

# Interceptação da precipitação em plantações de *Pinus taeda* L. na região sul do Brasil

## Rainfall interception in *Pinus Taeda* L. plantation in southern Brazil

Daniel Ribeiro Lange\*, Irani dos Santos\*\*

\* Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, daniellange@ufpr.br

\*\* Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, irani@ufpr.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v60i0.95884>

### Resumo

O planalto catarinense sofreu significativas alterações da paisagem nas últimas décadas com a introdução de povoamentos arbóreos de pinus. No entanto, não existem muitos estudos locais sobre como estas alterações interferem nos componentes do ciclo hidrológico. Neste contexto, a presente pesquisa buscou avaliar os efeitos do desenvolvimento de povoamentos arbóreos de *Pinus taeda* L. sobre processo de interceptação por meio do monitoramento hidrológico. Para tanto este trabalho mediu a precipitação total, precipitação interna e o escoamento de tronco em povoamento de *Pinus taeda* L. com idades de cinco, sete e dez anos, no município de Rio Negrinho-SC. Os componentes da interceptação foram monitorados em 54 eventos entre setembro 2017 e janeiro 2019. 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 idade. 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 com densidades 1333 (ha<sup>-1</sup>), 1100 (ha<sup>-1</sup>) e 1666 (ha<sup>-1</sup>) respectivamente. Estes resultados indicam 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.

### Palavras-chave:

Monitoramento hidrológico, Precipitação interna, Escoamento de tronco.

### Abstract

The Santa Catarina plateau has undergone significant changes in the landscape in recent decades after the introduction of 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) 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 in 54 events between September 2017 and January 2019. In addition, dendrometric parameters – such as vegetation density, diameter at breast height (*DBH*), cover index (*C*) and leaf area index (*LAI*) – were measured as a way to characterize the representative vegetation in each site. 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 years, with densities of 1,333 ( $\text{ha}^{-1}$ ), 1,100 ( $\text{ha}^{-1}$ ) and 1,666 ( $\text{ha}^{-1}$ ), 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 to the spacing patterns of the forests and the consequent alteration of the environmental characteristics that determine its development.

**Keywords:**

Hydrological monitoring, Throughfall, Stemflow.

---

## I. INTRODUÇÃO

A interceptação da precipitação é a primeira fase da parte terrestre do ciclo hidrológico e pode ser definida como o processo de interferência da vegetação na precipitação que ocasiona sua redistribuição espacial e temporal (TUCCI; CLARKE, 1997; GIGLIO; KOBAYAMA, 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; (LIMA, 1975). Este processo é condicionado pelos seguintes fatores: condições meteorológicas (intensidade da precipitação, volume total precipitado, vento, umidade, temperatura do ar e radiação solar); vegetação (densidade de cobertura, formato e posição das folhas e galhos); (TSIKO et al., 2012; SÁ et al., 2015).

A interceptação 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. De maneira geral, as perdas por interceptação podem variar de 8% a 35% do total da precipitação e 25% a 100% da evaporação de uma floresta (DAVID; GASH, 2009; GAVAZZI, et al., 2016) o que indica sua considerável importância para o balanço hídrico. Ainda grande parte da eficiência da modelagem hidrológica 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 (SANTOS, 2009).

Grande parte dos estudos sobre interceptação no Brasil ocorrem em povoamentos arbóreos (*pinus* e eucalipto). Isso se deve a homogeneidade desses plantios e, portanto, a facilidade de parametrizar as

---

características da vegetação. Giglio e Kobiyama (2013), realizaram uma revisão dos trabalhos de interceptação em florestas brasileiras. Os valores da precipitação interna para as plantações de Pinus, segundo os trabalhos listados pelos autores, apresentam variação entre 71,2% e 90,4%. O estudo citado indica que esta variabilidade parece estar associada a idade dos plantios, havendo um decréscimo do percentual da chuva interna de acordo com a idade do povoamento. Para Breuer et al. (2003) além da idade da vegetação outros parâmetros dendrométricos devem ser levados em consideração nos estudos sobre interceptação, como o índice de área foliar (*LAI*), densidade da vegetação e área basal. 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.

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.

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). Essas modificações podem ser responsáveis por alterações no balanço hídrico (RUTTER et al., 1971; GAVAZZI et al., 2016).

