

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DANIEL RIBEIRO LANGE

INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* L.



CURITIBA

2019

DANIEL RIBEIRO LANGE

INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM PLANTAÇÕES DE *Pinus taeda* L.

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geografia no Programa de Pós-Graduação em Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientação: Prof. Dr. Irani dos Santos

CURITIBA

2019

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

L274i Lange, Daniel Ribeiro

Interceptação da precipitação em plantações de *Pinus taeda* L.
[recurso eletrônico] / Daniel Ribeiro Lange, 2019.

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
Orientador: Prof. Dr. Irani dos Santos

1. *Pinus taeda* – aspectos ambientais – Rio Negrinho (SC). 2.
Balanço hidrológico. I. Universidade Federal do Paraná. II. Santos, Irani
dos. III. Título.

CDD 354

Bibliotecária: Vilma Machado CRB9/1563

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **DANIEL RIBEIRO LANGE**, intitulada: **INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM PLANTAÇÕES DE PINUS TAEDA L.**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua Aprovação no rito de defesa.

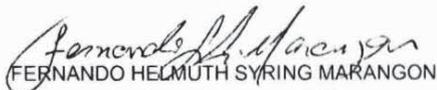
A outorga do título de Mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 13 de Março de 2019.



IRANI DOS SANTOS

Presidente da Banca Examinadora



FERNANDO HELMUTH SYRING MARANGON

Avaliador Externo (UFPR)



MAURICIO BERGAMINI SCHEER

Avaliador Externo (SANEPAR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial à:

Meu orientador Professor Doutor Irani dos Santos;

Equipe do Laboratório de Hidrogeomorfologia da Universidade Federal do Paraná. Principalmente à Bruna Daniela de Araujo Taveira, Fernando Helmuth Syring Marangon, Gilson Bauer Schultz, Isabela Raquel Ramos Iensen, Lucas Jerszurki, Marcelo Ng Wei Ban Hung e Robinson Gonzales Leal Junior.

Professor Doutor Sérgio Michelotto Braga do Laboratório de Monitoramento Eletrônico da Universidade Federal do Paraná;

Mobasa Reflorestamento S.A;

Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Paraná;

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;

RESUMO

A interceptação é o processo de interferência da vegetação na precipitação que ocasiona sua redistribuição espacial e temporal. Durante a precipitação uma parte da água é retida pela vegetação e fica disponível para retornar para atmosfera por evaporação. Estas perdas representam uma parcela significativa da água precipitada e muitas vezes são subestimadas. O planalto catarinense sofreu significativas alterações da paisagem nas últimas décadas com a introdução de povoamentos arbóreos de pinus, e conseqüente potencial de alterar o balanço hidrológico. No entanto, não existem muitos estudos locais sobre essa temática. Neste contexto, a presente pesquisa buscou avaliar os efeitos do desenvolvimento de povoamentos arbóreos de *Pinus taeda* L., com idades de cinco, sete e dez anos, sobre processo interceptação por meio do monitoramento hidrológico. Para quantificar os componentes do processo de interceptação este trabalho mediu a precipitação total, precipitação interna e o escoamento de tronco em povoamento de *Pinus taeda* L. no município de Rio Negrinho-SC. Os componentes da interceptação foram monitorados em 54 eventos entre setembro 2017 e janeiro 2019. A precipitação externa foi medida na estação pluviométrica localizada a 1 km das parcelas de monitoramento, em intervalos de 10 minutos. O monitoramento da precipitação interna e o escoamento de tronco utilizou básculas automáticas que realizam medições com resolução temporal instantânea. Adicionalmente, foram mensurados parâmetros dendrométricos como, densidade da vegetação, diâmetro à altura do peito (*DBH*), índice de cobertura (*C*) e índice de área foliar (*LAI*) como forma de caracterizar a vegetação representativa em cada local. As diferentes idades e densidades de plantio dos povoamentos nas quais o processo foi avaliado apresentam diferentes padrões de cobertura do dossel e, assim, oferecem um importante subsídio para os estudos de hidrologia comparativa. Durante o período de estudo as taxas de precipitação interna (*Tf*) médias mensuradas foram de 74%, 58% e 65% e as taxas de escoamento de tronco (*Sf*) foram de 6,8%, 9,7% e 12,7% para as idades de 5, 7, 10 anos com densidades 1333 (há^{-1}), 1100 (há^{-1}) e 1666 (há^{-1}) respectivamente. Estes resultados indicam que, em povoamentos homogêneos de *Pinus taeda* L., o acréscimo da idade não está diretamente relacionado a redução da taxa de *Tf*. Esta apresenta melhor relação aos padrões de espaçamento dos povoamentos e conseqüente alteração das características ambientais que condicionam seu desenvolvimento. Para o escoamento de tronco (*Sf*) foram encontrados valores significativamente altos em comparação com a literatura e diretamente relacionados com a idade do plantio.

Palavras-Chave: Precipitação interna. Escoamento de tronco. *Pinus taeda* L. Monitoramento hidrológico.

ABSTRACT

Interception is the process in which vegetation interferes in the rainfall, causing its spatial and temporal redistribution. During rainfall, part of the water is retained by the vegetation and becomes available to return to the atmosphere through evaporation. These losses account for a significant portion of rainfall and are often underestimated. The Santa Catarina plateau has undergone significant changes in the landscape in recent decades after the introduction of loblolly pine plantations, potentially altering the hydrological balance – though there are few local studies on this subject. In this context, this research aimed to evaluate the effects of the development of *Pinus taeda* L. plantations (with ages of 5, 7 and 10 years) on the interception process through hydrological monitoring. To quantify the components of the interception process, this study measured the external rainfall, throughfall and stemflow in *Pinus taeda* L. plantations in the municipality of Rio Negrinho (SC). The interception components were monitored for 54 events between September 2017 and January 2019. External rainfall was measured at the rain station located 1 km from the monitoring plots, at 10 minutes intervals. We used throughfall and stemflow monitoring that uses automatic scales that perform measurements with instant temporal resolution. In addition, dendrometric parameters – such as vegetation density, diameter at breast height (*DBH*), cover index (*C*) and leaf area index (*LAI*) – were measured have been measured in order to characterize the representative vegetation in each site. The different ages and planting densities of the stands in which the process was evaluated have different canopy cover patterns, thus offering an important subsidy for comparative hydrology studies. During the study period, the average throughfall rates (*Tf*) were 74%, 58% and 65%, and the stemflow rates (*Sf*) were 6.8%, 9.7% and 12.7% for the ages of 5, 7, 10, with densities of 1,333 (ha⁻¹), 1,100 (ha⁻¹) and 1,666 (ha⁻¹), respectively. These results indicate that in homogenous stands of *Pinus taeda* L., the increase in age is not directly related to the reduction of the *Tf* rate. This presents a better relation between the spacing patterns of the forests and the consequent alteration of the environmental characteristics that determine its development. For the stemflow (*Sf*), the study revealed significantly higher values than the ones available in the literature.

Keywords: Troughfall, Stemflow. *Pinus taeda* L., Hydrological monitoring.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPONENTES DO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO.....	10
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA COM FLORESTA PLANTADA DE PINUS E EUCALIPTOS	12
FIGURA 3 - MODELO DO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA POR UMA FLORESTA	20
FIGURA 4 - RETENÇÃO DE ÁGUA PELAS ACÍCULAS	22
FIGURA 5 - RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO INTERNA (T_f) E IDADE EM POVOAMENTOS DE PINUS A PARTIR DE DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA (TABELA 1).....	10
FIGURA 6 - RELAÇÃO ENTRE ESCOAMENTO DE TRONCO (S_f) E IDADE EM POVOAMENTOS DE PINUS A PARTIR DE DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA (TABELA 1).....	11
FIGURA 7 - RELAÇÃO ENTRE A ÁREA BASAL (G) E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI) EM POVOAMENTOS DE PINUS A PARTIR DE DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA.....	12
FIGURA 8 - RELAÇÃO ENTRE ÁREA BASAL E CAPACIDADE DE RETENÇÃO DA INTERCEPTAÇÃO DO DOSSEL (S) A PARTIR DE DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA.....	13
FIGURA 9 - LOCAL PARA MEDIÇÃO DA CIRCUNFERÊNCIA ACIMA DO PEITO .	17
FIGURA 10 - VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL DE LONGO PERÍODO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA CORREDEIRA E FEIO	21
FIGURA 11 - CARTOGRAMA DE LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS DE MONITORAMENTO	22
FIGURA 12 - IMAGENS DOS TRÊS EXPERIMENTOS	22
FIGURA 13 - GRÁFICO DE EXEMPLO DO ENSAIO PARA SE ESTABELECE O VALOR DE CORREÇÃO PARA OS PLUVIÔMETROS DE BÂSCULA.....	25
FIGURA 14 - BÂSCULAS PARA A MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO INTERNA E ESCOAMENTO DE TRONCO MODELO LHG-SB002-60CC	26
FIGURA 15 - CALHA PARA A MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO INTERNA T_f	26
FIGURA 16 - APARATO PARA A MEDIÇÃO DO ESCOAMENTO DE TRONCO S_f .	27
FIGURA 17 - ABRIGO PARA A BÂSCULA E COLETOR DO ESCOAMENTO DE TRONCO S_f	27

FIGURA 18 - DATA LOGGER MODELO IPSUN EVENT	28
FIGURA 19 - RELAÇÃO ENTRE IDADE E DBH PARA OS DADOS OBTIDOS.....	31
FIGURA 20 - RELAÇÃO ENTRE IDADE E ALTURA PARA OS DADOS OBTIDOS	32
FIGURA 21 - RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO TOTAL (P_g).E PRECIPITAÇÃO INTERNA (T_f).....	34
FIGURA 22 - RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO TOTAL (P_g) E ESCOAMENTO DE TRONCO (S_f).....	35
FIGURA 23 - COMPORTAMENTO CONCEITUAL DOS COMPONENTES DO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO NOS TRÊS EXPERIMENTOS AVALIADOS...	36
FIGURA 24 - RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO INTERNA E IDADE DA VEGETAÇÃO A PARTIR DE DADOS OBTIDOS PELA LITERATURA (TABELA 1) E DADOS MEDIDOS.....	38
FIGURA 25 - RELAÇÃO ENTRE ESCOAMENTO DE TRONCO E IDADE A PARTIR DE DADOS OBTIDOS PELA LITERATURA (TABELA 1) E DADOS MEDIDOS	39
FIGURA 26 - RELAÇÃO ENTRE DBH E PRECIPITAÇÃO INTERNA	40
FIGURA 27 - ALTURAS ACUMULADAS DOS COMPONENTES DA INTERCEPTAÇÃO PARA O EVENTO 45.....	41
FIGURA 28 - ALTURAS ACUMULADAS DOS COMPONENTES DA INTERCEPTAÇÃO PARA O EVENTO 45.....	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- ESTUDOS COM MEDIÇÃO DE INTERCEPTAÇÃO EM POVOAMENTOS DE PINUS	25
TABELA 2 - PARÂMETROS DA REGRESSÃO LINEAR PARA CALIBRAÇÃO DAS BÁSCULAS UTILIZADAS NO MONITORAMENTO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL (PG) E ESCOAMENTO DE TRONCO (SF)	25
TABELA 3 – PARAMETROS DENDROMÉTRICOS NOS TRÊS EXPERIMENTOS.	30
TABELA 4 - RESUMO DOS VALORES OBTIDOS PELA LITERATURA.....	37

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
<i>DBH</i>	Diâmetro à altura do peito	cm
<i>C</i>	Fator de cobertura do dossel	adimensional
<i>LAI</i>	Índice de área Foliar	adimensional
<i>P_g</i>	Precipitação medida em local aberto ou acima da vegetação	mm
<i>I</i>	Interceptação do dossel	mm
<i>S_f</i>	Escoamento de tronco	mm
<i>S</i>	Capacidade de armazenamento do dossel	mm
<i>P_i</i>	Precipitação total interna	mm
<i>T_f</i>	Precipitação interna	mm
<i>E</i>	Evaporação durante a chuva	mm/h
<i>t</i>	Tempo	min
<i>i</i>	Intensidade	mm/h ou mm/min
<i>C</i>	Circunferência na altura do peito	cm
<i>g</i>	Área transversal	cm
<i>H</i>	Altura	m
<i>G</i>	Área basal	m ² h ⁻¹

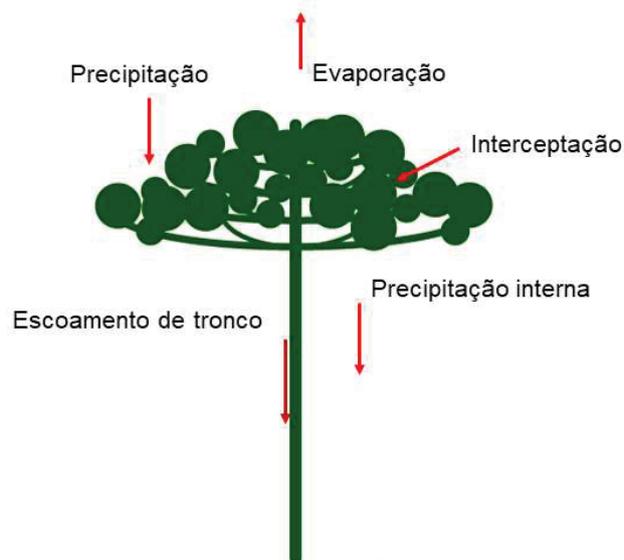
SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 MONITORAMENTO HIDROLÓGICO	16
3.2 INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA PELA VEGETAÇÃO	18
3.3 INTERCEPTAÇÃO EM FLORESTAS PLANTADAS COM PINUS	21
3.4 PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO	14
3.5 DENDROMETRIA	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
4.2 DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	24
4.3 PARÂMETROS DE VEGETAÇÃO	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS	30
5.2 PARÂMETROS DE INTERCEPTAÇÃO	33
6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A interceptação é a primeira fase da parte terrestre do ciclo hidrológico. Pode ser definida como o processo de interferência da vegetação na precipitação que ocasiona sua redistribuição espacial e temporal (TUCCI; CLARKE, 1997; GIGLIO; KOBIYAMA, 2013). Durante a interceptação a chuva é fracionada em três parcelas: 1) parte é interceptada e armazenada pela vegetação e evapora (perda por interceptação); 2) outra cai livremente sobre o solo, sem interferência da vegetação, ou depois de ser interceptada e gotejar; 3) parte alcança o solo escoando pelos troncos; (HEWLETT, 1969; LIMA, 1975) (Figura 1).

FIGURA 1 - COMPONENTES DO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO



FONTE: adaptado de <https://pt.vecteezy.com>

Esse processo é condicionado pelos seguintes fatores: condições meteorológicas (intensidade da precipitação, volume total precipitado, intensidade de vento, umidade e temperatura do ar, radiação solar); vegetação (densidade de cobertura e indivíduos, formato e posição das folhas e galhos); umidade antecedente da vegetação. E por sua vez o processo de interceptação afeta os processos hidrológicos subsequentes: infiltração da água no solo; erosão; escoamento superficial; regimes de vazão; (TSIKO et al., 2012; SÁ et al., 2015).

Nos estudos sobre hidrologia os efeitos dos usos da terra, incluindo modificações na cobertura vegetal, tradicionalmente recebem muita atenção (HIBBERT, 1967; HEWLETT, 1969; RUTTER et al., 1971; SSEGANE et al., 2013). Em meados dos anos 1930 diversas áreas experimentais começaram a ser monitoradas, e os estudos desenvolvidos a partir dessa prática serviram para uma redução drástica da perda do solo, conservação dos canais de escoamento, manejo de pastagens, controle do escoamento superficial, melhora da qualidade da água, redução da perda química do solo, atividade de recuperação de áreas degradadas e como base científica para modelos de bacias preocupados com o uso racional dos recursos ambientais (BOSCH; HEWLETT, 1991; HARMEL et al., 2007; SSEGANE et al., 2013).

No entanto, essas pesquisas normalmente dizem respeito a áreas localizadas no hemisfério norte e em clima temperado o que evidencia uma lacuna existente em estudos dessa natureza para as condições brasileiras. A localização das áreas de estudo e por consequente sua dinâmica climática é um fator importante neste processo. Em climas com chuvas de baixo volume e frequentes (exemplo climas temperados) as perdas por interceptação são maiores enquanto chuvas com grande volume e em menor número (exemplo clima mediterrâneo e tropical) as perdas são menores (SANTOS, 2009).

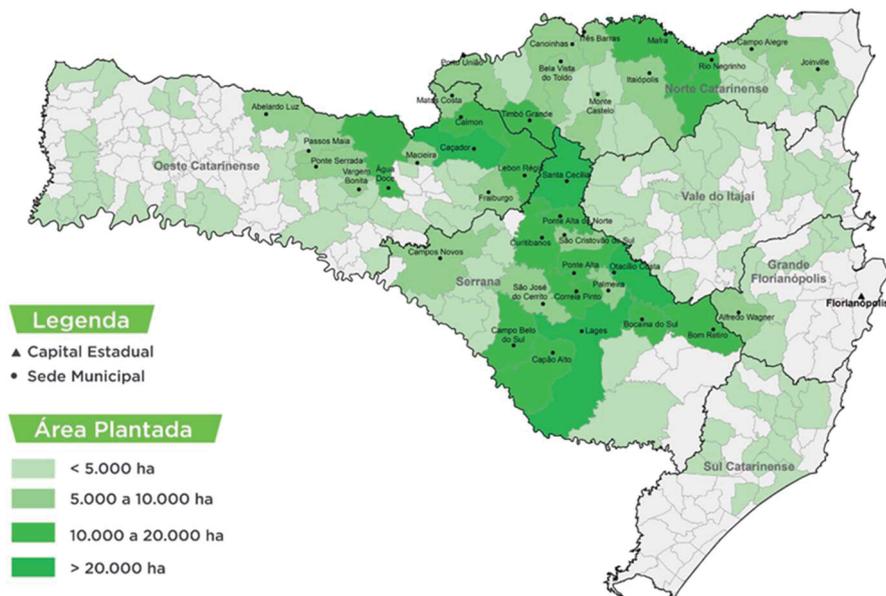
A área de estudo está localizada no planalto catarinense. Esta região esteve sujeita a exploração madeireira entre o final do século XIX e meados da década de 1980, no chamado “ciclo da madeira”. Esse processo foi responsável pela alteração significativa de quase toda sua cobertura florestal original. No município de Rio Negrinho, assim como em grande parte da região oeste de Santa Catarina, a atividade florestal continua ocupando um importante papel na economia. No entanto, é feita não mais de uma forma extrativista, mas sim com povoamentos arbóreos plantados em geral com *Pinus taeda* L. (PINHEIRO; ROSA, 2010). Rio Negrinho abriga porções ocupadas com *Pinus taeda* L. em distintas fases de desenvolvimento. Esses diferentes padrões oferecem um importante subsídio para os estudos de hidrologia comparativa.

O *Pinus taeda* L. é originário das regiões Sul dos EUA e foi introduzido no Brasil em 1930. Entre os anos de 1955 e 1964 o Serviço Florestal de São Paulo criou grandes programas de reflorestamento baseados no plantio do *Pinus taeda* L. e *Pinus elliotti*. Na segunda metade da década de 60 os plantios de pinus foram intensificados

e abrangeram o Sul do país (MEDEIROS; FLORINDO, 2017), região propícia para o plantio por suas características ambientais (clima frio e solos ácidos). O *Pinus taeda* L. é considerado de baixa exigência nutricional, adaptando-se a terras impróprias para a agricultura convencional (SANTOS, 2015).

Segundo levantamento realizado pela Indústria Brasileira de Árvores (IBA, 2017) o Brasil possui a segunda maior área com povoamentos arbóreos para fins comerciais do mundo, com 7,84 milhões de hectares, em sua maioria com eucalipto (5,7 milhões de hectares) e pinus (1,6 milhões de hectares). Já o estado de Santa Catarina em 2015 possuía o total de 660,7 mil hectares de povoamentos arbóreos sendo que 82% (541, 2 mil hectares) são com pinus (Figura 2). O estado tem a segunda maior área plantada deste gênero do país, representando 34,1%, após o estado do Paraná. Destacam-se na cultura do pinus as regiões serranas do Norte e Oeste do estado catarinense (ACR, 2016).

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA COM FLORESTA PLANTADA DE PINUS E EUCALIPTOS



FONTE: ACR 2016.

Essas alterações da paisagem podem ser responsáveis por mudanças no comportamento hídrico, alterando muitas vezes a disponibilidade e a qualidade desse recurso (TUCCI; CLARKE, 1997; KOBAYAMA *et al.*, 2008).

A quantidade de água interceptada pelo dossel da vegetação é um importante componente da evapotranspiração das florestas e ainda há poucos estudos sobre o processo em povoamentos com pinus no Brasil (GIGLIO; KOBİYAMA, 2013). Com base em consulta aos periódicos científicos disponibilizados na internet, até o momento não constam pesquisas sobre a variabilidade desse processo associada ao crescimento do pinus no âmbito nacional. Segundo estudo realizado no Sudeste do Estados Unidos da América (EUA), por um período de 10 anos em uma plantação de *Pinus taeda* L., o dossel da floresta provoca uma perda por interceptação de em média 18% da precipitação incidente (GAVAZZI *et al.*, 2016) o que indica sua considerável importância para o balanço hidrológico. Ainda grande parte da eficiência da modelagem chuva-vazão depende dos valores de entrada de água na bacia, sendo que o desprezo ou o erro na estimativa das perdas por interceptação introduzem erros na modelagem chuva-vazão (SAVENIJE, 2004; CHAFFE *et al.*, 2010).

