagem de escoamento superficial em relação à chuva é sempre baixa em parcelas plantadas com *E. grandis* na região do Estado de São Paulo, onde a granulometria do solo é composta de mais ou menos 90% de areia e inclinação média do terreno de 7%. Nesse mesmo experimento, os valores percentuais de escoamento superficial foram inferiores de 0,5% no terceiro ano de idade da plantação.

Soares e Almeida (2001) realizaram a modelagem do balanço hídrico em uma plantação de *E. grandis* e encontraram valores de escoamento relativos à precipitação de 4%. Esse baixo valor é causado principalmente pela granulometria do solo, que tinha 80% de areia. Almeida *et al.* (2007) concluíram que o escoamento superficial foi de 3% da

precipitação em aberto devido à alta taxa de infiltração do solo e a topografia plana onde as mudas foram plantadas.

3.2.5 Infiltração e Recarga direta

A Infiltração corresponde à quantidade de água que passa da superfície do solo em direção à zona não saturada. A infiltração pode ser também definida como a recarga potencial, que pode retornar para a atmosfera em forma de evapotranspiração ou pode percolar abaixo do plano de fluxo nulo (PFN) e tornar-se recarga subterrânea, retirando-se a parcela de escoamento superficial.

O PFN corresponde ao plano horizontal no interior da zona não saturada do solo que separa o fluxo de água ascendente e descendente, sendo algumas vezes considerado como a base da zona de raízes. A quantidade de água acima do PFN move-se de modo ascendente por causa do fenômeno da evapotranspiração; a água abaixo do PFN é drenada de modo descendente, eventualmente atingindo o nível freático (Lucas, 2012).

A Recarga direta é definida como a recarga distribuída sobre grandes áreas em resposta às parcelas dos eventos de precipitação que infiltram na superfície do solo e percolam através da zona não saturada do solo até o nível freático. Healy (2010) define ainda a recarga subterrânea como sendo o fluxo descendente de água que atinge o nível freático, somando-se ao armazenamento subterrâneo.

Lucas (2012) estudou o nível freático de diversos poços de monitoramento na Bacia do Ribeirão da Onça (BRO), a mesma na qual o experimento associado à presente pesquisa está localizado, e encontrou valores de Recarga direta nos períodos chuvosos de 2007-2008 e 2008-2009, em poços localizados em plantações de eucalipto, de 171 e 341 mm, respectivamente. Esses valores correspondem a 12,6 e 23,3% da precipitação total no período, respectivamente.

Barreto (2006) estudou o impacto de diversas culturas na recarga direta e concluiu que sua relação com a precipitação é de aproximadamente 29%, ou seja, 400 mm do total anual (em torno de 1400 mm). Porém, existe uma grande correlação entre a cultura do solo na

superfície com a recarga, resultando valores menores em culturas de eucalipto que em pastagem.

3.3 EROSÃO DO SOLO

A erosão do solo inicia com a incidência das gotas de chuva que desagregam as partículas da superfície. Com a continuidade da chuva, ocorre a desintegração dos agregados em partículas menores, aumentando com a intensidade, velocidade e tamanho das gotas. Além de ocasionar o desprendimento de partículas que irão obstruir os poros do solo, o impacto das gotas propicia o adensamento natural do mesmo, proporcionando o selamento da superfície e dificultando a infiltração da água (Cardoso *et al.*, 2004).

Extensas áreas de solos classificados como areias quartzozas distróficas têm sido utilizadas para o reflorestamento com eucalipto. Esse tipo de solo é inadequado para a agricultura, principalmente devido a problemas de baixa fertilidade, facilidade à erosão e condições desfavoráveis à retenção de água. No Estado de São Paulo, esse solo tem maiores ocorrências, dentre outros, nos Municípios de São Carlos, Itirapina e Brotas (Brasil *apud* Lima, 1990).

Com a constante mudança de plantios numa determinada região, faz-se necessário o melhor conhecimento de como o solo se comporta para cada cultura. Shrestha *et al.* (2010) encontraram uma relação insignificante entre biodiversidade e erosão do solo. Porém, constataram que em plantações de eucalipto e cana-de-açúcar, as quais não apresentam alguma diversidade, ocorre um alto índice de erosão.

A grandeza matemática que está mais relacionada à erosão do solo é a energia cinética dos pingos da precipitação, seja interna à plantação ou em aberto. Salles *et al.* (2000) identificaram um valor crítico da energia cinética dos pingos para que se inicie a erosão, sendo igual a 5 μJ para solo arenosos e 12 μJ para solos silto-argilosos.

Em precipitações com baixas intensidades, a plantação de eucalipto pode contribuir para o efeito inverso na erosão do solo. Zhou *et al.* (2002) encontraram resultados experimentais que, em se tratando de precipitações acima de 5 mm e intensidades abaixo de

24 mm.h⁻¹, a plantação de eucalipto aumenta a energia cinética dos pingos e, por conseguinte, a erosão do solo. Isso ocorre pois as folhas armazenam os pingos menores e os agregam em maiores, aumentando o impacto deles sobre o solo. Por outro lado, em precipitações com intensidades acima de 24 mm.h⁻¹, a plantação tem um efeito positivo sobre o solo, pois diminui a energia cinética dos pingos e a erosão.

A energia cinética dos pingos é diretamente proporcional à intensidade da chuva, uma vez que maiores intensidades têm pingos com maior diâmetro e velocidade. Além da intensidade da chuva, a lâmina d'água total do evento também é preponderante para a ocorrência da erosão do solo. Youlton (2013), em uma plantação de cana-de-açúcar, concluiu que os eventos que produzem erosão são aqueles cuja intensidade esteja acima de 5 mm.10min⁻¹ ou a lâmina d'água total acima de 15 mm, com intensidade menor.

Lima (1990), estudando experimentalmente a erosão do solo em uma plantação de *E. saligna Smith*, encontrou diversos valores para diferentes tratamentos nas culturas estudadas. Esses valores foram mais de seis vezes maiores no primeiro ano que no segundo, sendo eles iguais a 6,53 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ e 1,0 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente, ressalvando-se que a precipitação total no primeiro ano foi de 2.283 mm e no ano seguinte foi de 1.025 mm. Para a instalação de parcelas experimentais, é inevitável que ocorra uma modificação no solo estudado, devido ao pisoteamento e instalação das chapas metálicas. Com isso, no primeiro ano de estudo normalmente as parcelas produzem uma quantidade de sedimento maior que nos anos seguintes, uma vez que as mudas crescem e protegem melhor o solo (Lima, 1990). Lima (1990) concluiu ainda que as estradas e os carregadores representam as principais fontes de sedimentos numa plantação.

Cardoso *et al.* (2004) realizaram um estudo comparativo entre duas culturas florestais e o solo exposto, no Estado do Espírito Santo, verificando que a floresta tropical subperenifólia, ou ombrófila densa, tem taxas de erosão menores que as da plantação de *E. grandis* e bem abaixo das taxas encontradas para solo exposto. Os valores médios de erosão, em solo mais semelhante com os da região do presente experimento, foram de: 0,045 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ para floresta tropical; 0,235 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ para plantação de *E. grandis* e 1,145 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ para solo exposto.

Meeuwig (1970) *apud* Lima (1990) obteve resultados estudando o processo de ocorrência de erosão em áreas montanhosas e identificou que, dentre as inúmeras variáveis estudadas, a proporção de solo protegido pela presença da vegetação ou da camada orgânica

contra o impacto de gotas da chuva mostrou ser a variável que mais contribuiu para o controle das perdas de solo.

O tipo de solo e a topografia da região têm um alto fator de interferência na quantidade de solo erodido. Solos argilosos erodem mais que solos arenosos, uma vez que proporcionam maior escoamento superficial e o solo se desprende mais facilmente com o impacto da chuva (Cardoso *et al.*, 2004).

Para a coleta dos dados de erosão do solo existem alguns métodos, porém dois se destacam por serem mais utilizados: a colocação de pregos de erosão e a utilização de parcelas experimentais. Os pregos são utilizados para fazer medições volumétricas de perda de solo. Devem ter mais de 30 cm de comprimento e 5 mm ou menos de diâmetro, pois uma largura maior pode interferir no escoamento superficial e provocar erosão (Hudson, 1997). As parcelas experimentais são utilizadas quando se quer controlar as condições em cada parcela, uma vez que são porções isoladas de superfície do solo que têm dados conhecidos de área, declividade, tipo de solo e comprimento da vertente (Morgan, 2009).

O método mais utilizado e indicado para trabalhos com duração limitada é o das parcelas experimentais. São mais comumente utilizadas parcelas com 100 m², tendo dimensões de 5 metros de largura por 20 metros de comprimento, sendo este no sentido da declividade/escoamento (Hudson, 1997).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho experimental foi realizado na Bacia-Piloto do Ribeirão da Onça, localizada na bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu, afluente do Rio Tietê, município de Brotas – SP, ao centro-leste do Estado de São Paulo. As coordenadas geográficas da instalação experimental são: latitude 22° 10' S, longitude 47° 57' O e a altitude média é de 714 m (Figura 4.1). A classificação climática para a região, segundo Köppen, é de clima subtropical úmido com chuvas de verão (Aw), com variação para clima tropical úmido com inverno seco. A precipitação anual média para a região é de 1.518 mm, enquanto que a temperatura média é de 20,5° C, valores obtidos na Estação Climatológica do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada – USP).



Figura 4.1 – Localização da Instalação Experimental. Imagem do Google Earth, acessado em 29/01/2014. Data da imagem: 10/12/2013.

Vale ressaltar que a região escolhida para o desenvolvimento do estudo experimental é também zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (Lucas, 2012; Wendland *et al.*, 2007; Barreto, 2006).

4.2 ESTUDO DO SOLO

A maior parte do solo da bacia do Ribeirão da Onça é do tipo arenoso de composição homogênea, oriundo do intemperismo físico do arenito da Formação Botucatu. Cabrera (2011) realizou um teste físico no solo da plantação de eucalipto onde o experimento está localizado e o denominou como areia fina a média, possuindo predominância de partículas com diâmetro de 0,06 a 0,6 mm em sua composição (Tabela 3.1). A curva granulométrica encontrada é apresentada no Apêndice A.

Tabela 3.1 – Granulometria do solo arenoso

Diâmetro das Partículas (mm) ABNT	Granulometria (%)
Pedregulho > 2,0	0,3
2,0 > Areia Grossa > 0,6	8,8
0,6 > Areia Média > 0,2	63,6
0,2 > Areia Fina > 0,06	16,4
0,06 > Silte e Argila	10,9

4.3 DADOS CLIMATOLÓGICOS

Os dados climatológicos foram coletados em duas estações automáticas. As estações Monte Alegre e Santa Maria estão localizadas em áreas de pasto, cada uma possuindo um coletor de dados CR200 (Campbell Scientific). A temperatura e umidade relativa do ar foram obtidas usando um sensor dotado de um termistor e um sensor capacitivo, respectivamente, instalados a 1,8 m sobre o terreno e dentro de um abrigo meteorológico de 4 pratos com ventilação natural. A radiação solar global foi obtida através de um piranômetro de fotodiodo de silício. Um anemômetro do tipo conchas a 2,0 m de altura foi utilizado para obtenção da

velocidade média e a precipitação foi medida com um pluviógrafo de báscula, com 24,5 cm de diâmetro (Figura 4.2).

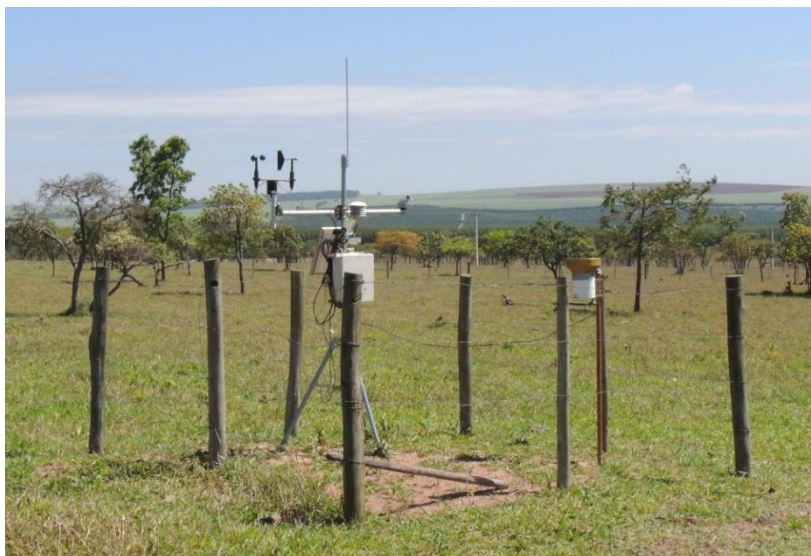


Figura 4.2 – Estação Climatológica da Fazenda Monte Alegre.

As estações climatológicas da Fazenda Santa Maria e da Fazenda Monte Alegre estão localizadas respectivamente a 1,28 km e 1,48 km de distância da instalação experimental. A distância entre ambas é de 2,35 km (Figura 4.3).

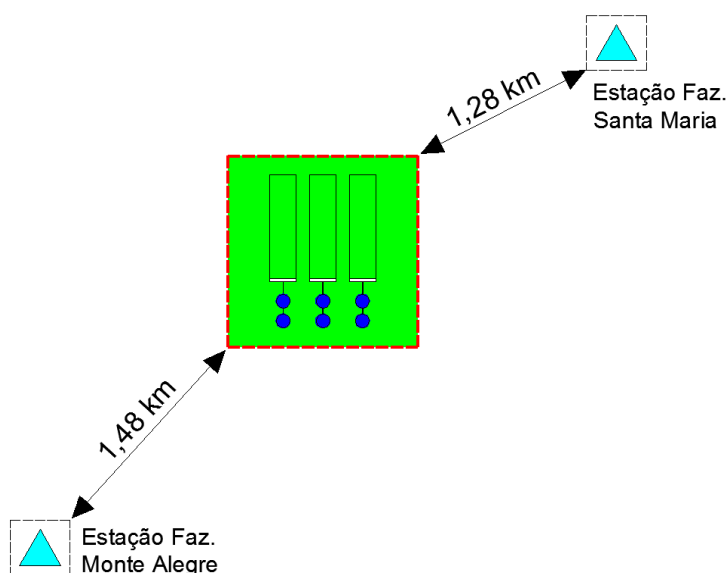


Figura 4.3 – Planta esquemática da localização das estações climatológicas no entorno da instalação experimental.

Verificou-se uma diferença de medição de precipitação de cerca de 50% em alguns eventos. Por essa razão, foi realizada a interpolação dos dados de precipitação das estações Santa Maria (SM) e Monte Alegre (MA), bem como os valores referentes ao cálculo da

evapotranspiração, de acordo com o método do Peso do Inverso da Distância (IDW – *Inverse Distance Weighting*) com expoente 2, conforme a equação a seguir:

$$Pt = \frac{Pt_{SM} \cdot d_{SM}^2 + Pt_{MA} \cdot d_{MA}^2}{d_{SM}^2 + d_{MA}^2}$$

Esse expoente foi o mesmo considerado por Yoon *et al.* (2012); Jayawardene *et al.* (2005); e Lloyd (2005). A definição de evento de precipitação foi utilizada seguindo as diretrizes de Lloyd *et al.* (1988) e Gash e Morton (1978), em que eventos subsequentes devem ter pelo menos 6 horas de intervalo entre si. Quanto à lâmina d'água mínima, os mesmos autores definiram que um evento de precipitação deve ter mais de 1,5 mm para ser considerado um evento singular.

4.4 PARCELAS EXPERIMENTAIS – COLETA DE SEDIMENTOS E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Foram instaladas três parcelas experimentais, próximas entre si e com 100 m² (5 x 20 m) cada uma, representativas das plantações de eucalipto (Figura 4.4), onde foram monitoradas as variáveis de interesse entre os meses de janeiro/2013 e dezembro/2013.



Figura 4.4 – Vista panorâmica da instalação experimental.

As áreas das parcelas foram seleccionadas e delimitadas por chapas de aço galvanizado com 0,26 mm de espessura e 30 cm de altura, enterradas 15 cm no solo, para evitar escoamento para fora da área de controle (Figura 4.5a). Cada parcela é delimitada na extremidade inferior por uma calha que, conectada a um tubo com diâmetro de 75 mm, direciona a água para os reservatórios, além de reter a parte do sedimento depositado (Figura 4.5b).



Figura 4.5 – a) chapa metálica semi-enterrada; b) calha conectada ao tubo.

As três parcelas foram locadas numa plantação de *Eucalyptus grandis* com declividade natural de aproximadamente 10% (Figura 4.6). A instalação experimental está inserida em uma propriedade particular com cerca de 60.000 mudas de eucalipto, plantadas em 45 ha de área. As mudas foram plantadas em Novembro de 2010 com espaçamento médio de 2,5 m x 3,5 m. Pelo fato de a plantação das mudas não ter sido feita de forma mecanizada, o espaçamento de 2,5 m, referente às mudas da mesma linha, apresenta uma variação de $\pm 0,5$ m.

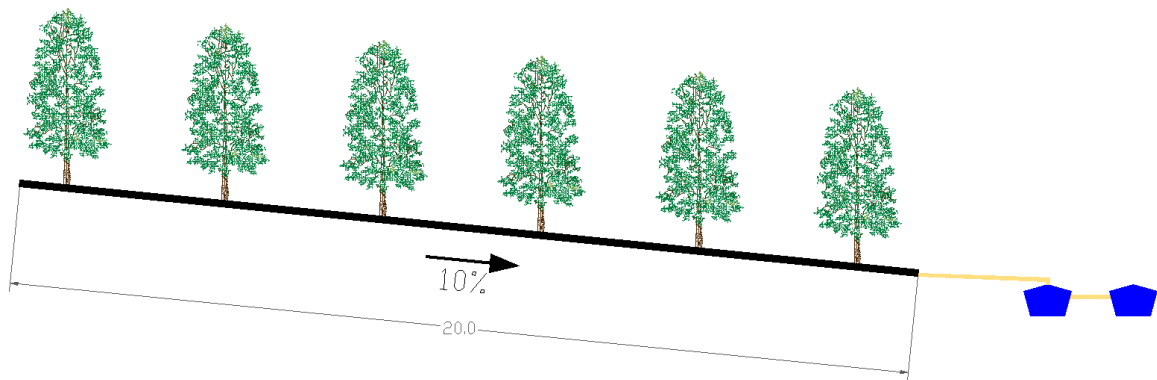


Figura 4.6 –Seção longitudinal da parcela

- Instalação das Parcelas Experimentais

A instalação das parcelas experimentais na plantação de eucalipto foi realizada em algumas etapas. Primeiramente foi medido o terreno com estacas e barbante para se ter uma estimativa de quantas mudas estariam em cada parcela e a rotação necessária para que as parcelas tivessem a mesma inclinação (Figura 4.7).



Figura 4.7 – Delimitação das Parcelas experimentais com barbante e estacas de madeira.

Com as estacas alocadas e devidamente ajustadas, iniciou-se a abertura de uma vala utilizando uma ferramenta chamada de “enxada”, com 15 cm de profundidade para enterrar as chapas metálicas que delimitam lateralmente as parcelas (Figura 4.8).



Figura 4.8 – Abertura da vala e colocação das chapas metálicas laterais e de fundo.

Com as chapas metálicas laterais semienterradas, cavou-se uma vala na parte de baixo da parcela onde enterrou-se a calha, ao nível do solo, a fim de coletar o escoamento superficial. Com essa calha enterrada, pode-se cavar o buraco para colocar o reservatório de 310 litros que armazena todo o escoamento superficial do evento de precipitação (Figura 4.9).



Figura 4.9 – Calha na base da parcela experimental e reservatório enterrado.

A distância da saída da calha até a tampa do reservatório foi medida e ajustada para a colocação da tubulação de 75 mm. A tampa do reservatório foi devidamente furada com serra-copo e coberta com uma manta de borracha para evitar a entrada indesejada de água da chuva (Figura 4.10).



Figura 4.10 – Furo na tampa do reservatório para colocação da tubulação da parcela experimental e manta de borracha protegendo o furo.

Ao final de todo esse procedimento, foi confeccionada uma tampa para que a precipitação não ocorresse dentro da calha que deveria coletar apenas o escoamento superficial da parcela, sendo então confeccionada com largura maior que a da calha (Figura 4.11).



Figura 4.11 – Vista geral da tampa da calha da parcela experimental.

4.5 ESCOAMENTO SUPERFICIAL (ES)

O método de coleta do escoamento superficial foi o mesmo descrito anteriormente para a coleta dos sedimentos da erosão do solo.

A calha instalada ao nível do solo, na base da parcela, direcionava a água para 2 reservatórios de 310 litros cada, conectados entre si. Dentro do primeiro reservatório foi colocado um balde de 70 litros, para facilitar a quantificação do volume de água em eventos de pouco escoamento. Caso houvesse escoamento superficial maior que a capacidade desse balde, a água transbordava e caía no reservatório, onde era realizada a medição do volume total armazenado (Figura 4.12).



Figura 4.12 – Detalhe do balde de 70 litros dentro do primeiro reservatório e ligação entre reservatórios.

O volume coletado nos reservatórios foi dividido pela área da parcela experimental (100 m²), obtendo-se o valor referente à lâmina d'água do escoamento superficial no balanço hídrico.

4.6 EROSIÃO DO SOLO

O solo erodido pela precipitação, carregado pelo escoamento superficial, foi coletado nas calhas das parcelas e em suspensão na água coletada nos reservatórios, após cada evento de precipitação com intensidade e/ou duração suficientes para provocar escoamento. Na região, as chuvas que geram escoamento superficial são definidas (Youlton, 2012) como sendo aquelas com intensidade acima de 5 mm.10min⁻¹ ou com lâmina total acima de 15 mm.

A coleta do sedimento grosso retido nas calhas foi realizada com espátula e vassoura de mão, armazenando-se o sedimento em sacos plásticos (Figura 4.13). Em laboratório, essa amostra foi secada em estufa a 100° C.



Figura 4.13 – Coleta do solo retido na calha de escoamento superficial.

Para quantidades muito grandes de sedimento (mais que 10 kg) por evento, foi retirada uma amostra para a medição da umidade e posterior correção do peso total da erosão do solo, multiplicando-se o valor total obtido pelo percentual de umidade que estava contido na amostra. O sedimento seco foi pesado em balança eletrônica com precisão de 10 g.

A umidade contida no sedimento coletado foi obtida retirando-se uma amostra menor que 300 g (capacidade da balança eletrônica), levando à estufa a 100° C e pesando-se novamente. A razão Peso seco / Peso úmido resultou no percentual de água contida na amostra, e por conseguinte no total de sedimento coletado.

O escoamento superficial em cada parcela de 100 m² foi armazenado em 2 reservatórios de 310 litros cada, conectados um ao outro. Antes da coleta de uma amostra de 1 litro, a água no reservatório era vigorosamente agitada para mobilizar o sedimento depositado no fundo e homogeneizar a mistura. Posteriormente, já em laboratório, retiravam-se 3 amostras menores, contendo 100 ml cada, as quais eram levadas à estufa para a secagem, possibilitando a pesagem do sedimento. Para cada evento de precipitação, as três parcelas forneceram 9 (nove) amostras de 100 ml de água de escoamento superficial (3 amostras x 3 parcelas). O peso do sedimento contido na amostra de 100 ml era então multiplicado pelo volume de água registrado no reservatório para aquele evento de precipitação.

Com esse procedimento, pôde-se quantificar os sedimentos em suspensão no escoamento superficial e ter uma análise estatística dos dados coletados, dada a quantidade de

amostras. O total de solo erodido (Se), em cada evento de precipitação, é composto da parcela de solo retirada das calhas (Sc), somada à parcela de sedimento em suspensão na água (Ss) armazenada pelos reservatórios, ou seja:

$$Se = Sc + Ss$$

4.7 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico pôde ser quantificado com base nos dados de Precipitação (Pt), Escoamento superficial (Es), Evapotranspiração (Et) e Perdas por Interceptação (It) obtidos experimentalmente com os equipamentos instalados. Assim, a Recarga direta (Rd) é obtida como resultado da seguinte equação:

$$Rd = Pt - Es - Et - It$$

4.7.1 Precipitação (Pt)

Os dados referentes à Precipitação em aberto, ou Precipitação total (Pt), foram coletados por pluviógrafos, componentes de duas estações meteorológicas automáticas, e interpolados, como descrito na seção 4.3.

Além da precipitação total (mm), foi também avaliada e interpolada a intensidade máxima em 15 minutos por evento ($\text{mm} \cdot 15\text{min}^{-1}$) e a duração do evento de precipitação (h).

4.7.2 Evapotranspiração (Et)

A evapotranspiração potencial foi estimada pelos métodos de Penman, conforme a equação a seguir:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Em que:

ET_o evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹);

Rn radiação líquida no solo (MJ.m⁻².d⁻¹);

G densidade do fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².d⁻¹);

Δ a declividade da curva de pressão de vapor em função da temperatura (kPa.°C⁻¹);

γ constante psicrométrica (kPa.°C⁻¹)

T temperatura média diária do ar (°C);

U_2 velocidade do vento (m.s⁻¹);

$(e_s - e_a)$ déficit de pressão de vapor do ar para a altura de referência medida (kPa).

Esse método apresenta bons resultados para a bacia experimental do Ribeirão da Onça (Barreto, 2006). A evapotranspiração real foi calculada através da seguinte equação:

$$ET_r = K_c . ET_o$$

Em que:

ET_r evapotranspiração real da plantação (mm);

K_c coeficiente de cultura, $K_c = 1,0$ (Allen *et al.*, 1998);

ET_o evapotranspiração de referência (mm).

A evapotranspiração é composta por duas parcelas: a transpiração das plantas e a evaporação da água no solo. O valor do K_c utilizado neste trabalho foi igual a 1,0, proposto por Allen *et al.* (1998). Com isso, o valor obtido pela equação de Penman resultou no valor da evapotranspiração real.

4.7.3 Perda por Interceptação (I_t)

A parcela de interceptação do balanço hídrico foi obtida a partir dos valores de Precipitação total (P_t) e Precipitação efetiva (P_e), medidos em campo.

A Precipitação efetiva é o resultado da soma entre a parcela de precipitação que atinge o solo em forma de gotejamento, ou Precipitação interna (P_i), somada à parcela de Escoamento fustal, que também atinge o solo na base dos troncos (Lima, 1976). A P_i foi obtida a partir de dois métodos distintos: pluviômetros do tipo *Ville de Paris* e calhas. Já o escoamento fustal (E_f) foi obtido a partir de calhas helicoidais instaladas em troncos com diferentes DAP (Diâmetro à Altura do Peito).

4.7.3.1 Precipitação interna (P_i)

Cinco calhas confeccionadas em chapas de aço galvanizado e medindo 0,12 m x 5,00 m, totalizando 0,60 m², foram utilizadas para coletar a precipitação interna à plantação de eucalipto. Essas calhas foram instaladas a uma altura de 30 cm do solo, ao lado das parcelas experimentais em diferentes configurações dentro da plantação. Na extremidade de cada calha foi conectado um galão de 60 litros, semienterrado, para armazenar a água (Figura 4.14).



Figura 4.14 – Calha para coleta da precipitação interna. Dimensões: 0,120 m x 5,0 m.