A presente pesquisa buscou avaliar efeitos de povoamento arbóreo homogêneos com *Pinus taeda* L., em idades de cinco, sete e dez anos e diferentes densidades de plantio, sobre processo interceptação da chuva por meio do monitoramento hidrológico.

As medições incluem precipitação total, precipitação interna e escoamento de tronco. Os parâmetros meteorológicos foram medidos em intervalos de 10 minutos na estação meteorológica localizada a 1 km das parcelas de monitoramento. Os componentes avaliados foram monitorados em 54 eventos entre setembro de 2017 e janeiro de 2019. Os experimentos foram conduzidos nas bacias experimentais do Laboratório de Hidrogeomorfologia (LHG – UFPR) localizadas no município de Rio Negrinho- SC.

Em um estudo de revisão das pesquisas sobre interceptação para as condições brasileiras, Giglio e Kobiyama (2013) reforçam a importância da inclusão do componente escoamento de tronco nas medições de campo. Embora em geral apresentem um valor pequeno (<5% da precipitação) vem sendo negligenciado pelos estudos. As perdas por interceptação são estimadas medindo a precipitação interna e o escoamento de tronco separadamente. Portanto, a ausência de medições da variável escoamento de tronco, somada a métodos de medição não padronizados, faz com que as perdas por interceptação sejam superestimadas.

No monitoramento foram utilizadas básculas e registradores automáticos de dados que realizaram medições instantâneas da precipitação interna e do escoamento de tronco e possibilitaram a obtenção de uma série de dados de alta resolução temporal. Os equipamentos foram construídos e calibrados no Laboratório de Hidrogeomorfologia (LHG) e no Laboratório de Análise de Água, Solo e Sedimento (LASS) da Universidade Federal do Paraná.

Adicionalmente, foram mensurados parâmetros dendrométricos como densidade do plantio, Diâmetro à Altura do Peito (*DBH*), Área basal (*G*), Índice de Cobertura (*C*) e o Índice de Área Foliar (*LAI*) das árvores próximas aos experimentos, como forma de caracterizar a vegetação representativa em cada local.

Nesse contexto o problema de pesquisa diz respeito a como o desenvolvimento do pinus afeta o processo de interceptação da chuva. Ou mais precisamente, como o crescimento e densidade desta vegetação altera as taxas de precipitação interna e escoamento de tronco em relação a precipitação total.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos de florestas plantadas com *Pinus taeda* L. com cinco, sete e dez anos sobre o processo de interceptação da chuva utilizando monitoramento hidrológico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar a chuva interna, o escoamento de tronco e as perdas por interceptação em povoamentos de *Pinus taeda* L., em idades de cinco, sete e dez anos, por meio do monitoramento hidrológico automatizado.
- Avaliar os efeitos de povoamentos de *Pinus taeda* L. no processo de interceptação relativos às condições estudadas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

A hidrologia é a ciência cujo objeto de estudo é a dinâmica da água sobre a Terra. No sentido mais restrito trata da parte terrestre do ciclo hidrológico. Os estudos em hidrologia se ocupam da observação, medição, processamento e previsão de dados associados à circulação e ocorrência da água (SANTOS *et al.*, 2001).

A água se distribui por praticamente todo o planeta e está em constante circulação. Esse processo é chamado ciclo hidrológico. Em cada fase do ciclo a água tem um período de circulação ou permanência durante o qual, o sistema consegue teoricamente substituir toda a porção de água. O tempo de circulação se dá pela razão entre o volume total de água e o fluxo para uma determinada parcela do ciclo hidrológico. O balanço hídrico de determinado componente do ciclo hidrológico, pode ser obtido pela diferença entre a quantidade de água que entra, principalmente pela precipitação, e a quantidade de água que sai, por meio do escoamento superficial e subterrâneo, evapotranspiração e recarga de aquíferos. Portanto o balanço hídrico diz respeito à quantidade de água armazenada em um determinado intervalo de tempo (ZHANG *et al.*, 2007).

O monitoramento hidrológico está relacionado à área da hidrologia chamada hidrometria, que se ocupa da medição das variáveis hidrológicas como precipitação, circulação e níveis de água. O ponto de observação de parâmetros hidrológicos é chamado de “posto” ou “estação”. A tarefa de quantificar a densidade e a distribuição das estações depende da avaliação das características físicas de uma região de estudo. O intervalo de tempo entre as medições depende do processo a ser estudado. (SANTOS *et al.*, 2001).

Para a obtenção de dados hidrológicos de qualidade são necessários equipamentos de medição e registro confiáveis e precisos, de preferência padronizados e também robustos para suportar as condições de campo. O trabalho de monitoramento, portanto, é oneroso não apenas no sentido econômico, mas também no esforço para sua implementação e manutenção (BOSCH *et al.*, 2007).

As metodologias utilizadas no monitoramento dos processos hidrológicos sofreram uma grande mudança e aperfeiçoamento nas últimas décadas. A coleta e registro de maneira digital facilitaram o trabalho dos pesquisadores incluindo o tratamento dos dados. Porém os sensores eletrônicos requerem calibração periódica, conhecimentos básicos de eletrônica para sua instalação e manutenção e ainda envolvem um alto custo para sua aquisição. Dados coletados em intervalos curtos de tempo geram extensos arquivos que devem ser tratados e organizados de maneira sistemática.

Um dos métodos utilizados na ciência hidrológica para entendimento dos efeitos da ação humana sobre a circulação da água é o monitoramento de processos hidrológicos em áreas pareadas. O método busca monitorar simultaneamente os mesmos processos hidrológicos em parcelas experimentais vizinhas ou sob as mesmas condições ambientais, com características físicas similares, porém com usos predominantemente distintos. Sua utilidade advém do estabelecimento de parâmetros determinados por diferentes condições de uso da área da bacia. Os estudos mais comuns dizem respeito à observação do comportamento hidrológico após a retirada da cobertura florestal (SALEMI *et al.*, 2011; BAYER; COLLISCHONN, 2011).

A influência dos usos da terra na circulação e reserva de água têm historicamente sido um motivo de preocupação. Os primeiros estudos relacionando os efeitos do manejo florestal às consequências na produção de água foram realizados na Suíça nas montanhas de Ementhal em 1900. As bacias hidrográficas e áreas de monitoramento experimentais foram, desde então, utilizadas em praticamente todo o mundo como um método para a determinação dos efeitos das práticas de manejo florestal sobre a produção de água e contribuíram consideravelmente para a compreensão do ciclo hidrológico e dos efeitos do uso da terra sobre o mesmo (HIBBERT, 1967; BOSCH; HEWLETT, 1982; ROBINSON, 2008).

Nesse contexto, áreas com monitoramento intensivo são comprovadamente um instrumento eficiente para medir o comportamento hidrológico. Dados relativos à precipitação, interceptação, circulação da água no solo e vazão são fundamentais para pesquisas e gestão relacionadas ao abastecimento de água, impacto de inundações, planejamento para períodos de estiagem, erosão do solo, manejo agrícola e calibrações e validações de modelos hidrológicos. Esses dados podem também subsidiar o processo de regionalização das informações e, portanto,

preencher lacunas para áreas que não dispõem de dados, bem como auxiliar na criação de diretrizes para a gestão dos recursos naturais (HIBBERT, 1967; BROWN *et al.*, 2005; GARBRECHT *et al.*, 2006; NAVAR, 2017).

3.2 INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA PELA VEGETAÇÃO

As perdas por Interceptação dizem respeito ao volume da precipitação incidente que molha o dossel da vegetação e evapora de volta para a atmosfera e desempenha um importante papel no balanço hídrico dos ecossistemas florestais, removendo uma parcela significativa da precipitação recebida (HORTON, 1919). A vegetação intercepta a precipitação através da folhagem, ramos, troncos e pela serapilheira no chão da floresta. A interceptação de precipitação é reconhecida como um componente fundamental do ciclo hidrológico da floresta e como um parâmetro ao estimar evapotranspiração total do ecossistema e desenvolvimento de balanços de água na bacia hidrográfica. As perdas por interceptação podem variar de 8% a 35% do total da precipitação e 25% a 100% da evaporação de uma floresta. O escoamento de tronco em geral apresenta baixos valores (<5% da precipitação) (RUTTER *et al.*, 1970, HEWLETT, 1969, DAVID; GASH, 2009; GAVAZZI, *et al.*, 2016).

A precipitação (P_g), medida em local aberto ou acima da vegetação, pode ser dividida em interceptação da copa (I), precipitação interna (T_f) (quantidade de chuva que cai pelo dossel e atinge o chão da floresta) e o escoamento de tronco (S_f) (Figura 3). A quantidade mínima de água necessária para saturar o dossel é denominada de capacidade de armazenamento (S). A interceptação e consequente perdas por evaporação também pode ocorrer em depressões no solo, represas e em reservatórios criados acidentalmente em edificações urbanas. Porém essas estimativas não estão no escopo da pesquisa.

Segundo Horton (1919) a interceptação pode ser descrita pela seguinte equação:

$$I = S + R.E.t \quad (1)$$

em que I é a perda por interceptação (mm); S representa a capacidade de retenção da vegetação (mm); R representa o índice de área foliar do dossel (adimensional); E

é o total de evaporação durante a chuva (mm/h); t representa o tempo de duração da chuva (h).

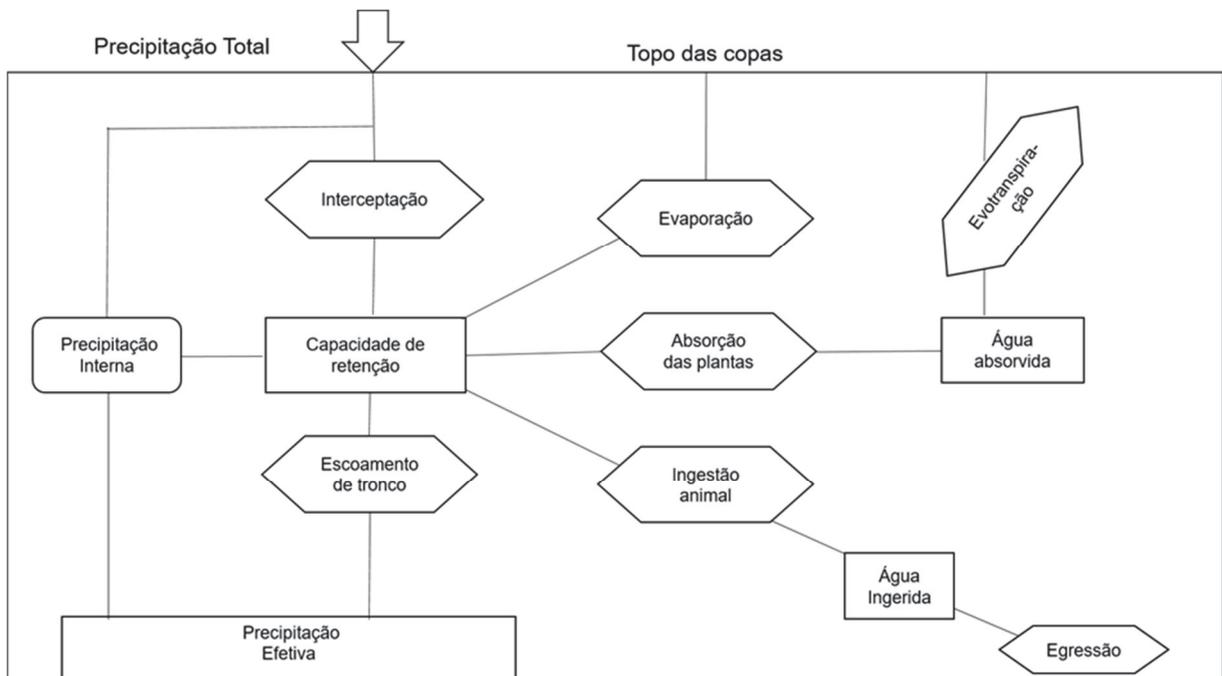
De acordo com o autor, a melhor forma de obter as taxas de interceptação de uma floresta é a realização do balanço hídrico do dossel. Isso pode ser expresso pela equação:

$$I = P_g - T_f - S_f \quad (2)$$

em que I é a perda por interceptação; P_g é a precipitação total externa (mm); S_f é o escoamento de tronco (mm); e T_f é a precipitação interna livre (não interceptada) (mm).

Esse processo é condicionado pelos seguintes fatores: vegetação (densidade de cobertura, formato das folhas); condições meteorológicas (intensidade da precipitação, volume total precipitado, intensidade de vento, umidade e temperatura do ar, radiação solar); umidade antecedente da planta (TSIKO *et al.*, 2012; SÁ *et al.*, 2015). Chávez *et al.* (2014) detalha as condições para que a água seja retida na superfície da folha, identificando as seguintes características: forma e posição da folha, relação de tensão superficial entre as gotas de chuva e a superfície da folha, velocidade do vento, intensidade da chuva e tamanho e impacto das gotas.

FIGURA 3 - MODELO DO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO DA CHUVA POR UMA FLORESTA



FONTE: Adaptado de Lima (2008).

A taxa de interceptação pode ser obtida tanto de maneira empírica quanto por meio do uso de um modelo matemático. A medição da precipitação interna feita em campo utiliza uma série de recipientes, pluviômetros ou calhas coletoras, distribuídas ao longo da área de estudo, buscando evitar favoritismos entre as espécies. O escoamento de tronco é medido com a instalação de mangueiras ou anéis coletores que circundam o tronco da árvore e transportam a água coletada até um pluviômetro ou vasilhame de coleta (SANTOS, 2009).

Visto que o processo de interceptação consiste na quantidade de água precipitada que fica contida na vegetação, a forma mais viável de quantificar esse processo é relacionar a diferença entre a precipitação efetiva e a precipitação externa. Portanto, também se faz necessária a medição da precipitação externa. Esse valor pode ser medido em uma clareira grande, na própria borda da floresta, ou até mesmo obtido em uma estação meteorológica próxima, contudo, apenas se a distância da área de estudo não prejudicar as estimativas (SANTOS, 2009).

Apesar da importância da interceptação raramente há uma caracterização sistemática a fim de entender como o processo altera a distribuição temporal da precipitação. Com exceção de alguns trabalhos como os de Lunderberg *et al.* 1997,

Xiao *et al.* (2000), Link *et al.* (2004), Reid; Lewis (2008), Chen; Li (2016). Em grande parte da literatura os trabalhos sobre interceptação realizam as medições de forma acumulada. Sendo necessária a utilização de vasilhames de coleta e medição após cada evento de precipitação ou em intervalos de tempo de dias ou semanas. Isso se dá pela fácil aplicabilidade do método e pelo alto custo de equipamentos especializados.

Medições diretas da precipitação interna e escoamento de tronco, fornecem estimativas pontuais das perdas por interceptação, mas não consideram a variabilidade espacial que é introduzida com a diversidade de características do dossel, sazonalidade ou condições da precipitação, nem fornecem meios para incorporar estes efeitos em modelos dinâmicos (LINHOSS; SIEGERT, 2017).

3.3 INTERCEPTAÇÃO EM FLORESTAS PLANTADAS COM PINUS

Grande parte dos estudos sobre interceptação e modelagem ocorrem em povoamentos arbóreos. Isso deve-se a homogeneidade das florestas e, portanto, a facilidade de parametrizar as características da vegetação. Um dos primeiros estudos sobre interceptação em florestas plantadas com *Pinus taeda* L. foi realizado por Hoover (1953), no Sudeste dos EUA. A média da precipitação anual para a área de estudo foi de 1194mm e a taxa de interceptação amostrada de 28% (Tabela 1). O autor ressalta o fato do escoamento de tronco no *Pinus taeda* L. jovem apresentar taxas maiores em relação as relatadas na literatura para várias outras espécies. Isso se deve ao formato do dossel e aos ramos pontiagudos formados por um aglomerado de agulhas longas. Esse arranjo forma um sistema eficiente para levar água ao tronco. Essa redistribuição da água da chuva favorece o aumento da umidade do solo próximo as raízes. No entorno da base de pinheiros normalmente existe um acúmulo de acículas, casca e outros detritos que fornecem uma condição favorável para a entrada de água. Portanto, nota-se a importância da medição desse componente para estudos de interceptação para esta espécie. Helvey (1967) e Swank *et al.* (1972) fazem menção a capacidade de as acículas armazenarem as gotas de água, mantendo a pôr mais tempo disponível para evaporação (Figura 4) e comparam os dados medidos em florestas plantadas com pinus aos de florestas nativas e apontam para a maior capacidade do pinus em interceptar a água da chuva. Portanto, onde ocorrem

extensas conversões de vegetação original para florestas de pinus ocorrem, reduções significativas na quantidade de a água disponível o sistema.

FIGURA 4 - RETENÇÃO DE ÁGUA PELAS ACÍCULAS



FONTE: O autor (2018).

Swank et al. (1972) realizaram um estudo de interceptação com *Pinus taeda* L. no sudeste do EUA com árvores nas idades de 5, 10, 20 e 30 anos, obtendo as seguintes taxas de interceptação respectivamente 14%, 22%, 18% e 18%. A média anual para a precipitação total foi de 1371mm. Para o *Sf* foi obtido o valor médio de 9% para as três primeiras idades e 2% para a última, em relação a precipitação externa. Com base neste valor o autor destaca a necessidade de inclusão desse componente nas medições, evitando-se assim subestimar as taxas de perda por interceptação. Também Helvey (1967), em estudo no sudeste do Estados Unidos sobre as perdas por interceptação em *Pinus strobus* L. com idades de 10, 35 e 60 anos, obteve valores relativos de 15%, 19% e 26% da precipitação total (média de 2032 mm/ano). Identifica-se assim, uma tendência a aumentar as perdas por interceptação conforme o aumento da idade das plantas, sendo que no mesmo estudo o escoamento de tronco variou de forma inversa. Os valores de escoamento de tronco foram 8,8%, 4,3% e 2,3% da precipitação total para as idades de 10, 35 e 60 anos. Embora neste estudo o *Sf* tenha diminuído com a idade do pinus, o volume de chuva necessário para a geração do escoamento de tronco aumentou.

Stogsdill *et al.* (1989) mediu por um período aproximado de um ano as taxas de interceptação para uma plantação de *Pinus taeda* L. com onze anos de idade e os efeitos dos cortes de alguns indivíduos para fins comerciais. O estudo não mediu o escoamento de tronco, mas faz revisão sobre as taxas encontradas na literatura que fazem parte da Tabela 1.

Gavazzi *et al.* (2016) realizaram medições da interceptação em plantações de *Pinus taeda* L. por um período de dez anos no Sudoeste dos EUA. A pesquisa identificou médias, para o total do período amostrado de 19% da interceptação sobre o total do volume precipitado e a variação de 14% a 23%. As médias anuais foram de 12% com a variação de 2% a 17%. Uma área de florestas plantadas está sujeita a desbastes seletivos para a melhora da produtividade. Os autores identificaram uma perda de 5% após esse tipo de manejo.

Levia e Frost (2003) realizaram uma revisão de literatura para avaliação das variações de escoamento de tronco com base no ciclo biogeoquímico. O estudo examinou separadamente, as condições meteorológicas, sazonalidade, diferenças entre espécies e estrutura do dossel e inferiu sobre os efeitos dessas variáveis na produção do escoamento de tronco e química da água.

Fan *et al.* (2014) analisaram a variabilidade espacial da precipitação interna e do escoamento de tronco em florestas plantadas com pinus, com doze anos de idade, na região subtropical da Austrália, por um período de um ano. Seus resultados demonstraram que a variabilidade espacial da precipitação total dentro de uma parcela de 50m x 50m é mínima. A precipitação interna sofre variações entre as fileiras de pinus e próxima aos troncos, sendo mais alta neste último. O escoamento de tronco sofre variações para a mesma árvore em decorrência de seu crescimento (área da copa projetada e diâmetro do caule).

Uma das primeiras pesquisas sobre a interceptação da chuva no Brasil foi realizada por Lima (1976), com medidas de precipitação interna e escoamento de tronco para o *Pinus caribaea*, com seis anos, e o eucalipto em Piracicaba, estado de São Paulo, onde a precipitação média anual varia em torno de 1.280 mm. O autor observou que o escoamento de tronco para o pinus só começou a partir de precipitações acima de 4mm, possivelmente pela rugosidade do tronco, e que esse parâmetro é muito variável não apenas de evento para evento mais também de árvore

para árvore. Já a precipitação interna ocorreu a partir de valores baixos de precipitação total e chegou a 80%.

Calux e Thomaz (2012), realizaram experimento para medição de perdas por interceptação, comparando vegetação nativa com *Pinus elliottii* em Irati-PR, onde obtiveram valores de 14,5% e 26,6% da precipitação total para os povoamentos de pinus. A precipitação média anual para a área de estudo foi de 1600mm.