Em cada coleta, o galão foi pesado e o peso convertido em volume de água, considerando o peso específico de 1.000 g/dm^3 . A medida do peso do galão vazio precisou ser realizada em cada evento de precipitação pois a quantidade de sedimento grudado nas paredes externas do vasilhame era diferente, modificando assim a “tara” do galão em cada coleta. Posteriormente, para obter o valor da P_i dividiu-se este volume pela área da calha. Para a pesagem dos galões, utilizou-se uma balança de mão com precisão de $\pm 0,01 \text{ kg}$ e limite de peso de 50 kg (Figura 4.15).



Figura 4.15 – Pesagem de um galão de 60 litros, utilizando a balança de mão.

Por terem sido confeccionadas com chapas finas, as calhas tenderiam a abrir e fletir ao longo dos seus 5 m de comprimento. Dessa forma, foram utilizados espaçadores a cada 1,5 m que mantinham a abertura em 12 cm, e também estruturas de aço com diâmetro de 10 mm, enterradas no solo, para evitar a flexão. Essas estruturas mantiveram também a altura de 30 cm das calhas sobre o solo e a declividade necessária para que a água da chuva escoasse em direção ao galão (Figura 4.16).



Figura 4.16 – Estrutura de aço com a finalidade de evitar a flexão da calha e manter a altura de 30 cm do solo.

Foram instalados cinco pluviômetros confeccionados de funis circulares em aço galvanizado, com abertura de 21 cm de diâmetro ($346,36 \text{ cm}^2$ de área), colados a tubos de PVC com massa adesiva (Durepoxi®). Na base de cada pluviômetro instalou-se um galão de 5 litros para o armazenamento da água. Todos os pluviômetros ficaram com seu topo a 1,5 m do solo (Figura 4.17).



Figura 4.17 – Pluviômetro tipo *Ville de Paris* utilizado no experimento. Altura do solo: 1,5 m.
Diâmetro do topo: 21 cm.

Por apresentarem volumes pequenos, quando comparados às calhas apresentadas anteriormente, o volume acumulado no galão de 5 litros era medido com o auxílio de uma proveta graduada de 1 litro. Posteriormente, esse volume foi dividido pela área do topo do pluviômetro para a determinação do valor da precipitação interna em lâmina d'água.

A coleta dos dados de P_i foi realizada sempre que se registrou o fim de um evento de chuva.

Os pluviômetros e as calhas foram distribuídos aleatoriamente no experimento, atentando-se para a obtenção de valores referentes aos variados tipos de precipitação interna possíveis como o gotejamento das folhas e galhos, e também a que atinge o solo diretamente, devido aos espaços vazios ainda existentes na cobertura vegetal. A configuração desses equipamentos instalados pode ser melhor visualizada na planta baixa da plantação, que se encontra no Apêndice B.

4.7.3.2 Escoamento fustal (Ef)

A água de Escoamento fustal (Ef) dos eucaliptos foi coletada com auxílio de uma fita adesiva multiuso autocolante (Sika MultiSeal-E®), com 10 cm de largura, comercialmente utilizada para a impermeabilização de forros e telhas em aço galvanizado. Essa fita é maleável e foi colada em forma helicoidal, de maneira que aderiu perfeitamente ao tronco, sem deixar vazios (Figura 4.18a). A fita foi colada ao longo de sua metade longitudinal, formando naturalmente uma calha, e em sua base foi fixada uma mangueira de 25 mm com silicone e abraçadeiras (Figura 4.18b), que conduzia a água para galões de 30 litros (Figura 4.18c).

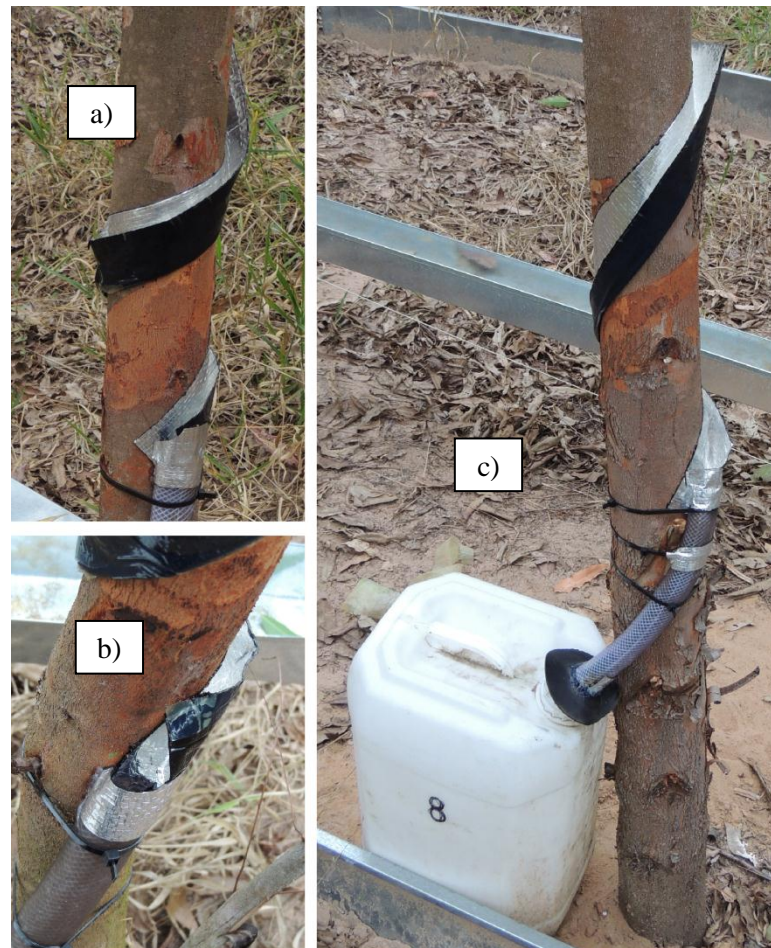


Figura 4.18 – a) Fita helicoidal instalada no tronco; b) detalhe da ligação entre a calha e a mangueira; c) vista geral da calha, mangueira e galão.

Foram instaladas calhas em 10 troncos de eucalipto aleatoriamente selecionadas, de modo a abranger as diferentes medidas de DAPs identificadas em campo. Os dados de

Escoamento fustal foram coletados após cada evento de precipitação. Esta coleta foi realizada utilizando uma proveta graduada de 1 litro, quando havia menos de 3 litros em cada galão, ou a balança de mão ($50 \pm 0,01$ kg), para volumes maiores.

Os volumes coletados em cada galão foram divididos pela área de cada eucalipto. Esta área foi obtida a partir da medida de dois diâmetros, assumindo-se a área da copa circular, e o centro do círculo sendo o próprio caule.

A precipitação efetiva foi calculada de acordo com a seguinte equação:

$$Pe = Pi + Ef$$

Em que:

Pe Precipitação efetiva (mm);

Pi Precipitação interna (mm); e

Ef Escoamento fustal (mm).

A Perda por Interceptação (*It*) foi obtida a partir da seguinte equação:

$$It = \frac{Pt - Pe}{Pt} \times 100$$

Em que:

It Interceptação (%);

Pt Precipitação total, ou em aberto (mm); e

Pe Precipitação efetiva (mm).

4.8 MODELO RUTTER

Os dados de entrada do modelo Rutter foram obtidos, para a presente plantação de *E. grandis*, de acordo com a metodologia utilizada por Gash e Morton (1978), Lloyd *et al.* (1988), Ubarana (1996), Valente *et al.* (1997) e Vieira e Palmier (2006). Tais dados foram os seguintes: capacidade de armazenamento da cobertura vegetal (Sc), capacidade de armazenamento do tronco (St), coeficiente de precipitação interna livre (p) e porção da precipitação total direcionada para o escoamento fustal (pt).

- capacidade de armazenamento da cobertura vegetal (Sc)

Foram selecionados os dados de precipitação interna (Pi) para eventos de precipitação total com lâminas d'água superiores a 1,5 mm e inferiores a 15 mm. Após dispor os dados num gráfico $Pt \times Pi$, fez-se uma regressão linear em que a equação do tipo $y = a.x + b$ foi obtida, sendo $y = Pi$ e $x = Pt$. Encontrou-se então o valor de Pt em que $Pi = 0$, resultando assim o valor do Sc , pois a partir desse valor de Pt se inicia o Pi .

- capacidade de armazenamento do tronco (St)

Analogamente ao utilizado para a obtenção da capacidade de armazenamento da cobertura vegetal, foram selecionados os dados de escoamento fustal (Ef) em que houve precipitação total (Pt) entre 1,5 e 15 mm. Os dados foram dispostos num gráfico $Pt \times Ef$ e a partir da regressão linear dos dados obteve-se o valor de Pt em que $Ef = 0$. Esse valor é a capacidade de armazenamento St , a qual é a Pt limite para que se inicie o escoamento fustal.

- coeficiente de precipitação interna livre (p)

O valor do coeficiente de precipitação interna livre foi obtido partindo-se do valor de $p = (1 - \beta)$ em que β é a proporção de cobertura de eucalipto relativa à área total. Essas medidas foram obtidas em campo, partindo-se da média da área de captação dos troncos que tinham calhas de escoamento fustal instaladas. A área total foi obtida pela área limitada pelo espaçamento entre as árvores adjacentes (3,0 x 3,5 m).

- porção da precipitação total desviada para o escoamento fustal (p_t)

O valor de p_t foi obtido a partir da inclinação da reta de regressão linear, obtida no gráfico de P_t x E_f , realizado analogamente ao método de obtenção da capacidade de armazenamento do tronco (S_t).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PRECIPITAÇÃO

As estações meteorológicas utilizadas no experimento estão instaladas na Bacia do Ribeirão da Onça desde o ano de 2007, compreendendo assim 6 anos de dados antes do início do experimento na plantação de eucalipto. Os dados referentes ao período estudado foram coletados mensalmente e interpolados de acordo com o método IDW (*Inverse Distance Weighting*) com exponencial 2, descrito na seção de métodos.

O menor evento de precipitação, após a interpolação dos dados das estações, coletado no experimento foi de uma lâmina d'água de 3,2 mm em 25/03/2013, enquanto que o maior evento, no qual todos os equipamentos instalados em campo extravasaram, foi de 195,4 mm em 14/01/2013. Desde o dia 01/01/2013 até o dia 31/12/2013 foram verificados 42 eventos de precipitação (Tabela 5.1) que totalizaram 1.338,2 mm, valor que condiz com a média histórica anual de precipitação na região de São Carlos – SP.

Tabela 5.1 – Precipitação mensal no ano de 2013, interpolada pelo método IDW, e número de eventos verificados em cada mês.

MÊS	jan/13	fev/13	mar/13	abr/13	mai/13	jun/13	jul/13	ago/13	set/13	out/13	nov/13	dez/13	TOTAL
PRECIPITAÇÃO (mm)	253,4	149,2	145,2	85,4	159,0	36,4	45,3	0,0	43,4	158,7	170,2	92,0	1338,2
EVENTOS	3	6	6	3	1	2	2	0	3	4	7	5	42

Nos meses de janeiro a março e de outubro a dezembro foi observada a maior ocorrência de chuvas, sendo este identificado como período úmido ou chuvoso, pois detém uma percentagem acima de 70% do total precipitado (968,7 mm), mas de duas metades de períodos chuvosos. No período de abril a setembro, há pouca ocorrência de chuva e o período é identificado como seco ou de estiagem. Além disso, o número de eventos de precipitação concentrou-se no período chuvoso (73,8%). A Figura 5.1 apresenta todos os eventos de precipitação ao longo do ano de 2013.

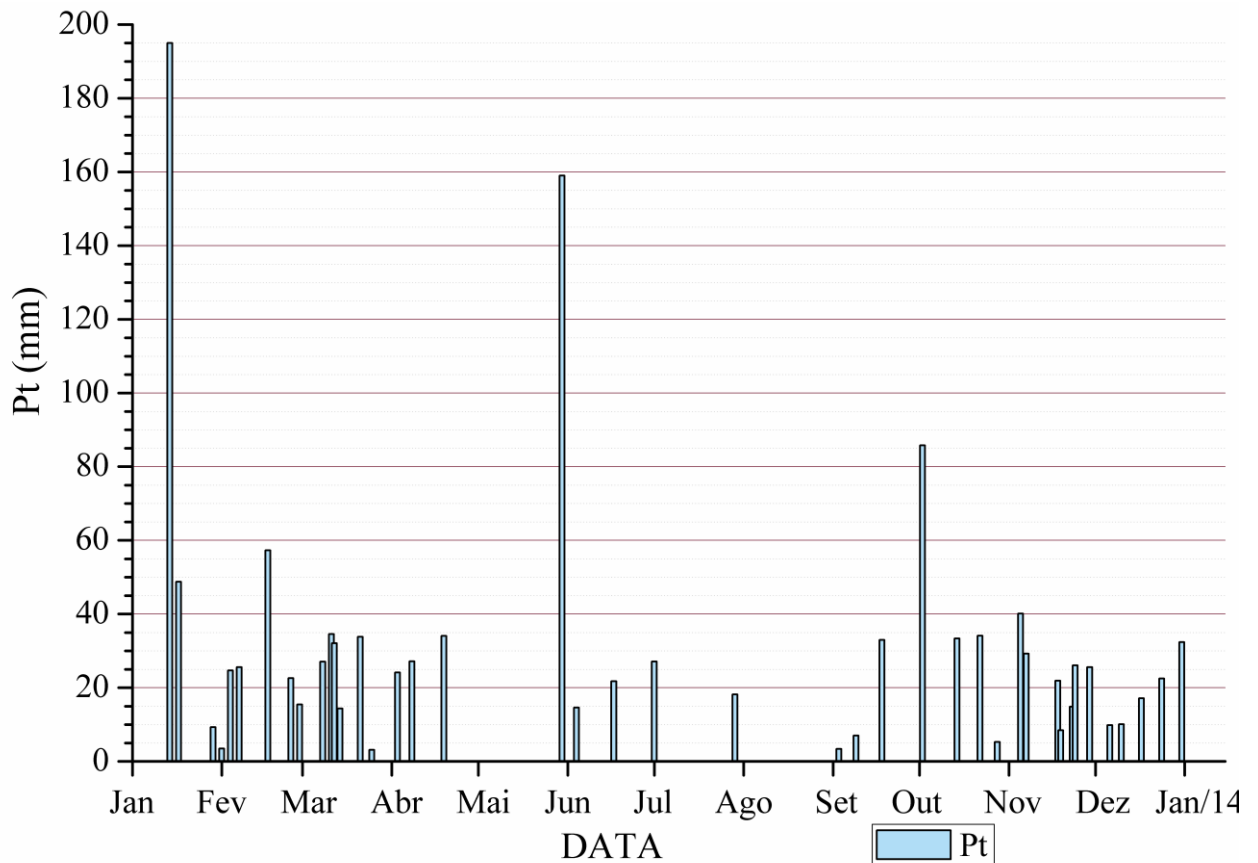


Figura 5.1 – Distribuição da Precipitação total ao longo do ano de 2013.

Em relação à precipitação mensal, a análise dos dados revelou dois meses com padrões atípicos. No mês de maio houve apenas 01 (um) evento de precipitação, porém com valores altos de intensidade ($12,9 \text{ mm} \cdot 15 \text{ min}^{-1}$), duração (54 horas) e lâmina d'água (159,0 mm). Dados pluviométricos obtidos na estação meteorológica do CRHEA-USP, localizada a 5,5 km de distância do experimento, indicam que a média histórica mensal para o mês de maio, desde o ano de 1972, é de 62,7 mm. Portanto, o mês de maio de 2013 teve quase três vezes mais chuva que a média histórica e a maior pluviosidade dos últimos 10 anos. Outro mês com padrão atípico foi dezembro de 2013, com um valor relativamente baixo de precipitação (92,0 mm), quando comparado à média histórica mensal (242,0 mm) obtida na mesma estação CRHEA-USP.

Os dados de precipitação utilizados neste estudo, coletados nas Estações Monte Alegre e Santa Maria, apresentam uma relação linear entre si ($R^2 = 0,87$), indicando que os eventos de precipitação ocorridos próximo ao experimento são distribuídos de maneira uniforme (Figura 5.2), com exceção dos eventos extremos.

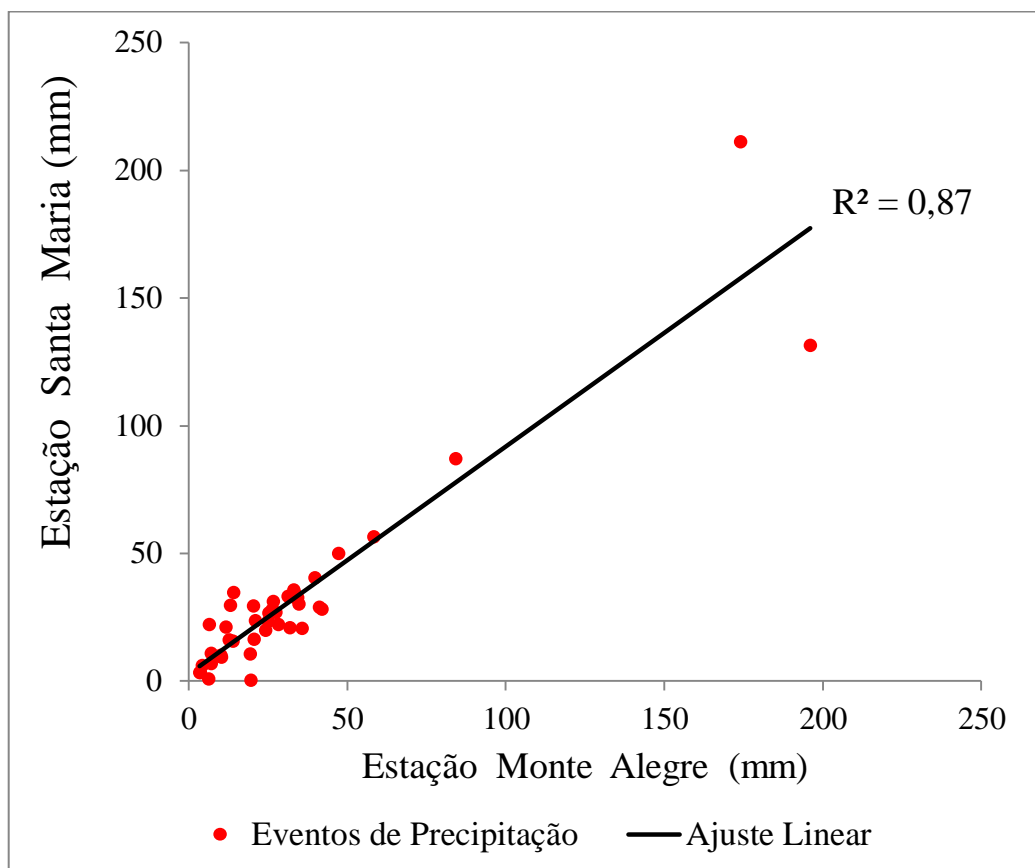


Figura 5.2 – Relação entre a precipitação por evento na Estação Monte Alegre e Estação Santa Maria, no ano de 2013.

Dos 42 eventos de precipitação coletados no período do estudo, pôde-se observar que os eventos com lâmina d'água entre 20 e 35 mm compreenderam a 50% do total. A distribuição de frequência de todos os eventos de precipitação é apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Frequência dos eventos de precipitação ocorridos no ano de 2013.

INTERVALO (mm)	EVENTOS
0 -- 5	3
5 -- 10	5
10 -- 15	4
15 -- 20	3
20 -- 25	5
25 -- 30	8
30 -- 35	8
35 -- 75	3
75 -- 200	3

Apesar de compreender 50% de todos os eventos de precipitação registrados durante o ano de 2013, os eventos de 20 a 35 mm tiveram características individuais bem distintas, como intensidade máxima em 15 minutos, duração, velocidade do vento e estação do ano em

que ocorreram. Essas características da chuva, quando estudadas sob a influência da plantação, ocasionam mudanças nas componentes do balanço hídrico, que serão identificadas no decorrer do trabalho.

5.2 PERDA POR INTERCEPTAÇÃO

A perda por interceptação foi calculada neste experimento a partir da relação entre a Precipitação total, medida em aberto, e a parcela dessa que atingiu o solo na forma de Precipitação interna e Escoamento fustal, chamada de Precipitação efetiva. A relação entre essas 3 medidas resultou em uma das componentes mais importantes no estudo do balanço hídrico de culturas, que é a perda por interceptação.

Para a obtenção do gráfico de Interceptação pela Precipitação total, por evento, fez-se a média dos valores de Precipitação interna coletados nas calhas e pluviômetros e somou-se a esse valor a média do Escoamento fustal obtido no mesmo evento. A Figura 5.3 apresenta os valores e a regressão que melhor ajustou os pontos.

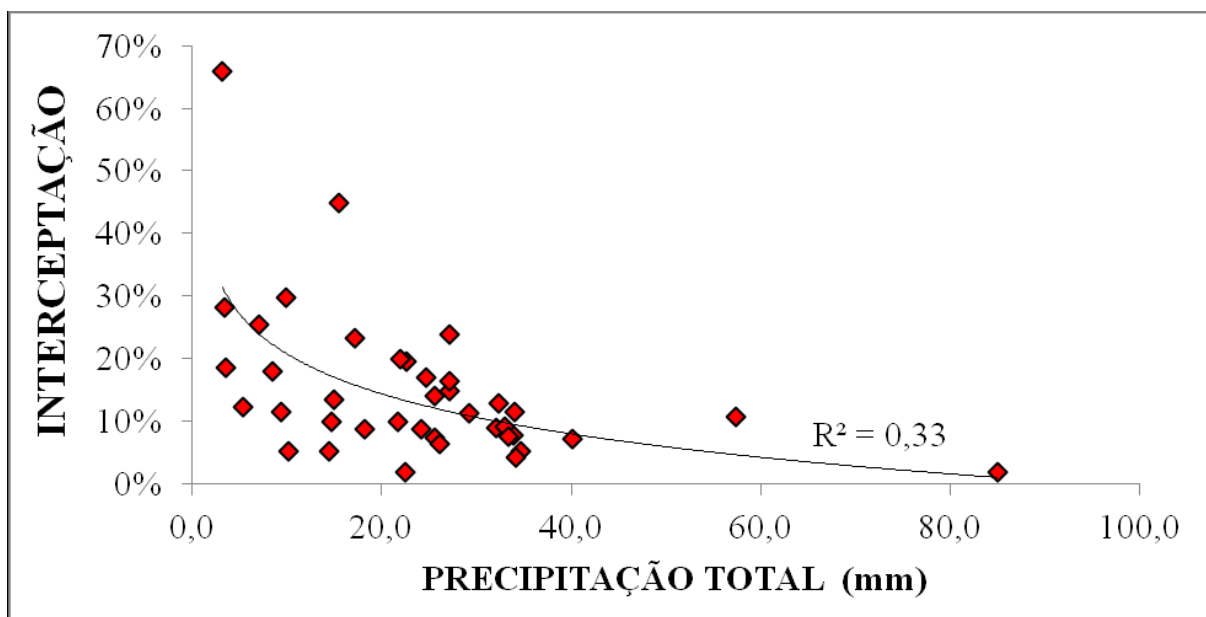


Figura 5.3 – Gráfico de Interceptação pela Precipitação total.

A partir da análise da Figura 5.3 pode-se inferir que quanto maior a Precipitação total, menor a Interceptação por parte da plantação de eucalipto. A Precipitação total avaliada no período do estudo foi de 1.090,0 mm e a Precipitação efetiva foi de 948,2 mm, resultando numa Interceptação de 141,8 mm, ou 13,0% da Precipitação total. A grande quantidade de valores distantes da regressão e da média se dá devido a fatores da precipitação, da plantação e da sazonalidade, que serão investigadas no decorrer do trabalho.

5.2.1 Precipitação interna

Os valores de precipitação interna na plantação foram obtidos e dispostos de acordo com a metodologia utilizada. Para identificar se os valores coletados pelas calhas e pelos pluviômetros são estatisticamente equivalentes, foi realizado o teste t-pareado de Wilcoxon com o auxílio do Microsoft Excel (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Teste t-pareado de Wilcoxon para os valores de precipitação interna de calhas e pluviômetros.

	calhas	pluviômetros
Média	24,31	23,14
Variância	538,20	500,59
Observações	40	40
Correlação de Pearson		0,9967
Hipótese da diferença de média		0
gl		39
Estatística t		3,65
P(T<=t) uni-caudal		3,81E-04
t crítico uni-caudal		1,68

De acordo com o teste estatístico com nível de significância de 95% ($P < 0,05$), não se pode rejeitar a hipótese H_0 , de que as médias dos dados de precipitação interna coletados pelos dois métodos são iguais. Portanto, as médias dos dados coletados em 5 calhas e 5 pluviômetros não foram diferentes entre si.

Construiu-se também um gráfico de correlação dos dados coletados nas 5 calhas e nos 5 pluviômetros instalados na plantação, por evento de precipitação (Figura 5.4)

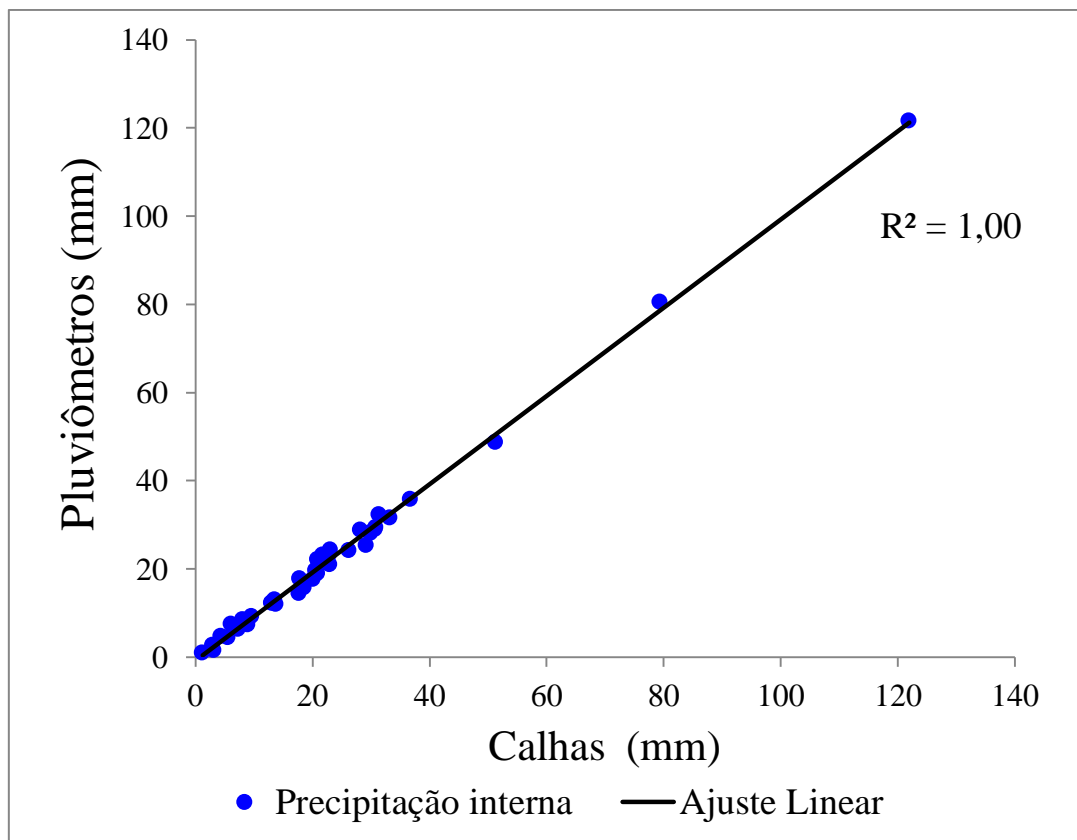


Figura 5.4 – Gráfico de correlação entre a coleta da Precipitação interna a partir de calhas e pluviômetros.

Os valores coletados por evento nas calhas e nos pluviômetros instalados abaixo da cobertura de eucalipto estão apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Valores de precipitação total e precipitação interna (Pi) coletados em calhas e pluviômetros, por evento de precipitação no ano de 2013.

DATA	Precipitação total (mm)	Precipitação interna calhas (mm)	Desvio Padrão (mm)	Precipitação interna pluviômetros (mm)	Desvio Padrão (mm)
14-jan	195,0	<< 60,0	--	<< 120,0	--
17-jan	48,8	nd	--	nd	--
29-jan	9,3	9,0	± 0,4	7,3	± 1,0
1-fev	3,5	3,0	± 0,2	2,7	± 0,3
4-fev	24,7	20,5	± 0,6	19,8	± 0,6
7-fev	25,6	23,0	± 0,9	23,3	± 3,1
17-fev	57,3	51,3	± 2,3	48,7	± 1,6
25-fev	22,6	17,9	± 1,8	17,8	± 2,1
28-fev	15,5	8,2	± 0,3	8,5	± 1,1
8-mar	27,1	21,7	± 1,5	23,1	± 4,5
11-mar	34,6	31,4	± 1,3	32,3	± 3,8
12-mar	32,1	28,3	± 1,1	28,8	± 3,3
14-mar	14,4	13,5	± 0,8	13,0	± 0,9
21-mar	33,8	30,9	± 1,7	29,5	± 2,8
25-mar	3,2	1,2	± 0,1	1,0	± 0,1
3-abr	24,1	21,5	± 1,2	21,3	± 1,7
8-abr	27,2	20,9	± 1,7	19,0	± 1,1
19-abr	34,1	30,0	± 2,1	28,3	± 5,3
30-mai	159,0	122,0	--	121,6	± 4,4
4-jun	14,7	13,1	± 0,3	12,3	± 0,6
17-jun	21,7	20,1	± 1,1	17,6	± 0,9
1-jul	27,1	22,9	± 1,2	21,0	± 1,7
29-jul	18,2	17,7	± 0,7	14,5	± 0,7
3-set	3,4	3,2	± 0,2	1,6	± 0,6
9-set	7,0	5,6	± 0,4	4,5	± 0,6
18-set	33,0	30,0	± 0,9	28,1	± 0,4
2-out	85,8	79,5	± 0,2	80,6	± 2,6
14-out	33,4	30,8	± 1,0	28,9	± 1,1
22-out	34,2	32,0	± 0,7	31,8	± 1,0
28-out	5,3	4,4	± 0,3	4,8	± 0,8
5-nov	40,1	36,7	± 1,1	35,8	± 2,2
7-nov	29,2	26,3	± 0,8	24,2	± 1,9
18-nov	21,9	18,6	± 0,8	15,7	± 1,2
19-nov	8,5	6,1	± 0,3	7,6	± 0,2
23-nov	14,9	13,0	± 0,5	12,3	± 0,7
24-nov	26,1	23,1	± 0,9	24,4	± 3,1
29-nov	25,6	20,9	± 0,8	22,2	± 2,3
6-dez	9,8	7,3	± 0,5	6,3	± 0,6
10-dez	10,1	9,6	± 0,4	9,3	± 1,5
17-dez	17,2	13,8	± 0,5	12,0	± 0,6
24-dez	22,5	21,7	± 1,6	21,8	± 2,5
31-dez	32,4	29,3	± 1,3	25,5	± 0,7
TOTAL	1333,8	939,8		908,9	

* nd = não determinado

Os valores apresentados na Tabela 5.4 mostram que, apesar das médias de precipitação interna coletadas pelas calhas e pelos pluviômetros serem estatisticamente iguais

($R^2 = 1,00$), o desvio padrão dos valores coletados pelas calhas é ligeiramente menor que o mesmo dos pluviômetros. Isso se dá principalmente devido à área de coleta das calhas ($A_c = 0,6 \text{ m}^2$) que é 15 vezes maior que a área de coleta do pluviômetro ($A_p = 0,038 \text{ m}^2$), resultando, desde já, num valor médio com menor variação.

Três eventos de precipitação apresentaram problemas na coleta dos dados. Os eventos do dia 14/janeiro e 30/maio (195,4 e 159,0 mm, respectivamente) superaram a capacidade de armazenamento do experimento. A precipitação do dia 17/janeiro não pôde ser devidamente coletada, pois boa parte dos equipamentos foi danificado no evento extremo anterior. Os eventos problemáticos de janeiro foram desconsiderados no cálculo da interceptação. Para o evento de maio, o valor da precipitação interna relativo à calha foi estimado de acordo com os dados coletados nos pluviômetros, que têm maior capacidade que as calhas.

Para melhor visualizar os dados expostos na Tabela 5.4, compilou-se a correlação que se encontra na Figura 5.5.

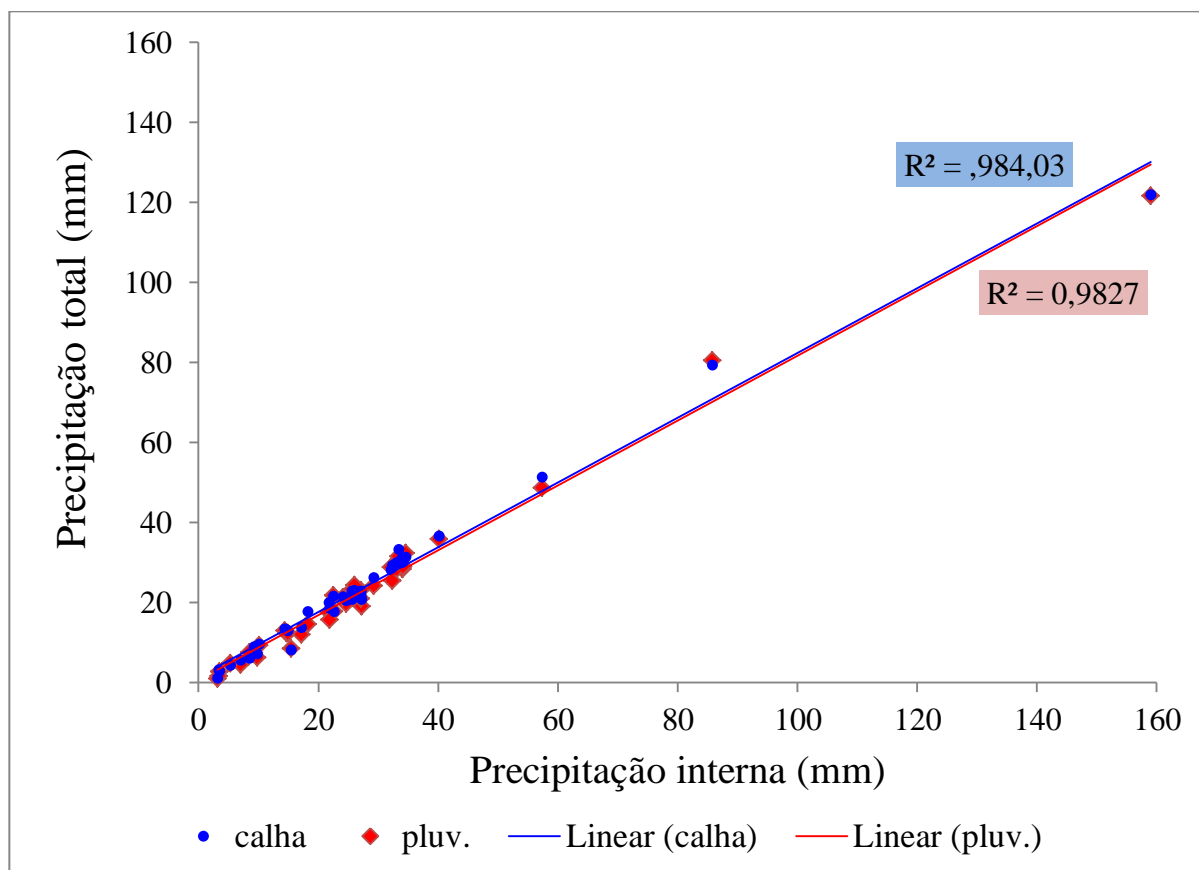


Figura 5.5 - Relação da precipitação total e a precipitação interna coletada em calhas e pluviômetros.

5.2.2 Escoamento fustal

O escoamento fustal ocorre quando a água interceptada é direcionada pelas folhas para escoar dos galhos até o tronco, por onde descem até atingir o solo. Identificou-se no experimento que esse tipo de escoamento ocorre a partir de precipitações muito pequenas (3,2 mm). Com o aumento da precipitação essa parcela vai estabilizando até chegar a quase 4,0% da Precipitação total. O valor médio de escoamento fustal encontrado foi de 2,4% da Precipitação total.

A parcela de escoamento fustal mostrou-se relevante na determinação do valor total da interceptação, não podendo ser descartada. Os valores na Tabela 5.1 são referentes aos dados coletados nas dez (10) calhas de escoamento fustal instaladas nos troncos da plantação. Os valores em milímetros representam a média das 10 calhas, enquanto que os valores em litros são o somatório dos volumes coletados nas mesmas calhas, por evento. A finalidade de se mostrar o volume total coletado pelas mudas é a de se ter uma dimensão real da quantidade de água que se refere ao estudar eventos de precipitação e comparar dois eventos com a quantidade de água que atinge o solo sob a forma de escoamento pelo tronco das árvores.

Tabela 5.5 – Escoamento fustal por evento. Valores em milímetros (média de 10 calhas), em litros (somatório de 10 calhas) e percentual da Precipitação total.

DATA	Precipitação total (mm)	Escoamento fustal (mm)	Desvio Padrão (mm)	Escoamento fustal (litros)	Percentual Ef/Pt
14-jan	195,0	nd	--	>> 300	nd
17-jan	48,8	0,8	± 0,2	78,2	1,7%
29-jan	9,3	0,1	± 0,0	5,7	0,7%
1-fev	3,5	0,0	± 0,0	1,6	0,5%
4-fev	24,7	0,3	± 0,1	31,2	1,3%
7-fev	25,6	0,6	± 0,2	53,3	2,2%
17-fev	57,3	1,1	± 0,3	107,8	2,0%
25-fev	22,6	0,4	± 0,1	33,8	1,6%
28-fev	15,5	0,2	± 0,1	16,8	1,2%
8-mar	27,1	0,6	± 0,2	56,0	2,2%
11-mar	34,6	1,0	± 0,2	92,9	2,8%
12-mar	32,1	0,7	± 0,3	64,5	2,2%
14-mar	14,4	0,4	± 0,1	33,8	2,5%
21-mar	33,8	1,0	± 0,3	99,9	3,1%
25-mar	3,2	0,0	± 0,0	0,5	0,2%
3-abr	24,1	0,6	± 0,1	60,0	2,6%
8-abr	27,2	0,7	± 0,2	72,1	2,7%
19-abr	34,1	1,0	± 0,2	97,1	3,0%
30-mai	159,0	> 3,84	--	> 300	2,4%
4-jun	14,7	0,5	± 0,1	48,1	3,4%
17-jun	21,7	0,7	± 0,1	70,9	3,2%
1-jul	27,1	0,7	± 0,1	67,5	2,6%
29-jul	18,2	0,5	± 0,1	45,0	2,5%
3-set	3,4	0,1	± 0,0	5,1	1,6%
9-set	7,0	0,1	± 0,0	13,3	2,0%
18-set	33,0	1,0	± 0,2	94,2	2,9%
2-out	85,8	3,4	± 0,0	300,0	3,9%
14-out	33,4	1,0	± 0,3	96,5	3,1%
22-out	34,2	0,8	± 0,2	78,6	2,4%
28-out	5,3	0,1	± 0,0	5,0	1,1%
5-nov	40,1	0,9	± 0,3	87,4	2,3%
7-nov	29,2	0,7	± 0,2	66,2	2,4%
18-nov	21,9	0,3	± 0,2	29,6	1,6%
19-nov	8,5	0,1	± 0,0	7,8	1,0%
23-nov	14,9	0,2	± 0,1	19,0	1,5%
24-nov	26,1	0,6	± 0,3	58,6	2,5%
29-nov	25,6	0,4	± 0,2	39,0	1,7%
6-dez	9,8	0,1	± 0,1	9,8	1,1%
10-dez	10,1	0,1	± 0,1	10,3	1,2%
17-dez	17,2	0,2	± 0,1	19,9	1,3%
24-dez	22,5	0,3	± 0,2	29,2	1,5%
31-dez	32,4	0,9	± 0,3	80,8	2,7%
TOTAL	1138,8	27,2			2,4%

* nd = não determinado

Como ocorrido na determinação da precipitação interna, os eventos extremos de precipitação dos dias 14/janeiro e 30/maio provocaram o extravasamento dos galões

conectados às calhas de escoamento fustal. Além disso, o evento do dia 02/outubro teve uma precipitação total elevada (85,8 mm) e intensidade máxima acima do normal ($22,0 \text{ mm} \cdot 15 \text{ min}^{-1}$), o que também ocasionou o extravasamento de alguns galões.

Analogamente ao ocorrido na determinação da precipitação interna, os eventos dos dias 14/janeiro e 30/maio foram desconsiderados para avaliação do escoamento fustal, uma vez que as precipitações totais foram atípicas (195,0 e 159,0 mm, respectivamente) e extravasou todos os galões. Por outro lado, os dados referentes ao evento do dia 02/outubro foram estimados, considerando o escoamento fustal mínimo limitado pela capacidade de armazenamento de cada galão (30 litros), já que uma menor parte dos galões não extravasou. A Figura 5.6 demonstra uma tendência de crescimento linear do escoamento fustal em relação à precipitação total, com $R^2 = 0,89$.

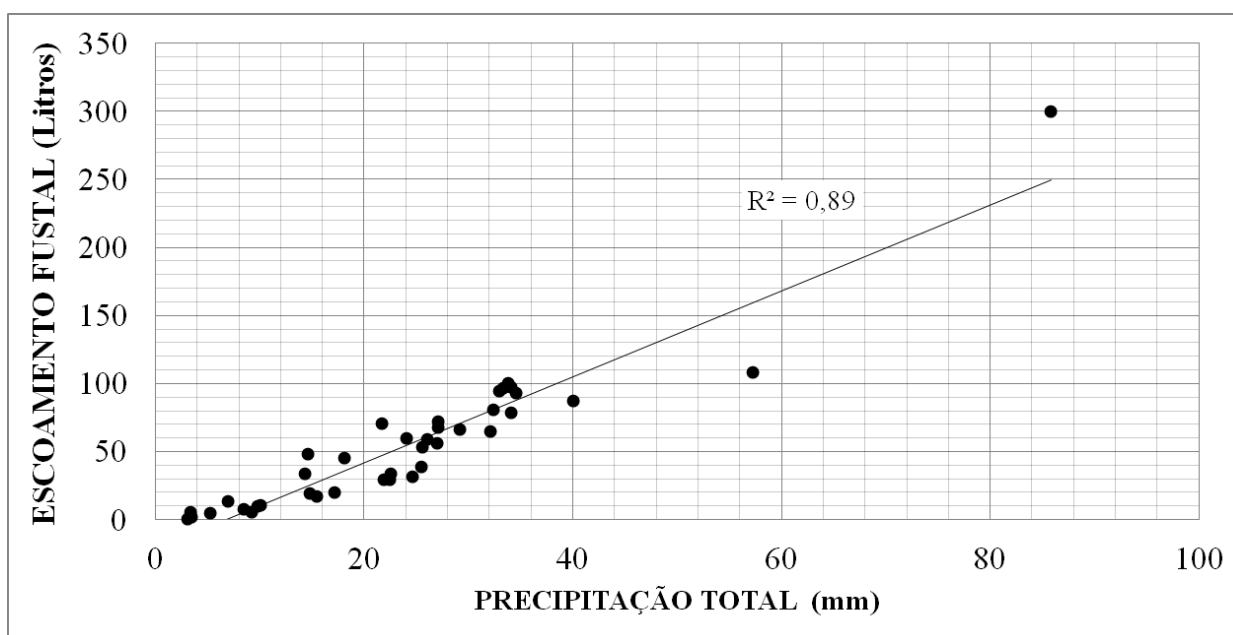


Figura 5.6 – Gráfico da relação entre a Precipitação total e o Escoamento fustal em litros.

Além dessa relação, foi possível determinar os valores de escoamento fustal em relação à precipitação total, por evento (Figura 5.7). A linha de tendência que melhor ficou ajustada aos pontos no gráfico foi a logarítmica, ratificando a hipótese de que o escoamento fustal se mantém num máximo constante, com o aumento da precipitação, mantendo assim a percentagem.

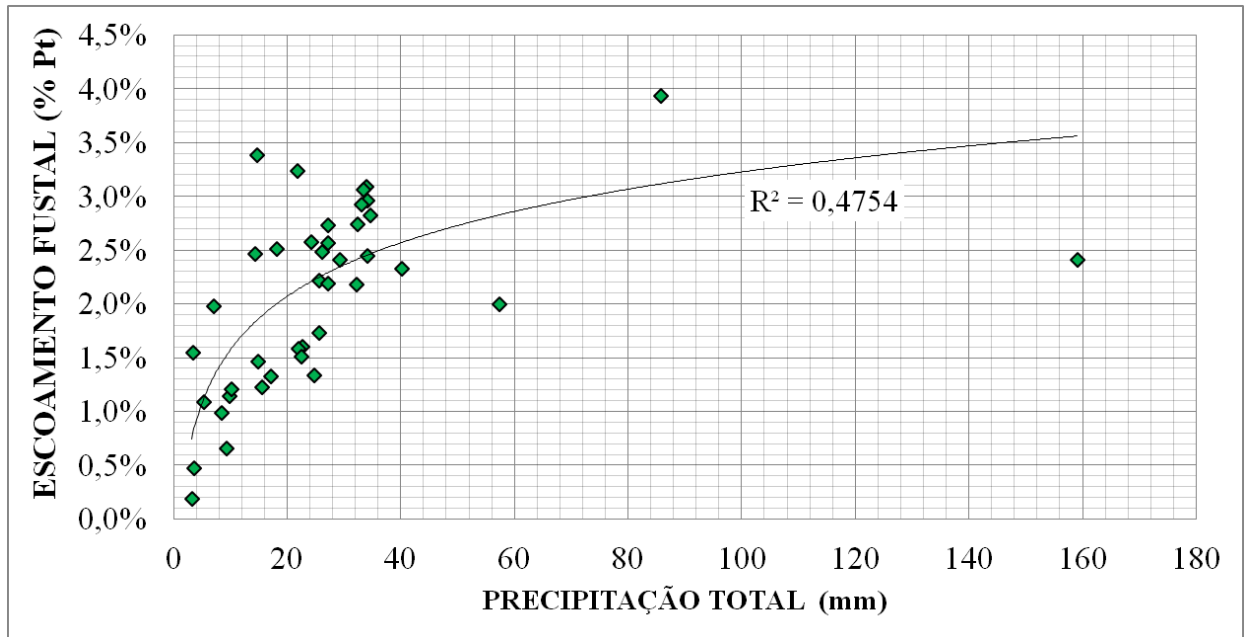


Figura 5.7 – Gráfico da relação entre a Precipitação total e a percentagem de Escoamento fustal por evento.

5.2.2.1 DAP – Diâmetro à Altura do Peito

Apesar das mudas de eucalipto serem clones, seu desenvolvimento dentro da plantação se fez em diferentes velocidades. Com isso, após 2 anos de plantadas, verificou-se que as árvores encontravam-se em diferentes estágios de desenvolvimento e decidiu-se identificar os troncos pelos seus diferentes DAPs.

Instalando-se calhas de escoamento fustal em troncos de diferentes diâmetros pôde-se obter valores que melhor representassem o fenômeno e entender melhor como ocorre a evolução dos diferentes diâmetros no tempo. A partir disso, identificou-se cada árvore pelo seu DAP e por consequência sua área de interceptação, tendo uma relação positiva entre maiores DAPs com maiores áreas de interceptação e, conseqüentemente, mais escoamento fustal (Figura 5.8).

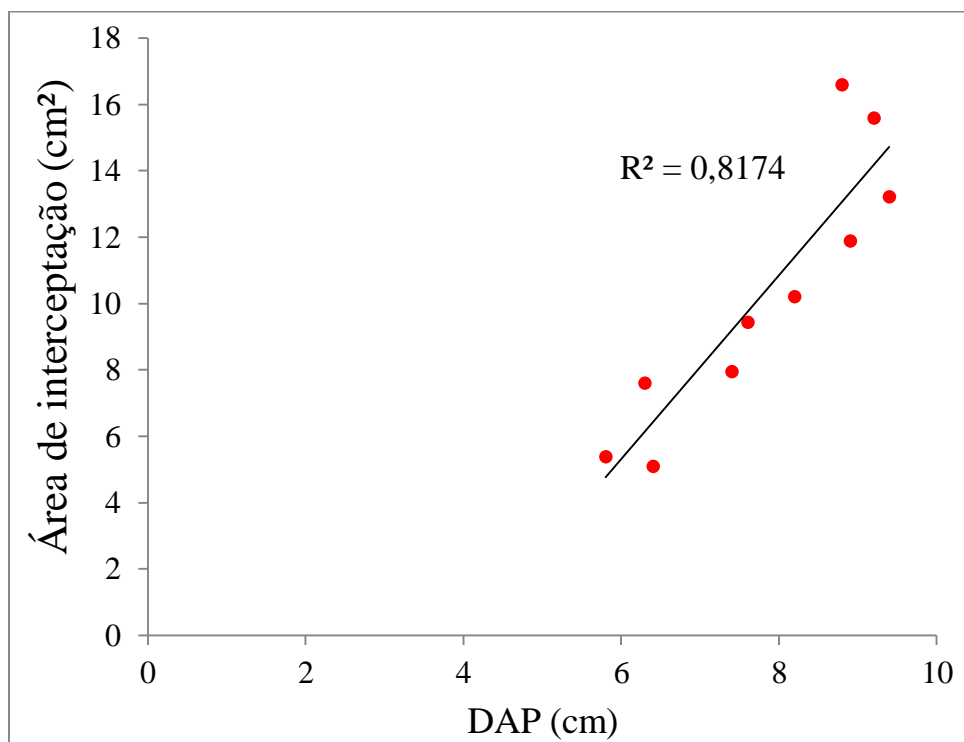


Figura 5.8 – Relação entre DAP e Área de interceptação por muda.

Três mudas com DAPs que correspondiam ao menor, médio e maior diâmetros e que mantiveram a casca lisa durante todo o ano foram selecionadas para um estudo mais detalhado acerca do acúmulo de escoamento fustal no tempo, juntamente com o crescimento de cada uma delas. Foram selecionadas as mudas de número 6, 3 e 8, com DAPs, no início do experimento, de 6,30; 8,20 e 9,40 cm, respectivamente. A Figura 5.9 apresenta o gráfico de escoamento fustal acumulado, em litros, dos três troncos.

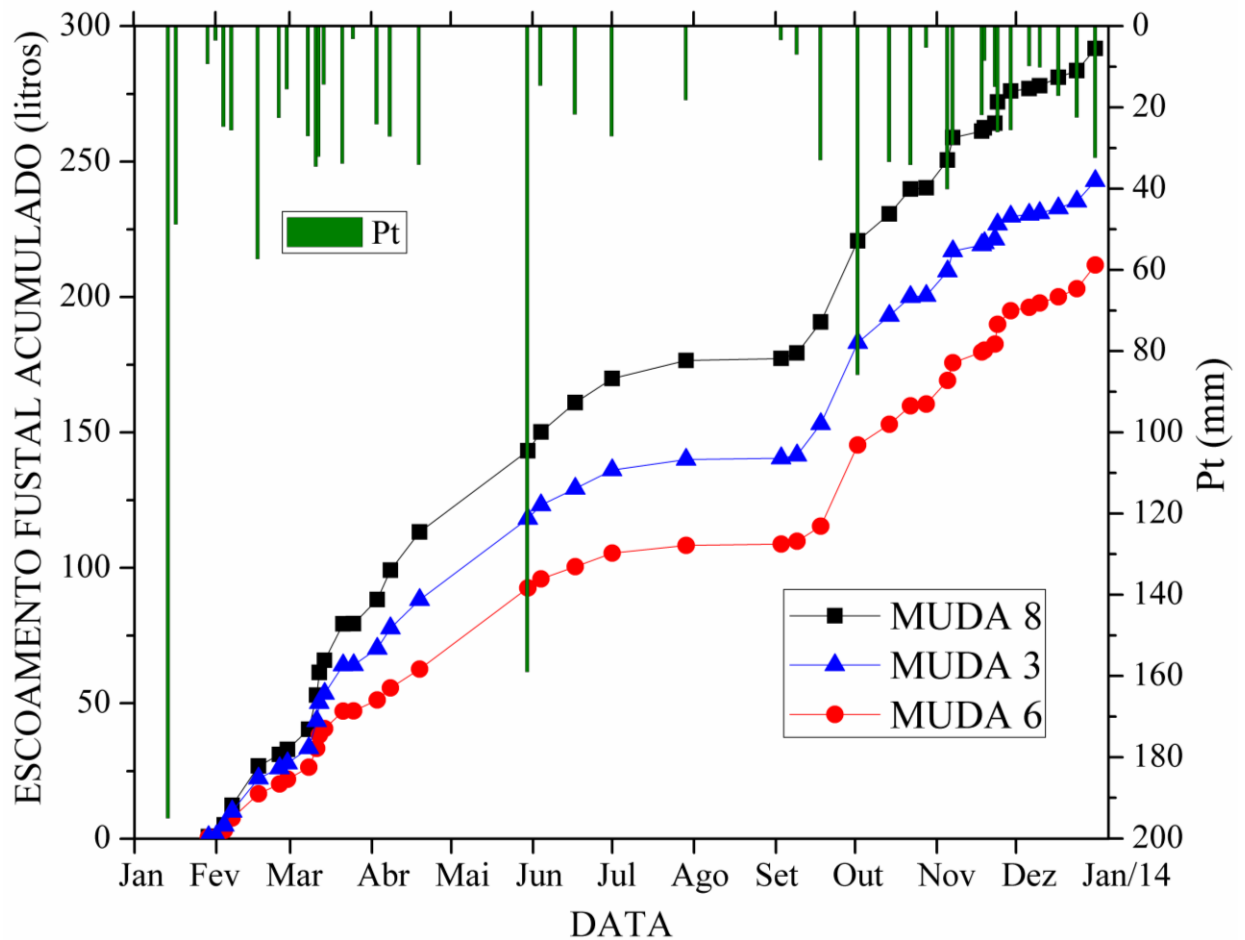


Figura 5.9 – Escoamento fustal acumulado em três mudas de eucalipto no ano de 2013, em comparação com a precipitação.

Analisando a Muda 3, observa-se que durante o período chuvoso (janeiro a abril) a curva apresenta maior inclinação, devido ao maior acúmulo de água nos troncos. No período de estiagem (junho a setembro), as chuvas são mais esparsas, apresentando menor inclinação de acúmulo de água no tempo. No mês de outubro, início do segundo período chuvoso (outubro a janeiro), a inclinação da curva volta a ser maior, representando a maior concentração de chuvas e acúmulo de água. A muda com maior DAP (Muda 8) teve uma coleta de água da chuva cerca de 50% maior que a de menor DAP (Muda 6), devido à sua área de interceptação ser maior. Foi observado que os caules dessas duas mudas de eucalipto apresentavam rugosidades semelhantes, sem descascar durante todo o experimento.