Giglio e Kobiyama (2013), realizaram uma revisão dos trabalhos de interceptação em florestas brasileiras. Segundo os autores entre as espécies mais estudadas estão o pinus e eucalipto. Os valores da precipitação interna para as plantações de pinus, segundo os trabalhos listados por Giglio e Kobiyama (2013), apresentam variação entre 71,2 e 90,4%. Essa variabilidade parece estar associada a idade dos plantios, havendo um decréscimo do percentual da chuva interna de acordo com a idade do povoamento. Os autores destacam também o fato de que os estudos sobre as taxas do escoamento de tronco são poucos e heterogêneos e, portanto, insuficientes para generalizações. Dessa maneira, diminuem-se as possibilidades de inferir sobre as relações entre os componentes do processo. Isso faz com que, em alguns casos, as taxas de interceptação sejam superestimadas.

Chaffe *et al.* (2010) e Santos (2009) realizaram estudo na bacia experimental do rio Saci, mesma bacia de um dos experimentos da presente pesquisa, que incluiu monitoramento e modelagem. Porém o *pinus* quando realizada a pesquisa possuía trinta anos de idade, sendo que atualmente a nova plantação apresenta cinco anos. O estudo estimou os parâmetros de cobertura vegetal, capacidade de armazenamento da copa, proporção da água desviada da copa para o tronco, capacidade de armazenamento do tronco, e relação entre taxa de evaporação do tronco e taxa de evaporação da copa. Os pesquisadores concluíram que os modelos utilizados apresentam melhores resultados quando aplicados a períodos secos do que a períodos húmidos. Portanto chuvas de baixa intensidade dificultam a modelagem do processo de interceptação.

Para efeito de generalização pode-se assumir que pinus de diferentes espécies apresentam características físicas similares e, portanto, os valores podem ser utilizados para comparação. Essa ideia pode ser verificada no trabalho de Lima e Niconiello (1983) que mediram a interceptação em duas espécies de pinus com a mesma idade obtendo baixa variação entre elas (Tabela 1).

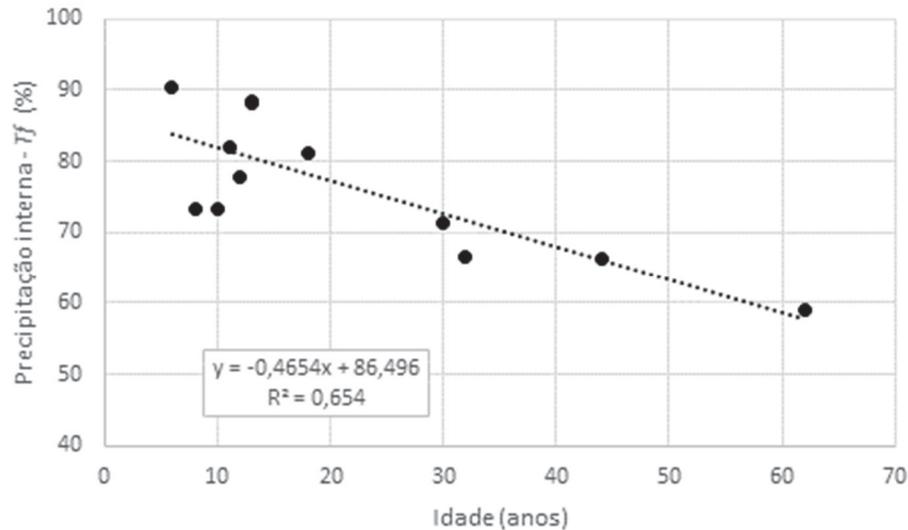
TABELA 1- ESTUDOS COM MEDIÇÃO DE INTERCEPTAÇÃO EM POVOAMENTOS DE PINUS

Tipo de vegetação	Densidade (ha ⁻¹)	Área basal (m ² h ⁻¹)	Idade (anos)	I (%)	Tf (%)	Sf (%)	Estudos	Local
<i>Pinus taeda</i> L.	654	22,5	-	15,1	82,5	2,4	Lawson (1967)	
<i>Pinus taeda</i> L.	1760	23,6	10	4,6	73,2	22,2	Hoover (1953)	
<i>Pinus taeda</i> L.	904	23,1	18	-	81	-	Gavazzi et al. (2016)	EUA
<i>Pinus taeda</i> L.	-	-	9,5	-	-	9	Swank et al. (1972)	
<i>Pinus taeda</i> L.	2077	-29,6	-11	-	82	-	Stogsdill et al. (1989)	
<i>Pinus sylvestris</i> L.	800	-	44	32	66,4	1,6	Gash e Morton (1978)	
<i>Pinus sylvestris</i> L.	-	-	-	24,7	73,9	1,3	Llorens et al. (1997)	Europa
<i>Pinus halepensis</i> L.	-	-	32	30	66,7	3,3	Rodriguez et al. (2016)	
<i>Pinus pinea</i> L.	521	38,05	62	40	58,9	1,1	Mazza et al. (2011)	
<i>Pinus taeda</i> L.	1660	60,04	30	21,4	71,2	7,4	Santos (2009)	
<i>Pinus oocarpa</i>	-	-	13	-	88	-	Lima & Nicolielo (1983)	
<i>Pinus caribaea</i>	-	-	13	-	88,3	-		
<i>Pinus caribaea</i>	1666	13,5	6	6,6	90,4	3	Lima (1976)	Brasil
<i>Pinus elliottii</i>	1994	63,2	-	-	73,1	-	Gênova et al. (2007)	
<i>Pinus elliottii</i>	2100	-	8	-	73,4	-	Calux e Thomaz (2012)	
<i>Pinus sp.</i>	-	-	12	-	-	1,2	Shinzato et al. (2011)	
<i>Pinus sylvestris</i>	-	-	-	22,1	71,4	5,7	Liu et al. (2015)	Ásia
<i>Pinus elliottii x caribaea</i>	840	23,6	12	21,1	77,9	1	Fan et al. (2015)	Oceania

FONTE: O autor (2018)

A Figura 5 apresenta a relação entre precipitação interna e a idade de florestas de pinus a partir de dados apresentados na Tabela 1.

FIGURA 5 - RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO INTERNA (T_f) E IDADE EM POVOAMENTOS DE PINUS A PARTIR DE DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA (TABELA 1)

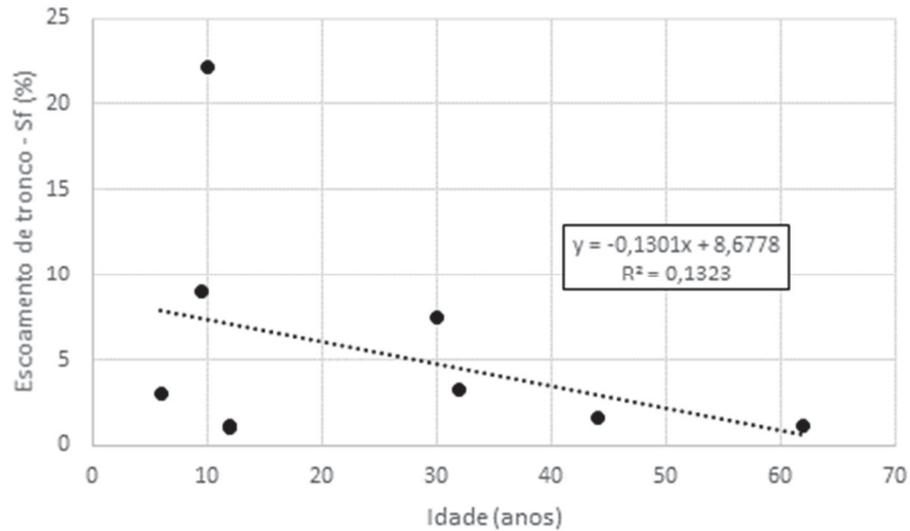


FONTE: O autor (2018)

O coeficiente de determinação (R^2) entre a precipitação interna e a idade do plantio (Figura 6) indica uma considerável variação entre os valores descritos nos estudos levantados. Isso pode ser atribuído a métodos de medição não padronizados, distintos padrões de espaçamentos entre as árvores ou a regimes de precipitação diferentes. Em climas com chuvas pequenas e frequentes (exemplo climas temperados) as perdas por interceptação são maiores enquanto que chuvas com grande volume e em menor número (exemplo clima mediterrâneo e tropical) as perdas são menores (SANTOS, 2009). Porém, existe uma relativa tendência entre as duas variáveis que apontam para a idade ser um bom parâmetro explicativo da taxa de precipitação interna. O levantamento bibliográfico para a elaboração da tabela 2 buscou primordialmente valores obtidos de florestas em fases onde ainda não haviam sido feitos desbastes. Embora alguns dos estudos utilizados tenham passado por esse processo enquanto jovens (entre 3 e 5 anos).

A Figura 6 apresenta a relação entre a taxa de escoamento de tronco e a idade de florestas de pinus a partir de dados apresentados na Tabela 2.

FIGURA 6 - RELAÇÃO ENTRE ESCOAMENTO DE TRONCO (S_f) E IDADE EM POVOAMENTOS DE PINUS A PARTIR DE DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA (TABELA 1)



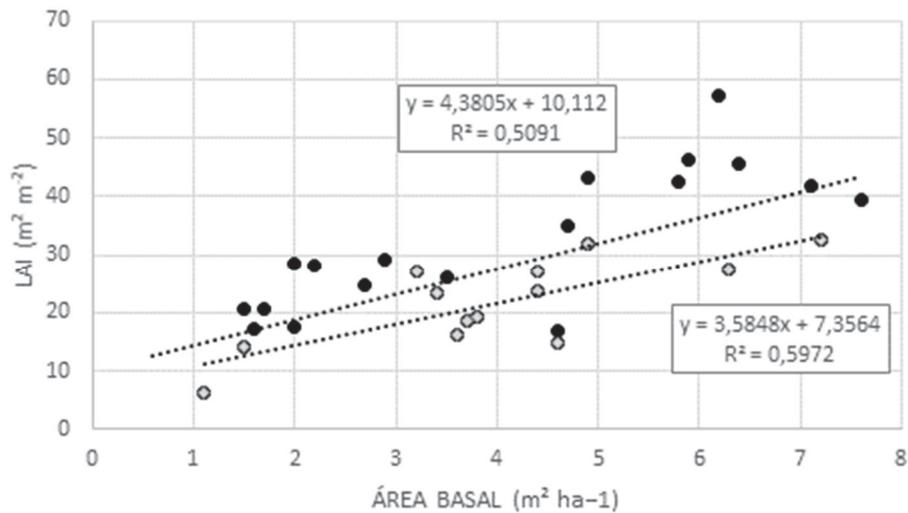
FONTE: O autor (2018)

Como indicado por Hoover (1957) e Helvey (1967), parece ocorrer um decréscimo do escoamento de tronco conforme o desenvolvimento do pinus (Figura 8). No entanto, o conjunto de dados não permite uma avaliação conclusiva. As variações entre as taxas de escoamento de tronco e a idade podem ser atribuídos a verticalidade dos galhos e menor rugosidade dos troncos dos pinus jovens, fornecendo assim vias mais eficientes para o fluxo de água. A variação entre os valores pode ser explicada pela necessidade um volume maior de precipitação para a ocorrência do escoamento de tronco em florestas de pinus mais velhos. Segundo os estudos citados foram necessárias chuvas superiores a 0,254 mm para pinus com 10 anos e 6,35 mm para os de 60 anos.

Segundo Breuer *et al.* (2003) além da idade da vegetação outros parâmetros dendrométricos devem ser levados em consideração para a caracterização da vegetação como o índice de área foliar (LAI), densidade da vegetação e área basal. Modelos hidrológicos utilizados para avaliar os efeitos das mudanças no uso da terra exigem vários parâmetros de entrada sobre propriedades da vegetação. Como a aquisição de dados é custosa, em relação a tempo, esforço e finanças, pesquisadores costumam usar intervalos de parâmetros aproximados em vez de considerar conjuntos de dados medidos. Especialmente se abordagens baseadas em processos forem escolhidas. Breuer *et al.*, (2003) realizaram um levantamento relacionando

valores de idade, área basal, altura da planta, localização geográfica, média de precipitação e capacidade de interceptação para diversos tipos de vegetação. Com base nos valores descritos foi gerado um gráfico de correlação entre a área basal e a LAI (Figura 7).

FIGURA 7 - RELAÇÃO ENTRE A ÁREA BASAL (G) E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (LAI) EM POVOAMENTOS DE PINUS A PARTIR DE DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA



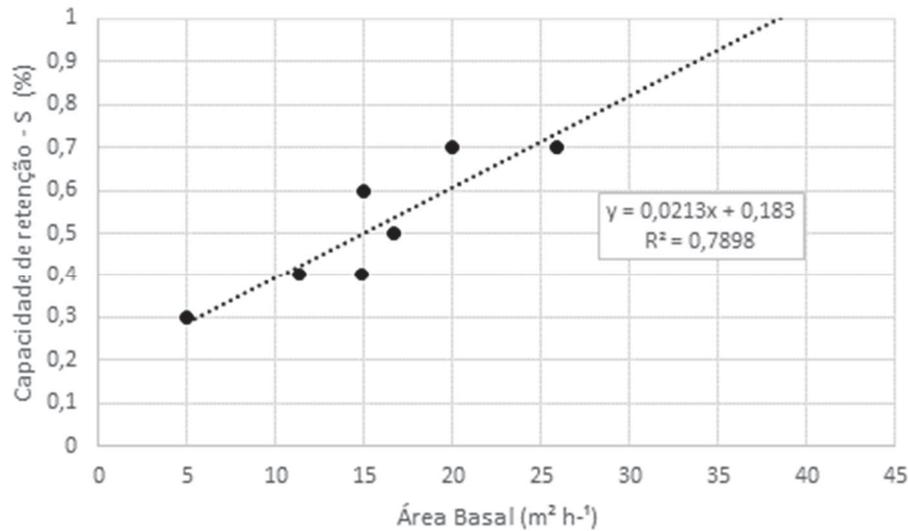
Para as diversas espécies de pinus listadas pontos em escuros e os pontos claros somente para as de pinus silvestres.

FONTE: O autor (2018).

Os valores do coeficiente de determinação mostrados na Figura 7, podem ser atribuídos aos métodos de medição não padronizados, distintos padrões de espaçamentos entre as árvores ou a regimes de precipitação diferentes. Porém, de modo geral e esperado, percebe-se um aumento da área basal em relação ao aumento de LAI. Com isso, verifica-se a validade da área basal como parâmetro para a caracterização da vegetação neste tipo de estudo.

Ainda com base nos dados de Breuer *et al.* (2003) a Figura 8 apresenta a correlação entre a área basal e a capacidade de retenção da interceptação.

FIGURA 8 - RELAÇÃO ENTRE ÁREA BASAL E CAPACIDADE DE RETENÇÃO DA INTERCEPTAÇÃO DO DOSEL (S) A PARTIR DE DADOS DISPONÍVEIS NA LITERATURA



FONTE: O autor (2018)

O valor obtido pela regressão linear entre a área basal e a capacidade de retenção da interceptação (Figura 8), com base em dados de sete estudos sobre pinus, apresentados no trabalho de revisão de Breuer et al., (2003), apresenta uma boa correlação ($R^2 = 0,7898$). Mostrando-se mais coerente que a correlação entre a capacidade de retenção e o parâmetro idade ($R^2 = 0,1867$).

Para a regressão linear entre a área basal e a precipitação interna obtida com base na tabela 1 o valor de R^2 foi de 0,325 porém a variável área basal está estreitamente relacionada a densidade do plantio, e conseqüente finalidade da produção, o que indica cautela ao se utilizar o parâmetro área basal para se inferir sobre o comportamento dos componentes da interceptação (SANQUETTA *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2013).

Segundo Swank et al. (1972) estudos de interceptação individualizados devem ser analisados considerando as especificidades de cada local, incluindo as condições climáticas, e seus resultados devem ser comparados a outras regiões com cautela. No entanto, quando tomados coletivamente os dados podem nos dar suporte para se estabelecer conclusões gerais a respeito do comportamento do processo e manejo destes sistemas.

3.4 PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Segundo Bertoni e Tucci (1993), precipitação é entendida como toda água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre. Sua classificação vai depender do mecanismo pelo qual se produz a ascensão do ar úmido (convectiva, orográfica, frontais ou ciclônicas) e do estado em que a água se encontra (neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve).

As principais características da precipitação são seu total, duração e distribuição temporal e espacial. As grandezas que caracterizam a precipitação são: 1) altura pluviométrica (P ou r) que é a espessura média da lâmina de água precipitada em toda área atingida pela precipitação (admitindo-se que a água não infiltrasse, evaporasse e nem escoasse); 2) duração (t) que corresponde ao intervalo de tempo em que a precipitação ocorre, em minutos ou hora; e 3) Intensidade (i) que é a precipitação por unidade de tempo, obtida pela relação $i = P/t$ em mm/h ou mm/min.

A unidade básica para a precipitação é o milímetro, cuja altura unitária corresponde ao volume de 1 litro de água por metro quadrado de superfície.

O termo evapotranspiração é utilizado para designar a combinação dos processos de evaporação da água presente no solo e na vegetação e da transpiração das plantas. Ou seja, diz respeito ao retorno da água precipitada para atmosfera. Normalmente, esses dois processos são tratados como um único pois estimar ou medir separadamente a evaporação e transpiração é uma tarefa difícil de ser realizada (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Evaporação é o fenômeno em que a água passa da fase líquida para a gasosa (vapor). A evaporação da água pode ocorrer em uma poça, lago ou rio (massa contínua) ou distribuída nos poros do solo úmido e dos depósitos sobre as folhas.

Transpiração é a evaporação da água absorvida pelas raízes e utilizada pelos processos metabólicos das plantas através de estruturas microscópicas ($<50\mu\text{m}$), presentes nas folhas, chamadas estômatos. Elas são responsáveis pela comunicação das partes internas da planta com o solo e a atmosfera. Em um ambiente completamente vegetado é o principal processo de retorno da água para a atmosfera (PEREIRA *et al.*, 1997). Os estômatos na maioria das plantas permanecem abertos

durante o dia e fecham-se durante a noite, sendo responsáveis por regular a água no interior das plantas, evitando que sofram superaquecimento, pois utilizam parte da energia para a transpiração.

A vegetação funciona como uma interface ou elemento de ligação entre os dois sistemas (solo e atmosfera), atuando no balanço térmico e na redistribuição da água na superfície do solo (PEREIRA *et al.*, 1997). A evapotranspiração das áreas de ambiente úmido é responsável por cerca de 50% da precipitação anual, enquanto regiões áridas por cerca de 90% (ZHAO *et al.*, 2013). As perdas por interceptação segundo MacCarthy *et al.* (1991) contribuem entre 25% e 35% para as taxas de evapotranspiração conforme espaçamento e regime de podas e desbastes para os povoamentos de pinus.

A evapotranspiração é controlada pelos seguintes fatores: fração da radiação solar que atinge a superfície do solo; demanda atmosférica (temperatura, umidade do ar e velocidade do vento); disponibilidade de água no solo e nas plantas. A parcela de radiação solar está relacionada ao local onde ocorre o processo e ao período do ano. A demanda atmosférica pelo poder evaporante do ar (quanto mais seco o ar maior será a demanda atmosférica). Esses três fatores estão inter-relacionados e regulam-se conforme déficit e disponibilidade de cada um deles. O processo de evaporação embora conceitualmente simples implica em medições de uma série de parâmetros meteorológicos o que torna sua estimativa difícil e complexa (PEREIRA *et al.*, 1997).

3.5 DENDROMETRIA

A palavra dendrometria advém dos vocábulos gregos “dendro” = árvore e “metrum” = medida. Ciência que se ocupa da medição das florestas e seus produtos para sua caracterização, utilizando-se dos princípios da matemática, estatística, geometria e física. Sua aplicação se dá nos planos silviculturais, manejo de florestas, exploração madeireira e na política e economia florestal (ENCINAS *et al.*, 2002).

Segundo Encinas *et al.* (2002) diâmetro é uma das variáveis mais importantes na quantificação volumétrica, avaliação de biomassa ou estudo de crescimento. Variável de fácil medição e permite calcular a densidade da floresta em termos de área basal. Nos países que utilizam o sistema métrico o diâmetro das árvores em pé

é medido a 1,30 m acima do solo. Em algumas situações, principalmente devido à escolha do instrumento, no lugar de medir o diâmetro a altura do peito ou em inglês Diameter at Breast Height (*DBH*), mede-se a circunferência à altura do peito (*C*). Essa medida também pode ser utilizada no cálculo do diâmetro ou área seccional (*g*), porém há a necessidade da sua conversão para *DBH*, conforme equação a seguir:

$$DBH = \frac{C}{\pi} \quad (11)$$

em que *DBH*= diâmetro à altura do peito, *C* = circunferência na altura do peito, $\pi = 3,1415\dots$

A área transversal (*g*) refere-se à área da seção transversal (perpendicular ao eixo da árvore) no ponto de medição do diâmetro. A área transversal em árvores em pé, geralmente calcula-se pela seguinte equação:

$$g = \frac{\pi \cdot DBH^2}{4} \quad (12)$$

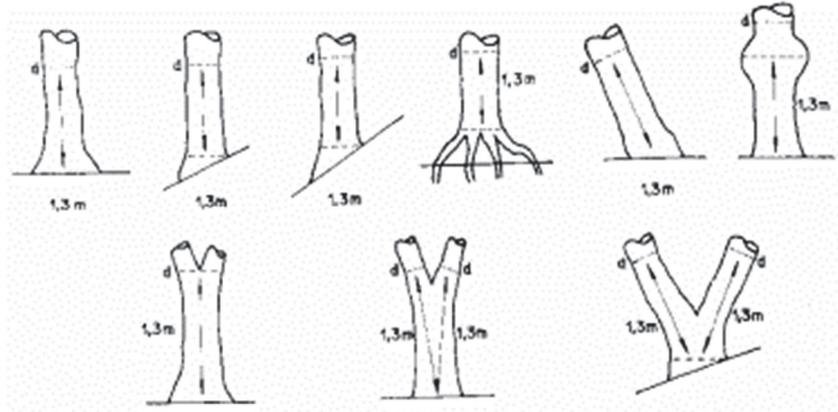
se o diâmetro estiver em metros.

$$g = \frac{\pi \cdot DBH^2}{40.000} \quad (13)$$

se o diâmetro estiver em centímetros.

A medição do *DBH* se realizada no local correto (Figura 9) contribui para a redução de erros sistemáticos (devidos ao operador ou aparelhos), os quais são difíceis de serem quantificados e, por tanto, devem ser controlados, a fim que os dados sobre a floresta sejam os mais consistentes possíveis (CUNHA, 2004).

FIGURA 9 - LOCAL PARA MEDIÇÃO DA CIRCUNFERÊNCIA ACIMA DO PEITO



FONTE: Cunha, 2004.

Segundo Soares *et al.* (2011) a área basal (G) corresponde a soma das áreas transversais de áreas individuais a 1,30m projetadas sobre o solo, numa parcela ou num hectare. É expressa em m^2 por unidade de área e mais comum em $m^2/há$. Calcula-se pela seguinte equação

$$G = \sum_{i=1}^n g_i = \sum_{i=1}^n \frac{\pi \cdot DBH^2}{4} \text{ ou } \sum_{i=1}^n \frac{\pi \cdot DBH^2}{40.000} \quad (14)$$

em que

g_i = área transversal da árvore i

n = número de árvores consideradas

Os instrumentos comumente usados para medir o diâmetro são a suta (régua graduada, conectada a dois braços perpendiculares, sendo um fixo e outro móvel) e a fita métrica que possui as seguintes vantagens em relação ao instrumento anterior: fácil aquisição e baixo custo; maior comodidade no transporte; exige apenas uma medida. Portanto a fita foi a eleita para obtenção da circunferência a altura do peito (CUNHA, 2004).

A altura em inglês Height (H) pode subsidiar caracterização expedita do povoamento (florestas plantadas). Ainda é utilizada para estimativas volumétricas e para ajustes hipsométricos e alométricos (relações de escala para atributos morfológicos). Os equipamentos mais comuns para se estimar a altura das árvores

são denominados hipsômetros e podem se dividir em métodos baseados em: a) princípios geométricos (relação entre triângulos). Entre os principais equipamentos estão o hipsômetro de Christen, com as variações de Christen I e Christen II. A principal característica destes instrumentos é que, para a sua utilização, não há a necessidade de conhecer a distância entre o observador e a árvore; b) princípios trigonométricos (relação entre ângulos e distâncias). Entre os principais hipsômetros que utilizam este princípio de construção, tem-se o Nível de Abney, o Blume-Leiss, o Haga e o Suunto Clinômetro. Para a utilização correta destes instrumentos deve se conhecer a distância entre o observador e a árvore. Existem ainda os clinômetros, instrumentos que medem a inclinação e geralmente apresentam escalas em graus (de 0° a 90°) e/ou em tangentes multiplicadas por 100 (ENCINAS *et al.*, 2002 e CUNHA, 2004).

Para as medições das alturas das árvores nas áreas dos experimentos foi utilizado o clinômetro eletrônico pela facilidade do método. Foi considerada a altura total que se refere à distância da base da árvore até seu topo (ENCINAS *et al.*, 2002 e CUNHA, 2004).

Inventário florestal consiste em selecionar uma ou mais amostras (pequenas frações da população) que se deseja obter a informação. A partir disto se realiza a contagem dos indivíduos existentes afim de se estimar a população para áreas maiores. Sua aplicação se dá no reconhecimento, diagnósticos e avaliações no campo florestal (CUNHA, 2004). Como a área de estudo é constituída de um povoamento homogêneo de *Pinus taeda L.* e seu espaçamento é conhecido foi utilizada uma estimativa para a população contida em um hectare.

A estimativa das propriedades do dossel é essencial para caracterização de um ecossistema florestal ou de povoamentos arbóreos homogêneos para fins comerciais. As copas são mais sensíveis e reagem mais prontamente do que outros componentes estruturais da planta a distúrbios bióticos e abióticos. O Índice de Área Foliar (IAF), Leaf Área Index (LAI) ou ainda (L) pode ser definido como metade do total de área de folha verde por unidade de área da superfície do solo (m^2/m^2). Ou seja, descreve a estrutura do dossel. Os valores variam entre 0 (solo nú) a 6 ou 7 (florestas tropicais densas) (WATSON, 1947; CHEN; BLACK, 1992). Os métodos para se estimar L podem ser diretos ou indiretos. Os métodos diretos são baseados na medição direta da área foliar. São mais precisos mas necessitam da destruição da planta para a

realização de medições, e, portanto, demandam um intenso e exaustivo trabalho. Por conta disto os métodos indiretos têm tipo ampla aceitação. Dentre eles pode-se destacar os equipamentos eletrônicos específicos para este fim como o analisador de dossel e o ceptômetro (os dois operam por princípios óticos que avaliam a fração de radiação transmitida pelo dossel). Porém a obtenção destes equipamentos envolve custos elevados. Outra opção para se estimar esse parâmetro é a utilização de fotografias hemisféricas ou Digital Hemispherical Photography (DHP). Este método utiliza uma máquina fotográfica com uma lente hemisférica (fisheye) para descrever a arquitetura e o regime de radiação da floresta e posteriormente softwares para o tratamento das imagens (CHIANUCCI; CUTINI, 2012). Segundo autores (CHEN; BLACK, 1992; MACFARLANE *et al.*, 2007; FOURNIER; HALL, 2017) é uma alternativa prática e menos dispendiosa economicamente. Principalmente com a adoção das fotografias digitais nas últimas décadas. Porém, certos cuidados devem ser observados como: necessidade de condições meteorológicas propícias para a aquisição das imagens (céu sem nuvem e sem a incidência direta da luz solar); estratégia de amostragem onde deve ser selecionada a visão local de cada fotografia, adaptada à questão abordada e ao ambiente florestal de interesse; fotos hemisféricas são um meio 2D usado para inferir informações de um ambiente 3D (FOURNIER; HALL, 2017).

De Bei et al. (2016) desenvolveram um aplicativo para celular a fim de estimar o *LAI*, porosidade do dossel, cobertura do dossel e índice de agregação. O VitiCanopy utiliza a câmera e o GPS de smartphones e tablets para implementar automaticamente algoritmos de análise de imagem. Semelhante ao método das imagens hemisféricas o aplicativo recebe fotos retiradas voltadas para acima do dossel e calcula parâmetros da arquitetura da copa. Os resultados obtidos pelo aplicativo correlacionam bem com os métodos tradicionais para estimar o *LAI*, sendo que para o MatLab o R^2 foi de 0,97 e para o Licor-2000 o R^2 foi de 0,95. Segundo os autores o VitiCanopy possui a acurácia e facilidade para obtenção dos parâmetros da arquitetura do dossel de videiras e possui potencial para uso em outras plantas. As imagens obtidas são georreferenciadas fornecendo um guia para a variação do dossel da área amostrada.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

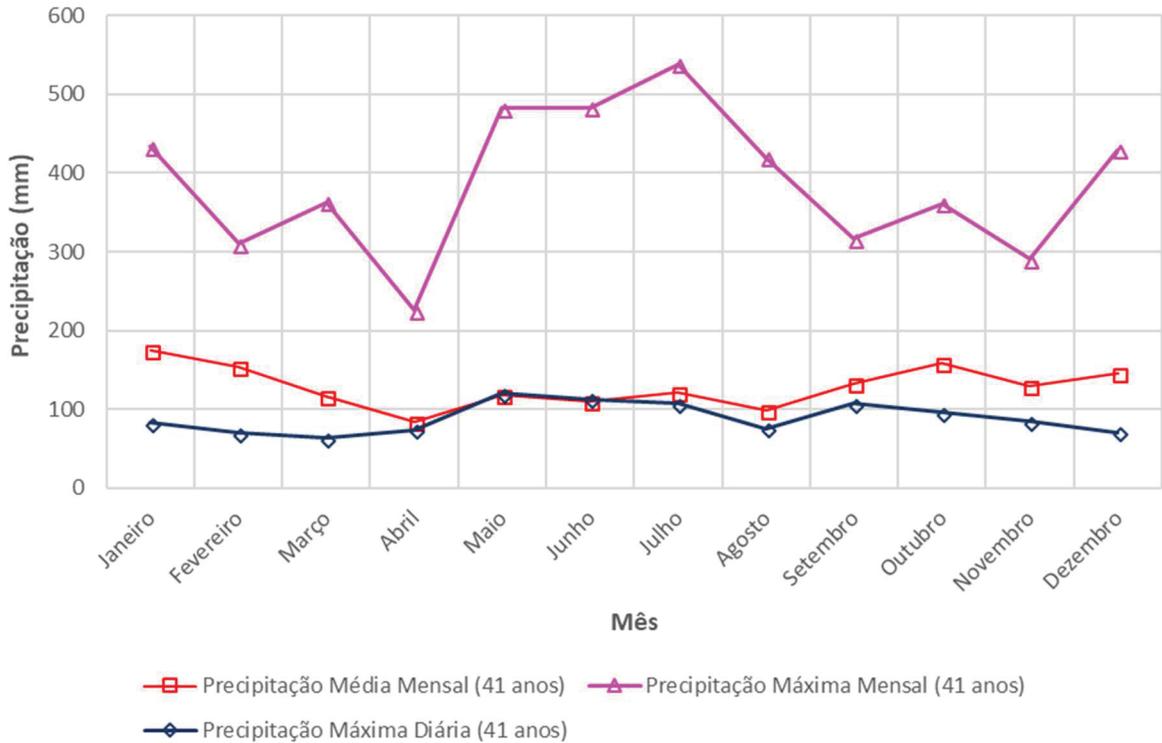
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As áreas de monitoramento estão localizadas no município de Rio Negrinho - Santa Catarina, nas bacias hidrográficas do Sagui e Saci, e estão embutidas na bacia do Alto Rio Negro. A área apresenta altitude média é de 960 m.s.n.m. Os solos predominantes são do tipo Cambissolos, originados de rochas sedimentares (argilitos e siltitos) formadas em um ambiente glacial e periglacial (SILVA; BORTOLUZZI, 1987). O clima segundo Koppen, é do tipo Cfb, com temperatura média anual entre 15,5°C e 17,0°C. A umidade varia entre 80% a 86%. A precipitação anual entre 1360 e 1670 mm, distribuídos entre 138 e 164 dias de chuva (EPAGRI/CIRAM, 1999).

A vegetação nativa é caracterizada como uma transição entre as unidades fitogeográficas de Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa (Klein, 1978). A principal atividade econômica da região, segundo a Prefeitura Municipal de Rio Negrinho (2017) é o reflorestamento da espécie *Pinus taeda* L.

A precipitação média da região de estudo é de 1519 mm/ano. Este valor foi obtido a partir de uma série de 41 anos de dados entre 1976 a 2013 utilizando os dados da estação pluviométrica Corredeira (ANA) código (2649055), localizada a cerca de 10 km da área de estudo, e dados entre 2014 e 2017 da estação meteorológica Feio (LHG). Nota-se, pela Figura 10, que a precipitação histórica média mensal apresenta baixa sazonalidade, sendo que as máximas mensais são superiores ao dobro da média observada no período, podendo ocorrer eventos extremos em qualquer época do ano. Os valores históricos máximos diários são em torno de 100 mm em todos os meses.

FIGURA 10 - VARIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MENSAL DE LONGO PERÍODO NA ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA CORREDEIRA E FEIO

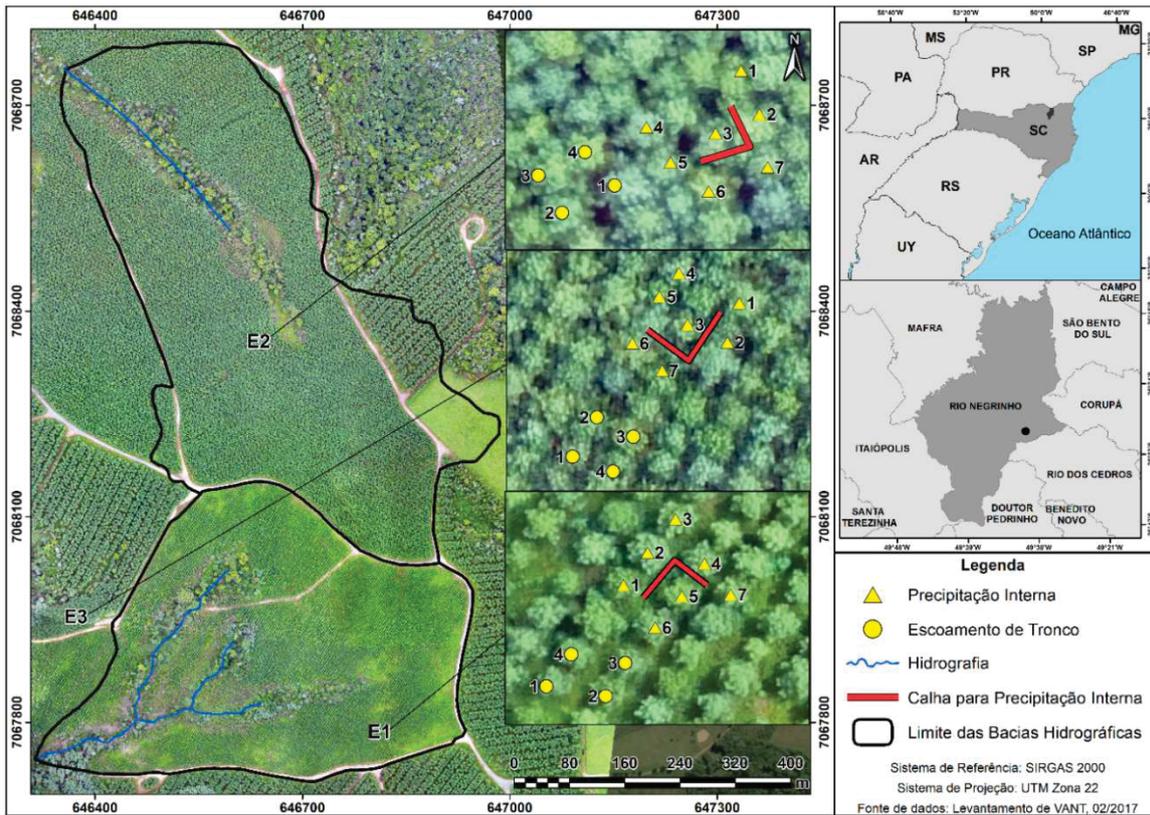


FONTE: O autor (2018).

As bacias experimentais dos rios Sagui e Saci possuem monitoramento hidrológico intensivo desde 2005 sendo que os dados obtidos fomentaram diversos estudos anteriores. Nestas bacias foram implementados os experimentos da presente pesquisa, nos locais denominados de E1 (5 anos), E2 (7anos) e E3 (10 anos) mostrados nas Figuras 11 e 12. A precipitação total externa (P_g) foi monitorada a aproximadamente um km dos experimentos (estação Feio).

Foram considerados eventos relevantes para o estudo aqueles cuja a precipitação total externa (P_g) foi de mínimo 5 mm. A definição da amplitude temporal de cada evento foi de um intervalo mínimo de seis horas sem precipitação (WISHMEIER; SMITH, 1958).

FIGURA 11 - CARTOGRAMA DE LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS DE MONITORAMENTO



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 12 - IMAGENS DOS TRÊS EXPERIMENTOS



FIGURAS E1 (A), E2 (B), E3 (C).

FONTE: O autor (2018).

Em cada experimento, a parcela amostrada se baseia em uma área de ocupação teórica, assumindo a dimensão de 6m^2 para cada planta nas idades de sete e dez anos e $7,5\text{m}^2$ para as de dez anos, nas medições de escoamento de tronco. Dessa maneira não importa o tamanho da árvore, mas sim o quanto choveu em cada área amostral. Essa área teórica resulta do espaçamento do pinus de três metros entre fileiras e dois metros entre plantas na fileira para os pinus de sete e dez anos e dois metros e meio por três metros para o de cinco anos. Porém o povoamento com sete anos passou por um corte seletivo aos três anos após o plantio onde foi retirada aproximadamente um terço de seus indivíduos. Esses resultados são apresentados na Tabela 3.

Foram mensurados a densidade do plantio, diâmetro à altura do peito (*DBH*), índice de cobertura (*C*) e índice de área foliar (*LAI*) das árvores próximas aos experimentos, como forma de caracterizar a vegetação representativa em cada local. Como as plantações de pinus apresentam certa homogeneidade entre o porte e a distribuição dos indivíduos, as medições ocorreram nas seis árvores amostradas para a precipitação interna e em quatro para o escoamento de tronco.

Os parâmetros meteorológicos (*P*) utilizados para o balanço da interceptação foram medidos na estação pluviométrica (logger H-500 e báscula H-340 da WATERLOG) localizada a cerca de um km das parcelas. O equipamento possui um ajuste para a correção de eventos de alta intensidade.

Durante o período de monitoramento ocorreram diversos problemas com os equipamentos de medição, relativos a entupimentos das calhas e básculas, defeitos nos sensores de pulso assim como vazamentos nos anéis coletores do escoamento de tronco. Isso acarretou falhas nas séries. Esses tipos de problemas são inerentes ao monitoramento e indicam a necessidade de maior frequência em campo para manutenção dos experimentos. No total foram monitorados 86 eventos de precipitação, porém após consistência dos dados foram utilizados nas análises 54 eventos e cinco eventos medidos simultaneamente nos três experimentos. A disponibilidade dos dados e critérios para seleção dos eventos são descritos no capítulo de resultados e discussões.

4.2 DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS

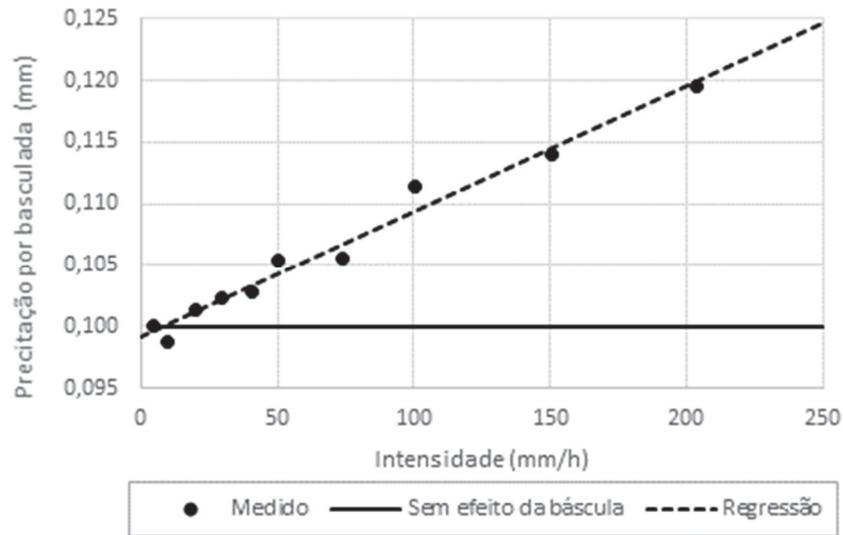
O alto custo ou inexistência de equipamentos para a medição de parâmetros hidrológicos gera a necessidade da criação de alternativas de instrumentação. Uma das etapas da pesquisa foi o desenvolvimento de equipamentos personalizados para monitorar a interceptação. Foram construídos: pluviômetros de balança (Figura 14), calhas para medição da precipitação interna (Figura 15), sistema de anéis coletores para a medição do escoamento de tronco e abrigos para os pluviômetros (Figuras 16 e 17) e DATA LOGGERS (Figura 18). Após testes e calibrações os equipamentos foram qualificados para serem instalados em campo.

Os sistemas de medição da precipitação total interna (Tf) são compostos por duas calhas coletoras, cuja área total de captação é de 0,6 m². As calhas coletoras foram instaladas em uma altura de, aproximadamente, um metro acima do solo. Os volumes de água captados pelas calhas são mensurados em pluviômetros, tipo basculante, com resolução de 0,1 mm (BRAGA *et al.*, 2009).