A correlação entre o DAP (cm) e a quantidade de água coletada (litros) de todas as mudas pode ser visualizada na Figura 5.10. Nesse gráfico, os valores de Escoamento fustal

dos eventos de precipitação ocorridos no ano de 2013 foram somados e relacionados com os respectivos DAPs.

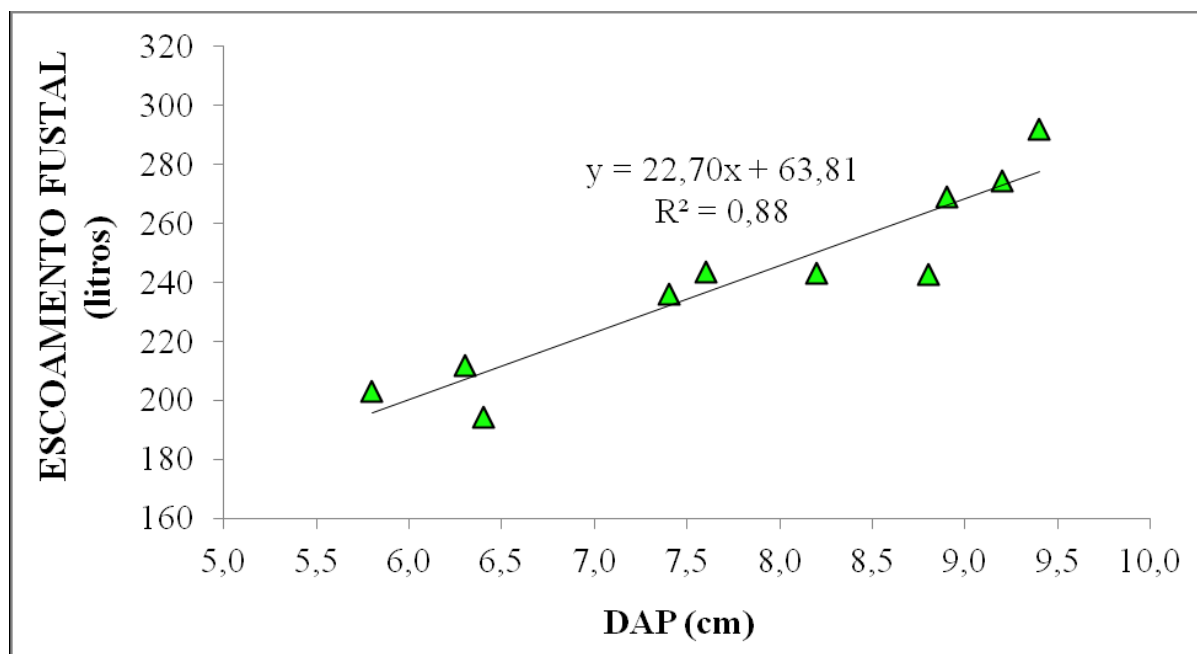


Figura 5.10 – Gráfico do total coletado pelo Escoamento fustal em relação ao DAP.

Na regressão linear da relação do Escoamento fustal com o DAP, o valor obtido de $R^2 = 0,88$ demonstra uma proporção linear entre o DAP e o acúmulo de água referente ao Escoamento fustal por parte do eucalipto. Germer *et al.* (2010) já haviam citado essa relação em seu estudo localizado no sudoeste da Amazônia, em mata nativa.

A medida do DAP de cada muda foi realizada duas vezes durante a pesquisa: a primeira medida no dia 25/03/2013, no final do período chuvoso; e a segunda medida no dia 17/02/2014, durante o segundo período chuvoso. Foi possível verificar que o crescimento se deu em diferentes taxas, variando de 0,2 a 1,2 cm nesse intervalo de tempo (Tabela 5.6). A medida do DAP utilizada na Figura 5.10 foi a obtida inicialmente no experimento.

Tabela 5.6 – Crescimento dos DAPs de cada muda.

MUDA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DAP - 25/03/13 (cm)	8,8	5,8	8,2	9,2	7,6	6,3	6,4	9,4	7,4	8,9
DAP - 17/02/14 (cm)	9,8	6,0	9,2	10,0	8,0	6,6	6,9	10,5	7,8	10,1
CRESCIMENTO	1,0	0,2	1,0	0,8	0,4	0,3	0,5	1,1	0,4	1,2

5.2.2.2 Descascamento do tronco

Nesta sessão, procurou-se uma explicação plausível para a diminuição do acúmulo de água por parte de uma das mudas de eucalipto (Muda 7), em comparação com outra muda com DAP similar (Muda 2), levando-se em consideração que as demais variáveis se mantiveram equivalentes. As Mudas 2 e 7 tinham DAPs semelhantes no início do experimento, de 5,8 e 6,4 cm, respectivamente. Na análise dos dados de escoamento fustal, observou-se que a Muda 7 teve um acúmulo de água variável ao longo do tempo, sendo superado pela Muda 2 durante o mês de novembro (Figura 5.11).

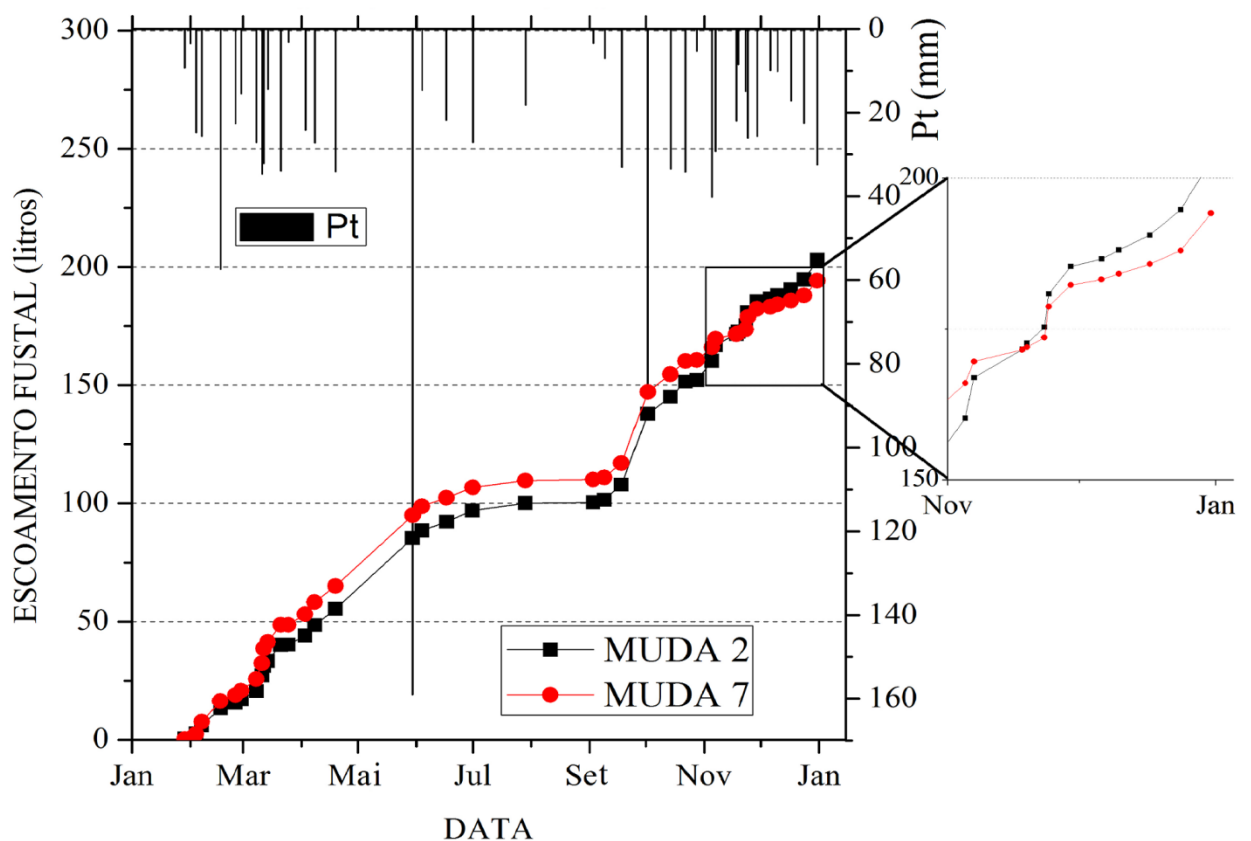


Figura 5.11 – Evolução do escoamento fustal de duas mudas (2 e 7), no ano de 2013.

Buscando-se explicar essa anomalia, fotografou-se os caules de todos os troncos com as calhas instaladas, podendo-se relacionar essa diminuição no acúmulo de água ao aumento da rugosidade e descascamento do tronco da Muda 7 (Figura 5.12).



Figura 5.12 – Troncos de duas mudas de eucalipto, mostrando o descascamento na Muda 7.

Reforça a conclusão de que o descascamento foi responsável pela diminuição do acúmulo de água da Muda 7 o fato da mesma ter tido um crescimento do DAP em 0,5 cm ao final do experimento, enquanto que a Muda 2 teve um crescimento de apenas 0,2 cm, mostrando que as duas mudas tiveram crescimentos relativamente iguais. A inferência de que o caule mais rugoso coleta menos água que o caule menos rugoso foi também comprovada por Livesley *et al.* (2013).

5.2.3 Comparação entre eventos de precipitação

Os dados de precipitação interna e escoamento fustal foram comparados, com o objetivo de demonstrar como os diferentes fatores da precipitação total podem influenciar esses fenômenos.

5.2.3.1 Precipitação interna

Na análise dos dados, constatou-se que o valor da interceptação varia de acordo com quatro fatores principais: (1) lâmina d'água total da precipitação, (2) intensidade da precipitação, (3) precipitação antecedente e (4) estação do ano. Para tanto, foram comparados

dois eventos de precipitação que tivessem um desses fatores distintos e os demais fatores próximos entre si.

5.2.3.1.1 lâmina d'água total:

Buscando-se comparar eventos com lâminas d'água diferentes, optou-se pelos eventos dos dias 17/dez e 31/dez, com pluviometrias totais de 17,16 e 32,39 mm, respectivamente. Esses dois eventos tiveram mesmo intervalo de chuva antecedente (7 dias), intensidades máximas semelhantes (3,6 e 4,8 mm.15min⁻¹, respectivamente) e ocorreram no mesmo mês (intervalo de 14 dias) (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 – Comparação da precipitação interna entre eventos de precipitação com lâminas d'água distintas.

	Pt1 = 17,2 mm		Pt2 = 32,4 mm	
	Calhas	Pluviômetros	Calhas	Pluviômetros
Média + desvio (mm)	13,8 ± 0,5	12,0 ± 0,6	29,3 ± 1,3	25,5 ± 0,7
Percentual (Pi/Pt)	80,7%	69,9%	90,3%	78,6%

A análise indica que em eventos de precipitação com maiores pluviometrias, o percentual de precipitação interna tende a ser maior. Essa diferença no valor da precipitação interna dos dois eventos deve-se principalmente à capacidade de retenção da cobertura do eucalipto, onde à medida que a lâmina d'água aumenta, a taxa de retenção é completa e mais precipitação atinge o solo.

A explicação para esse fenômeno é a de que a cobertura vegetal satura com o aumento da precipitação e a capacidade de retenção é gradativamente reduzida, durante o evento, permitindo que o gotejamento seja maior.

5.2.3.1.2 intensidade da precipitação:

Dois eventos de precipitação foram selecionados contendo as mesmas lâminas d'água totais, ocorrendo num intervalo curto de tempo e precipitações antecedentes equivalentes.

Portanto, optou-se pelos eventos dos dias 04/fev e 07/fev, com pluviometrias totais de 24,7 e 25,6 mm, respectivamente, porém com intensidades máximas de 3,6 e 17,05 mm.15min⁻¹ (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 – Valores comparativos de precipitação interna em eventos com diferentes intensidades máximas em 15 min.

	I1 = 3,6 mm.15min⁻¹		I2 = 17,1 mm.15min⁻¹	
	Pt1 = 24,7 mm		Pt2 = 25,6 mm	
Precipitação interna	Calhas	Pluviômetros	Calhas	Pluviômetros
Média + desvio (mm)	20,5 ± 0,6	19,8 ± 0,6	23,0 ± 0,9	23,3 ± 3,1
Percentual (Pi/Pt)	83,1%	80,1%	89,8%	91,0%

Pode-se inferir que em precipitações com diferentes intensidades máximas, sendo os outros fatores da precipitação equivalentes, as de maior intensidade tendem a ter maiores valores percentuais de precipitação interna. Isso pode estar ocorrendo principalmente pois as gotas das precipitações com intensidades mais elevadas têm sua energia cinética também elevada, uma vez que seus pingos têm maior volume. Com isso, as folhas de eucalipto não têm resistência contra as gotas mais pesadas de chuva, aumentando a precipitação interna na planta (Zhou *et al.*, 2002).

Outra situação que pode estar ocorrendo é que a saturação das folhas de eucalipto ocorre mais rapidamente em precipitações com intensidades maiores. Supõe-se que, não havendo tempo para que a água escorra em direção ao tronco nem seja absorvida pelos estômatos das folhas, ela não fica retida nas folhas e goteja no solo.

5.2.3.1.3 precipitação antecedente:

Para a comparação dos valores de precipitação interna devido a eventos antecedentes distintos foram selecionados os dias 18 e 24/novembro, com precipitações totais de 21,9 e 26,1 mm, respectivamente. O evento do dia 18/novembro foi posterior a um evento no dia 07 (intervalo de 11 dias), enquanto que o evento do dia 24/novembro sucedeu um evento ocorrido no dia anterior (intervalo de 1 dia), com precipitação total de aproximadamente 15 mm. Os valores referentes a essa comparação são apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Valores de precipitação interna referentes a dois eventos de precipitação com antecedentes distintos.

Precipitação antecedente (dias)	Pt1 = 21,9 mm		Pt2 = 26,1 mm	
	11		1	
Precipitação interna	Calhas	Pluviômetros	Calhas	Pluviômetros
Média + desvio (mm)	18,6 ± 0,8	15,7 ± 1,2	23,1 ± 0,7	24,4 ± 2,5
Percentual (Pi/Pt)	85,1%	71,8%	88,6%	93,7%

Essa comparação mostra que quanto mais isolado o evento de precipitação, menor será o valor percentual da precipitação interna. Isso pode acontecer pois a cobertura vegetal ainda está com sua capacidade de retenção parcialmente preenchida e as folhas não impedem as gotas de chuva de passar pela cobertura foliar.

5.2.3.1.4 estação do ano:

Na análise dos eventos de precipitação em estações do ano distintas, foram selecionados dois eventos de precipitação: um ocorrido ao final do período chuvoso e outro ao final do período seco, respectivamente nos dias 19/abril e 22/outubro. Esses eventos de precipitação resultaram em lâminas d'água de 34,1 e 34,2 mm, nessa ordem, enquanto que as intensidades máximas foram de 6,0 e 7,9 mm.15min⁻¹, durações de aproximadamente 9 horas para os dois eventos e que sucederam outros em 11 e 8 dias, respectivamente. Os valores de precipitação total e interna, referentes aos eventos, podem ser melhor comparados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 – Valores de precipitação interna referentes a dois eventos de precipitação ocorridos em estações do ano distintas.

Precipitação interna	Pt1 = 34,1 mm		Pt2 = 34,2 mm	
	Período chuvoso		Período seco	
	Calhas	Pluviômetros	Calhas	Pluviômetros
Média + desvio (mm)	30,0 ± 2,1	28,3 ± 5,3	32,0 ± 1,7	31,8 ± 1,0
Percentual (Pi/Pt)	87,9%	83,0%	93,6%	93,2%

A análise dos dados indica que ao final do período chuvoso a plantaço de eucalipto intercepta mais água da chuva que ao final do período seco. Isso se deve, principalmente, ao

Índice de Área Foliar (IAF) da plantação que está no seu máximo no fim do período em que as árvores tiveram água suficiente para se desenvolver (Soares e Almeida, 2001). Com a contínua diminuição da oferta de água, o eucalipto perde parte de suas folhas e consequentemente o IAF é reduzido.

5.2.3.2 Escoamento fustal

A análise dos dados de escoamento fustal permitiu avaliar o efeito da precipitação nos valores coletados. Verificou-se que o escoamento fustal é controlado, principalmente, por dois fatores: (1) lâmina d'água total da precipitação e (2) estação do ano.

5.2.3.2.1 lâmina d'água:

Na análise da influência da lâmina d'água no percentual de escoamento fustal gerado, foram avaliados dois eventos de precipitação ocorridos nos dias 29/janeiro e 07/fevereiro, com precipitações de 9,30 e 25,60 mm, respectivamente. Os valores coletados nesses dois eventos foram transformados em milímetros de lâmina d'água, tomando-se como base a área de cada muda, e encontram-se na Tabela 5.11, onde pode-se reparar também como os valores do escoamento fustal variam em torno de sua média.

Tabela 5.11 – Valores de escoamento fustal (mm) referentes a dois eventos com lâminas d'água distintas.

Mudas	Pt1 = 9,3 mm	Pt2 = 25,6 mm
1	0,02	0,34
2	0,08	0,63
3	0,07	0,50
4	0,05	0,47
5	0,07	0,50
6	0,07	0,59
7	0,06	1,04
8	0,06	0,55
9	0,09	0,66
10	0,04	0,43
Média	0,06 ± 0,02	0,57 ± 0,19
Ef/Pt	0,66%	2,22%

A análise dos dados indica que o escoamento fustal está diretamente relacionado com a quantidade precipitada no evento de chuva. Germer *et al.* (2010) concluíram que a lâmina d'água da precipitação era o fator mais importante na previsão do volume de água coletado pelos troncos das plantas.

5.2.3.2.2 estação do ano:

A análise dos valores do escoamento fustal de dois eventos de precipitação em estações do ano distintas foi realizada com os volumes de água da chuva coletados de cada tronco. O primeiro evento ocorreu no dia 21/março, que na região do estudo é identificado como final do período chuvoso. O segundo evento ocorreu no dia 22/outubro, representando o início do período chuvoso. Os dois eventos selecionados têm pluviometria (33,8 e 34,2 mm, respectivamente), e intensidade de precipitação (6,5 e 7,9 mm.15min⁻¹) semelhantes (Tabela 5.12).

Tabela 5.12 – Valores de escoamento fustal (litros) referentes a dois eventos ocorridos em estações do ano distintas.

Mudas	Período chuvoso	Período seco
	Pt1 = 33,8 mm	Pt2 = 34,2 mm
1	8,26	8,61
2	6,79	6,40
3	10,47	6,96
4	13,18	9,10
5	10,75	9,30
6	6,40	6,77
7	7,20	5,62
8	13,50	9,23
9	10,96	7,47
10	12,34	9,13
Média (litros)	10,0 ± 2,66	7,86 ± 1,37

Uma das inferências que se pode realizar à essa comparação é de que a redução do IAF determina a diminuição do volume coletado nas bases dos troncos dentro da plantação (Shi *et al.*, 2012). Essa redução se dá devido à escassez de água durante boa parte do período

de estiagem, limitante ao desenvolvimento das mudas e forçando-as a perder parte de sua folhagem.

5.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial na plantação de eucalipto estudada, devido a condições do solo, da plantação, do regime de chuvas e da instalação das parcelas experimentais, constituiu em uma pequena percentagem da precipitação total. Porém, esse valor não deve ser desprezado no cálculo do balanço hídrico, principalmente porque, associada à erosão do solo, essa componente tem impactos ambientais considerados agressivos e irreversíveis, com grandes quantidades de solo sendo carregado em eventos extremos devido à exposição do solo (Lima, 1993).

Foram selecionados os eventos com escoamento superficial superior a 0,1 mm, pois para valores abaixo desse limite, o volume coletado era representativo do respingo das gotas de chuva no solo e conseqüentemente na calha (Tabela 5.13).

Tabela 5.13 – Eventos de precipitação e respectivo escoamento superficial.

	14/01/2013	07/02/2013	17/02/2013	12/03/2013	30/05/2013	18/09/2013	22/10/2013	TOTAL
PREC. TOTAL (mm)	195,4	25,6	57,3	32,1	159,0	33,0	34,2	536,5
CALHA 1 (litros)	>> 310,0	80,0	71,5	13,0	154,0	9,6	42,0	370,1
CALHA 2 (litros)	>> 310,0	48,7	47,4	18,0	174,0	15,5	90,0	393,6
CALHA 3 (litros)	>> 310,0	110,0	62,0	33,0	234,0	32,3	116,0	587,3
ESC. SUPERFICIAL MÉDIO (mm)	3,1 n/a	0,8 ± 0,31	0,6 ± 0,12	0,2 ± 0,10	1,9 ± 0,42	0,2 ± 0,12	0,8 ± 0,38	7,6

Dos 40 eventos de precipitação identificados no ano de 2013, apenas 7 deles ocasionaram escoamento superficial e puderam ser coletados corretamente. O evento do dia 02/outubro apresentou problema e foi retirado dos cálculos de escoamento superficial. Com precipitação total de 85,8 mm e intensidade máxima de 21,4 mm.15min⁻¹, esse evento também teve a velocidade do vento considerada extrema, atingindo 15,4 m/s (55,4 km/h).

Com isso, as tampas das calhas saíram do lugar e a precipitação ocorreu diretamente nas calhas, alterando completamente os valores.

O evento de precipitação do dia 14/01 apresentou escoamento superficial acima da capacidade dos reservatórios. Após esse evento, foi instalado um segundo reservatório conectado ao primeiro, dobrando assim a capacidade de armazenamento. No caso desse evento, adotou-se como valor de escoamento superficial o volume máximo que 1 reservatório comportaria.

O valor relativamente baixo de escoamento superficial de 1,4% de toda a precipitação que gerou escoamento maior que 0,1 mm está abaixo dos resultados encontrados na modelagem do balanço hídrico realizada por Soares e Almeida (2001), que encontraram o valor de 2,2%. Além disso, se for contabilizada a precipitação total ocorrida no período do experimento, incluindo os eventos que não geraram escoamento superficial, essa parcela do balanço hídrico cai ainda mais, passando a representar menos de 1,0% da precipitação total. Lima (1990) obteve experimentalmente o valor do escoamento superficial em 3,3% da Precipitação total no primeiro ano de investigação.

Esse valor abaixo do verificado na literatura (Soares e Almeida, 2001; Lima, 1990) pode ser explicado pela instalação das calhas, que no início do experimento não estavam exatamente niveladas com a superfície do solo, para permitir a entrada de água na calha (Figura 5.13a). Outro fator que pode ter provocado a alta retenção de água é o fato do solo ser muito arenoso (86%) e não estar compactado, devido à instalação das parcelas experimentais (Figura 5.13b).



Figura 5.13 – a) calha instalada acima do nível do solo; b) solo descompactado devido à instalação das parcelas experimentais.

Apesar de as calhas terem sido instaladas acima do nível do solo, após o evento extremo do dia 14/janeiro (195,4 mm), houve uma quantidade considerada muito elevada de escoamento superficial e, por conseguinte, erosão. Essa erosão causou a deposição de solo na calha e em suas proximidades, nivelando a mesma com o solo (Figura 5.14).



Figura 5.14 – Solo nivelado com a calha após evento extremo de 14/janeiro.

Destaca-se que a maior parte do terreno em que a plantação de eucalipto estudada está localizada é plana e o experimento foi instalado numa porção mais acidentada, com declividade de 10%, para proporcionar mais escoamento superficial e poder se fazer um estudo para situações extremas.

5.4 EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Os valores de evapotranspiração, calculados com dados das estações meteorológicas Santa Maria e Monte Alegre foram estimados pelo método de Penman e interpolados de acordo com o método IDW, com expoente 2, considerando a distância das duas estações em relação ao experimento. De acordo com o especificado pela FAO (1998), foi utilizado o K_c de 1,0 para a plantação de eucalipto.

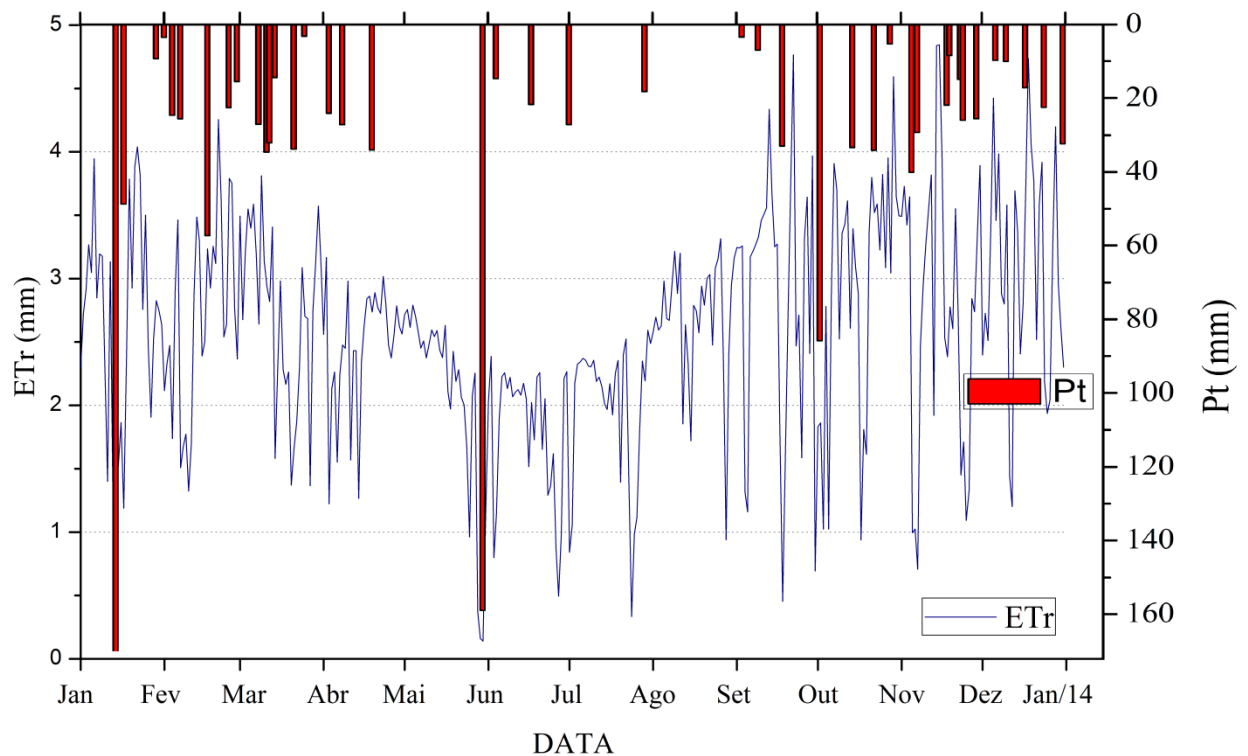


Figura 5.15 – Evapotranspiração real no ano de 2013, calculada pelo método de Penman para a plantação de eucalipto.

Pode-se perceber pelo gráfico na Figura 5.15, que durante o período de estiagem (abril a setembro) a ETr tem uma discreta redução, causada principalmente pela menor radiação solar e menor duração dos dias. Essa redução no uso da água pode ser explicado também como consequência da queda do IAF (Almeida et al, 2007; Watson *et al.*, 1999). Além disso, no período chuvoso (janeiro-março e outubro-dezembro) pode-se perceber uma grande amplitude de variação da ETr, principalmente causada pelos eventos de precipitação que diminuem a intensidade da radiação solar.