A calibração das básculas foi realizada no Laboratório de Análise de Água, Solo e Sedimento (LAASS) da Universidade Federal do Paraná. Inicialmente os pluviômetros de balança foram ajustados para bascular um volume exato de 60 ml. Em seguida foi realizado um ensaio onde cada balança foi submetida a dez intensidades diferentes (que simularam a precipitação) a fim de se estabelecer o erro. Os volumes de dez basculadas para cada situação simulada, foram coletados e pesados em balança de precisão. O exemplo de resultado do ensaio para uma balança é mostrado na Figura 13. Cada ponto do gráfico representa o resultado médio da coleta de dez basculadas em uma determinada intensidade de chuva.

Os parâmetros das regressões lineares são representados na TABELA 3. O coeficiente linear apresentou baixa variação ($Cv = 1,7\%$) e o coeficiente angular apresentou maior variação ($Cv = 11,6\%$), justificando a adoção de equações de correção individuais. O coeficiente de determinação mostra que a correlação linear é muito boa para todas as básculas, permitindo a correção dos erros de medição *a posteriori*.

FIGURA 13 - GRÁFICO DE EXEMPLO DO ENSAIO PARA SE ESTABELECEER O VALOR DE CORREÇÃO PARA OS PLUVIÔMETROS DE BÁSCULA



FONTE: O autor (2018).

TABELA 2 - PARÂMETROS DA REGRESSÃO LINEAR PARA CALIBRAÇÃO DAS BÁSCULAS UTILIZADAS NO MONITORAMENTO DA PRECIPITAÇÃO TOTAL (P_g) E ESCOAMENTO DE TRONCO (S_f)

Báscula	Coefficiente angular	Coefficiente linear	R ²
1	0,000100650	0,1036608	0,94
2	0,000095808	0,1078133	0,95
3	0,000101310	0,1081984	0,95
4	0,000091843	0,1054271	0,96
5	0,000107759	0,1053144	0,97
6	0,000075810	0,1045971	0,98
Média	0,000095530	0,1058352	0,96
Desv.Pad.	0,000011061	0,0017998	0,01
Cv %	11,578	1,701	1,379

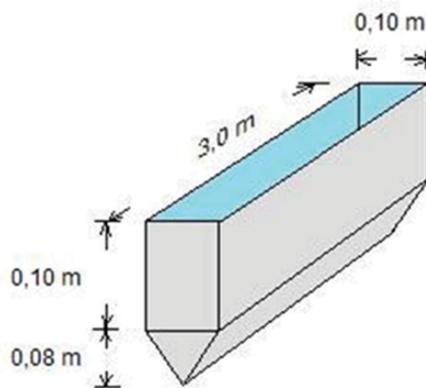
FONTE: O autor (2018).

FIGURA 14 - BÂSCULAS PARA A MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO INTERNA E ESCOAMENTO DE TRONCO MODELO LHG-SB002-60CC



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 15 - CALHA PARA A MEDIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO INTERNA (T_f).



FONTE: O autor (2017).

Para mensurar o escoamento de tronco (S_f) foram fixados anéis de borracha e mangueiras seccionadas ao redor dos troncos de quatro exemplares de cada experimento. Os sistemas de coleta se conectam a mangueiras que conduzem a água por gravidade até o sistema de báscula, do mesmo modelo utilizado para o monitoramento da precipitação total interna (T_f) (Figuras 16 e 17).

FIGURA 16 - APARATO PARA A MEDIÇÃO DO ESCOAMENTO DE TRONCO (S_f).



FONTE: O autor (2017).

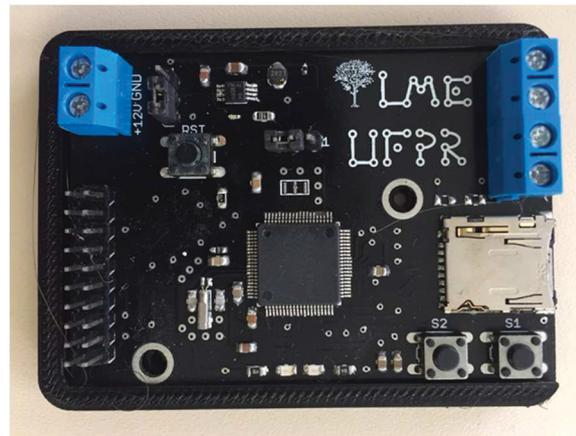
FIGURA 17 - ABRIGO PARA A BÁSCULA E COLETOR DO ESCOAMENTO DE TRONCO (S_f).



FONTE: O autor (2017).

O registro das alturas de Tf e Sf foram realizados de maneira automatizada e com resolução temporal instantânea (registro individual das basculadas). Foram utilizados *data loggers* do modelo IPSUM EVENTUS (Figura 18), desenvolvido pelo Laboratório de Monitoramento Eletrônico (LME) da Universidade Federal do Paraná, e projetado para registrar a ocorrência de eventos com máxima discretização no tempo.

FIGURA 18 - DATA LOGGER MODELO IPSUM EVENT



FONTE: O autor (2017).

4.3 PARÂMETROS DE VEGETAÇÃO

Para o cálculo do índice de cobertura vegetal (C) e Índice de Área Foliar (LAI) foi utilizado um aplicativo para celular desenvolvido por De Bei et al. (2016). O VitiCanopy utiliza a câmera e o GPS de *smartphones* e *tablets*, para implementar automaticamente algoritmos de análise de imagem, a fim de estimar o LAI , porosidade do dossel, cobertura do dossel e índice de agregação. Semelhante ao método das imagens hemisféricas o aplicativo recebe fotos que são tiradas do dossel com a câmera apontada para o zênite e calcula automaticamente os parâmetros da arquitetura da copa.

O diâmetro à altura do peito (DBH) foi mensurado, utilizando fita métrica, nas 11 árvores constituintes de cada experimento, sendo sete delas relacionadas ao monitoramento da precipitação interna (Tf) e quatro relacionadas ao monitoramento do escoamento de tronco (Sf). As medidas de diâmetro foram realizadas a uma altura de 130 cm do solo (PAUL et al., 2017), pois em árvores de plantio extensivo com fins

comerciais, o tronco abaixo desta altura é irregular e, normalmente, não circular (GREGOIRE; ZEDAKER; NICHOLAS, 1990).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos na caracterização da vegetação nas áreas dos três experimentos.

TABELA 3 – PARÂMETROS DENDROMÉTRICOS NOS TRÊS EXPERIMENTOS.

Idade do povoamento (anos)			
	5	7	10
Espaçamento (m)			
	2,5x3	2x3	2x3
N.º de árvores (há⁻¹)			
	1333	1666/1100*	1666
Altura - H (m)			
Média	9,625	13,625	16,775
Desvio padrão	0,479	0,359	0,340
C.V (%)	5%	3%	2%
Diâmetro na altura do peito - DBH (cm)			
Média	16,658	20,987	19,618
Desvio padrão	1,714	2,733	1,986
C.V	10%	13%	10%
Área basal - G (m² h⁻¹)			
	29,36	39,05	50,88
Fator de cobertura - C (%)			
Média	77,900	79,600	80,900
Desvio padrão	5,152	2,591	2,644
C.V	7%	3%	3%
Índice de área foliar - LAI (m² m⁻²)			
Média	1,909	2,185	2,335
Desvio padrão	0,166	0,161	0,125
C.V	9%	7%	6%

Povoamento recebeu desbaste aos três anos após plantio, reduzindo aproximadamente 35%, de 1666 para 1100 indivíduos por hectare.

FONTE: O autor (2018).

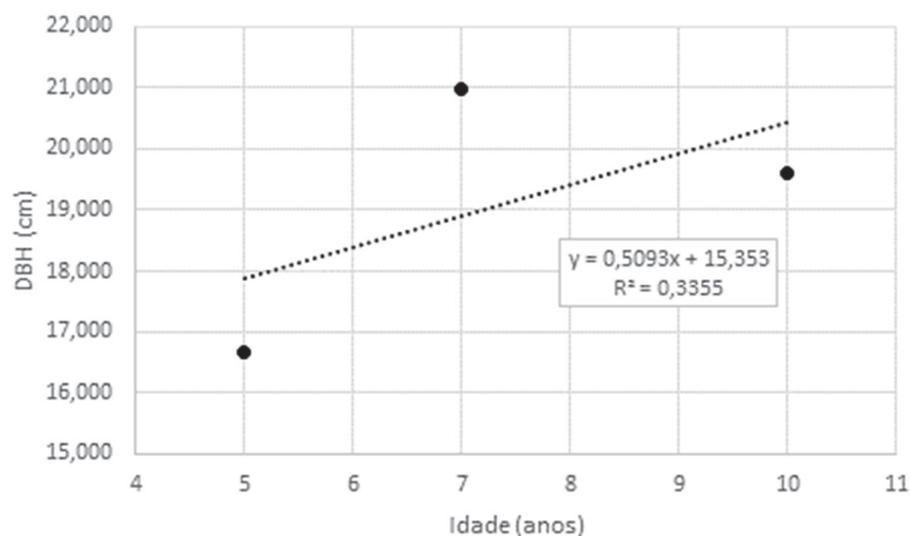
O fator de cobertura *C*, entre os pinus de cinco, sete e dez anos sofreu um aumento de acordo com o seu desenvolvimento. Porém os valores variaram pouco entre si (2,3% entre o pinus de cinco e sete anos e 1,6% entre o pinus de sete e dez). Já os valores do *DBH* para o pinus de dez anos foram inferiores aos dos de sete anos,

provavelmente em decorrência do menor espaçamento no plantio e, portanto, alteração das condições ambientais para seu desenvolvimento.

Lima *et al.* (2013) realizaram estudo, baseados na medição do DBH, em nove tratamentos de espaçamento em povoamentos de *Pinus taeda* L. (entre 1,0 m² e 16,0 m² por árvore). Seus resultados indicam que o espaçamento influencia significativamente o crescimento em volume por hectare. Com altas densidades (espaçamentos entre 1 a 5 m²), observou-se a produção de fustes mais tortuosos e pequenos, e diâmetros menores, em relação às densidades mais baixas (> 5 m²). Portanto, espaçamentos mais amplos promovem diâmetros maiores com menor produção volumétrica, enquanto que espaçamentos menores promovem árvores mais altas, menores diâmetros e produção volumétrica superior por unidade de área. O que corrobora com os dados medidos na presente pesquisa: povoamento com dez anos (1660 Árvores por hectare) o DBH foi inferior aos do povoamento de sete anos (1110 árvores por hectare) (Tabela 3 e Figura 19).

A Figura 19 apresenta a relação entre idade e DBH para os três experimentos. Como observado ocorre uma fraca correlação entre as duas variáveis. Isso indica que a idade aparentemente tem menor influência que o espaçamento dos sítios em questão. Porém a linha de tendência foi estabelecida com apenas três pontos o que dificulta a inferência sobre o comportamento das variáveis.

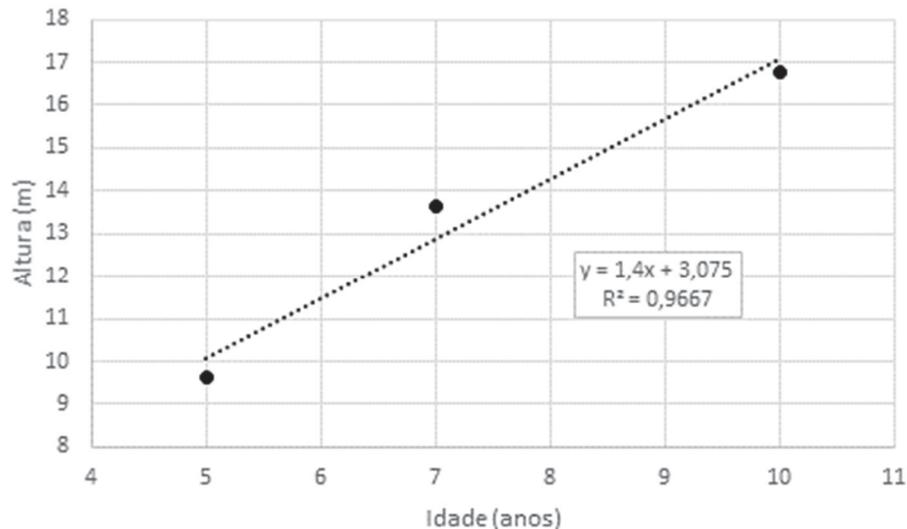
FIGURA 19 - RELAÇÃO ENTRE IDADE E DBH PARA OS DADOS OBTIDOS



FONTE: O autor (2018).

Sanquetta *et al.* (2003), em estudo com cinco padrões de espaçamento em povoamentos de *Pinus taeda* L., observaram que a variável altura não foi consideravelmente afetada pela densidade do plantio enquanto o DBH apresentou variações mais notórias, a exemplo dos dados medidos para a caracterização da vegetação na área de estudo (Figura 20).

FIGURA 20 - RELAÇÃO ENTRE IDADE E ALTURA PARA OS DADOS OBTIDOS



FONTE: O autor (2018).

Gavazzi *et al.* (2016) demonstraram alterações de valores nas taxas de interceptação, *LAI* e *G* durante o monitoramento contínuo de dez anos. Logo após a retirada de 36% com o corte seletivo os valores máximos da taxa de interceptação diminuíram de 5% e a redução da *G* foi de 44%, indicando como o manejo e as técnicas de plantio afetam os parâmetros dendrométricos e o processo de interceptação. Os povoamentos de pinus assumem então diversos padrões em suas densidades exigindo cautela ao se utilizar comparações e dados indiretos e generalistas apresentados em estudos. A escolha do espaçamento dos pinus pode apresentar variações de acordo com o interesse no crescimento e desenvolvimento das variáveis dendrométricas (objetivo da produção); tolerância e adaptabilidade da espécie à área de plantio; condições de mercado, métodos de colheita; disponibilidade de maquinário entre outros (Lima *et al.*, 2013).

Gavazzi *et al.* (2016) destacam o importante papel que os administradores dos plantios têm no gerenciamento da disponibilidade de água através da gestão e

controle da vegetação. A redução da densidade de plantas, e por associação de área foliar, resulta em menores taxas de interceptação e maior disponibilidade de água na bacia.

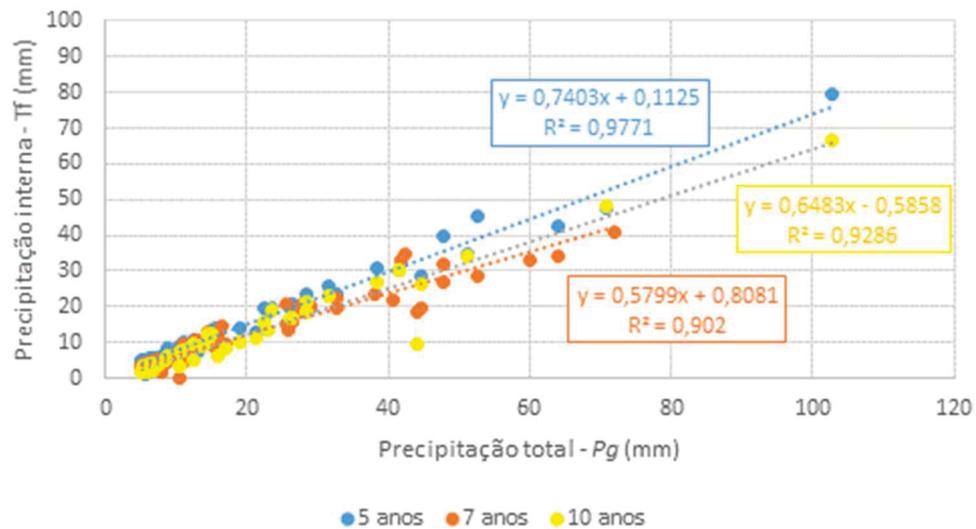
5.2 PARÂMETROS DE INTERCEPTAÇÃO

No período de monitoramento foram individualizados 86 eventos medidos integralmente (Apêndice 1), sendo que deste total 54 eventos foram parcialmente validados após análise detalhada de consistência dos dados (apêndice 2). Para o experimento com cinco anos foram validados 52 eventos com um total de precipitação de 1072 mm, para o experimento com sete anos 50 eventos com um total de 1156 mm e para o experimento de dez anos 41 eventos num total de 989 mm.

A consistência dos eventos levou em consideração falhas físicas nos experimentos como entupimentos nas calhas para medição da precipitação interna e pluviômetros de balança assim como mal funcionamento dos sensores de pulso responsáveis por contabilizar o número de basculadas. Os critérios de seleção dos eventos válidos levaram em conta também os que não apresentaram taxas de interceptação negativa (chuva interna maior que chuva total). Esse problema foi relatado por Horton, (1919); Valente *et al.* (1997); Gavazzi *et al.* (2016) e segundo os autores é provavelmente causado por erros de equipamento, erro humano ao registrar os volumes precipitados, características do dossel ou variabilidade na quantidade de precipitação ao redor da área.

A Figura 20 apresenta a relação entre precipitação total (P_g) e precipitação interna (T_f). Como mostra a linha de tendência para as três idades a correlação é alta, o que confirma que as taxas obtidas pela regressão linear estão coerentes com as medições.

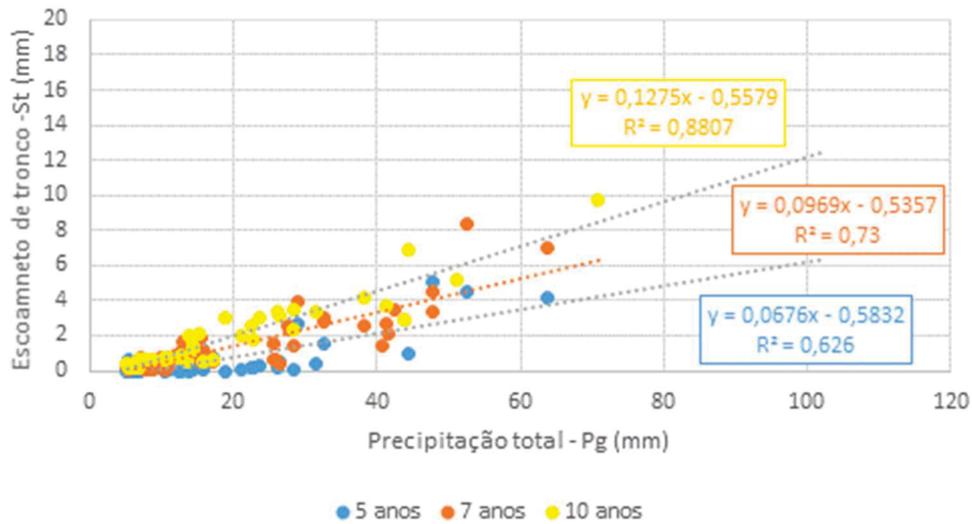
Para o conjunto dos eventos analisados, a precipitação interna resultou em média em 74%, 58% e 65% da precipitação total, para E1, E2 e E3, respectivamente.

FIGURA 21 - RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO TOTAL (P_g), E PRECIPITAÇÃO INTERNA (T_f)

FONTE: O autor (2018).

A Figura 22 apresenta a relação entre precipitação total (P_g) e escoamento de tronco (S_f). Nota-se pelo o escoamento de tronco apresenta maior variabilidade que a precipitação interna, quando comparados relativamente com a precipitação total. Estes resultados estão de acordo com a literatura, que relata que o escoamento de tronco é um componente muito variável não apenas de evento para evento, mas também de árvore para árvore, possivelmente pelos distintos graus de rugosidade do tronco, arranjo dos dosséis e demais modificações morfológicas decorrentes do desenvolvimento da planta (STOGSDILL *et al.*, 1989; LIMA, 1976; FAN *et al.*, 2014).

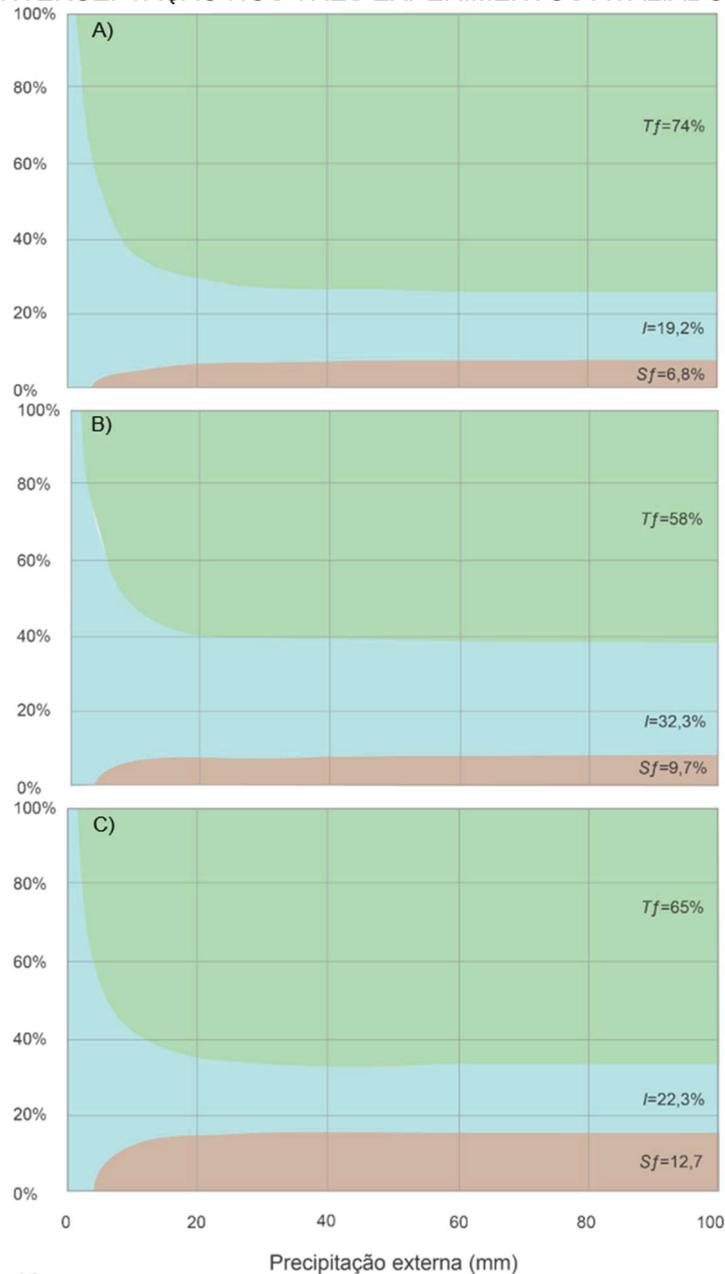
Para o conjunto dos eventos analisados, o escoamento de tronco resultou em média em 6,8%, 9,7% e 12,7% da precipitação total, para E1, E2 e E3, respectivamente.