Barreto (2006) afirmou que a evapotranspiração é um dos fenômenos hidrológicos de maior impacto no balanço hídrico da bacia do Ribeirão da Onça. Em 2013, a ETr acumulada resultou num valor de 938,0 mm e a precipitação total foi de 1.338,2 mm. A razão ETr/Pt encontrada neste trabalho foi de 0,70. Barreto *et al.* (2009) estimaram esse coeficiente para a bacia do Ribeirão da Onça, em que 41% de toda a sua área era plantada com eucalipto, resultando num valor de ETr/Pt igual a 0,64.

5.5 BALANÇO HÍDRICO

Uma vez quantificadas todas as componentes do balanço hídrico, seus valores acumulados no ano de 2013 podem ser visualizados na Figura 5.16. A compilação do gráfico contido na Figura 5.16 consistiu em acumular todos os eventos de precipitação e as demais componentes medidas no experimento, sendo a única positiva a Precipitação total, pois é a única entrada de água que o sistema possui. As demais componentes do balanço hídrico (Interceptação, Infiltração, Escoamento superficial e Evapotranspiração) foram acumuladas negativamente e colocadas na parte de baixo do gráfico, representando a saída da água do sistema.

Os valores de infiltração foram obtidos como a diferença entre a água disponível na superfície do solo no evento (Precipitação efetiva) e o Escoamento superficial. Destaca-se aqui a baixa importância que o escoamento tem no balanço hídrico dessa região, onde o solo é arenoso e a topografia é, em sua maior parte, plana.

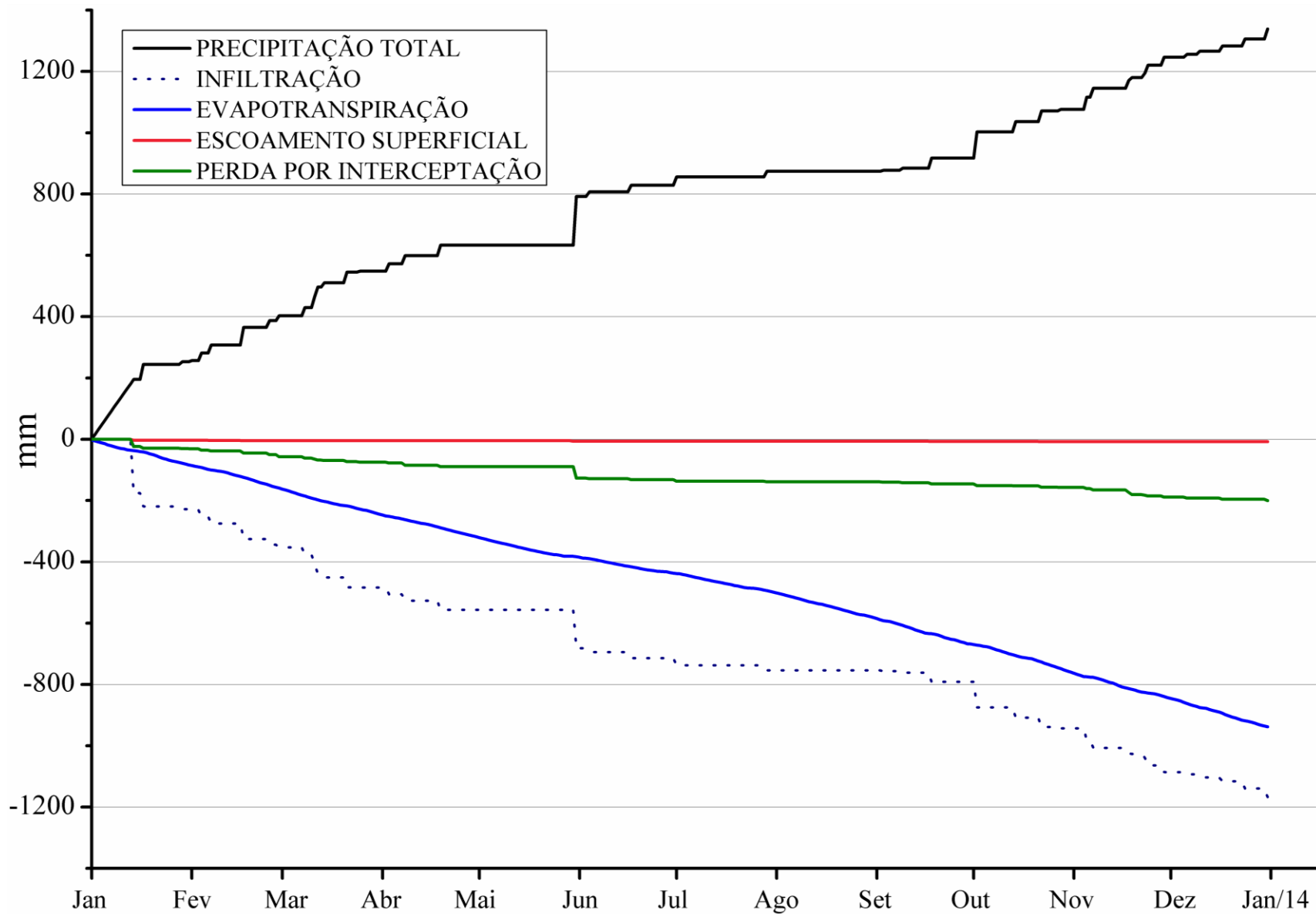


Figura 5.16 – Balanço Hídrico acumulado no ano de 2013.

Uma consideração que deve ser feita a respeito do balanço hídrico acumulado apresentado na Figura 5.16 é que o experimento não possui medidor de umidade do solo. Com isso, pode ser que existam erros no cálculo da Evapotranspiração, uma vez que entre os meses de abril e maio houve um período seco de 40 dias e no mês de agosto não choveu. Pode-se inferir que a água disponível no solo para o evento de transpiração do eucalipto, nessas épocas, foi muito próximo de zero.

Como resultado do balanço hídrico, a infiltração correspondeu a 87,1% da precipitação total, valor que corresponde à Precipitação efetiva subtraída do Escoamento superficial. Esse valor não pode entrar no cálculo do balanço hídrico pois se estaria considerando que as raízes não absorvem água, nem que existe transpiração por parte delas.

A porção de água que infiltra e então escoar para camadas mais profundas do solo é chamada de Recarga direta, que neste caso, pode se ter uma ordem de grandeza considerando como a diferença entre a infiltração e a evapotranspiração. Fazendo essa estimativa, o valor da Recarga direta na plantação de eucalipto estudada fica em torno de 200 mm, ou 15% da precipitação total.

Wendland *et al.* (2007) estimaram a Recarga direta na Bacia do Ribeirão da Onça (bacia esta que a plantação de eucalipto está inserida) pelo método do WTF (*Water Table Fluctuation*) e encontraram valores em torno de 22 a 29% da precipitação total. Esse valor foi calculado para a bacia inteira, a qual também apresenta as culturas de citros, cana-de-açúcar, pastagem, além do eucalipto.

Lucas (2012), por outro lado, encontrou que a menor estimativa média de recarga direta na Bacia do Ribeirão da Onça, comparada às outras culturas, foi na região em que o eucalipto estava plantado. Esse valor foi de 135 mm.ano^{-1} , o qual corresponde a aproximadamente 10% da precipitação total média na bacia, para aquele ano.

Por esses motivos, uma vez que a evapotranspiração é maior nas culturas de eucalipto que nas outras culturas (citros, cana-de-açúcar, pasto e mata ciliar) (Allen *et al.*, 1998), confirma-se o valor da Recarga direta em torno de 15% da precipitação total em plantações de *E. grandis*, na região de São Carlos – SP.

5.6 EROSÃO DO SOLO

Os valores de erosão do solo coletados em três parcelas experimentais com 100 m² cada estão apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Erosão do solo nos eventos que ocasionaram escoamento superficial.

	14/jan	07/fev	17/fev	12/mar	31/mai	18/set	02/out	22/out	TOTAL
PRECIPITAÇÃO TOTAL	195,4	25,6	57,3	32,1	159,0	33,0	85,8	34,2	622,4
ESC. SUPERFICIAL (mm)	3,1	0,8	0,6	0,2	1,9	0,2	6,2	0,8	13,8
EROSÃO - FINO (Mg/ha)	0,0044 ± 0,0018	0,0024 ± 0,0010	0,0018 ± 0,0006	0,0003 ± 0,0002	0,0015 ± 0,0005	0,0004 ± 0,0002	0,0165 ± 0,0020	0,0021 ± 0,0018	0,02937
EROSÃO - GROSSO (Mg/ha)	0,8298 ± 0,3961	0,2001 ± 0,0604	0,1463 ± 0,0103	0,0434 ± 0,0028	0,3517 ± 0,0453	0,0578 ± 0,0337	0,3225 ± 0,1571	0,2257 ± 0,1423	2,1772
SOMA (Mg/ha)	0,8341	0,2025	0,1480	0,0437	0,3532	0,0582	0,3389	0,2278	2,2065

O solo arenoso característico da região impede que a precipitação gere muito escoamento e, conseqüentemente, erosão. Apesar disso, dos 8 eventos de precipitação que geraram erosão do solo, pode-se ressaltar o do dia 14/janeiro, que teve escoamento maior que a capacidade de armazenamento do reservatório, mas o sedimento coletado pela calha foi correspondente a 37,6% do total. Os eventos extremos dos dias 14/janeiro e 31/maio, somados, resultam em 53,8% do total de sedimentos erodidos no ano de 2013.

As intensidades máximas dos dois eventos de precipitação extremos, citados anteriormente, foram de 19,8 e 12,9 mm.15min⁻¹, respectivamente para os dias 14/janeiro e 31/maio. Esse é mais um motivo de os eventos terem proporcionado mais da metade (53,8%) do total de sedimentos no ano.

O valor da erosão de 2,21 Mg.ha⁻¹.ano é considerado dentro do esperado (Lima, 1990); Cardoso *et al.*, 2004), principalmente em se tratando de um experimento recém instalado onde houve o revolvimento do solo para a instalação das parcelas experimentais.

Na plantação de eucalipto estudada foi constatado que a principal fonte de erosão vinha da estrada que passava pela plantação no sentido da declividade do terreno. Tanto assim que depois de pouco mais de 2 anos de plantada, a região visivelmente apresentava um depósito de sedimento na base do terreno, o que pode ser melhor visualizado na imagem de satélite (Figura 5.17).

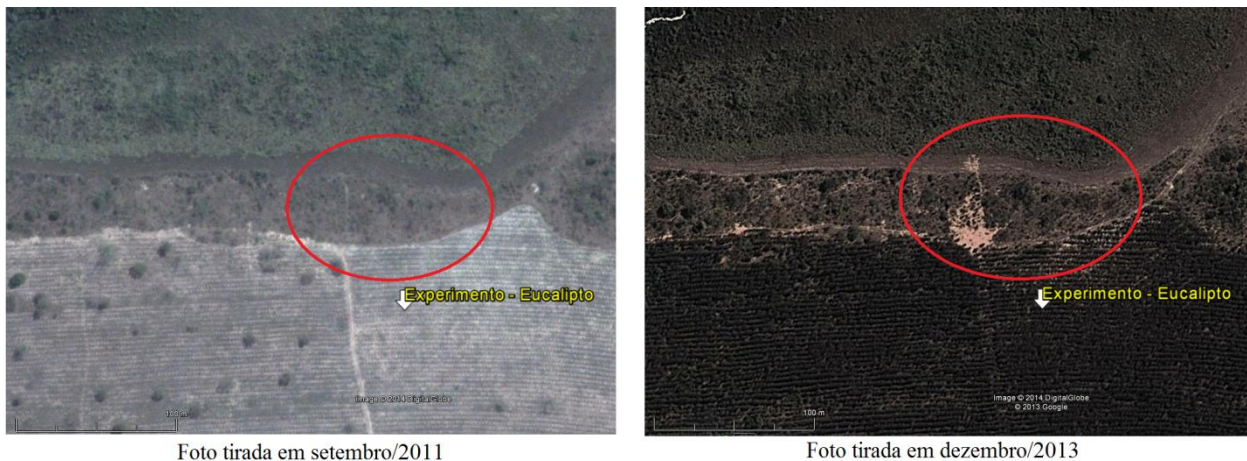


Foto tirada em setembro/2011

Foto tirada em dezembro/2013

Figura 5.17 – Foto de satélite da plantação após um evento de precipitação com muito escoamento superficial (dezembro/2013) em comparação com imagem anterior (setembro/2011). Fonte: Google Earth, acessado em 05/02/2014.

A principal causa da erosão visualizada na foto de satélite tirada no mês dezembro foi o evento de precipitação extremo do dia 14/janeiro do mesmo ano, com 195,4 mm de lâmina d'água (Figura 5.18).



Figura 5.18 – Estrada na plantação de eucalipto após o evento de precipitação do dia 14/janeiro.

No dia seguinte ao evento, foi-se a campo para verificar os danos causados pela chuva. Pode-se identificar que ao fim da estrada, na base do terreno, os sedimentos carreados pelo

grande escoamento superficial (maior que 3,1 mm) causaram danos irreparáveis, pela extensão da erosão.

Outro fenômeno que pôde ser visto sempre após um evento com grande escoamento superficial foi que o lugar onde as rodas passavam na estrada se tornava o caminho preferencial do escoamento e erosão. Esses lugares formaram buracos que dificultavam a passagem dos carros, inclusive para realizar as coletas cotidianas (Figura 5.19 e Figura 5.20).



Figura 5.19 – Buraco na estrada causado pela enxurrada.



Figura 5.20 – Buraco formado na estrada, dentro da plantação de eucalipto: comparativo.

Lima (1993) relata que as estradas e carregadores representam as principais fontes de erosão do solo numa plantação de eucalipto.

5.7 PARÂMETROS DO MODELO RUTTER

No início do trabalho experimental, não se tinha como objetivo a utilização do modelo Rutter para validação dos dados coletados. Porém, com o avanço da pesquisa na literatura, observou-se que esse modelo resulta em valores próximos aos da realidade (Neto *et al.*, 2012; Valente *et al.*, 1997; Rutter *et al.*, 1971). Uma vez que o modelo necessita dos valores de precipitação interna e escoamento fustal com intervalo de 1 hora, a modelagem matemática ficou impossibilitada.

No entanto, os coeficientes de entrada do modelo específicos para a plantação de *E. grandis* estudada foram obtidos segundo metodologia proposta por Rutter *et al.* (1971).

Após selecionar os eventos de precipitação total superiores a 1,5 mm e inferiores a 15 mm, foram obtidos os valores de S_c e S_t com os dados de precipitação interna média

coletados pelas calhas e pluviômetros (azul) e escoamento fustal (verde). O gráfico da Figura 5.21 foi montado com os dados coletados para melhor visualização e obtenção dos valores de S_c e S_t .

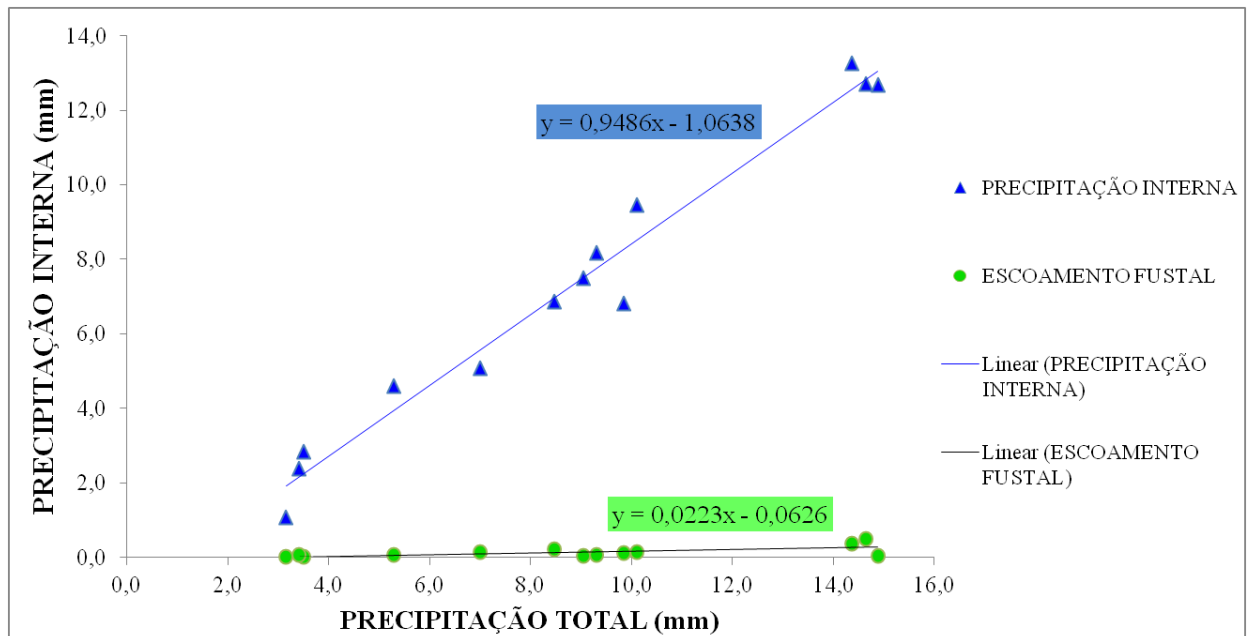


Figura 5.21 – Gráfico de $P_t \times P_i$ para obtenção do S_c e do S_t .

Os valores de S_c e S_t foram então obtidos pelo ponto de interseção da regressão linear $y = a.x + b$ com o eixo x ($y = 0$), resultando os valores:

- $S_c = 1,12$ mm
- $S_t = 1,81$ mm

Para a obtenção dos valores de p e p_t , foi necessário primeiro se obter o valor da proporção da área de cobertura vegetal pela área total (β). O valor de β foi obtido pela média da área das árvores que tinham calhas de escoamento fustal instaladas nos seus troncos, dividida pela “área de influência”, delimitada pelo espaçamento das árvores (3,0 x 3,5 m). O valor de p é definido por $p = 1 - \beta$.

- $\beta = 0,9803$
- $p = 0,0197$

Por último, o valor obtido de p_t é igual à inclinação da reta obtida na regressão linear de tais dados.

- $p_t = 0,0223$

Os parâmetros do Modelo Rutter obtidos com os dados coletados experimentalmente nessa plantação de *E. grandis* são importantes para uma futura modelagem matemática da interceptação em outras plantações. Tais parâmetros poderão ser utilizados em pesquisas futuras de interceptação em que se objetiva a comparação de espécies, sazonalidade e região, onde não se dispõe desses valores em idades de 2 e 3 anos.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs quantificar experimentalmente a precipitação interna, o escoamento fustal, o escoamento superficial e a erosão do solo em uma plantação de *Eucalyptus grandis*, no período de 1 ano, entre as idades de 2 e 3 anos.

Os resultados permitiram o melhor conhecimento do balanço hídrico na plantação, durante o ano de 2013, bem como o comportamento da plantação com a escassez ou abundância de água durante este mesmo período.

Devido a fatores externos como precipitações extremas e ventos de alta velocidade danificando o experimento, não foi possível coletar todos os eventos de precipitação do ano. Com isso, o valor coletado pelos equipamentos não foi referente ao total precipitado no ano (1.338,2 mm), e sim ao somatório das precipitações, por evento (1090,0 mm).

Dessa forma, as Perdas por interceptação na plantação de *E. grandis* representaram 13,0% da Precipitação total (Pt) coletada, onde o Escoamento fustal (Ef) foi de 2,4% de Pt e a Precipitação interna (Pi) foi de 84,6% de Pt.

Os resultados obtidos para a precipitação interna permitem concluir que os dois métodos (calhas e pluviômetros) são aceitos na medida dessa componente, pois elas são estatisticamente iguais ou equivalentes. Apesar disso, pelo fato de as calhas terem maior área de captação, elas já coletam um valor médio. Por isso, o desvio padrão dos valores obtidos em cada evento para calhas foi, em sua maioria, menor do que para pluviômetros.

As características do evento de precipitação como lâmina d'água total, intensidade, precipitação antecedente e estação do ano em que ocorreu o evento, mostraram-se determinantes para o valor da precipitação interna. Esse valor analisado sob diferentes características da precipitação total foi importante para confirmar algumas teorias de relação mútua encontradas na literatura (Buttle e Farnsworth, 2012; Neto, *et al.* 2012; Shi *et al.*, 2012).

Da mesma forma, o escoamento fustal analisado em diferentes eventos de precipitação mostrou-se dependente da lâmina d'água total e da estação do ano em que esta ocorreu. O DAP e o descascamento da muda também influenciaram na quantidade de escoamento fustal em cada muda.

O valor do escoamento superficial coletado no experimento para o ano de 2013 foi abaixo do esperado e previsto na literatura. A instalação das parcelas experimentais pode ter sido o fator de maior impacto para esse baixo resultado (0,6% da Pt que gerou escoamento superficial de pelo menos 0,1 mm), mas não se pode descartar a granulometria do solo arenoso como sendo de alta infiltração e pouco escoamento.

Apesar disso, os resultados de erosão do solo foram coerentes com a literatura estudada (Youlton, 2013; Cardoso *et al.*, 2004; Lima, 1980), principalmente por se tratar do primeiro ano de coleta de dados e instalação das parcelas experimentais. No segundo ano de pesquisa, espera-se que esse valor seja ainda menor, uma vez que o solo estará compactado e o desprendimento de partículas diminuirá quando do escoamento superficial.

Os dados obtidos durante o ano de 2013 na plantação de eucalipto estudada mostraram que 87% da Precipitação total atinge o solo na forma de Precipitação efetiva. O restante é interceptado pelo dossel. Como a evapotranspiração é relativamente elevada, o volume de água que potencialmente atingiria a zona saturada do solo, na forma de Recarga direta, é reduzido. Apenas nas estradas dentro da plantação, onde o solo se mostra exposto, foi que a erosão do solo impediu até mesmo a passagem dos carros.

Os possíveis impactos negativos das plantações de eucalipto no ciclo hidrológico devem ser melhor avaliados a partir do conhecimento dos processos físicos e evolução do uso da água pela plantação ao longo do tempo. O manejo adequado da plantação no solo se faz necessário para que os impactos negativos sejam atenuados, ou mesmo suprimidos.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se estudar o balanço hídrico na zona saturada do solo, analisando os valores de recarga direta, infiltração e evapotranspiração, em comparação com outras culturas. Para tanto, é imprescindível a instalação de um medidor de umidade do solo para a obtenção de melhores resultados.

A interpolação dos valores de Precipitação total não são consistentes para eventos isolados e chuvas convectivas, pois estas têm uma variação espacial relativamente elevada. A

instalação de uma estação meteorológica no local da instalação experimental, acima da copa das árvores, se faz necessário para suprimir esta variação na entrada dos dados.

Os resultados de Escoamento superficial obtidos foram relativamente baixos pois a instalação das parcelas experimentais não foi realizada de maneira adequada, atentando-se para o nivelamento da calha com o solo. Recomenda-se a instalação da calha de aço galvanizado até mesmo abaixo do nível do solo, cerca de 2 cm, afim de não se tornar um empecilho na entrada da água.

O dimensionamento do experimento deve ser realizado antecipadamente com valores extremos de eventos ocorridos. Os resultados obtidos para o escoamento superficial e a erosão do solo foram fortemente influenciados por apenas 2 eventos de precipitação ocorridos no ano do estudo, com 65% e 54% do total, respectivamente.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. ano base 2006. **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Brasília, 2007.**

_____. ano base 2012. **Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Brasília, 2013.**

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO, Rome**, v. 300, p. 6541, 1998.

ALMEIDA, A. C. et al. Growth and water balance of Eucalyptus grandis hybrid plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, v. 251, n. 1-2, p. 10-21, 2007.

ALMEIDA, A. C. D.; 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**, v. 27, p. 159-170, 2003.

ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; LEITE, F. P. Modelagem do Balanço Hídrico em microbacia cultivada com plantio comercial de Eucalyptus Grandis X Urophylla no leste de Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 547-556, 2013.

BALDOCCHI, D. D.; MEYERS, T. P. Trace gas exchange above the floor of a deciduous forest 1. Evaporation and CO₂ efflux. **Journal of Geophysical Research**, v. 96, n. D4, p. 7271-7285, 1991.

BALIEIRO, F. D. C. et al. Evaluation of the throughfall and stemflow nutrient contents in mixed and pure plantations of Acacia mangium, Pseudosamanea guachapele and Eucalyptus grandis. **Revista Árvore**, v. 31, p. 339-346, 2007.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do sistema aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 2006. 271 p. (Mestrado). Universidade de São Paulo

BONAN, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **science**, v. 320, n. 5882, p. 1444-1449, 2008.

BULCOCK, H. H.; JEWITT, G. P. W. Field data collection and analysis of canopy and litter interception in commercial forest plantations in the KwaZulu-Natal Midlands, South Africa. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, n. 10, p. 3717-3728, 2012.

BUTTLE, J. M.; FARNSWORTH, A. G. Measurement and modeling of canopy water partitioning in a reforested landscape: The Ganaraska Forest, southern Ontario, Canada. **Journal of Hydrology**, v. 466-467, p. 103-114, 2012.

CABRERA, M. C. M. **Quantificação da alteração no balanço hídrico devido a cavas de mineração utilizando lisímetros e tanques de evaporação**. 2011. 189 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos.

CALDATO, S. L.; VALDIR SCHUMACHER, M. O Uso de Água Pelas Plantações Florestais – Uma Revisão. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, 2013.

CALDER, I. R.; HALL, R. L.; ADLARD, P. G. Growth and water use of forest plantations. Proceedings of the international symposium, Bangalore, February 1991. **Growth and water use of forest plantations. Proceedings of the international symposium, Bangalore, February 1991**, 1992.

CALDER, I. R.; HALL, R. L.; PRASANNA, K. T. Hydrological impact of Eucalyptus plantation in India. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 2-4, p. 635-648, 1993.

CALDER, I. R. et al. Eucalyptus water use greater than rainfall input - A possible explanation from southern India. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 1, n. 2, p. 249-256, 1997.

CARDOSO, D. P. et al. Erosão hídrica avaliada pela alteração na superfície do solo em sistemas florestais. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 25-37, 2004.

CHANIE, T. et al. Eco-hydrological impacts of Eucalyptus in the semi humid Ethiopian Highlands: The Lake Tana Plain. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v. 61, n. 1, p. 21-29, 2013.

COELHO, R. M. P.; NOVAES, W. **A Reciclagem e o Meio Ambiente no Brasil**. Belo Horizonte, Brasil: 2009. 362 p

COOK, P. G. et al. Water balance of a tropical woodland ecosystem, Northern Australia: A combination of micro-meteorological, soil physical and groundwater chemical approaches. **Journal of Hydrology**, v. 210, n. 1-4, p. 161-177, 1998.

DE PAULA LIMA, W. Escoamento Superficial, Perdas de Solo e de Nutrientes em Microparcelas Reflorestadas com Eucalipto em Solos Arenosos no Município de São Simão, SP. **Scientia Forestalis**, v. 38, p. 5-16, Abr. 1988 1988.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 35, p. 55-62, 2005.

FUJIEDA, M. et al. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 196, n. 1-4, p. 26-46, 1997.

GASH, J. H. C.; MORTON, A. J. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. **Journal of Hydrology**, v. 38, n. 1-2, p. 49-58, 1978.

GERMER, S.; WERTHER, L.; ELSENBEEER, H. Have we underestimated stemflow? Lessons from an open tropical rainforest. **Journal of Hydrology**, v. 395, n. 3-4, p. 169-179, 2010.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of hydrology**, v. 228, n. 1, p. 113-129, 2000.

HASHINO, M.; YAO, H.; YOSHIDA, H. Studies and evaluations on interception processes during rainfall based on a tank model. **Journal of Hydrology**, v. 255, n. 1-4, p. 1-11, 2002.

HATTON, T. et al. Does leaf water efficiency vary among eucalypts in water-limited environments? **Tree Physiology**, v. 18, n. 8-9, p. 529-536, 1998.

HEALY, R. W.; SCANLON, B. R. **Estimating groundwater recharge**. Cambridge University Press Cambridge, 2010.

HELVEY, J.; PATRIC, J. Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern United States. **Water Resources Research**, v. 1, n. 2, p. 193-206, 1965.

HUBBARD, R. M. et al. Effects of irrigation on water use and water use efficiency in two fast growing Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1714-1721, 2010.

HUBER, A.; TRECAMAN, R. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de Pinus radiata en Chile. **Bosque (Valdivia)**, v. 25, n. 3, p. 33-43, 2004.

HUDSON, N. Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. **Boletín de Suelos de la FAO-68. Silsoe Associates Amptill, Bedford Reino Unido FAO-Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 1997.**

JAYAWARDENE, H.; SONNADARA, D.; JAYEWARDENE, D. Spatial interpolation of weekly rainfall depth in the dry zone of Sri Lanka. **Climate Research**, v. 29, n. 3, p. 223, 2005.

KALLARACKAL, J.; SOMEN, C. K. Water use by Eucalyptus tereticornis stands of differing density in southern India. **Tree Physiology**, v. 17, n. 3, p. 195-203, 1997.

KLAASSEN, W.; LANKREIJER, H. J. M.; VEEN, A. W. L. Rainfall interception near a forest edge. **Journal of Hydrology**, v. 185, n. 1-4, p. 349-361, 1996.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA: 2006. 531

LIMA, W. P. Interceptação da Chuva em Povoamentos de Eucalipto e de Pinheiro. **Scientia Forestalis**, v. 13, p. 75-90, 1976.

_____. Overland flow and soil and nutrient losses from Eucalyptus plantations. **IPEF International**, v. 1, p. 35-44, 1990.

_____. **Impacto ambiental do eucalipto**. Edusp, 1993. ISBN 9788531400810.

LIVESLEY, S. J.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. Rainfall interception and stem flow by eucalypt street trees - The impacts of canopy density and bark type. **Urban Forestry and Urban Greening**, 2013.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 335, n. 1-2, p. 37-54, 2007.

LLOYD, C. D. Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain. **Journal of Hydrology**, v. 308, n. 1-4, p. 128-150, 2005.

LLOYD, C. R. et al. The measurement and modelling of rainfall interception by Amazonian rain forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 43, n. 3-4, p. 277-294, 1988.

LUCAS, M. C. **Influência da precipitação e do uso do solo sobre a taxa de recarga em zona de afloramento do sistema Aquífero Guarani**. 2012. 154 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MCCUEN, R. H. **Hydrologic analysis and design**. Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ, 1989. ISBN 0134479548.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and conservation**. John Wiley & Sons, 2009. ISBN 140514467X.

NETO, A. J. S. et al. Simulation of rainfall interception of canopy and litter in eucalyptus plantation in tropical climate. **Forest Science**, v. 58, n. 1, p. 54-60, 2012.

NIZINSKI, J. J.; GALAT, G.; GALAT-LUONG, A. Water balance and sustainability of eucalyptus plantations in the Kouilou basin (Congo-Brazzaville). **Russian Journal of Ecology**, v. 42, n. 4, p. 305-314, 2011.

PEDERSEN, L. et al. Quantification of the spatial variability of rainfall based on a dense network of rain gauges. **Atmospheric Research**, v. 95, n. 4, p. 441-454, 2010.

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.

ROBERTS, J.; ROSIER, P. T. W. Physiological studies in young Eucalyptus stands in southern India and derived estimates of forest transpiration. **Agricultural Water Management**, v. 24, n. 2, p. 103-118, 1993.

ROBERTS, S.; VERTESSY, R.; GRAYSON, R. Transpiration from Eucalyptus sieberi (L. Johnson) forests of different age. **Forest Ecology and Management**, v. 143, n. 1-3, p. 153-161, 2001.

ROYLE, A.; CLAUSEN, F.; FREDERIKSEN, P. Practical universal kriging and automatic contouring. **Geoprocessing**, v. 1, n. 11, p. 377-394, 1981.

RUTTER, A. J. et al. A predictive model of rainfall interception in forests, 1. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. **Agricultural Meteorology**, v. 9, n. 0, p. 367-384, // 1971.

RUTTER, A. J.; MORTON, A. J.; ROBINS, P. C. A Predictive Model of Rainfall Interception in Forests. II. Generalization of the Model and Comparison with Observations in Some Coniferous and Hardwood Stands. **Journal of Applied Ecology**, v. 12, n. 1, p. 367-380, 1975.

SALLES, C.; POESEN, J.; COVERS, G. Statistical and physical analysis of soil detachment by raindrop impact: Rain erosivity indices and threshold energy. **Water Resources Research**, v. 36, n. 9, p. 2721-2729, 2000.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. ISBN 9788588519015.

SCOTT, D. F.; LESCH, W. Streamflow responses to afforestation with *Eucalyptus grandis* and *Pinus patula* and to felling in the Mokobulaan experimental catchments, South Africa. **Journal of Hydrology**, v. 199, n. 3-4, p. 360-377, 1997.

SHI, Z. et al. Ecohydrological impacts of eucalypt plantations: A review. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 10, n. 3-4, p. 1419-1426, 2012.

SHINZATO, E. T. et al. Stemflow in different forest fragments of Ipanema National Forest in Iperó, Brazil. **Scientia Forestalis**, n. 92, p. 395-402, 2011.

SHRESTHA, R. P.; SCHMIDT-VOGT, D.; GNANAVELRAJAH, N. Relating plant diversity to biomass and soil erosion in a cultivated landscape of the eastern seaboard region of Thailand. **Applied Geography**, v. 30, n. 4, p. 606-617, 2010.

SJOSTROM, E. Wood chemistry: fundamentals and applications. **Academy Press Inc., San Diego**, 1993.

SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing *Eucalyptus* plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**, v. 253, n. 1-4, p. 130-147, 2001.

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. INTEGRATION OF A BASIN-SCALE WATER QUALITY MODEL WITH GIS1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 30, n. 3, p. 453-462, 1994.

THIESSEN, A. H. Precipitation averages for large areas. **Monthly weather review**, v. 39, n. 7, p. 1082-1089, 1911.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. Porto Alegre: 2007.

UBARANA, V. Observations and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazonia. **Amazonian deforestation and climate**, v. 1, 1996.

VALENTE, F.; DAVID, J. S.; GASH, J. H. C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. **Journal of Hydrology**, v. 190, n. 1-2, p. 141-162, 1997.

VIEIRA, C. P.; PALMIER, L. R. Medida e Modelagem da Interceptação da Chuva em uma Área Florestada na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 3, p. 12, 2006.

WENDLAND, E.; BARRETO, C.; GOMES, L. H. Water balance in the Guarani Aquifer outcrop zone based on hydrogeologic monitoring. **Journal of Hydrology**, v. 342, n. 3-4, p. 261-269, 2007.

WHITEHEAD, D.; BEADLE, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: A review. **Forest Ecology and Management**, v. 193, n. 1-2, p. 113-140, 2004.

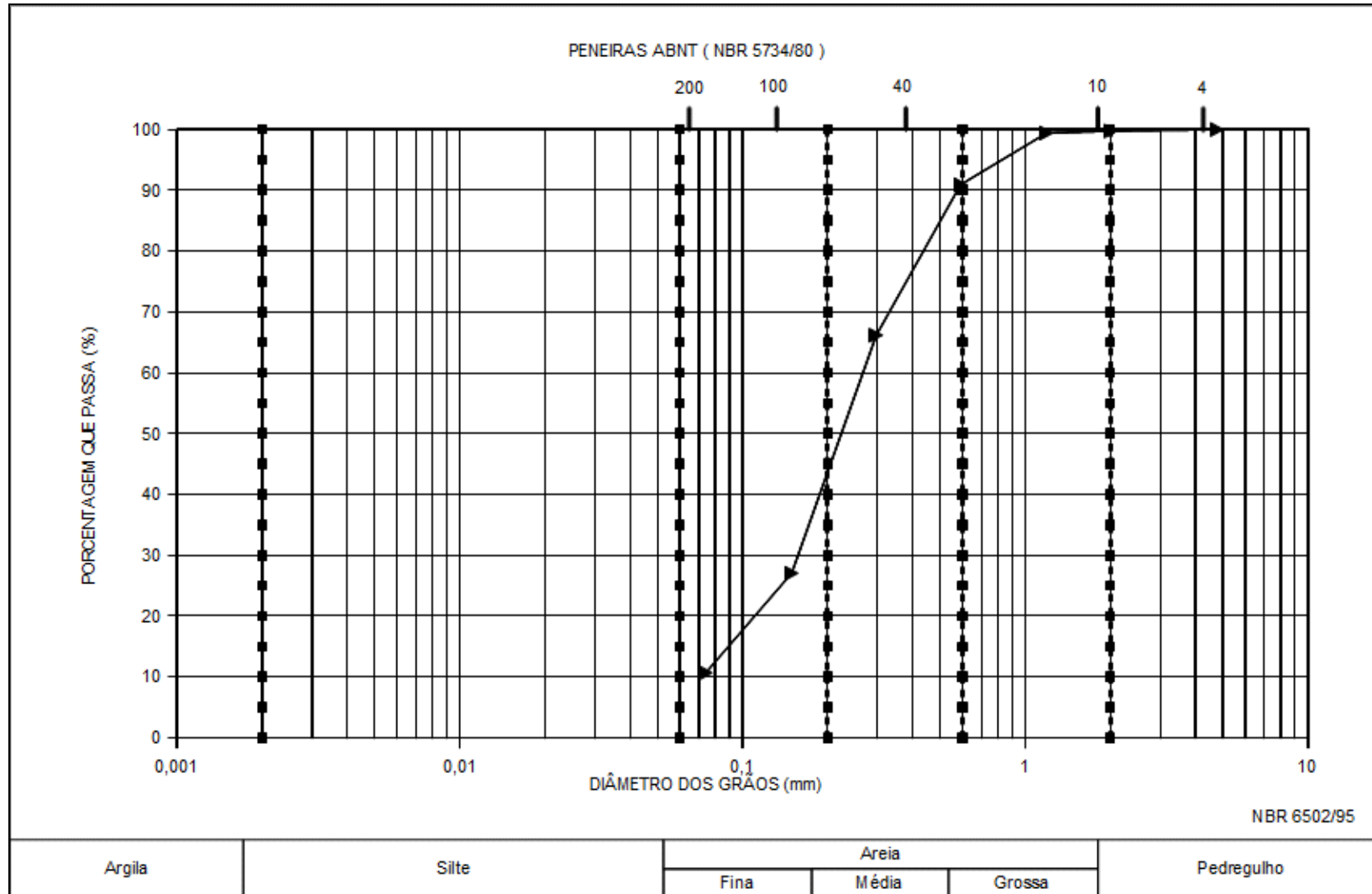
XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. D. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, v. 26, 2002.

YOON, S. S.; PHUONG, A. T.; BAE, D. H. Quantitative comparison of the spatial distribution of radar and gauge rainfall data. **Journal of Hydrometeorology**, v. 13, n. 6, p. 1939-1953, 2012.

YOULTON, C. P. **Quantificação experimental da alteração no balanço hídrico e erosão em um neossolo quartzarênico devido à substituição de pastagem por cana-de-açúcar**. 2013. 100 p. (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

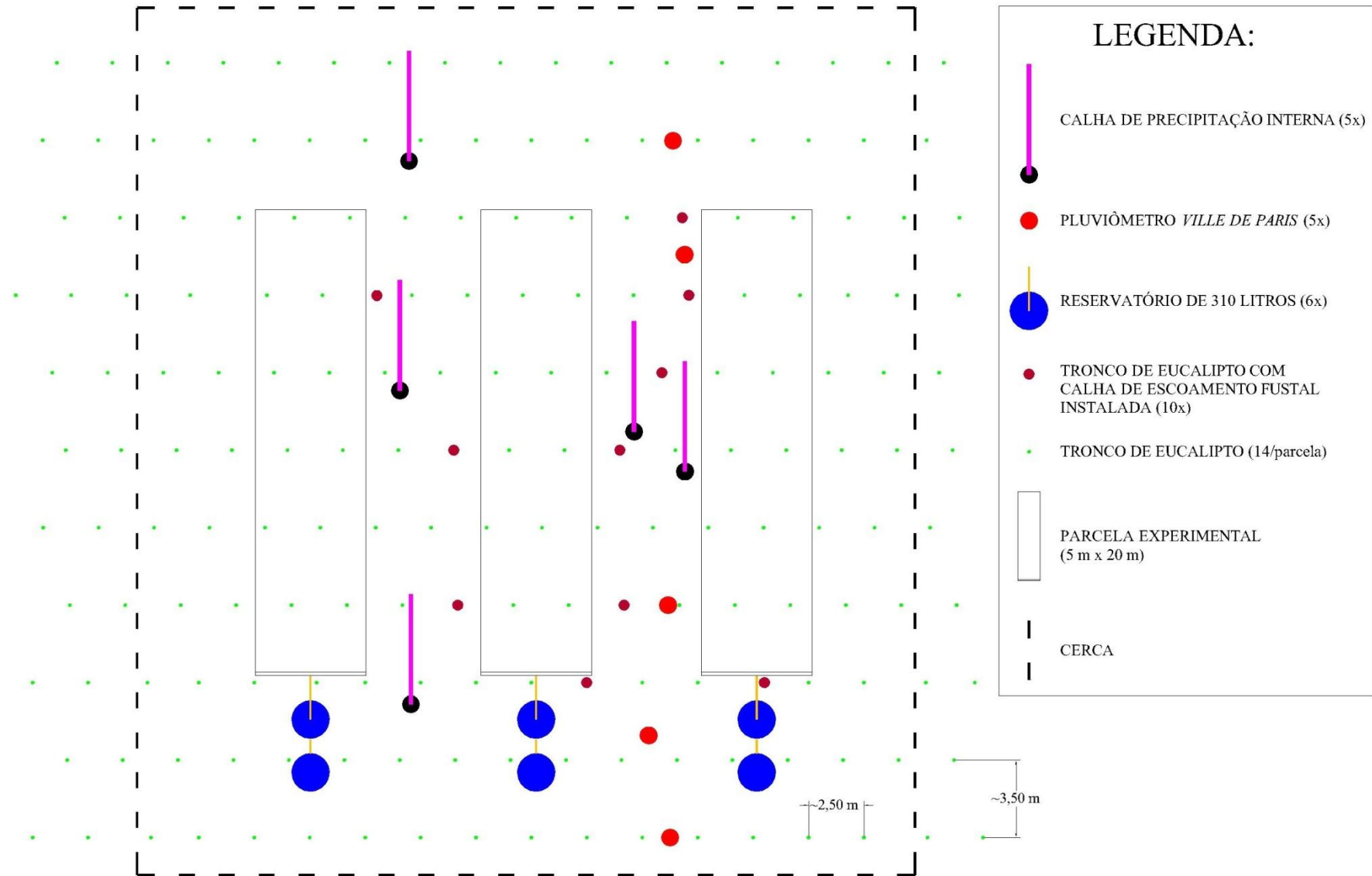
ZHOU, G.; WEI, X.; YAN, J. Impacts of eucalyptus (*Eucalyptus exserta*) plantation on sediment yield in Guangdong Province, Southern China - A kinetic energy approach. **Catena**, v. 49, n. 3, p. 231-251, 2002.

APÊNDICE A



Curva granulométrica típica do solo próximo ao experimento.

APÊNDICE B



Planta esquemática – Localização da instalação experimental dentro da plantação de *E. grandis*.

**APÊNDICE C – VALORES UTILIZADOS NO
CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO**

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MONTE ALEGRE

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
01/01/2013	1	22,61	88,67	1,06	170,02	2,29
02/01/2013	2	23,57	85,60	1,29	204,90	2,78
03/01/2013	3	23,07	85,03	2,15	203,46	2,85
04/01/2013	4	21,84	83,89	2,92	233,84	3,23
05/01/2013	5	22,97	82,61	2,44	205,12	2,99
06/01/2013	6	24,36	78,55	1,59	267,83	4,00
07/01/2013	7	23,45	82,58	1,48	204,37	2,87
08/01/2013	8	23,95	82,46	1,03	242,63	3,35
09/01/2013	9	24,18	86,06	1,37	230,89	3,18
10/01/2013	10	23,24	90,73	1,23	159,58	2,23
11/01/2013	11	20,62	93,31	2,81	87,16	1,42
12/01/2013	12	19,43	81,27	3,37	243,66	3,28
13/01/2013	13	18,05	94,95	1,93	82,16	1,20
14/01/2013	14	19,02	96,63	2,36	73,69	1,11
15/01/2013	15	19,92	93,86	1,28	105,57	1,49
16/01/2013	16	20,41	94,44	1,03	135,56	1,78
17/01/2013	17	19,02	96,84	1,30	78,21	1,16
18/01/2013	18	20,34	89,63	1,17	196,37	2,42
19/01/2013	19	22,72	78,78	0,69	283,01	3,87
20/01/2013	20	23,14	81,37	1,20	210,41	2,92
21/01/2013	21	22,11	79,47	3,34	263,87	3,96
22/01/2013	22	20,78	76,39	3,83	275,47	4,20
23/01/2013	23	21,74	74,55	3,19	256,29	4,02
24/01/2013	24	22,33	80,37	2,15	186,03	2,88
25/01/2013	25	24,78	77,42	1,35	237,79	3,49
26/01/2013	26	23,73	88,02	1,45	166,08	2,48
27/01/2013	27	22,76	93,43	1,38	128,00	1,89
28/01/2013	28	22,22	88,38	2,56	165,13	2,46
29/01/2013	29	22,16	85,28	3,16	183,01	2,82
30/01/2013	30	24,71	84,80	2,68	176,53	2,95
31/01/2013	31	23,35	86,22	1,98	183,66	2,76
01/02/2013	32	22,79	90,06	1,23	144,54	2,15
02/02/2013	33	22,95	90,36	0,82	162,86	2,33
03/02/2013	34	23,32	89,05	1,11	166,66	2,44
04/02/2013	35	20,98	92,70	1,05	115,42	1,71
05/02/2013	36	22,34	86,59	1,60	214,57	2,96
06/02/2013	37	22,42	82,35	1,98	233,43	3,32
07/02/2013	38	19,76	93,09	2,05	95,29	1,50
08/02/2013	39	20,39	90,38	1,46	106,67	1,69
09/02/2013	40	20,55	92,66	0,87	118,53	1,74
10/02/2013	41	20,11	95,98	0,49	82,31	1,31
11/02/2013	42	20,53	95,67	0,86	116,14	1,68
12/02/2013	43	22,34	86,80	1,08	194,94	2,75
13/02/2013	44	24,16	80,88	0,97	236,59	3,42
14/02/2013	45	23,45	83,39	1,01	232,81	3,30
15/02/2013	46	23,22	85,31	1,13	152,92	2,41
16/02/2013	47	23,37	87,65	0,85	177,90	2,63
17/02/2013	48	24,42	83,94	0,83	214,91	3,18

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MONTE ALEGRE

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
18/02/2013	49	24,48	79,14	1,26	182,32	2,98
19/02/2013	50	24,39	81,23	1,03	222,39	3,34
20/02/2013	51	23,78	83,22	1,31	191,73	2,98
21/02/2013	52	24,87	73,18	1,61	262,56	4,14
22/02/2013	53	23,30	76,30	1,70	231,48	3,61
23/02/2013	54	21,41	86,75	1,11	164,53	2,43
24/02/2013	55	21,29	91,23	2,33	179,33	2,53
25/02/2013	56	23,78	79,80	1,54	239,29	3,64
26/02/2013	57	23,87	80,30	1,11	239,72	3,56
27/02/2013	58	22,99	86,26	0,97	173,43	2,65
28/02/2013	59	22,56	88,83	1,37	163,60	2,51
01/03/2013	60	23,01	83,13	1,81	209,83	3,24
02/03/2013	61	22,30	86,90	1,46	186,00	2,79
03/03/2013	62	22,62	83,24	1,45	213,46	3,20
04/03/2013	63	23,85	80,45	1,08	229,10	3,47
05/03/2013	64	24,66	80,11	0,84	228,17	3,49
06/03/2013	65	25,10	78,61	1,36	220,37	3,60
07/03/2013	66	24,22	87,20	0,99	206,42	3,15
08/03/2013	67	23,24	87,01	1,37	163,66	2,63
09/03/2013	68	25,06	80,70	1,08	237,90	3,72
10/03/2013	69	24,18	84,53	1,35	195,28	3,12
11/03/2013	70	23,54	87,61	1,35	183,15	2,87
12/03/2013	71	22,82	90,77	1,16	181,20	2,72
13/03/2013	72	24,39	86,35	0,92	212,06	3,27
14/03/2013	73	22,41	94,29	0,68	89,98	1,56
15/03/2013	74	22,27	92,42	1,96	141,20	2,22
16/03/2013	75	22,58	89,10	1,73	192,01	2,91
17/03/2013	76	23,36	89,00	1,42	132,12	2,26
18/03/2013	77	21,31	91,61	2,81	132,45	2,14
19/03/2013	78	18,30	87,13	4,40	129,49	2,26
20/03/2013	79	17,66	94,18	2,70	81,13	1,36
21/03/2013	80	19,98	92,45	1,93	95,57	1,64
22/03/2013	81	19,99	93,31	1,57	116,16	1,82
23/03/2013	82	21,87	89,87	0,72	138,14	2,19
24/03/2013	83	22,15	86,99	2,54	201,73	3,13
25/03/2013	84	21,23	85,42	2,02	165,79	2,70
26/03/2013	85	22,45	88,37	1,08	162,90	2,57
27/03/2013	86	20,54	94,80	0,89	75,58	1,34
28/03/2013	87	21,36	85,15	1,08	191,14	2,89
29/03/2013	88	19,92	81,93	2,01	209,56	3,17
30/03/2013	89	20,03	79,01	3,00	219,41	3,54
31/03/2013	90	20,90	81,22	1,78	188,42	3,03
01/04/2013	91	22,12	86,17	0,97	156,37	2,52
02/04/2013	92	23,62	82,82	0,81	174,98	2,86
03/04/2013	93	19,92	95,41	1,26	69,09	1,21
04/04/2013	94	21,55	91,24	0,76	128,90	2,08
05/04/2013	95	22,30	90,69	0,68	135,18	2,19
06/04/2013	96	21,68	95,20	1,01	91,19	1,58

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MONTE ALEGRE

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
07/04/2013	97	22,39	93,19	0,78	136,54	2,19
08/04/2013	98	22,48	90,08	0,62	156,12	2,47
09/04/2013	99	22,09	89,66	1,62	142,77	2,36
10/04/2013	100	21,49	86,10	1,86	185,95	2,94
11/04/2013	101	20,43	89,97	1,70	80,43	1,58
12/04/2013	102	21,38	89,12	2,12	141,15	2,36
13/04/2013	103	22,65	89,84	1,59	126,52	2,20
14/04/2013	104	20,34	97,75	1,72	69,51	1,16
15/04/2013	105	18,98	91,02	1,88	151,65	2,26
16/04/2013	106	17,10	87,78	0,79	186,63	2,55
17/04/2013	107	17,24	79,86	0,43	202,85	2,75
18/04/2013	108	16,99	78,44	1,67	196,09	2,90
19/04/2013	109	17,47	82,39	1,20	184,37	2,67
20/04/2013	110	18,95	81,24	1,12	193,98	2,88
21/04/2013	111	18,59	80,94	1,71	183,15	2,85
22/04/2013	112	17,84	91,81	2,00	184,96	2,51
23/04/2013	113	17,86	77,09	2,87	180,37	3,10
24/04/2013	114	17,59	76,19	1,70	162,44	2,71
25/04/2013	115	18,38	75,84	1,33	151,20	2,57
26/04/2013	116	18,56	77,57	1,25	145,98	2,47
27/04/2013	117	18,27	76,91	0,71	170,49	2,58
28/04/2013	118	19,15	77,17	1,27	177,64	2,85
29/04/2013	119	19,40	81,32	0,79	168,88	2,60
30/04/2013	120	20,01	80,68	0,59	161,32	2,52
01/05/2013	121	20,36	78,80	0,46	173,63	2,66
02/05/2013	122	21,12	80,77	1,32	166,83	2,80
03/05/2013	123	21,65	82,22	0,65	156,46	2,55
04/05/2013	124	21,69	78,66	0,72	165,67	2,72
05/05/2013	125	20,98	77,75	0,73	164,08	2,68
06/05/2013	126	20,89	78,10	0,66	150,13	2,49
07/05/2013	127	17,60	80,80	0,91	157,00	2,41
08/05/2013	128	15,35	73,96	0,73	173,25	2,48
09/05/2013	129	13,48	77,85	1,36	171,01	2,41
10/05/2013	130	14,58	72,85	0,98	173,40	2,51
11/05/2013	131	17,17	67,52	0,91	168,12	2,69
12/05/2013	132	18,41	74,84	0,71	163,66	2,56
13/05/2013	133	18,62	74,13	0,87	164,37	2,63
14/05/2013	134	18,11	76,45	0,89	152,94	2,46
15/05/2013	135	19,88	80,65	1,06	138,01	2,37
16/05/2013	136	21,43	77,70	1,02	151,66	2,65
17/05/2013	137	21,10	82,01	0,78	118,82	2,12
18/05/2013	138	18,39	85,78	2,39	102,02	1,98
19/05/2013	139	18,75	84,06	1,60	145,17	2,40
20/05/2013	140	20,19	82,62	0,84	125,05	2,16
21/05/2013	141	20,92	82,12	0,47	143,64	2,34
22/05/2013	142	20,17	86,04	0,74	126,13	2,11
23/05/2013	143	18,80	88,88	0,98	118,67	1,94
24/05/2013	144	17,47	90,34	2,30	92,61	1,66