FIGURA 22 - RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO TOTAL (P_g) E ESCOAMENTO DE TRONCO (S_f)

FONTE: O autor (2018).

Com base nos resultados obtidos, a Figura 23 apresenta o comportamento conceitual dos componentes do processo de interceptação em relação à precipitação total para os três experimentos avaliados. As linhas desenhadas no esquema foram obtidas a partir da tendência geral dos pontos amostrados em cada um dos experimentos.

FIGURA 23 - COMPORTAMENTO CONCEITUAL DOS COMPONENTES DO PROCESSO DE INTERCEPTAÇÃO NOS TRÊS EXPERIMENTOS AVALIADOS



A) E1, B) E2 e C) E3. Tf – precipitação interna, Sf - escoamento de tronco e I – perdas por interceptação.

FONTE: O autor (2018).

Como observado na Figura 23 existe uma tendência a redução da capacidade de retenção da precipitação pelo dossel conforme o aumento do volume precipitado (HORTON, 1919; HOOVER, 1953; DAVID; GASH, 2009; GAVAZZI *et al.*, 2016). Já o comportamento da precipitação interna e escoamento de tronco se manifesta de forma inversa. Portanto o processo é condicionado principalmente pelo volume precipitado. Para cada fase de desenvolvimento dos povoamentos mudam as alturas das taxas

dos componentes do processo o que indica maior ou menor facilidade de a precipitação atravessar o dossel.

Na comparação entre os dados dos experimentos e a média observada na literatura (Tabela 4) as taxas de precipitação interna, medidas na presente pesquisa, foram superiores à dos estudos anteriores. Quando comparadas a pesquisa realizada na mesma área de estudo, porém ocupada por povoamentos de pinus com idade de 30 anos, realizada por Santos (2009), as taxas de precipitação interna se apresentaram próximas para as idades de cinco e dez anos. Os valores da precipitação interna para as plantações de pinus, segundo os trabalhos listados por Giglio e Kobiyama (2013), podem apresentar variação entre 71,2% e 90,4%. Isso pode ser em decorrência dos distintos regimes de precipitação, condições de plantio e manejo e características ambientais de cada área de estudo.

TABELA 4 - RESUMO DOS VALORES OBTIDOS PELA LITERATURA.

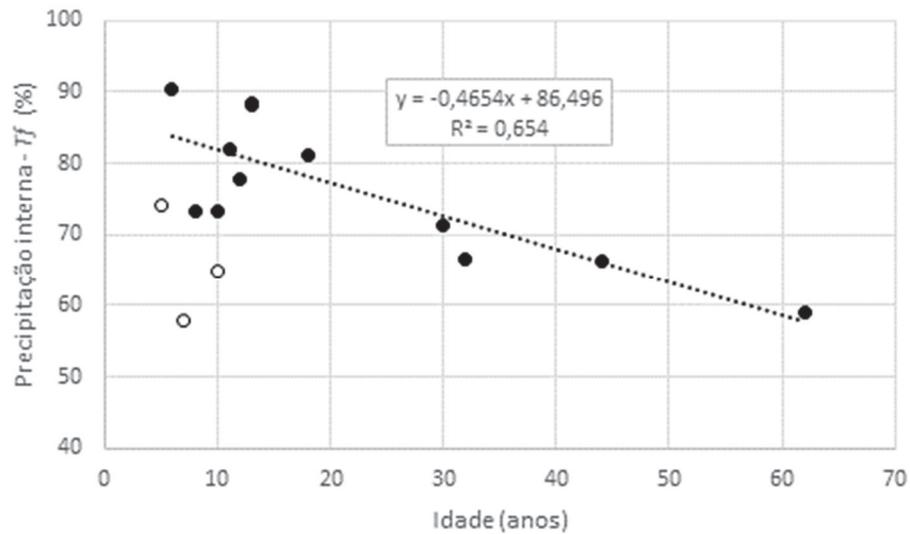
	<i>Tf</i> (%)	<i>Sf</i> (%)	<i>I</i> (%)
Média	76,8	4,9	20,6
Desv. Pad.	8,7	6,0	11,0
C.V.	11%	123%	53%

Tf – precipitação interna, *Sf* - escoamento de tronco e *I* - perdas por interceptação.

FONTE: O autor (2018).

A Figura 24 mostra a relação entre precipitação interna e idade da vegetação. Nota-se uma considerável dispersão para os valores da precipitação interna para os dados levantados da literatura ($R^2=0,654$). Os dados de precipitação interna medidos apresentaram valores abaixo dos indicados. Porém os valores amostrados variam pouco em relação a idade quando comparada aos dados gerais.

FIGURA 24 - RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO INTERNA E IDADE DA VEGETAÇÃO A PARTIR DE DADOS OBTIDOS PELA LITERATURA (TABELA 1) E DADOS MEDIDOS

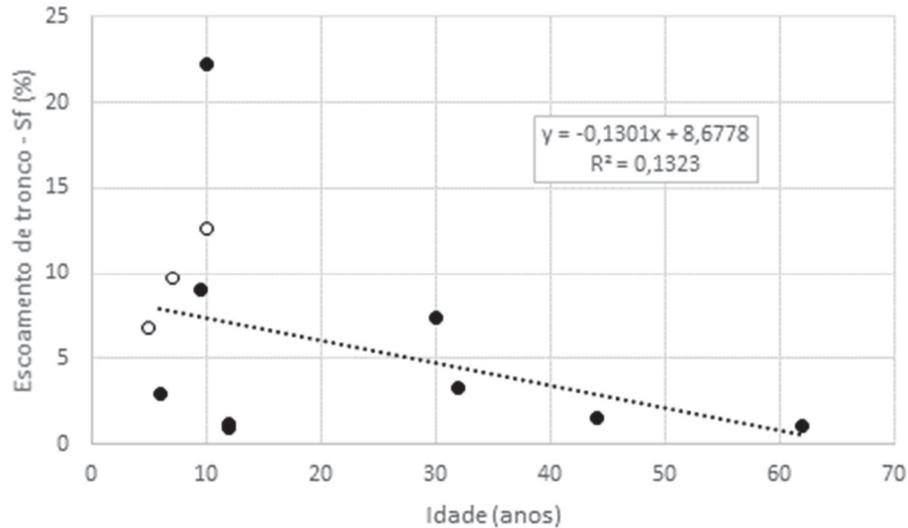


Pontos escuros para dados da literatura e pontos claros para os dados medidos.

FONTE: O autor (2018).

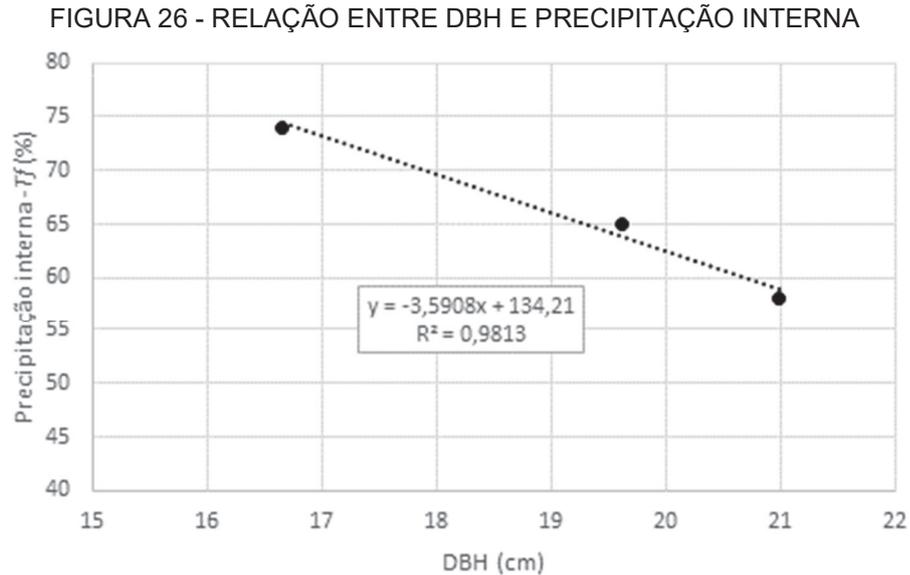
A relação entre escoamento de tronco e idade, a partir de dados medidos na presente pesquisa a Figura 25 demonstrou um comportamento inverso do descrito em outros estudos (HOOVER, 1957; HELVEY 1967). Onde ocorre um decréscimo do escoamento de tronco conforme o desenvolvimento do pinus. A variação entre os valores pode ser explicada pela necessidade de um volume maior de precipitação para a ocorrência do escoamento de tronco em florestas de pinus mais velhos. Este componente pode variar de 1 a 15% do total precipitado e apresenta grande variabilidade (TUCCI, 2001).

FIGURA 25 - RELAÇÃO ENTRE ESCOAMENTO DE TRONCO E IDADE A PARTIR DE DADOS OBTIDOS PELA LITERATURA (TABELA 1) E DADOS MEDIDOS



FONTE: O autor (2018).

A Figura 26 apresenta a relação entre o *DBH* e as taxas de precipitação interna obtidas para os três experimentos. Nota-se uma boa correlação entre as variáveis ($R^2=0,983$) o que valida o *DBH* como um parâmetro dendrométrico coerente e corrobora com o espaçamento, e conseqüente densidade do povoamento, ser um importante condicionante na variação das taxas de interceptação. Os valores obtidos pela regressão linear foram baixos para a precipitação interna e fator de cobertura *C* ($R^2=0,388$), para a precipitação interna e LAI ($R^2=0,090$) e para precipitação interna e idade ($R^2=0,213$). Percebe-se com base nos dados do presente estudo, que o *DBH* possui mais relevância para explicar as taxas de precipitação interna do que os demais parâmetros dendrométricos comparados.



FONTE: O autor (2018).

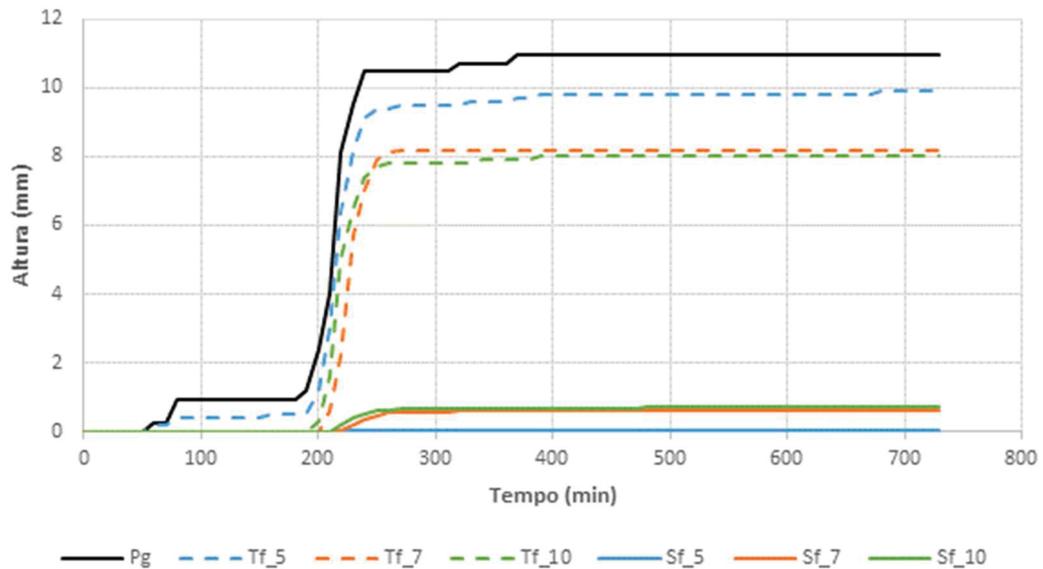
Diferente do esperado a precipitação interna para o pinus de dez anos (E3) foi maior do que para o mais jovem de sete anos (E2). Nos dois experimentos o Fator de Cobertura C estimado apresentou uma fraca correlação com a taxa de interceptação obtida ($R^2 = 0,085$) assim como o LAI ($R^2 = 0,025$) quando comparados a correlação entre precipitação interna e DBH ($R^2=0,98$). A variável DBH , está associada diretamente ao espaçamento e, parece explicar melhor a relação entre as taxas de interceptação pois essas correlações são conhecidas como descritas nos artigos de Sanguetta *et al.* (2003) e Lima *et al.* (2013); Gavazzi *et al.* (2016).

Em povoamentos de *Pinus taeda* L. para fins comerciais o desenvolvimento parece estar mais relacionado as condições ambientais do que as idades dos plantios. Por isso, a informação relacionada unicamente com a idade do plantio torna-se insuficiente como fator condicionante do processo de interceptação.

As Figuras 27 e 28 mostram como exemplos os dados dos eventos 45 e 46. O evento 45 teve a duração de aproximadamente 24 horas e volume acumulado de 10,9mm. As taxas de precipitação interna e foram de 73,2%, 75,0% e 90,5%; para os experimentos com cinco, sete e dez anos e para o escoamento de tronco: 0,3%; 5,6%; 6,4% respectivamente. O evento 46 teve a duração de aproximadamente 21 horas e volume acumulado de 26,3mm. As taxas de precipitação interna foram de: 63,8%,

59,2%, 79,4% para os experimentos com cinco, sete e dez anos e para o escoamento de tronco: 2,1%; 1,7%; 11,9% respectivamente.

FIGURA 27 - ALTURAS ACUMULADAS DOS COMPONENTES DA INTERCEPTAÇÃO PARA O EVENTO 45



Pg – precipitação externa, *Tf* – precipitação interna e *Sf* – escoamento de tronco.

FONTE: O autor (2018).

Pela Figura 27 nota-se que a precipitação interna no experimento de cinco anos tem início praticamente ao mesmo tempo da precipitação externa com um volume próximo a um milímetro. Provavelmente pelo maior espaçamento entre as árvores, característico ao povoamento mais jovem. Após cerca de 150 minutos ocorre um novo pico onde a partir dos dois milímetros precipitados tem início a precipitação interna para os outros dois povoamentos mais desenvolvidos. Swank (1967) estimou o valor de dois milímetros para que o reservatório do dossel (*S*) estivesse completo e tivesse início o gotejamento em povoamento de pinus com nove anos e meio anos. Santos (2009) estimou em 2,7mm a capacidade do reservatório para pinus com 30 anos. Portanto os valores da literatura se aproximam dos medidos nos dois eventos no que diz respeito ao parâmetro *S*.

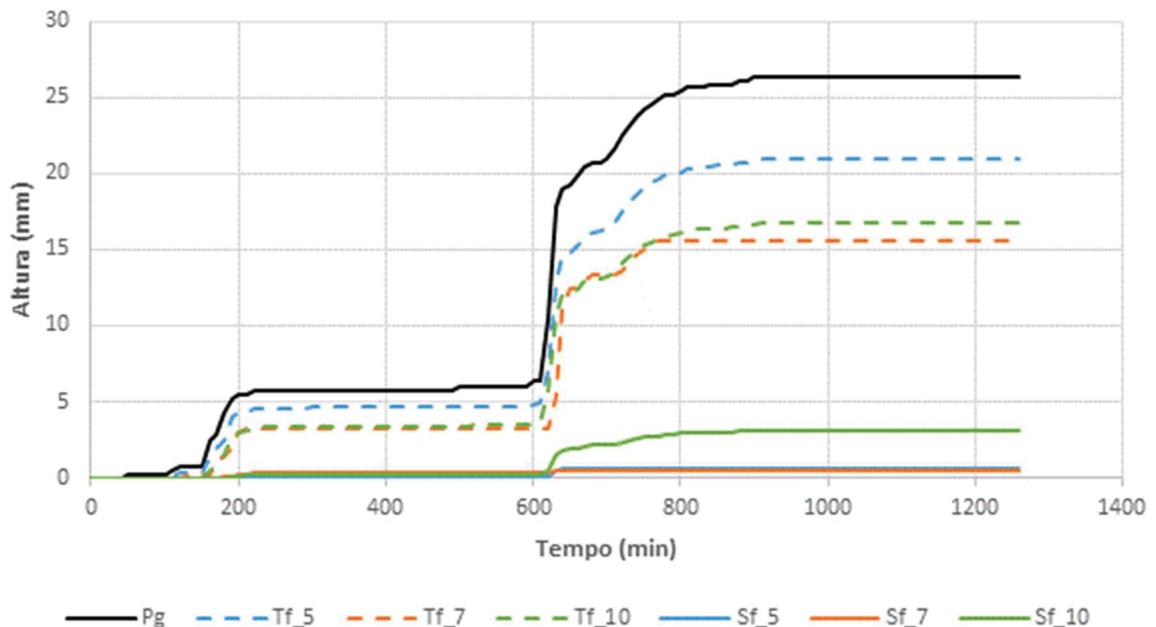
O escoamento de tronco para os três experimentos, descritos na Figura 27 somente teve início a partir dos cinco milímetros precipitados. Mantendo valores semelhantes nos experimentos com sete e dez anos (5,6% e 6,4%) e valores próximos a zero (0,3%) para o com cinco anos. Shinzato *et al.* (2001) identificaram o valor de

5,4mm para início do escoamento de tronco em povoamento de pinus. Verificando assim a validade dos valores medidos com o encontrado em estudo anterior.

Nota-se, portanto, que a contribuição da chuva efetiva não é coincidente para o início aos diferentes componentes do processo. O povoamento mais novo responde a chuvas com menores volumes.

Após a interrupção do escoamento de tronco no povoamento de cinco anos, o mesmo permaneceu por mais 200 minutos no povoamento de sete anos e 340 minutos no com dez anos. Indicando como este componente é dependente das características dendrométricas de cada povoamento e sua capacidade de reter a água precipitada.

FIGURA 28 - ALTURAS ACUMULADAS DOS COMPONENTES DA INTERCEPTAÇÃO PARA O EVENTO 45



Pg – precipitação externa, *Tf* – precipitação interna e *Sf* – escoamento de tronco.

FONTE: O autor (2018).

De acordo com a Figura 28 a precipitação interna, para os três experimentos, tem início junto ao pico de precipitação externa de pouco mais de cinco milímetros, depois de aproximadamente 100 minutos após o início do evento. Durante esse primeiro pico a precipitação interna entre os povoamentos com sete e dez anos mantém valores próximos e o com cinco acima dos outros dois a exemplo do evento descrito na Figura 27. A partir dos 250 minutos ocorre um novo pico de cerca de 14 milímetros que faz com que o comportamento da precipitação interna se diferencie

entre os experimentos. O escoamento de tronco tem início a partir dos 10 mm. Esse componente permanece por mais 180 minutos no experimento de dez anos após a interrupção dos outros dois.

Os resultados obtidos demonstram um comportamento similar entre os componentes da interceptação, para os dois exemplos (Figuras 27 e 28), assim como para todo o período avaliado. O povoamento com cinco anos de idade apresenta maiores precipitações internas e menores escoamentos de tronco em comparação com os experimentos localizados nos povoamentos com sete e dez anos de idade. Neste caso, quanto maior o desenvolvimento da vegetação, maior é o índice de recobrimento espacial de seu dossel. O dossel, por sua vez, atua como um reservatório que, quanto maior, diminui a área disponível para a precipitação interna livre. Conseqüentemente, quanto maior a capacidade de armazenamento da precipitação pelo reservatório do dossel, maior é o volume disponível para o processo de evaporação.

Nos dois exemplos o escoamento de tronco aumentou proporcionalmente com a idade. Se contrapondo ao indicado pela literatura (HELVEY, 1967; SWANK *et al.*, 1972), onde o escoamento de tronco apresenta relação inversa ao diâmetro do tronco.