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MONTE ALEGRE

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
25/05/2013	145	15,88	95,13	1,38	56,62	0,94
26/05/2013	146	15,33	87,80	1,15	147,64	2,11
27/05/2013	147	16,46	81,73	1,50	139,13	2,25
28/05/2013	148	15,33	96,36	1,07	22,51	0,41
29/05/2013	149	15,07	99,33	1,37	10,11	0,17
30/05/2013	150	15,70	99,16	1,94	7,12	0,14
31/05/2013	151	17,13	95,99	0,86	66,85	1,10
01/06/2013	152	17,72	90,87	1,23	131,75	2,01
02/06/2013	153	19,31	85,27	0,99	150,11	2,38
03/06/2013	154	16,83	97,38	1,10	45,38	0,75
04/06/2013	155	15,68	95,54	0,91	70,89	1,14
05/06/2013	156	15,12	90,91	1,18	123,05	1,80
06/06/2013	157	16,13	83,34	0,76	151,04	2,22
07/06/2013	158	17,92	83,86	0,78	143,71	2,23
08/06/2013	159	18,10	83,20	0,60	123,43	2,00
09/06/2013	160	17,27	83,09	0,85	141,69	2,20
10/06/2013	161	17,24	85,19	1,10	127,25	2,05
11/06/2013	162	18,54	82,36	0,98	119,32	2,06
12/06/2013	163	19,02	85,73	1,25	127,20	2,14
13/06/2013	164	19,33	86,98	0,86	121,47	2,02
14/06/2013	165	18,67	87,64	0,62	128,76	2,04
15/06/2013	166	16,76	87,43	0,67	129,97	1,98
16/06/2013	167	14,91	91,70	1,03	95,84	1,51
17/06/2013	168	18,99	82,71	1,71	113,22	2,14
18/06/2013	169	16,97	92,60	1,27	93,67	1,55
19/06/2013	170	16,14	87,03	0,91	149,34	2,17
20/06/2013	171	18,79	80,84	0,93	135,25	2,26
21/06/2013	172	19,02	88,52	0,78	88,42	1,60
22/06/2013	173	20,61	75,69	1,56	96,87	2,22
23/06/2013	174	17,49	92,85	1,78	70,85	1,26
24/06/2013	175	15,77	95,55	1,40	82,69	1,30
25/06/2013	176	16,90	93,85	1,95	98,30	1,56
26/06/2013	177	17,72	94,23	1,24	48,52	0,88
27/06/2013	178	16,52	98,98	0,72	29,48	0,48
28/06/2013	179	17,56	95,66	0,65	57,19	0,97
29/06/2013	180	19,64	87,36	0,62	136,29	2,17
30/06/2013	181	20,20	83,35	1,23	130,08	2,28
01/07/2013	182	18,10	98,47	0,62	48,99	0,81
02/07/2013	183	16,85	98,13	1,53	62,92	0,98
03/07/2013	184	15,70	91,32	2,91	147,46	2,05
04/07/2013	185	17,28	86,76	2,05	142,07	2,25
05/07/2013	186	17,88	81,71	1,38	147,41	2,40
06/07/2013	187	17,60	78,39	1,10	147,24	2,40
07/07/2013	188	17,42	76,44	0,81	149,34	2,37
08/07/2013	189	17,36	78,84	0,66	148,39	2,29
09/07/2013	190	16,87	84,27	1,82	140,28	2,26
10/07/2013	191	17,16	85,85	2,69	144,83	2,35
11/07/2013	192	17,02	84,07	1,36	133,91	2,16

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MONTE ALEGRE

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
12/07/2013	193	15,89	83,65	1,13	150,03	2,23
13/07/2013	194	15,84	80,76	0,86	144,28	2,18
14/07/2013	195	17,23	81,65	0,79	123,42	2,01
15/07/2013	196	17,93	82,79	0,92	115,73	1,97
16/07/2013	197	17,17	79,87	0,62	135,57	2,12
17/07/2013	198	15,58	87,14	0,99	124,75	1,89
18/07/2013	199	15,47	79,71	0,66	155,58	2,25
19/07/2013	200	17,73	74,40	0,94	143,05	2,38
20/07/2013	201	16,79	89,42	1,10	77,70	1,39
21/07/2013	202	21,31	79,36	1,59	131,06	2,52
22/07/2013	203	22,38	74,11	2,07	111,92	2,70
23/07/2013	204	18,62	92,81	0,92	79,71	1,39
24/07/2013	205	11,42	99,41	1,56	20,25	0,28
25/07/2013	206	8,35	94,42	1,84	73,71	0,97
26/07/2013	207	8,94	92,70	1,59	77,76	1,08
27/07/2013	208	10,94	88,39	3,24	120,74	1,68
28/07/2013	209	13,34	80,90	1,60	167,86	2,34
29/07/2013	210	13,03	81,69	0,72	165,10	2,18
30/07/2013	211	14,89	64,81	1,45	163,86	2,74
31/07/2013	212	16,03	66,91	0,95	161,97	2,57
01/08/2013	213	17,07	67,01	0,93	165,36	2,66
02/08/2013	214	18,30	63,79	0,99	166,01	2,82
03/08/2013	215	18,13	67,72	0,69	165,23	2,61
04/08/2013	216	19,19	66,20	0,59	164,41	2,63
05/08/2013	217	20,57	57,59	1,29	163,91	3,23
06/08/2013	218	19,43	70,52	1,21	155,39	2,76
07/08/2013	219	20,76	67,41	1,36	160,97	3,03
08/08/2013	220	19,69	66,65	1,60	171,85	3,19
09/08/2013	221	20,59	60,56	2,09	171,45	3,67
10/08/2013	222	21,24	61,82	1,25	154,77	3,07
11/08/2013	223	19,45	66,02	2,58	167,11	3,53
12/08/2013	224	11,40	78,95	0,70	135,80	1,84
13/08/2013	225	16,03	70,29	1,08	176,57	2,69
14/08/2013	226	19,64	67,58	1,16	125,89	2,50
15/08/2013	227	15,11	83,75	1,94	101,75	1,82
16/08/2013	228	10,80	73,50	4,14	190,55	2,84
17/08/2013	229	14,96	74,98	2,12	187,24	2,84
18/08/2013	230	15,22	82,41	2,13	181,41	2,58
19/08/2013	231	16,80	78,32	3,89	174,89	3,05
20/08/2013	232	17,71	77,28	2,98	163,98	2,95
21/08/2013	233	17,65	68,21	1,84	189,74	3,22
22/08/2013	234	18,68	62,63	1,71	180,18	3,32
23/08/2013	235	20,75	61,89	1,44	118,41	2,76
24/08/2013	236	21,28	62,66	0,98	183,62	3,18
25/08/2013	237	22,12	62,07	1,49	171,53	3,40
26/08/2013	238	22,44	53,62	1,16	190,45	3,59
27/08/2013	239	18,67	72,54	1,69	122,02	2,47
28/08/2013	240	9,56	91,70	1,71	59,65	0,91

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MONTE ALEGRE

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
29/08/2013	241	10,62	75,30	1,58	209,15	2,54
30/08/2013	242	15,12	64,30	1,64	209,33	3,17
31/08/2013	243	18,52	56,90	1,26	208,66	3,44
01/09/2013	244	19,16	52,99	1,34	206,52	3,59
02/09/2013	245	20,80	53,29	0,96	205,83	3,45
03/09/2013	246	21,48	54,87	1,34	186,44	3,55
04/09/2013	247	16,66	87,40	0,92	74,76	1,36
05/09/2013	248	16,20	93,46	1,96	68,31	1,17
06/09/2013	249	17,65	78,14	2,68	210,29	3,22
07/09/2013	250	18,37	73,89	2,06	213,89	3,35
08/09/2013	251	19,15	68,86	1,68	218,08	3,48
09/09/2013	252	20,38	60,24	1,34	212,49	3,58
10/09/2013	253	20,92	59,15	1,48	220,00	3,79
11/09/2013	254	21,29	58,82	1,33	221,36	3,76
12/09/2013	255	21,89	59,26	1,67	207,62	3,86
13/09/2013	256	22,32	50,29	2,64	228,81	4,99
14/09/2013	257	21,79	52,28	1,62	223,12	4,13
15/09/2013	258	21,25	53,46	0,96	191,48	3,29
16/09/2013	259	22,66	54,44	1,16	187,95	3,49
17/09/2013	260	24,22	64,47	1,25	18,00	0,30
18/09/2013	261	18,18	98,55	1,53	28,00	0,47
19/09/2013	262	18,69	94,51	1,33	101,17	1,58
20/09/2013	263	20,72	85,57	2,02	183,12	2,81
21/09/2013	264	24,35	70,50	2,00	232,06	4,14
22/09/2013	265	27,06	55,02	2,56	234,03	5,33
23/09/2013	266	24,90	72,21	1,31	126,47	2,67
24/09/2013	267	21,55	78,99	1,74	163,54	2,82
25/09/2013	268	17,75	85,53	1,49	84,55	1,61
26/09/2013	269	14,26	71,38	2,32	263,29	3,38
27/09/2013	270	15,11	68,65	3,23	261,82	3,74
28/09/2013	271	20,95	52,20	2,57	91,31	0,74
29/09/2013	272	20,98	66,62	2,56	235,73	4,11
30/09/2013	273	16,57	96,22	1,81	41,40	0,72
01/10/2013	274	18,54	91,88	1,17	126,50	1,85
02/10/2013	275	19,85	91,98	1,19	114,03	1,78
03/10/2013	276	18,42	98,15	1,15	62,69	1,02
04/10/2013	277	21,61	83,99	1,99	183,20	2,88
05/10/2013	278	18,07	96,98	2,19	62,15	1,01
06/10/2013	279	20,33	80,60	1,53	194,75	2,90
07/10/2013	280	17,64	67,47	3,28	267,08	4,09
08/10/2013	281	16,64	73,73	4,42	250,19	3,75
09/10/2013	282	16,83	78,19	3,12	158,06	2,66
10/10/2013	283	18,63	74,95	2,62	235,59	3,48
11/10/2013	284	19,10	69,44	2,25	249,06	3,73
12/10/2013	285	20,20	62,56	2,61	228,58	4,05
13/10/2013	286	20,23	64,64	2,00	148,47	3,04
14/10/2013	287	22,26	65,59	1,21	234,28	3,57
15/10/2013	288	23,94	63,95	1,16	194,23	3,32

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MONTE ALEGRE

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
16/10/2013	289	22,65	73,48	1,75	171,95	3,05
17/10/2013	290	18,44	98,61	2,07	65,07	1,01
18/10/2013	291	19,65	94,59	1,62	128,43	1,80
19/10/2013	292	18,50	94,58	1,07	107,78	1,56
20/10/2013	293	20,85	73,29	0,99	263,17	3,48
21/10/2013	294	22,12	65,37	1,10	276,99	3,93
22/10/2013	295	24,30	71,24	1,51	232,48	3,72
23/10/2013	296	23,69	75,82	2,77	213,49	3,73
24/10/2013	297	23,63	80,53	1,62	205,21	3,19
25/10/2013	298	25,31	71,26	1,64	254,79	4,09
26/10/2013	299	22,87	81,83	3,31	181,38	3,15
27/10/2013	300	24,39	69,06	2,19	247,62	4,17
28/10/2013	301	23,64	78,11	2,13	190,58	3,21
29/10/2013	302	19,15	67,82	4,39	288,52	4,75
30/10/2013	303	19,19	72,41	2,49	266,62	3,77
31/10/2013	304	20,87	74,76	2,50	237,00	3,55
01/11/2013	305	20,96	76,64	2,74	225,08	3,44
02/11/2013	306	21,85	75,20	2,51	255,11	3,82
03/11/2013	307	22,15	74,18	1,63	260,30	3,73
04/11/2013	308	24,03	67,01	1,23	251,68	3,74
05/11/2013	309	20,10	95,76	1,19	60,35	1,07
06/11/2013	310	16,79	95,71	3,37	64,67	1,04
07/11/2013	311	15,97	107,99	3,90	70,00	0,36
08/11/2013	312	19,10	89,26	2,61	201,03	2,50
09/11/2013	313	20,70	81,73	1,38	240,34	3,07
10/11/2013	314	22,71	73,67	0,90	259,24	3,55
11/11/2013	315	24,83	65,33	0,73	260,93	3,74
12/11/2013	316	25,86	70,22	1,48	258,15	4,12
13/11/2013	317	22,78	89,25	1,43	124,30	1,96
14/11/2013	318	22,81	67,31	3,57	290,24	5,13
15/11/2013	319	22,51	55,75	2,93	286,74	5,30
16/11/2013	320	22,96	70,51	1,87	264,83	4,05
17/11/2013	321	22,49	79,47	1,81	172,29	2,71
18/11/2013	322	20,77	88,51	2,39	187,12	2,48
19/11/2013	323	22,08	83,10	1,95	212,62	2,95
20/11/2013	324	23,04	79,42	1,40	188,17	2,78
21/11/2013	325	24,96	71,94	1,57	247,93	3,85
22/11/2013	326	24,07	78,28	1,28	199,30	2,95
23/11/2013	327	20,09	95,10	1,82	109,00	1,50
24/11/2013	328	19,43	92,85	3,57	134,24	1,78
25/11/2013	329	18,96	96,00	2,90	72,86	1,12
26/11/2013	330	20,09	95,20	2,34	93,24	1,36
27/11/2013	331	21,69	86,36	2,37	229,66	3,00
28/11/2013	332	22,23	82,52	1,48	205,63	2,78
29/11/2013	333	24,38	74,38	1,13	253,43	3,69
30/11/2013	334	25,57	71,33	2,19	249,49	4,20
01/12/2013	335	22,19	89,11	3,04	177,67	2,49
02/12/2013	336	22,72	87,16	2,61	214,90	2,91

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA MONTE ALEGRE						
DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
03/12/2013	337	23,16	87,51	1,65	176,65	2,49
04/12/2013	338	24,83	78,76	1,09	240,48	3,46
05/12/2013	339	26,24	70,59	1,20	287,95	4,56
06/12/2013	340	24,29	79,31	2,03	244,37	3,68
07/12/2013	341	23,44	77,01	1,85	278,03	4,15
08/12/2013	342	23,23	79,41	1,92	198,06	2,94
09/12/2013	343	23,52	86,05	1,64	228,39	3,10
10/12/2013	344	25,69	79,46	1,06	247,16	3,65
11/12/2013	345	22,33	94,92	1,35	95,42	1,44
12/12/2013	346	21,38	104,44	2,25	87,80	0,96
13/12/2013	347	21,50	81,14	3,32	269,15	3,88
14/12/2013	348	22,58	75,92	1,65	248,09	3,55
15/12/2013	349	22,83	83,28	1,43	174,91	2,48
16/12/2013	350	24,00	82,50	1,20	213,28	2,91
17/12/2013	351	23,66	76,74	1,80	265,67	3,97
18/12/2013	352	22,08	68,50	2,82	310,62	5,03
19/12/2013	353	22,35	71,28	1,91	277,14	4,17
20/12/2013	354	22,96	71,15	2,59	251,40	4,07
21/12/2013	355	21,77	83,50	2,14	193,88	2,68
22/12/2013	356	22,24	80,58	2,52	268,67	3,88
23/12/2013	357	23,01	76,48	2,65	249,81	3,86
24/12/2013	358	21,58	87,72	2,44	158,58	2,26
25/12/2013	359	22,06	91,27	1,15	143,61	1,96
26/12/2013	360	23,14	93,48	0,99	149,24	2,04
27/12/2013	361	25,74	81,91	0,81	223,34	3,16
28/12/2013	362	27,05	69,71	1,23	264,40	4,26
29/12/2013	363	24,93	82,65	2,00	208,26	3,12
30/12/2013	364	23,64	87,56	1,24	201,05	2,70
31/12/2013	365	23,07	91,98	1,66	163,84	2,23
TOTAL						953,05

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SANTA MARIA

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
01/01/2013	1	23,40	89,07	0,62	170,46	2,30
02/01/2013	2	23,95	86,82	0,73	200,10	2,68
03/01/2013	3	24,16	84,18	1,26	216,24	2,97
04/01/2013	4	22,95	83,56	1,77	239,32	3,30
05/01/2013	5	24,12	81,70	1,55	218,43	3,09
06/01/2013	6	24,80	80,86	1,02	268,74	3,91
07/01/2013	7	23,67	83,29	1,04	209,24	2,84
08/01/2013	8	24,19	83,61	0,82	227,81	3,08
09/01/2013	9	24,22	88,02	1,11	232,98	3,17
10/01/2013	10	24,07	90,59	0,92	167,56	2,36
11/01/2013	11	21,75	92,92	1,43	84,44	1,39
12/01/2013	12	20,55	81,18	2,11	230,62	3,03
13/01/2013	13	18,99	95,77	1,05	74,68	1,14
14/01/2013	14	20,18	95,79	1,46	77,42	1,20
15/01/2013	15	20,87	93,81	0,71	110,79	1,57
16/01/2013	16	21,42	94,20	0,62	144,56	1,93
17/01/2013	17	19,60	97,19	0,72	81,68	1,21
18/01/2013	18	21,02	89,57	1,02	194,39	2,45
19/01/2013	19	22,71	80,78	0,83	273,20	3,72
20/01/2013	20	23,08	83,96	0,89	220,13	2,93
21/01/2013	21	23,26	78,43	2,00	259,16	3,82
22/01/2013	22	21,86	75,91	2,43	264,87	3,92
23/01/2013	23	22,71	74,51	1,83	250,21	3,68
24/01/2013	24	23,09	81,95	0,97	187,94	2,67
25/01/2013	25	24,89	80,76	0,86	247,14	3,51
26/01/2013	26	23,89	90,38	0,94	171,03	2,45
27/01/2013	27	23,62	93,78	0,84	128,13	1,92
28/01/2013	28	23,24	88,17	1,41	178,17	2,57
29/01/2013	29	23,37	83,80	2,01	183,37	2,83
30/01/2013	30	23,52	84,38	1,74	164,38	2,60
31/01/2013	31	24,04	86,98	1,08	170,21	2,54
01/02/2013	32	23,53	90,58	0,89	137,85	2,09
02/02/2013	33	23,64	89,52	0,56	160,51	2,33
03/02/2013	34	24,04	88,22	0,82	168,96	2,50
04/02/2013	35	21,85	92,44	0,96	115,89	1,76
05/02/2013	36	23,19	86,38	1,15	202,78	2,87
06/02/2013	37	23,51	81,35	1,32	254,24	3,57
07/02/2013	38	20,70	92,88	1,20	94,80	1,51
08/02/2013	39	21,26	91,30	0,90	105,68	1,66
09/02/2013	40	21,42	92,96	0,83	121,23	1,80
10/02/2013	41	21,07	95,41	0,39	81,82	1,34
11/02/2013	42	21,49	95,78	0,55	115,58	1,72
12/02/2013	43	22,91	87,12	0,77	215,44	2,98
13/02/2013	44	24,09	82,94	0,70	253,26	3,54
14/02/2013	45	23,73	85,23	0,82	234,64	3,30
15/02/2013	46	23,53	86,44	0,80	153,78	2,37
16/02/2013	47	23,62	89,96	0,70	160,10	2,41
17/02/2013	48	24,50	84,36	0,68	225,63	3,28
18/02/2013	49	24,82	81,80	0,85	184,16	2,88

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SANTA MARIA

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
19/02/2013	50	24,16	83,52	0,77	218,24	3,20
20/02/2013	51	24,32	86,28	0,71	221,18	3,23
21/02/2013	52	25,07	77,52	1,15	288,54	4,34
22/02/2013	53	23,61	78,42	1,25	246,84	3,64
23/02/2013	54	21,85	88,17	0,65	184,72	2,62
24/02/2013	55	22,18	90,65	1,49	191,04	2,72
25/02/2013	56	24,24	82,49	1,16	268,91	3,90
26/02/2013	57	24,14	81,91	0,96	271,08	3,90
27/02/2013	58	22,94	87,66	1,09	194,07	2,87
28/02/2013	59	22,72	91,18	0,76	148,24	2,26
01/03/2013	60	23,87	83,83	1,16	251,59	3,68
02/03/2013	61	22,69	88,53	0,82	172,78	2,59
03/03/2013	62	22,59	85,71	0,86	225,31	3,22
04/03/2013	63	23,56	82,84	0,82	249,61	3,61
05/03/2013	64	23,96	83,36	0,80	222,79	3,33
06/03/2013	65	24,83	81,93	1,05	231,67	3,58
07/03/2013	66	24,35	88,62	0,85	214,62	3,23
08/03/2013	67	23,70	88,68	0,84	170,50	2,65
09/03/2013	68	25,37	82,65	0,88	254,05	3,88
10/03/2013	69	24,53	85,97	1,08	200,46	3,15
11/03/2013	70	24,32	87,89	1,26	189,28	2,99
12/03/2013	71	23,57	91,15	1,00	191,67	2,89
13/03/2013	72	24,90	87,08	1,00	228,27	3,51
14/03/2013	73	22,84	94,99	0,67	93,11	1,60
15/03/2013	74	23,02	92,09	1,20	147,59	2,33
16/03/2013	75	23,35	89,33	1,32	200,20	3,04
17/03/2013	76	24,21	88,65	0,79	137,41	2,30
18/03/2013	77	22,31	90,40	1,92	131,18	2,19
19/03/2013	78	19,52	86,19	3,01	127,17	2,26
20/03/2013	79	18,79	93,62	1,58	78,78	1,38
21/03/2013	80	20,89	92,70	1,12	99,26	1,67
22/03/2013	81	20,78	93,18	1,02	121,50	1,91
23/03/2013	82	22,23	90,36	0,58	152,58	2,37
24/03/2013	83	22,90	86,50	1,47	195,67	3,05
25/03/2013	84	22,01	85,76	1,29	170,49	2,71
26/03/2013	85	22,97	87,91	0,82	177,66	2,77
27/03/2013	86	21,42	94,54	0,66	77,03	1,38
28/03/2013	87	21,77	86,41	0,73	172,10	2,64
29/03/2013	88	20,49	81,76	1,06	210,16	3,09
30/03/2013	89	20,90	78,63	1,71	237,67	3,60
31/03/2013	90	21,24	83,56	1,25	209,47	3,14
01/04/2013	91	21,44	87,91	0,67	170,22	2,59
02/04/2013	92	23,58	83,76	0,61	222,21	3,40
03/04/2013	93	20,73	96,80	0,94	70,80	1,23
04/04/2013	94	22,40	91,09	0,66	133,58	2,17
05/04/2013	95	22,60	91,26	0,59	144,67	2,32
06/04/2013	96	22,30	95,56	0,88	86,77	1,53
07/04/2013	97	23,12	92,76	1,15	139,87	2,28
08/04/2013	98	22,63	91,00	0,79	156,52	2,48

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SANTA MARIA

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
09/04/2013	99	22,54	91,12	0,94	159,12	2,51
10/04/2013	100	22,30	86,77	1,16	194,42	3,01
11/04/2013	101	21,11	90,87	0,95	83,52	1,56
12/04/2013	102	22,09	90,10	1,32	155,14	2,48
13/04/2013	103	23,46	89,77	1,12	158,59	2,60
14/04/2013	104	21,39	97,26	1,61	78,78	1,35
15/04/2013	105	19,90	90,84	1,06	161,20	2,41
16/04/2013	106	17,05	87,74	0,87	200,60	2,69
17/04/2013	107	16,59	83,03	0,85	219,99	2,91
18/04/2013	108	15,85	82,97	1,02	216,10	2,83
19/04/2013	109	17,19	84,53	0,73	205,64	2,79
20/04/2013	110	17,84	83,59	0,86	209,39	2,90
21/04/2013	111	18,19	85,01	0,84	191,54	2,72
22/04/2013	112	17,94	83,71	1,19	204,44	2,89
23/04/2013	113	18,35	80,21	1,51	196,38	2,95
24/04/2013	114	17,45	81,58	0,92	206,50	2,88
25/04/2013	115	17,79	81,65	0,99	157,42	2,41
26/04/2013	116	17,79	83,44	0,80	152,79	2,31
27/04/2013	117	16,85	81,91	0,73	178,70	2,53
28/04/2013	118	17,50	82,29	0,78	194,66	2,74
29/04/2013	119	18,22	84,61	0,65	184,24	2,64
30/04/2013	120	18,90	84,56	0,71	175,58	2,60
01/05/2013	121	19,04	81,86	0,52	189,80	2,76
02/05/2013	122	19,42	83,30	0,88	180,66	2,72
03/05/2013	123	20,11	85,72	0,66	175,93	2,66
04/05/2013	124	19,84	82,98	0,93	187,80	2,84
05/05/2013	125	19,64	81,80	0,77	178,50	2,72
06/05/2013	126	19,99	80,17	0,88	166,54	2,65
07/05/2013	127	17,51	84,45	0,97	169,34	2,48
08/05/2013	128	13,29	80,37	1,45	191,04	2,53
09/05/2013	129	11,75	82,08	1,20	189,07	2,35
10/05/2013	130	12,76	78,09	1,02	188,75	2,46
11/05/2013	131	14,25	79,53	1,12	185,70	2,53
12/05/2013	132	15,96	80,78	0,87	179,69	2,53
13/05/2013	133	16,02	81,47	0,98	181,22	2,56
14/05/2013	134	16,12	81,76	0,86	168,65	2,42
15/05/2013	135	17,98	84,71	0,94	157,34	2,38
16/05/2013	136	19,68	82,44	0,96	166,09	2,62
17/05/2013	137	19,94	86,64	0,56	129,18	2,10
18/05/2013	138	19,18	85,88	1,71	104,80	1,96
19/05/2013	139	18,90	86,10	1,17	157,88	2,44
20/05/2013	140	19,39	85,44	0,61	139,39	2,21
21/05/2013	141	19,40	84,88	0,79	139,01	2,24
22/05/2013	142	19,31	86,87	0,64	124,67	2,03
23/05/2013	143	18,44	88,28	0,84	129,38	2,04
24/05/2013	144	18,25	90,65	1,31	96,17	1,66
25/05/2013	145	16,61	94,70	0,81	57,98	0,98
26/05/2013	146	14,64	89,16	1,13	147,94	2,05
27/05/2013	147	15,66	85,96	1,23	157,07	2,26

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SANTA MARIA

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
28/05/2013	148	14,29	99,80	0,81	22,83	0,35
29/05/2013	149	15,07	99,98	1,08	9,85	0,16
30/05/2013	150	16,57	98,94	1,37	7,01	0,14
31/05/2013	151	17,84	95,87	0,82	71,04	1,19
01/06/2013	152	17,35	90,68	1,06	136,85	2,05
02/06/2013	153	17,43	87,30	0,87	164,65	2,39
03/06/2013	154	15,99	97,95	1,00	53,19	0,84
04/06/2013	155	16,29	95,53	0,80	71,11	1,15
05/06/2013	156	14,80	91,06	1,02	141,12	1,96
06/06/2013	157	14,71	85,43	0,91	161,52	2,23
07/06/2013	158	16,48	86,33	1,00	156,29	2,28
08/06/2013	159	16,26	84,71	0,89	151,44	2,23
09/06/2013	160	15,37	83,87	0,98	155,48	2,24
10/06/2013	161	15,62	87,40	1,07	143,04	2,08
11/06/2013	162	16,87	86,41	0,87	141,95	2,14
12/06/2013	163	18,29	86,84	0,83	133,87	2,11
13/06/2013	164	19,39	89,05	0,71	134,11	2,12
14/06/2013	165	17,94	87,86	0,82	151,71	2,27
15/06/2013	166	16,57	87,79	0,83	142,61	2,11
16/06/2013	167	14,26	91,96	1,18	99,75	1,52
17/06/2013	168	18,91	87,98	0,97	115,59	1,93
18/06/2013	169	17,49	91,98	1,12	120,85	1,86
19/06/2013	170	15,63	86,73	0,92	161,05	2,26
20/06/2013	171	17,21	85,08	0,78	151,15	2,26
21/06/2013	172	18,67	88,97	0,79	97,50	1,69
22/06/2013	173	19,30	81,59	0,99	102,68	1,93
23/06/2013	174	18,18	92,95	1,63	73,75	1,31
24/06/2013	175	16,48	95,57	1,15	88,28	1,41
25/06/2013	176	17,87	92,41	1,37	100,89	1,66
26/06/2013	177	17,92	95,24	0,75	49,41	0,86
27/06/2013	178	17,42	98,58	0,65	30,22	0,51
28/06/2013	179	18,32	95,42	0,47	58,55	1,00
29/06/2013	180	19,57	88,04	0,81	141,86	2,24
30/06/2013	181	18,76	87,00	1,10	142,96	2,25
01/07/2013	182	17,64	98,49	0,64	52,87	0,86
02/07/2013	183	17,81	97,50	1,26	69,04	1,11
03/07/2013	184	16,80	90,47	1,95	159,87	2,27
04/07/2013	185	17,84	87,78	1,76	157,88	2,39
05/07/2013	186	16,05	86,03	1,18	159,82	2,30
06/07/2013	187	15,75	83,29	1,19	161,76	2,35
07/07/2013	188	15,40	81,35	0,79	165,57	2,35
08/07/2013	189	15,07	82,01	0,95	164,00	2,33
09/07/2013	190	16,07	83,74	1,30	157,73	2,34
10/07/2013	191	17,20	87,35	1,27	161,30	2,36
11/07/2013	192	16,55	86,19	1,26	148,00	2,21
12/07/2013	193	14,96	86,16	1,26	157,71	2,22
13/07/2013	194	14,00	84,26	0,85	153,95	2,12
14/07/2013	195	15,52	85,53	0,80	136,26	2,01
15/07/2013	196	16,33	85,42	0,83	127,26	1,96

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SANTA MARIA

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
16/07/2013	197	15,44	83,11	1,04	150,32	2,21
17/07/2013	198	14,40	88,08	1,12	137,14	1,95
18/07/2013	199	14,26	83,14	0,79	165,82	2,26
19/07/2013	200	15,27	80,08	1,01	160,34	2,34
20/07/2013	201	15,65	91,07	0,95	83,75	1,40
21/07/2013	202	19,89	85,76	1,20	139,69	2,31
22/07/2013	203	22,33	78,17	1,51	113,64	2,40
23/07/2013	204	18,66	94,00	1,22	86,40	1,48
24/07/2013	205	12,68	98,70	1,94	25,45	0,37
25/07/2013	206	9,71	93,35	1,40	69,52	0,99
26/07/2013	207	10,19	92,13	0,98	79,22	1,15
27/07/2013	208	12,12	87,31	2,42	138,60	1,90
28/07/2013	209	13,24	83,09	1,26	179,89	2,36
29/07/2013	210	11,52	83,35	1,05	177,51	2,20
30/07/2013	211	12,28	73,98	1,22	184,26	2,48
31/07/2013	212	13,11	77,85	1,13	180,19	2,42
01/08/2013	213	13,76	76,36	1,06	184,29	2,52
02/08/2013	214	14,64	76,24	1,12	185,97	2,60
03/08/2013	215	15,05	75,69	0,94	183,83	2,58
04/08/2013	216	16,11	75,66	0,85	182,91	2,62
05/08/2013	217	16,67	74,37	1,39	180,88	2,79
06/08/2013	218	17,32	77,74	1,06	173,76	2,63
07/08/2013	219	18,15	77,29	0,87	150,51	2,40
08/08/2013	220	17,54	77,96	1,26	183,76	2,78
09/08/2013	221	17,72	74,76	1,31	185,04	2,88
10/08/2013	222	18,21	76,45	1,35	171,09	2,75
11/08/2013	223	17,37	76,20	2,35	175,54	2,96
12/08/2013	224	11,64	82,23	0,85	138,53	1,86
13/08/2013	225	14,27	76,82	1,23	188,73	2,60
14/08/2013	226	17,43	79,82	0,97	136,28	2,20
15/08/2013	227	15,05	88,56	1,41	103,12	1,65
16/08/2013	228	11,63	74,75	2,46	205,10	2,76
17/08/2013	229	14,54	79,30	1,27	199,95	2,67
18/08/2013	230	14,87	82,62	1,45	190,48	2,57
19/08/2013	231	17,75	78,43	2,33	172,61	2,86
20/08/2013	232	17,58	80,95	1,23	181,55	2,68
21/08/2013	233	15,78	76,64	1,16	206,37	2,85
22/08/2013	234	15,95	75,65	1,33	196,77	2,82
23/08/2013	235	19,11	76,25	1,11	126,15	2,27
24/08/2013	236	19,09	73,73	1,00	197,42	3,01
25/08/2013	237	19,87	75,11	1,05	189,46	2,97
26/08/2013	238	19,26	71,78	1,10	201,39	3,12
27/08/2013	239	17,51	79,39	1,86	124,48	2,27
28/08/2013	240	10,26	91,89	1,94	61,70	0,96
29/08/2013	241	9,67	81,77	1,26	210,75	2,33
30/08/2013	242	13,06	73,39	1,30	217,06	2,78
31/08/2013	243	14,99	71,74	1,23	217,65	2,96
01/09/2013	244	15,81	71,11	1,21	213,75	2,99
02/09/2013	245	18,14	70,15	0,90	213,46	3,08

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SANTA MARIA

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
03/09/2013	246	18,75	71,16	1,12	198,50	3,04
04/09/2013	247	16,09	90,70	0,94	74,75	1,28
05/09/2013	248	17,01	93,14	1,40	65,66	1,15
06/09/2013	249	18,12	79,44	1,64	219,57	3,14
07/09/2013	250	17,78	78,97	1,55	221,36	3,12
08/09/2013	251	17,39	76,61	1,41	221,58	3,11
09/09/2013	252	17,51	72,91	1,18	223,20	3,15
10/09/2013	253	17,63	72,49	1,19	228,26	3,21
11/09/2013	254	18,58	71,30	1,22	228,51	3,32
12/09/2013	255	19,16	72,26	1,35	223,22	3,33
13/09/2013	256	20,05	65,44	1,86	233,61	3,85
14/09/2013	257	18,26	69,92	1,33	228,29	3,33
15/09/2013	258	18,68	70,09	1,01	225,26	3,23
16/09/2013	259	20,43	70,75	1,02	200,59	3,11
17/09/2013	260	21,48	71,48	1,22	161,27	2,84
18/09/2013	261	18,75	99,05	0,89	25,91	0,44
19/09/2013	262	19,83	93,45	1,13	101,78	1,65
20/09/2013	263	21,44	85,99	1,29	175,71	2,70
21/09/2013	264	23,85	78,13	1,37	218,41	3,54
22/09/2013	265	25,90	64,95	1,81	229,71	4,35
23/09/2013	266	23,91	83,40	1,06	129,20	2,32
24/09/2013	267	22,29	80,92	1,29	155,91	2,63
25/09/2013	268	18,54	86,86	1,73	78,09	1,57
26/09/2013	269	15,16	71,33	1,67	254,84	3,27
27/09/2013	270	16,08	69,00	2,33	253,26	3,57
28/09/2013	271	17,82	66,22	1,76	252,60	3,65
29/09/2013	272	21,56	67,97	1,94	232,58	3,86
30/09/2013	273	17,27	96,04	1,08	38,65	0,68
01/10/2013	274	18,74	92,10	0,99	122,74	1,82
02/10/2013	275	20,37	91,70	1,09	125,64	1,93
03/10/2013	276	18,79	98,07	0,93	62,14	1,03
04/10/2013	277	22,25	83,97	1,38	171,72	2,71
05/10/2013	278	18,98	96,67	1,35	60,75	1,03
06/10/2013	279	20,71	83,47	1,33	198,17	2,87
07/10/2013	280	18,60	68,79	2,07	261,47	3,77
08/10/2013	281	17,87	72,57	3,45	231,89	3,66
09/10/2013	282	17,67	79,10	2,16	146,35	2,42
10/10/2013	283	18,62	79,19	1,53	250,35	3,27
11/10/2013	284	18,12	77,27	1,47	246,26	3,21
12/10/2013	285	18,37	72,37	1,80	232,34	3,29
13/10/2013	286	19,50	77,80	1,17	142,47	2,29
14/10/2013	287	21,20	75,81	1,00	233,81	3,26
15/10/2013	288	22,66	75,64	0,94	191,31	2,93
16/10/2013	289	22,55	77,58	1,39	165,79	2,76
17/10/2013	290	19,45	97,97	1,27	52,84	0,89
18/10/2013	291	20,50	94,18	1,22	124,09	1,81
19/10/2013	292	18,84	94,71	0,98	116,79	1,66
20/10/2013	293	20,14	78,64	1,26	248,93	3,29
21/10/2013	294	20,66	72,57	1,32	272,78	3,70

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SANTA MARIA

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
22/10/2013	295	22,67	79,37	1,46	231,13	3,37
23/10/2013	296	24,36	77,11	1,85	211,78	3,48
24/10/2013	297	24,34	80,86	1,17	214,96	3,25
25/10/2013	298	25,10	74,10	0,96	242,25	3,63
26/10/2013	299	24,03	80,63	2,56	167,82	3,04
27/10/2013	300	24,36	74,32	1,57	246,86	3,79
28/10/2013	301	23,64	84,27	1,56	191,29	2,92
29/10/2013	302	20,40	67,85	3,28	277,67	4,48
30/10/2013	303	20,10	72,99	1,84	257,65	3,55
31/10/2013	304	21,98	74,54	2,03	226,39	3,46
01/11/2013	305	22,09	76,02	2,18	235,17	3,53
02/11/2013	306	22,77	75,18	1,85	249,48	3,66
03/11/2013	307	21,82	79,35	1,33	234,50	3,20
04/11/2013	308	22,76	73,49	1,12	256,24	3,57
05/11/2013	309	20,46	96,94	0,86	53,40	0,94
06/11/2013	310	17,90	95,62	2,31	58,46	1,01
07/11/2013	311	17,06	96,96	2,90	61,24	0,97
08/11/2013	312	20,12	89,11	1,86	188,45	2,45
09/11/2013	313	20,68	85,04	0,93	228,18	2,85
10/11/2013	314	21,67	78,45	0,97	236,98	3,08
11/11/2013	315	23,36	74,63	0,85	248,76	3,41
12/11/2013	316	24,72	76,05	1,27	244,25	3,59
13/11/2013	317	22,45	91,53	1,27	126,42	1,89
14/11/2013	318	23,07	68,45	2,61	279,66	4,63
15/11/2013	319	22,93	60,19	1,99	273,90	4,51
16/11/2013	320	23,18	74,29	1,59	263,56	3,88
17/11/2013	321	22,18	87,05	1,31	172,14	2,41
18/11/2013	322	21,64	90,38	1,73	170,95	2,31
19/11/2013	323	22,35	86,51	1,26	196,99	2,65
20/11/2013	324	22,57	84,52	0,95	179,34	2,48
21/11/2013	325	24,37	78,63	0,93	238,34	3,33
22/11/2013	326	23,54	83,40	0,98	175,07	2,52
23/11/2013	327	20,89	95,78	1,48	97,09	1,41
24/11/2013	328	20,56	93,24	2,83	114,62	1,66
25/11/2013	329	20,01	96,38	1,57	64,98	1,07
26/11/2013	330	21,11	95,68	1,56	85,35	1,31
27/11/2013	331	22,56	86,54	1,49	204,34	2,73
28/11/2013	332	22,59	85,06	1,10	204,96	2,71
29/11/2013	333	23,69	79,58	0,91	227,60	3,07
30/11/2013	334	25,35	78,11	1,42	243,69	3,67
01/12/2013	335	23,22	89,84	2,13	161,84	2,33
02/12/2013	336	23,58	88,30	1,81	183,82	2,59
03/12/2013	337	23,93	88,80	1,03	183,09	2,53
04/12/2013	338	25,00	82,44	1,44	229,19	3,31
05/12/2013	339	25,35	76,72	1,36	281,85	4,33
06/12/2013	340	23,87	82,55	1,73	231,96	3,29
07/12/2013	341	24,13	77,83	1,39	263,27	3,86
08/12/2013	342	23,96	80,84	1,47	195,40	2,84
09/12/2013	343	23,86	88,82	0,98	190,29	2,58

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA SANTA MARIA

DATA	NR	Temp_Ar_Med (Deg C) Med	umid_Rel_Med (%) Med	V_Vento_Med (m/s) Med	Rad_Solar_Med (W/m^2) Med	ETo (mm)
10/12/2013	344	25,45	82,61	0,90	244,97	3,53
11/12/2013	345	22,97	95,30	1,11	94,13	1,44
12/12/2013	346	22,49	93,47	1,70	82,72	1,38
13/12/2013	347	22,77	80,27	2,54	242,69	3,56
14/12/2013	348	22,61	80,35	1,11	241,77	3,24
15/12/2013	349	23,19	85,57	0,98	170,20	2,35
16/12/2013	350	24,47	83,51	1,00	193,64	2,71
17/12/2013	351	24,18	77,09	1,49	242,06	3,55
18/12/2013	352	22,96	69,32	1,89	292,22	4,52
19/12/2013	353	23,09	72,29	1,68	266,12	3,98
20/12/2013	354	23,65	72,16	1,75	234,73	3,55
21/12/2013	355	22,27	85,62	1,35	177,29	2,40
22/12/2013	356	22,72	82,86	1,66	245,11	3,37
23/12/2013	357	24,02	76,34	1,98	259,12	3,96
24/12/2013	358	22,47	87,88	1,70	146,01	2,13
25/12/2013	359	22,74	92,09	0,92	138,43	1,92
26/12/2013	360	23,62	93,51	1,07	147,14	2,05
27/12/2013	361	25,83	84,27	0,93	235,54	3,40
28/12/2013	362	27,04	75,80	0,95	267,26	4,15
29/12/2013	363	25,71	82,97	1,25	188,23	2,83
30/12/2013	364	24,22	88,38	0,98	183,94	2,54
31/12/2013	365	23,78	92,07	1,10	172,51	2,35
TOTAL						926,88

**APÊNDICE D – COLETA DE DADOS
DE CAMPO POR EVENTO**

DATA	14/01/2013	17/01/2013	29/01/2013	01/02/2013	04/02/2013	07/02/2013	17/02/2013	25/02/2013	28/02/2013	08/03/2013	11/03/2013
Pt	195,4	48,8	9,3	3,5	24,7	25,6	57,3	22,6	15,5	27,1	34,6
Intens. máx. (mm.15min ⁻¹)	19,8	5,2	8,3	0,3	3,6	17,1	10,9	6,4	10,7	9,0	7,1
Duração (h)	50:00	11:00	4:21	1:46	9:00	4:28	24:00	9:17	2:08	4:00	6:04
ESCOAMENTO FUSTAL (litros)	30,00	7,80	0,41	0,15	2,54	5,57	10,63	2,60	1,83	5,76	8,10
	30,00	5,60	0,45	0,09	2,21	3,37	7,24	2,30	1,42	3,56	6,50
	30,00	8,80	0,70	0,17	4,06	5,13	12,22	3,78	1,83	5,61	10,03
	30,00	9,50	0,73	0,20	3,30	7,27	12,18	3,91	1,52	6,64	12,04
	30,00	7,00	0,64	0,21	3,07	4,75	10,37	3,89	1,60	5,75	9,58
	30,00	5,40	0,50	0,11	2,51	4,49	8,96	3,62	1,76	4,45	6,95
	30,00	5,80	0,32	0,13	2,00	5,27	8,66	2,55	1,77	4,90	6,72
	30,00	11,40	0,75	0,16	4,20	7,21	14,54	4,23	1,90	7,38	12,64
	30,00	6,90	0,72	0,18	3,73	5,21	11,05	3,18	1,61	5,52	9,85
	30,00	10,00	0,53	0,18	3,56	5,05	11,95	3,71	1,51	6,40	10,48
MÉDIA (litros)	30,00	7,82	0,57	0,16	3,12	5,33	10,78	3,38	1,68	5,60	9,29
ESCOAMENTO SUPERFICIAL (litros)	310 +	0,5	0,0	0,0	0,2	80,0	71,5	0,7	0,0	0,4	0,6
	310 +	5,5	0,0	0,0	0,7	48,7	47,4	0,8	0,0	0,6	1,9
	310 +	2,6	0,0	0,0	0,2	110,0	62,0	2,4	0,0	0,2	0,8
PRECIPITAÇÃO INTERNA - CALHAS (litros)	ext	DNC	5,50	1,62	--	13,80	31,95	11,38	4,95	14,34	19,27
	ext	DNC	5,50	1,78	12,26	14,28	30,53	10,88	4,88	12,67	18,56
	ext	DNC	5,70	1,75	12,96	14,09	32,37	12,03	5,21	13,26	19,45
	ext	DNC	5,30	1,92	11,96	12,85	28,93	9,44	4,65	11,96	17,57
	ext	DNC	5,00	1,88	12,08	13,95	30,19	9,82	4,79	13,00	19,24
MÉDIA (mm)			9,00	2,98	20,53	22,99	51,32	17,85	8,16	21,74	31,36
PRECIPITAÇÃO INTERNA - PLUVIÔMETROS (litros)	--	--	0,24	0,09	0,75	0,84	1,81	0,77	0,29	0,96	1,31
	--	--	0,29	0,11	0,73	0,85	1,87	0,56	0,36	0,80	1,29
	--	--	0,31	0,10	0,78	0,89	1,91	0,73	0,36	0,94	1,22
	--	--	--	0,12	0,77	0,77	1,77	0,66	0,27	0,63	0,98
	--	--	--	0,10	0,74	1,08	1,90	0,66	0,34	1,07	1,34
MÉDIA (mm)			7,32	2,68	19,78	23,31	48,72	17,78	8,52	23,15	32,30

*DNC = Dado Não Coletado

ext = extravasou

DATA	12/03/2013	14/03/2013	21/03/2013	25/03/2013	03/04/2013	08/04/2013	19/04/2013	30/05/2013	04/06/2013	17/06/2013	01/07/2013
Pt	32,1	14,4	33,8	3,2	24,1	27,2	34,1	159,0	14,7	21,7	27,1
Intens. máx. (mm.15min ⁻¹)	17,0	5,5	6,5	2,6	6,8	5,2	6,0	12,9	4,9	5,0	3,6
Duração (h)	4:21	5:34	25:25	1:17	8:00	4:42	16:08	53:30	5:57	8:45	11:38
ESCOAMENTO FUSTAL (litros)	7,19	2,96	8,26	0,05	6,22	7,21	8,51	30,00	5,60	8,98	7,86
	4,14	2,05	6,79	0,06	3,86	4,49	6,81	30,00	3,13	3,75	4,80
	6,59	3,47	10,47	0,04	6,07	7,59	10,43	30,00	5,00	6,14	6,75
	4,48	4,77	13,18	0,05	7,20	9,32	13,69	30,00	6,47	9,37	7,78
	7,35	3,50	10,75	0,06	5,84	6,40	8,89	30,00	3,91	7,04	6,28
	4,95	2,39	6,40	0,05	4,06	4,49	6,91	30,00	3,27	4,56	5,02
	6,25	2,78	7,20	0,05	4,49	5,14	6,82	30,00	3,68	3,67	4,32
	8,39	4,42	13,50	0,05	8,94	10,83	14,11	30,00	6,91	10,81	8,94
	7,24	3,43	10,96	0,07	5,86	7,35	9,86	30,00	4,51	7,40	6,47
	7,89	4,04	12,34	0,04	7,44	9,29	11,03	30,00	5,65	9,15	9,23
MÉDIA (litros)	6,45	3,38	9,99	0,05	6,00	7,21	9,71	30,00	4,81	7,09	6,75
ESCOAMENTO SUPERFICIAL (litros)	13,0	0,2	0,9	0,0	13,0	0,0	0,8	154,0	0,7	0,6	1,7
	18,0	0,4	0,8	0,0	14,0	0,0	0,8	174,0		0,8	0,8
	33,0	0,3	0,7	0,0	18,0	0,0	0,8	234,0	0,8	0,8	0,8
PRECIPITAÇÃO INTERNA - CALHAS (litros)	16,58	8,26	19,43	0,69	13,40	12,84	18,14	60,00	8,10	12,07	14,77
	17,58	8,27	17,53	0,68	12,41	12,07	17,19	60,00	7,65	11,33	13,14
	17,41	8,37	19,44	0,59	13,24	14,14	20,09	60,00	7,96	12,86	14,03
	15,98	7,71	17,37	0,82	11,84	11,87	17,20	60,00	7,77	12,50	12,92
	17,21	7,98	18,88	0,71	13,62	11,71	17,30	60,00	7,83	11,58	13,93
MÉDIA (mm)	28,25	13,53	30,88	1,16	21,50	20,88	29,97	122,00	13,10	20,11	22,93
PRECIPITAÇÃO INTERNA - PLUVIÔMETROS (litros)	1,03	0,50	1,23	0,04	0,81	0,70	1,34	4,63	--	--	0,87
	1,23	0,50	1,06	0,04	0,90	0,70	0,88	4,66	0,50	0,71	0,84
	1,08	0,44	1,08	0,03	0,79	0,80	0,90	4,67	0,46	0,62	0,82
	0,93	0,50	1,00	0,04	0,72	0,70	1,03	4,35	0,44	0,67	0,73
	1,21	0,53	1,23	0,04	0,83	0,72	1,23	4,80	0,47	0,68	0,73
MÉDIA (mm)	28,83	13,00	29,46	0,97	21,31	19,05	28,31	121,59	12,30	17,63	20,99

*DNC = Dado Não Coletado

ext = extravasou

DATA	29/07/2013	03/09/2013	09/09/2013	18/09/2013	02/10/2013	14/10/2013	22/10/2013	28/10/2013	05/11/2013	07/11/2013	18/11/2013
Pt	18,2	3,4	7,0	33,0	85,8	33,4	34,2	5,3	40,1	29,2	21,9
Intens. máx. (mm.15min ⁻¹)	4,1	1,3	1,0	6,4	21,4	7,2	7,9	2,9	5,2	1,7	6,7
Duração (h)	16:12	1:30	6:45	22:00	25:30	8:38	9:40	1:00	16:04	19:30	06:17
ESCOAMENTO FUSTAL (litros)	5,47	0,32	1,64	12,15	30,00	12,17	8,61	0,38	8,90	6,44	2,41
	3,10	0,31	1,05	6,41	30,00	7,20	6,40	0,63	8,12	6,71	4,69
	3,94	0,48	1,07	11,57	30,00	9,99	6,96	0,41	8,98	7,53	2,20
	5,75	0,70	1,32	11,28	30,00	11,76	9,10	0,58	10,76	7,40	3,15
	4,24	0,53	1,25	10,11	30,00	10,96	9,30	0,60	8,79	5,85	3,23
	2,89	0,44	1,05	5,58	30,00	7,60	6,77	0,71	8,70	6,56	3,97
	3,01	0,29	0,95	6,12	30,00	7,49	5,62	0,43	5,40	3,59	1,95
	6,64	0,74	2,04	11,40	30,00	9,92	9,23	0,43	10,25	8,26	2,40
	3,81	0,53	1,10	8,64	30,00	10,17	7,47	0,40	8,19	5,44	3,28
	6,10	0,77	1,82	10,94	30,00	9,21	9,13	0,40	9,27	8,38	2,36
MÉDIA (litros)	4,50	0,51	1,33	9,42	30,00	9,65	7,86	0,50	8,74	6,62	2,96
ESCOAMENTO SUPERFICIAL (litros)	0,0	0,0	0,0	9,6	620,0	3,0	42,0	0,0	2,0	2,7	0,0
	0,0	0,0	0,0	15,5	620,0	4,5	90,0	0,0	12,0	0,8	6,0
	0,0	0,0	0,0	32,3	620,0	5,8	116,0	0,0	5,5	3,5	2,0
PRECIPITAÇÃO INTERNA - CALHAS (litros)	11,09	2,01	3,70	18,43	48,95	18,39	20,20	2,76	22,91	16,55	11,86
	10,29	1,75	3,27	17,22	46,84	17,83	19,06	2,55	21,73	15,58	11,08
	10,99	2,03	3,43	18,50	47,32	19,03	19,61	2,56	21,68	15,70	10,77
	10,15	1,98	3,10	17,77	46,70	17,90	17,52	2,46	21,30	15,63	10,68
	10,69	1,81	3,41	17,93	48,59	19,13	19,54	2,83	22,51	15,30	11,49
MÉDIA (mm)	17,74	3,19	5,64	29,95	79,47	30,76	31,98	4,39	36,71	26,25	18,63
PRECIPITAÇÃO INTERNA - PLUVIÔMETROS (litros)	0,56	0,05	0,17	1,06	3,09	1,15	1,19	0,20	1,32	0,98	0,59
	0,54	0,07	0,17	1,09	3,10	1,05	1,24	0,19	1,28	0,88	0,65
	0,55	0,06	0,18	--	3,21	--	1,16	0,19	1,47	0,92	0,63
	0,52	0,09	0,20	1,05	2,86	--	1,25	0,13	1,26	0,82	0,59
	0,59	0,03	0,14	1,08	3,05	--	1,21	0,20	1,48	1,00	0,53
MÉDIA (mm)	14,52	1,58	4,52	28,15	80,55	28,94	31,83	4,79	35,83	24,20	15,73

*DNC = Dado Não Coletado

ext = extravasou

DATA	19/11/2013	23/11/2013	24/11/2013	29/11/2013	06/12/2013	10/12/2013	17/12/2013	24/12/2013	31/12/2013
Pt	8,5	14,9	26,1	25,6	9,8	10,1	17,2	22,5	32,4
Intens. máx. (mm.15min ⁻¹)	3,4	2,1	5,1	10,6	1,5	3,2	3,0	4,9	4,8
Duração (h)	00:42	15:08	06:06	02:30	05:00	03:17	10:00	54:00	50:00
ESCOAMENTO FUSTAL (litros)	0,80	1,44	6,82	4,30	1,05	0,73	0,98	1,50	5,84
	1,05	2,59	5,53	4,56	1,25	1,45	2,50	4,19	8,23
	0,75	1,33	5,58	2,91	0,63	0,64	1,76	2,50	7,61
	1,15	2,14	5,43	3,95	0,91	0,85	1,26	2,23	10,21
	0,56	2,07	5,86	4,44	1,15	1,07	2,43	4,55	6,39
	0,62	2,28	7,33	4,97	1,26	1,62	2,31	2,96	8,78
	0,43	1,58	5,16	3,53	0,93	0,93	1,63	2,24	6,18
	1,20	1,77	7,83	4,04	0,90	1,04	3,09	2,51	8,17
	0,75	1,47	4,60	3,18	0,69	0,88	1,33	2,43	7,42
	0,48	2,37	4,46	3,08	1,05	1,13	2,57	4,07	11,94
MÉDIA (litros)	0,78	1,90	5,86	3,90	0,98	1,03	1,99	2,92	8,08
ESCOAMENTO SUPERFICIAL (litros)	0,0	2,0	3,5	2,5	0,0	0,0	0,0	2,5	1,5
	0,0	0,0	2,5	2,0	0,0	0,0	0,0	8,0	2,0
	0,0	2,5	3,0	2,5	0,0	0,0	0,0	4,0	5,0
PRECIPITAÇÃO INTERNA - CALHAS (litros)	3,59	8,31	14,50	12,73	4,73	6,02	8,67	13,39	18,52
	3,41	7,70	13,80	11,82	4,39	5,51	8,20	13,43	17,11
	3,79	7,88	13,52	12,90	3,95	5,83	8,58	13,18	18,29
	4,03	7,46	14,02	12,38	4,30	5,48	8,12	12,79	17,04
	3,61	7,74	13,42	12,87	4,50	5,96	7,97	12,31	16,79
MÉDIA (mm)	6,14	13,03	23,09	20,9	7,29	9,6	13,85	21,7	29,25
PRECIPITAÇÃO INTERNA - PLUVIÔMETROS (litros)	0,28	0,48	0,79	0,87	0,23	0,33	0,45	0,80	0,98
	0,22	0,46	1,05	0,82	0,21	0,35	0,42	0,80	0,96
	0,35	0,45	0,96	0,79	0,27	0,38	0,47	0,70	--
	0,3	0,44	0,89	0,75	0,24	0,32	0,47	0,94	0,93
	0,29	0,51	0,95	0,98	0,25	0,39	0,47	0,90	1,00
MÉDIA (mm)	7,58	12,31	24,41	22,15	6,31	9,31	12,00	21,78	25,45

*DNC = Dado Não Coletado

ext = extravasou