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho foram avaliados os efeitos do desenvolvimento de povoamentos arbóreos de *Pinus taeda* L. sobre processo de interceptação por meio do monitoramento hidrológico. Foram medidos os componentes da interceptação em 54 eventos que ocorreram entre setembro 2017 e janeiro 2019, em povoamento de *Pinus taeda* L. com idades de cinco, sete e dez anos, no município de Rio Negrinho-SC.

No período as taxas de precipitação interna (Tf) médias mensuradas foram de 74%, 58% e 65% e as taxas de escoamento de tronco (Sf) foram de 6,8%, 9,7% e 12,7%, em relação a precipitação total, para as idades de 5, 7, 10 com densidades 1333 (ha^{-1}), 1100 (ha^{-1}) e 1666 (ha^{-1}) respectivamente.

Os resultados da precipitação interna (Tf) indicaram que, em povoamentos homogêneos de *Pinus taeda* L., a idade explica parcialmente a dinâmica hidrológica do dossel, a qual responde também aos padrões de espaçamento dos povoamentos e consequente alteração das características ambientais que condicionam seu desenvolvimento. Para o escoamento de tronco (Sf) foram encontrados valores significativamente altos em comparação com a literatura e diretamente relacionados com a idade do plantio.

De maneira geral, os resultados do monitoramento obtidos nessa pesquisa estão condizentes com os publicados em estudos anteriores, indicando grande variabilidade dos componentes da interceptação, principalmente em plantios mais jovens.

Em relação a precipitação total foi observado maior variabilidade no escoamento de tronco (coeficientes de determinação de 0,63, 0,73 e 0,88), do que na precipitação interna (coeficientes de determinação de 0,90, 0,93 e 0,98), considerando-se o conjunto de eventos e os três locais monitorados.

A análise da discretização temporal dos eventos indicou valores de precipitação similares aos indicados na literatura para a completa saturação do dossel e consequente início do componente precipitação interna (aproximadamente 2,7 mm), assim como para o início do escoamento de tronco (aproximadamente 5 mm).

Existe uma tendência de redução da capacidade de retenção da precipitação pelo dossel conforme o aumento do volume precipitado. E para cada fase de

desenvolvimento das plantações, muda a proporção dos componentes do processo, o que indica maior ou menor facilidade de a precipitação atravessar o dossel.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS (ACR). Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina, 2017.
- BAYER, D.M.; COLLISCHONN, W. Efeitos das mudanças da cobertura vegetal no regime hidrológico da bacia: revisão de casos envolvendo a aplicação de bacias experimentais. **Anais. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2011.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.M.E. Precipitação in: TUCCI, C.M.E. (organizador) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 1993. p. 177-223.
- BOSCH, D.D.; SHERIDAN, J.M.; LOWRANCE, R.R.; HUBBARD, R.K.; STRICKLAND, T.C.; FEYEREISEN, G.W.; SULLIVAN, D.G. Little River Experimental Watershed database. **Water Resources Research**, v. 43, 2007.
- BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 55, p. 3-23, 1982.
- BRAGA, S. M.; SANTOS, I.; FERNANDES, C. V. S.; KOBAYAMA, M. Desenvolvimento de um sistema automático de baixo custo para medição indireta da interceptação. **Anais. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2009.
- BRASIL. Decreto-lei n LEI Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 Diário Oficial da União, Brasília, DF, p.470, jan. 1997, Seção 1.
- BREUER, L.; ECKHARDT, K.; FREDE, H.G. Plant parameter values for models in temperate climates. **Ecological Modelling**. v.169, p. 237–293, 2003.
- BROWN, A.E., ZHANG, L.; MCMAHON, T.A.; ANDREW W.; WESTERN, A.W., VERTESSY, R.A. A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. **Journal of Hydrology**. v. 310, p. 28–61, 2005.
- CALUX, J.; THOMAZ, E.L. Interceptação e precipitação interna: comparação entre Floresta Ombrófila Mista e *Pinus elliottii* var. *elliotti*. **Geoambiente**. v. 19, p. 24-39, 2012.
- CHAFFE. P.L.B.; KOBAYAMA. M.; YAMASHIKI, Y.; TAKARA, K. Is interception information important for rainfall-runoff modeling? **Annual Journal of Hydraulic Engineering**, JSCE, v.54, p.73–78, 2010.
- CHÁVEZ, C.V.; LOZA, M.C.A.; SOSA, E.G.; PIÑA, R.; SALINAS, N.M. R. Canopy Storage Implications on Interception Loss Modeling. **American Journal of Plant Sciences**, v.5 (20). p. 3032-3048, 2014.
- CHEN, J.M; e BLACK, T.A. Defining leaf area index for non-flat leaves. **Plant, Cell and Environment**. v. 15, p. 421-429, 1992.

CHIANUCCI, F.; CUTINI, A. Estimation of canopy properties in deciduous forests with digital hemispherical and cover photography. **Agricultural and Forest Meteorology** v. 168 p.130– 139, 2013.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F.; **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. ARBRH, 2013.

CUNHA, U.S; Dendrometria e Inventário Florestal. **Série Técnica**, Escola Agrotécnica de Manaus, Manaus, AM. 2004.

DE BEI, R; *et al.* VitiCanopy: A Free Computer App to Estimate Canopy Vigor and Porosity for Grapevine. *Sensors* 2016, 16, 585; doi:10.3390/s16040585

ENCINAS, J.I.; SILVA, G.F; TICCHETTI, L. Variáveis dendrométricas. **Comunicações Técnicas Florestais**, v.4, n.1, Departamento de Engenharia Florestal, UNB. p. 102, 2002.

EPAGRI/CIRAM. Zoneamento agroecológico e socioeconômico. Disponível em: <<http://ciram.epagri.rct-sc.br:8080/cms/zoneamento/zae.jsp>>. Acesso em: 06 de agosto de 2017.

FAN, J.; OESTERGAARD, K.T.; GUYOT, A.; LOCKINGTON, D.A. Measuring and modeling rainfall interception losses by a native *Banksia* woodland and an exotic pine plantation in subtropical coastal Australia. **Journal of Hydrology**. v. 515, p. 156-165, 2014.

FOURNIER, R.A; HALL, R.J. Hemispherical Photography in Forest Science: Conclusions, Applications, Limitations, and Implementation Perspectives. **Managing Forest Ecosystems** v.28, 2017. DOI 10.1007/978-94-024-1098-3_10

GARBRECHT, J.D.; STARKS, P.J.; STEINER, J.L. The under-appreciated climate factor in CEAP. **Journal Soil Water Conservation Society**. v. 61 n. 4, p.110A-111A, 2006.

GASH, J.H.C.; WRIGHT, I.R.; LLOYD, C.R.; Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. **Journal of Hydrology**, v. 48 p. 89-105, 1980.

GAVAZZI, M.J.; SUN, G.; MCNULTY, S.G.; TREASURE, E. A.; WIGHTMAN, M.G. Canopy rainfall interception measured over ten years in a coastal plain loblolly pine (*Pinus taeda* L.) Plantation. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. v.59 (2), p. 601-610, 2016.

GIGLIO, J.N. Intercepção da chuva em pequena bacia experimental coberta por Floresta Ombrófila Mista.194f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

GIGLIO, J.N.; KOBAYAMA, M. Intercepção da chuva: Uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.18 (2), p. 297-317, 2013.

GREGOIRE, T.G.; ZEDAKER, S.M.; NICHOLAS, N.S. Modeling relative error in stem basal area estimates. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 20 (5), p.496-502, 1990.

HARMEL, R.D.; BONTA, J.V.; RICHARDSON, C.W. The original USDA-ARS experimental watersheds in Texas and Ohio: contributions from the past and visions for the future. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. p.1669-1675, 2007.

HELVEY, J. D. Interception by Eastern White Pine. **Water Resources Research**. v. 3 (3), p. 723-729, 1967.

HEWLETT, J.D. **Principles of Forest Hydrology**, University of Georgia Press, Athens, GA, 1969.

HIBBERT, A.R. Forest treatment effects on water yield. In: SOPPER, W. E.; LULL, H.W. (Editors). **International Symposium on Forest Hydrology**. New York, Pergamon, p.527-543, 1967.

HOOVER M.D. Interception of rainfall in a young loblolly pine plantation. U.S. Department of Agriculture- Forest Service. Piedmont Research Center, n. 21, 1953.

HORTON, R. E. Rainfall interception. **Monthly Weather Review**. v. 47 (9). p. 604-623, 1919.

IBA. Relatório 2017. Industria Brasileira de Árvores. Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf

IBGE, Manual Técnico da Vegetação Brasileira, **Manuais Técnicos em Geociências** n. 1. 2ª ed, Rio de Janeiro, 2012.

KLEIN, R.M. Mapa Fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. Flora Ilustrada Catarinense. V Parte. 1978.

KOBIYAMA, M.; MOTA A.A.; CORSEUIL, C.W. **Recursos hídricos e saneamento**. 1ª ed., Curitiba: Organic Trading, 2008.

LEVIA JR., D.F.; FROST, E.E. A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. **Jornal of Hydrology**. v.274, p.1-29, 2003.

LIMA, R; INOUE, M. T; FIGUEIREDO FILHO, A. *et al*. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente** V. 20(2) P. 223-230, 2013.

LIMA, W.P. Estudos de alguns aspectos quantitativos e qualitativos do balanço em plantações de eucaliptos e pinus. 1975. 111f. **Tese** (Doutorado em Ciência Florestal). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1975.

LIMA, W.P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2008. Acessado em 28 de fevereiro de 2017.
LIMA, W.P.; NICOIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. **IPEF**, n.24, p.43-46,1983.

LINK, E.T; UNSWORTH, M; MARKS, D. The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology** v. 124 p. 171-191, 2004.

LUNDERBERG, A; ERIKSSON, M; HALLDIN, E; KELLNER, E; SEIBERT, J. New approach to the measurement of interception evaporation. **Journal of atmospheric and oceanic thechnology**. v. 14 p.1023-1035, 1997.

MCCARTHY, E. J., SKAGGS, R.W. Experimental determination of the hydrologic components of a drained watershed. *Trans. ASAE*, 34(5), 2031-2039, 1991
<http://dx.doi.org/10.13031/2013.31833>.

MACFARLANE, C; HOFFMAN, M; EAMUS, D. et al. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.143 p. 176–188, 2007.

MEDEIROS, G.I.B.; FLORINDO, T.J. Melhoramento genético de Pinus no Brasil: Implicações socioeconômicas e ambientais. **Revista Espacios**. v. 38 (28), 2017

PAUL, K. I. *et al.* Measurements of stem diameter: implications for individual- and stand-level errors. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 189, n. 8, p.1-14, 2017.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(tranpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.

PEREZ, L.M.S. Evapotranspiración Penman-Monteith. Relatório técnico. Cabildo Tenerife, 2008. Disponível em: <http://www.agrocabildo.com>

PINHEIRO, A.; ROSA, A.S. Comportamento hidrológico em bacias com floresta nativa e implantada no município de Caçador, SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.15 (4), 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIO NEGRINHO. Informações gerais. Disponível em <<http://www.rionegrinho.sc.gov.br/caracteristicas.htm>>. Acessado em 04 de novembro de 2017.

REID, M.L; LEWIS, J. Rates, timing, and mechanisms of rainfall interception loss in a coastal redwood forest. **Journal of Hydrology** v.375, p. 459–470, 2009.

ROBINSON, D.A. *et al.* Advancing process-based watershed hydrological research using near-surface geophysics: a vision for, and review of, electrical and magnetic geophysical methods. **Hydrological Processes**, v.22, p.3604–3635, 2008.

RUTTER, A.J.; KERSHAW, K.A.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests, I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican Pine. **Agricultural Meteorology**. 9, p.367–384, 1971.

SÁ, J.H.M.; CHAFFE, P.L.B.; OLIVEIRA, D.Y. Análise comparativa dos modelos de Gash e de Rutter para a estimativa da interceptação por Floresta Ombrófila Mista. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 20 (4), p. 1008 – 1018, 2015.

SALEMI, L.F.; GROppo, J.D.; TREVISAN, R.; MORAES J.M.; LIMA, W.P.; MARTINELLI, L.A. Aspectos hidrológicos da recuperação florestal de áreas de preservação permanente ao longo dos corpos de água. **Revista Instituto Florestal**. v.23 (1), p.69-80, 2011.

SANQUETTA, C.R; MOURA, A.L; BORSATO, R; *et al.*, Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos II. *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva-PR **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.1, p. 55-61, jan./mar. 2003.

SANTOS, I. Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica. 167 f. **Tese** (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

SANTOS, I. Notas de aula. Hidrologia para o curso de Geografia, UFPR, 2013.

SANTOS, I.; HEINZ, D.F.; SUGAI, M.R.V.B.; BUDA, H.; KISHI, R.; MARONE, E.; LAUTERT, L.M. **Hidrometria Aplicada**. LACTEC. Curitiba, 2001.

SANTOS, R. M. M. Planejamento e otimização de plantios de *Pinus taeda* L. na região oeste do estado de Santa Catarina, Brasil. (**Dissertação** em Ciências Florestais). UNICENTRO, Irati, 2015.

SAVENIJE, H.H.Q. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabular. **Hydrological Processes** v. 18, p. 1507–1511, 2004.

SHINZATO, E.T; *et al.* Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Scientia Florestalis**. Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 395-402, dez. 2011.

SILVA, L.F.; LIMA, A. M.L.P.; SILVA FILHO, D.F. Interceptação da chuva pelas copas das espécies de *Caesalpinia pluviosa* DC. (Sibipiruna) e *Tipuana tipu* O. Kuntze (Tipuana) em arborização urbana. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p.307-315, 2008.

SILVA, L.C.; BORTOLUZZI, C.A. (Org). Texto explicativo para o mapa geológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: 11º Distrito do Departamento Nacional de Produtos Minerais, Coordenadoria de Recursos Minerais da Secretaria da Ciência Tecnológica, Minas e Energia, 1987.

SLAUGHTER, C.W.; MARKS, D.; FLERCHINGER, G.N.; VACTOR, S.S.; BURGESS, M. Thirty-five years of research data collection at the Reynolds Creek Experimental Watershed. **Water Resources Research**, v. 37 (11), p.2819–2823, 2001.

SOARES, C.P.B; PAULA NETO, F; SOUZA, A.L; **Dendrometria e inventário florestal**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 272p.

SSEGANE, H.; AMATYA, M.; CHESCHEIRA, G.M.; SKAGGS, W.R.; TOLLNERI, E.W.; NETTLES, J.E. Consistency of hydrologic relationships of a paired watershed approach. **American Journal of Climate Change**, v2, p.147-164, 2013.

STOGSDILL, W.R.; WITWER, R.F.; HENNESSEY, S.T.; DOUGHERTY, P.M. Relationship between throughfall and stand density in a *Pinus taeda* plantation. **Forest Ecology and Management**, n. 29, p. 105-113, 1989.

SUZUKI, M.; KATO, H.; TANI, M.; FUKUSHIMA, Y. Throughfall, stemflow and rainfall interception in Kiryu experimental catchment Through fall and stem flow. **J. Jap. For. Soc.**, v.61, p.202-210, 1979.

SWANK, W.T.; GOEBEL, N.B.; HELVEY, J.D. Interception loss in loblolly pine stands of the South Carolina Piedmont. **Journal of Soil and Water Conservation**. n. 27, p. 160-164, 1972.

TSIKO, C.T.; MAKURIRA, H.; GERRITS, A.M.J.; SAVENIJE, H.H.G. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. **Physics and Chemistry of the Earth**. V.47–48, P.122–127, 2012.

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

TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T. Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n.1, 1997.

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, p.141–162, 1997.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany** v.11, p. 41–76, 1947.

WISHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Transactions American Geophysical Union, Washington, v.39, p.285-291, 1958.

ZHANG, L.; VERTESSY, R.; WALKER, G.; GILFEDDER, M.; HAIRSINE, P. Afforestation in a catchment context: understanding the impacts on water yield and salinity. Industry Report, **Technical Report 99/12- ewater**, 1-07, 2007.

ZHAO, L.; XU, C.; WANG, Z.; SOBKOWIAK, L. Evapotranspiration estimation methods in hydrological models. **Journal of Geographical Sciences**. 23(2). p. 359-369, 2013.

XIAO, Q; McPHEARSON, E. G; USTIN, S.L; GRISMER, M.E; SIMPSONS, J.R. Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California. **Hydrological Processes** v.14, p. 763-784, 2000.

APÊNDICE 1 – RELAÇÃO DE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO VÁLIDOS

Índice	$\sum P_{G_Meteo}$	$\sum Tf_{05}$	$\sum Sf_{05}$	$\sum Tf_{07}$	$\sum Sf_{07}$	$\sum Tf_{10}$	$\sum Sf_{10}$	$\sum P_{G_Meteo}$	I_{05}	I_{07}	I_{10}
1	5,900	4,400	0,213	2,900	0,408	0,000	0,000	5,900	22%	44%	-
2	52,491	45,100	4,473	28,400	8,373	0,000	0,000	52,491	6%	30%	-
3	5,200	4,800	0,215	2,800	0,353	0,000	0,000	5,200	4%	39%	-
4	27,640	27,700	1,095	18,300	2,520	0,000	0,000	27,640	-4%	25%	-
5	7,327	8,100	0,410	4,900	0,645	0,000	0,000	7,327	-16%	24%	-
6	9,928	10,500	0,323	6,800	0,760	0,000	0,000	9,928	-9%	24%	-
7	6,077	5,400	0,448	4,300	0,343	0,000	0,000	6,077	4%	24%	-
8	25,663	25,700	1,313	20,800	1,565	0,000	0,000	25,663	-5%	13%	-
9	15,601	14,200	0,708	11,000	0,568	0,000	0,000	15,601	4%	26%	-
10	27,814	26,700	2,370	20,800	2,388	0,000	0,000	27,814	-5%	17%	-
11	16,375	16,000	0,855	14,300	0,873	0,000	0,000	16,375	-3%	7%	-
12	41,395	42,200	2,285	30,500	2,710	30,000	3,725	41,395	-7%	20%	19%
13	28,520	27,300	1,588	18,600	1,395	21,200	2,288	28,520	-1%	30%	18%
14	10,399	8,800	0,248	6,000	0,083	7,000	0,630	10,399	13%	42%	27%
15	17,089	9,100	0,788	9,700	0,568	8,600	0,600	17,089	42%	40%	46%
16	14,901	14,200	0,778	12,000	1,110	0,300	1,350	14,901	-1%	12%	89%
17	14,498	3,400	0,553	12,800	1,138	12,100	1,203	14,498	73%	4%	8%
18	43,949	0,300	2,933	18,200	2,890	9,400	2,948	43,949	93%	52%	72%
19	32,583	2,500	3,408	22,400	3,028	0,000	3,595	32,583	82%	22%	89%
20	5,512	1,200	0,660	5,200	0,355	0,000	0,792	5,512	66%	-1%	86%
21	47,786	39,600	5,073	32,000	4,455	0,000	6,243	47,786	7%	24%	87%
22	7,801	6,400	0,445	1,600	0,428	0,000	0,665	7,801	12%	74%	91%
23	42,323	8,500	4,150	34,800	3,498	0,000	4,688	42,323	70%	10%	89%
24	38,202	1,600	3,098	23,400	2,535	0,000	4,205	38,202	88%	32%	89%
25	47,851	0,100	4,698	26,800	3,405	0,000	5,065	47,851	90%	37%	89%
26	15,835	0,100	0,987	12,200	1,210	0,000	1,585	15,835	93%	15%	90%
27	11,106	0,100	0,508	4,200	0,690	0,000	1,110	11,106	95%	56%	90%
28	11,839	0,200	0,865	7,900	0,883	0,000	0,712	11,839	91%	26%	94%
29	12,630	0,400	1,243	10,800	1,053	0,000	0,673	12,630	87%	6%	95%
30	20,513	0,300	1,250	19,800	1,058	0,000	0,677	20,513	92%	-2%	97%

Índice	$\sum P_{G_Meteo}$	$\sum Tf_{05}$	$\sum Sf_{05}$	$\sum Tf_{07}$	$\sum Sf_{07}$	$\sum Tf_{10}$	$\sum Sf_{10}$	$\sum P_{G_Meteo}$	I_{05}	I_{07}	I_{10}
31	5,448	0,000	0,118	4,000	0,038	0,000	0,140	5,448	98%	26%	97%
32	59,921	0,600	3,005	32,800	3,275	0,000	2,950	59,921	94%	40%	95%
33	8,782	0,000	0,123	5,300	0,150	0,000	0,185	8,782	99%	38%	98%
34	7,602	0,000	0,030	3,700	0,010	0,000	0,090	7,602	100%	51%	99%
35	16,146	0,200	0,128	3,300	0,070	0,000	0,253	16,146	98%	79%	98%
36	10,662	0,000	0,228	6,200	0,285	0,000	0,293	10,662	98%	39%	97%
37	41,734	0,200	1,198	32,800	2,058	0,000	1,845	41,734	97%	16%	96%
38	71,864	2,400	1,635	40,700	3,048	0,000	2,643	71,864	94%	39%	96%
39	25,935	3,500	0,178	13,600	0,600	0,000	1,043	25,935	86%	45%	96%
40	7,796	3,700	0,015	1,800	0,073	0,000	0,220	7,796	52%	76%	97%
41	40,689	9,300	0,545	21,800	1,380	0,000	1,678	40,689	76%	43%	96%
42	25,555	5,700	0,290	15,000	0,630	0,000	0,805	25,555	77%	39%	97%
43	10,385	6,800	0,005	0,200	0,100	0,000	0,235	10,385	34%	97%	98%
44	5,903	4,000	0,003	1,400	0,310	1,900	0,203	5,903	32%	71%	64%
45	10,935	9,900	0,038	8,200	0,610	8,000	0,695	10,935	9%	19%	20%
46	26,338	20,900	0,555	15,600	0,445	16,800	3,138	26,338	19%	39%	24%
47	8,747	8,200	0,015	4,600	0,010	6,200	0,607	8,747	6%	47%	22%
48	44,546	28,600	0,918	19,400	0,008	26,500	6,925	44,546	34%	56%	25%
49	18,886	14,100	0,000	1,000	0,000	10,200	2,992	18,886	25%	95%	30%

50	28,372	23,300	0,073	14,800	0,000	18,400	3,450	28,372	18%	48%	23%
51	6,844	5,400	0,005	0,500	0,023	3,400	0,610	6,844	21%	92%	41%
52	6,148	5,200	0,008	0,000	0,000	3,700	0,335	6,148	15%	-	34%
53	13,702	10,200	0,000	0,200	0,000	9,000	1,988	13,702	26%	99%	20%
54	26,113	19,600	0,138	13,800	0,000	16,900	3,395	26,113	24%	47%	22%
55	102,650	79,300	0,670	4,900	0,000	66,500	15,555	102,650	22%	95%	20%
56	10,384	6,000	0,000	0,000	0,000	3,600	0,782	10,384	42%	-	58%
57	7,560	5,100	0,008	0,000	0,000	3,800	0,587	7,560	32%	-	42%
58	13,638	10,600	0,030	9,400	0,000	9,000	0,530	13,638	22%	31%	30%
59	22,916	18,200	0,138	15,400	0,000	13,700	1,735	22,916	20%	33%	33%
60	6,619	5,500	0,005	2,800	0,000	3,800	0,525	6,619	17%	58%	35%

Índice	$\sum P_{C_Meteo}$	$\sum Tf_{05}$	$\sum Sf_{05}$	$\sum Tf_{07}$	$\sum Sf_{07}$	$\sum Tf_{10}$	$\sum Sf_{10}$	$\sum P_{C_Meteo}$	I_{05}	I_{07}	I_{10}
61	23,577	19,400	0,255	9,500	0,000	18,800	3,050	23,577	17%	60%	7%
62	38,298	31,000	0,135	22,900	0,000	26,800	4,138	38,298	19%	40%	19%
63	8,499	6,400	0,028	0,600	0,000	4,800	0,645	8,499	24%	93%	36%
64	5,192	2,900	0,003	0,000	0,000	1,800	0,403	5,192	44%	-	58%
65	22,563	19,400	0,198	15,200	0,000	15,800	2,610	22,563	13%	33%	18%
66	70,774	47,700	0,842	4,600	0,000	48,300	9,723	70,774	31%	94%	18%
67	31,637	25,700	0,365	21,500	0,000	23,000	3,373	31,637	18%	32%	17%
68	15,179	13,300	0,155	11,400	0,000	12,100	2,070	15,179	11%	25%	7%
69	21,252	12,600	0,018	8,000	0,000	11,000	1,952	21,252	41%	62%	39%
70	12,579	10,600	0,003	8,100	0,000	9,300	0,810	12,579	16%	36%	20%
71	6,861	5,300	0,003	2,400	0,000	3,700	0,468	6,861	23%	65%	39%
72	14,510	11,600	0,030	8,400	0,000	10,000	1,455	14,510	20%	42%	21%
73	6,849	4,800	0,000	1,400	0,000	2,400	0,133	6,849	30%	80%	63%
74	12,509	7,700	0,000	1,400	0,000	4,900	0,697	12,509	38%	89%	55%
75	5,434	4,800	0,000	2,800	0,000	3,400	0,130	5,434	12%	48%	35%
76	51,289	34,600	0,645	30,200	0,000	34,200	5,138	51,289	31%	41%	23%
77	15,775	10,900	0,063	9,000	0,000	6,400	0,513	15,775	31%	43%	56%
78	11,050	7,800	0,028	9,400	0,338	0,200	0,473	11,050	29%	12%	94%
79	32,630	23,300	1,488	19,700	2,810	0,000	0,000	32,630	24%	31%	-
80	8,732	7,000	0,273	4,800	0,400	0,000	0,000	8,732	17%	40%	-
81	5,199	4,700	0,155	3,200	0,265	0,000	0,000	5,199	7%	33%	-
82	29,017	19,500	2,628	20,200	3,925	0,000	0,000	29,017	24%	17%	-
83	63,926	42,400	4,180	34,000	6,960	0,000	0,000	63,926	27%	36%	-
84	13,103	7,100	0,783	9,800	1,703	0,000	0,000	13,103	40%	12%	-
85	7,096	5,800	0,575	4,800	0,755	0,000	0,000	7,096	10%	22%	-
86	15,451	14,600	1,295	9,200	1,843	0,000	0,000	15,451	-3%	29%	-

APÊNDICE 2 – RELAÇÃO DE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO COMPLETA

Índice	Sel_5	Início	Fim	ΣP_G	ΣTf_{05}	ΣSf_{05}	I_{05}
1	5	24/09/2017 11:40	25/09/2017 14:30	5,900	4,400	0,213	21,8%
2	5	28/09/2017 08:40	30/09/2017 17:00	52,491	45,100	4,473	5,6%
3	5	01/10/2017 22:30	02/10/2017 09:20	5,200	4,800	0,215	3,6%
7	5	13/10/2017 16:30	14/10/2017 01:30	6,077	5,400	0,448	3,8%
9	5	25/10/2017 11:50	26/10/2017 02:40	15,601	14,200	0,708	4,4%
14	5	25/11/2017 18:20	26/11/2017 08:40	10,399	8,800	0,248	13,0%
15	5	04/12/2017 14:10	05/12/2017 12:00	17,089	9,100	0,788	42,1%
20	5	27/12/2017 16:20	28/12/2017 00:50	5,512	1,200	0,660	66,3%
21	5	28/12/2017 18:30	30/12/2017 02:50	47,786	39,600	5,073	6,5%
22	5	30/12/2017 02:00	31/12/2017 08:40	7,801	6,400	0,445	12,3%
40	5	26/03/2018 05:50	27/03/2018 10:30	7,796	3,700	0,015	52,3%
43	5	15/04/2018 01:50	16/04/2018 17:30	10,385	6,800	0,005	34,5%
44	5	06/05/2018 20:20	07/05/2018 21:50	5,903	4,000	0,003	32,2%
45	5	15/05/2018 15:40	16/05/2018 03:50	10,935	9,900	0,038	9,1%
46	5	18/05/2018 13:30	19/05/2018 10:40	26,338	20,900	0,555	18,5%
47	5	02/06/2018 05:10	03/06/2018 03:50	8,747	8,200	0,015	6,1%
48	5	12/06/2018 09:00	13/06/2018 03:40	44,546	28,600	0,918	33,7%
49	5	14/06/2018 14:30	17/06/2018 06:30	18,886	14,100	0,000	25,3%
50	5	26/06/2018 16:20	27/06/2018 13:00	28,372	23,300	0,073	17,6%
51	5	24/07/2018 13:30	25/07/2018 18:00	6,844	5,400	0,005	21,0%
52	5	08/08/2018 17:50	09/08/2018 02:50	6,148	5,200	0,008	15,3%
53	5	21/08/2018 16:00	22/08/2018 16:40	13,702	10,200	0,000	25,6%
54	5	24/08/2018 01:00	25/08/2018 06:40	26,113	19,600	0,138	24,4%
55	5	01/09/2018 04:50	04/09/2018 08:50	102,650	79,300	0,670	22,1%
56	5	11/09/2018 14:40	13/09/2018 13:50	10,384	6,000	0,000	42,2%
57	5	17/09/2018 02:40	17/09/2018 21:10	7,560	5,100	0,008	32,4%
58	5	24/09/2018 17:10	25/09/2018 05:20	13,638	10,600	0,030	22,1%
59	5	01/10/2018 22:30	02/10/2018 11:50	22,916	18,200	0,138	20,0%
60	5	02/10/2018 11:10	03/10/2018 02:40	6,619	5,500	0,005	16,8%
61	5	03/10/2018 03:50	04/10/2018 14:20	23,577	19,400	0,255	16,6%
Índice	Sel_5	Início	Fim	ΣP_G	ΣTf_{05}	ΣSf_{05}	I_{05}
62	5	06/10/2018 20:10	07/10/2018 20:40	38,298	31,000	0,135	18,7%
63	5	10/10/2018 14:50	11/10/2018 12:50	8,499	6,400	0,028	24,4%
64	5	11/10/2018 12:00	12/10/2018 13:40	5,192	2,900	0,003	44,1%
65	5	13/10/2018 09:00	13/10/2018 21:20	22,563	19,400	0,198	13,1%
66	5	13/10/2018 21:30	15/10/2018 12:00	70,774	47,700	0,842	31,4%
67	5	17/10/2018 17:20	18/10/2018 03:10	31,637	25,700	0,365	17,6%
68	5	18/10/2018 11:30	18/10/2018 21:50	15,179	13,300	0,155	11,4%
69	5	23/10/2018 22:30	25/10/2018 13:40	21,252	12,600	0,018	40,6%
70	5	31/10/2018 09:00	31/10/2018 21:30	12,579	10,600	0,003	15,7%
71	5	01/11/2018 02:30	01/11/2018 19:30	6,861	5,300	0,003	22,7%
72	5	03/11/2018 11:10	04/11/2018 00:40	14,510	11,600	0,030	19,8%
73	5	07/11/2018 10:20	08/11/2018 11:40	6,849	4,800	0,000	29,9%
74	5	08/11/2018 14:50	10/11/2018 10:50	12,509	7,700	0,000	38,4%
75	5	18/11/2018 07:20	18/11/2018 21:10	5,434	4,800	0,000	11,7%
76	5	30/11/2018 12:40	01/12/2018 03:00	51,289	34,600	0,645	31,3%
77	5	07/12/2018 12:20	07/12/2018 19:50	15,775	10,900	0,063	30,5%
78	5	11/12/2018 16:30	12/12/2018 03:40	11,050	7,800	0,028	29,2%
79	5	15/12/2018 13:10	16/12/2018 06:00	32,630	23,300	1,488	24,0%
80	5	16/12/2018 14:00	16/12/2018 21:20	8,732	7,000	0,273	16,7%
81	5	18/12/2018 20:20	19/12/2018 06:10	5,199	4,700	0,155	6,6%

82	5	20/12/2018 17:20	21/12/2018 02:40	29,017	19,500	2,628	23,7%
83	5	22/12/2018 12:50	23/12/2018 09:30	63,926	42,400	4,180	27,1%
84	5	26/12/2018 13:40	26/12/2018 21:10	13,103	7,100	0,783	39,8%
85		04/01/2019 12:50	05/01/2019 11:00	7,096	5,800	0,575	10,2%
Índice	Sel_07	Início	Fim	∑P_G	∑Tf_07	∑Sf_07	I_07
1	7	24/09/2017 11:40	25/09/2017 14:30	5,900	2,900	0,408	43,9%
2	7	28/09/2017 08:40	30/09/2017 17:00	52,491	28,400	8,373	29,9%
3	7	01/10/2017 22:30	02/10/2017 09:20	5,200	2,800	0,353	39,4%
4	7	06/10/2017 15:00	08/10/2017 19:40	27,640	18,300	2,520	24,7%
5	7	09/10/2017 01:10	09/10/2017 13:20	7,327	4,900	0,645	24,3%
6	7	10/10/2017 07:30	10/10/2017 17:50	9,928	6,800	0,760	23,9%
7	7	13/10/2017 16:30	14/10/2017 01:30	6,077	4,300	0,343	23,6%
8	7	21/10/2017 08:20	22/10/2017 06:20	25,663	20,800	1,565	12,9%
9	7	25/10/2017 11:50	26/10/2017 02:40	15,601	11,000	0,568	25,9%
10	7	04/11/2017 09:50	04/11/2017 20:00	27,814	20,800	2,388	16,6%
11	7	10/11/2017 12:50	11/11/2017 01:10	16,375	14,300	0,873	7,3%
12	7	18/11/2017 01:10	18/11/2017 16:20	41,395	30,500	2,710	19,8%
13	7	21/11/2017 14:30	22/11/2017 01:00	28,520	18,600	1,395	29,9%
14	7	25/11/2017 18:20	26/11/2017 08:40	10,399	6,000	0,083	41,5%
15	7	04/12/2017 14:10	05/12/2017 12:00	17,089	9,700	0,568	39,9%
16	7	07/12/2017 19:30	08/12/2017 06:30	14,901	12,000	1,110	12,0%
17	7	15/12/2017 10:10	15/12/2017 21:30	14,498	12,800	1,138	3,9%
18	7	20/12/2017 17:30	21/12/2017 21:50	43,949	18,200	2,890	52,0%
19	7	24/12/2017 13:40	25/12/2017 10:30	32,583	22,400	3,028	22,0%
21	7	28/12/2017 18:30	30/12/2017 02:50	47,786	32,000	4,455	23,7%
22	7	30/12/2017 02:00	31/12/2017 08:40	7,801	1,600	0,428	74,0%
23	7	06/01/2018 14:30	06/01/2018 22:40	42,323	34,800	3,498	9,5%
24	7	09/01/2018 15:20	11/01/2018 05:20	38,202	23,400	2,535	32,1%
25	7	11/01/2018 08:30	12/01/2018 06:40	47,851	26,800	3,405	36,9%
26	7	16/01/2018 14:00	17/01/2018 09:30	15,835	12,200	1,210	15,3%
27	7	17/01/2018 09:00	18/01/2018 09:30	11,106	4,200	0,690	56,0%
28	7	21/01/2018 19:00	22/01/2018 07:20	11,839	7,900	0,883	25,8%
29	7	22/01/2018 14:50	23/01/2018 06:50	12,630	10,800	1,053	6,2%
31	7	09/02/2018 12:50	10/02/2018 02:10	5,448	4,000	0,038	25,9%
32	7	11/02/2018 19:00	13/02/2018 03:30	59,921	32,800	3,275	39,8%
33	7	19/02/2018 11:40	20/02/2018 01:50	8,782	5,300	0,150	37,9%
34	7	02/03/2018 12:00	03/03/2018 00:50	7,602	3,700	0,010	51,2%
36	7	10/03/2018 12:20	11/03/2018 06:00	10,662	6,200	0,285	39,2%
37	7	14/03/2018 10:00	14/03/2018 22:10	41,734	32,800	2,058	16,5%
38	7	20/03/2018 14:40	21/03/2018 16:10	71,864	40,700	3,048	39,1%
39	7	24/03/2018 22:20	25/03/2018 15:40	25,935	13,600	0,600	45,2%
40	7	26/03/2018 05:50	27/03/2018 10:30	7,796	1,800	0,073	76,0%
41	7	29/03/2018 13:20	30/03/2018 04:50	40,689	21,800	1,380	43,0%
42	7	31/03/2018 14:00	01/04/2018 02:10	25,555	15,000	0,630	38,8%
43	7	15/04/2018 01:50	16/04/2018 17:30	10,385	0,200	0,100	97,1%
44	7	06/05/2018 20:20	07/05/2018 21:50	5,903	1,400	0,310	71,0%
45	7	15/05/2018 15:40	16/05/2018 03:50	10,935	8,200	0,610	19,4%
46	7	18/05/2018 13:30	19/05/2018 10:40	26,338	15,600	0,445	39,1%
47	7	02/06/2018 05:10	03/06/2018 03:50	8,747	4,600	0,010	47,3%
48	7	12/06/2018 09:00	13/06/2018 03:40	44,546	19,400	0,008	56,4%
78	7	11/12/2018 16:30	12/12/2018 03:40	11,050	9,400	0,338	11,9%
79	7	15/12/2018 13:10	16/12/2018 06:00	32,630	19,700	2,810	31,0%
80	7	16/12/2018 14:00	16/12/2018 21:20	8,732	4,800	0,400	40,4%
81	7	18/12/2018 20:20	19/12/2018 06:10	5,199	3,200	0,265	33,4%

82	7	20/12/2018 17:20	21/12/2018 02:40	29,017	20,200	3,925	16,9%
83	7	22/12/2018 12:50	23/12/2018 09:30	63,926	34,000	6,960	35,9%
84	7	26/12/2018 13:40	26/12/2018 21:10	13,103	9,800	1,703	12,2%
85	7	04/01/2019 12:50	05/01/2019 11:00	7,096	4,800	0,755	21,7%
86	7	13/01/2019 14:30	14/01/2019 08:30	15,451	9,200	1,843	28,5%
Índice	Sel_10	Início	Fim	$\sum P_G$	$\sum Tf_{10}$	$\sum Sf_{10}$	I_{07}
12	10	18/11/2017 01:10	18/11/2017 16:20	41,395	30,000	3,725	18,5%
13	10	21/11/2017 14:30	22/11/2017 01:00	28,520	21,200	2,288	17,6%
14	10	25/11/2017 18:20	26/11/2017 08:40	10,399	7,000	0,630	26,6%
15	10	04/12/2017 14:10	05/12/2017 12:00	17,089	8,600	0,600	46,2%
17	10	15/12/2017 10:10	15/12/2017 21:30	14,498	12,100	1,203	8,2%
18	10	20/12/2017 17:30	21/12/2017 21:50	43,949	9,400	2,948	71,9%
44	10	06/05/2018 20:20	07/05/2018 21:50	5,903	1,900	0,203	64,4%
45	10	15/05/2018 15:40	16/05/2018 03:50	10,935	8,000	0,695	20,5%
46	10	18/05/2018 13:30	19/05/2018 10:40	26,338	16,800	3,138	24,3%
47	10	02/06/2018 05:10	03/06/2018 03:50	8,747	6,200	0,607	22,2%
48	10	12/06/2018 09:00	13/06/2018 03:40	44,546	26,500	6,925	25,0%
49	10	14/06/2018 14:30	17/06/2018 06:30	18,886	10,200	2,992	30,1%
50	10	26/06/2018 16:20	27/06/2018 13:00	28,372	18,400	3,450	23,0%
51	10	24/07/2018 13:30	25/07/2018 18:00	6,844	3,400	0,610	41,4%
52	10	08/08/2018 17:50	09/08/2018 02:50	6,148	3,700	0,335	34,4%
53	10	21/08/2018 16:00	22/08/2018 16:40	13,702	9,000	1,988	19,8%
54	10	24/08/2018 01:00	25/08/2018 06:40	26,113	16,900	3,395	22,3%
55	10	01/09/2018 04:50	04/09/2018 08:50	102,650	66,500	15,555	20,1%
56	10	11/09/2018 14:40	13/09/2018 13:50	10,384	3,600	0,782	57,8%
57	10	17/09/2018 02:40	17/09/2018 21:10	7,560	3,800	0,587	42,0%
58	10	24/09/2018 17:10	25/09/2018 05:20	13,638	9,000	0,530	30,1%
59	10	01/10/2018 22:30	02/10/2018 11:50	22,916	13,700	1,735	32,6%
60	10	02/10/2018 11:10	03/10/2018 02:40	6,619	3,800	0,525	34,7%
61	10	03/10/2018 03:50	04/10/2018 14:20	23,577	18,800	3,050	7,3%
62	10	06/10/2018 20:10	07/10/2018 20:40	38,298	26,800	4,138	19,2%
63	10	10/10/2018 14:50	11/10/2018 12:50	8,499	4,800	0,645	35,9%
64	10	11/10/2018 12:00	12/10/2018 13:40	5,192	1,800	0,403	57,6%
65	10	13/10/2018 09:00	13/10/2018 21:20	22,563	15,800	2,610	18,4%
66	10	13/10/2018 21:30	15/10/2018 12:00	70,774	48,300	9,723	18,0%
67	10	17/10/2018 17:20	18/10/2018 03:10	31,637	23,000	3,373	16,6%
68	10	18/10/2018 11:30	18/10/2018 21:50	15,179	12,100	2,070	6,6%
69	10	23/10/2018 22:30	25/10/2018 13:40	21,252	11,000	1,952	39,1%
70	10	31/10/2018 09:00	31/10/2018 21:30	12,579	9,300	0,810	19,6%
71	10	01/11/2018 02:30	01/11/2018 19:30	6,861	3,700	0,468	39,3%
72	10	03/11/2018 11:10	04/11/2018 00:40	14,510	10,000	1,455	21,1%
73	10	07/11/2018 10:20	08/11/2018 11:40	6,849	2,400	0,133	63,0%
74	10	08/11/2018 14:50	10/11/2018 10:50	12,509	4,900	0,697	55,3%
75	10	18/11/2018 07:20	18/11/2018 21:10	5,434	3,400	0,130	35,0%
76	10	30/11/2018 12:40	01/12/2018 03:00	51,289	34,200	5,138	23,3%
77	10	07/12/2018 12:20	07/12/2018 19:50	15,775	6,400	0,513	56,2%