A presente pesquisa levantou e avaliou os dados obtidos por pesquisas antecedentes sobre a interceptação da precipitação em plantios de pinus, descreveu o método para medição e, avaliou os efeitos de povoamento arbóreos homogêneos com *Pinus taeda* L., em idades de cinco, sete e dez anos e diferentes densidades de plantio, sobre processo interceptação da precipitação por meio do monitoramento hidrológico. As medições incluem precipitação total externa, precipitação interna e escoamento de tronco. No monitoramento foram utilizadas básculas e registradores automáticos de dados, desenvolvidos especificamente para estimativa desses componentes, 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 (intervalos de dez minutos). Os componentes avaliados foram monitorados em eventos de precipitação ocorridos entre setembro de 2017 e janeiro de 2019. Os experimentos foram conduzidos em parcelas amostrais localizadas no município de Rio Negrinho- SC.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

As parcelas de monitoramento estão localizadas no município de Rio Negrinho-Santa Catarina, nas bacias hidrográficas experimentais Sagui e Saci, e estão embutidas na bacia do Alto Rio Negro. A área apresenta altitude média é de 960 m e os solos predominantes são do tipo Cambissolos, originados de rochas sedimentares (argilitos e siltitos) formadas em um ambiente glacial e periglacial (SILVA; BORTOLUZZI, 1987). 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.

O clima segundo Köppen, é da classe Cfb, com temperatura média anual entre 15,5°C e 17,0°C. A umidade varia entre 80% e 86%. A precipitação média da região de estudo é de 1519 mm/ano, obtida a partir de dados de estação pluviométrica localizada a cerca de três quilômetros dos experimentos, e com série de dados entre 1976 e 2019, sumarizados na Figura 1. 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). 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.

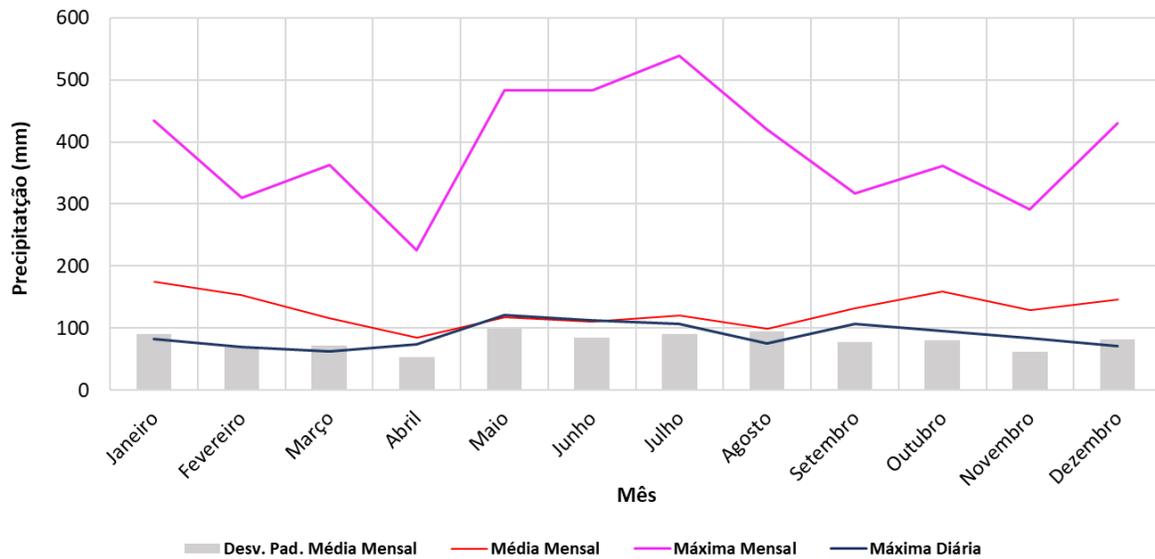


Figura 1- Variação da precipitação mensal de longo período (1976-2017). Dados obtidos da estação pluviométrica Corredeira (ANA - 2649055).  
Fonte: os autores, (2024).

As bacias experimentais dos rios Saguí e Saci possuem monitoramento hidrológico intensivo desde 2005, sendo que os dados obtidos fomentaram uma tese sobre hidrologia (SANTOS, 2009). Nestas bacias foram implementados os experimentos da presente pesquisa, nas parcelas denominadas de E1 (5 anos), E2 (7anos) e E3 (10 anos) representados nas Figuras 2 e 3.

Foram considerados eventos relevantes para o estudo aqueles cuja 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).

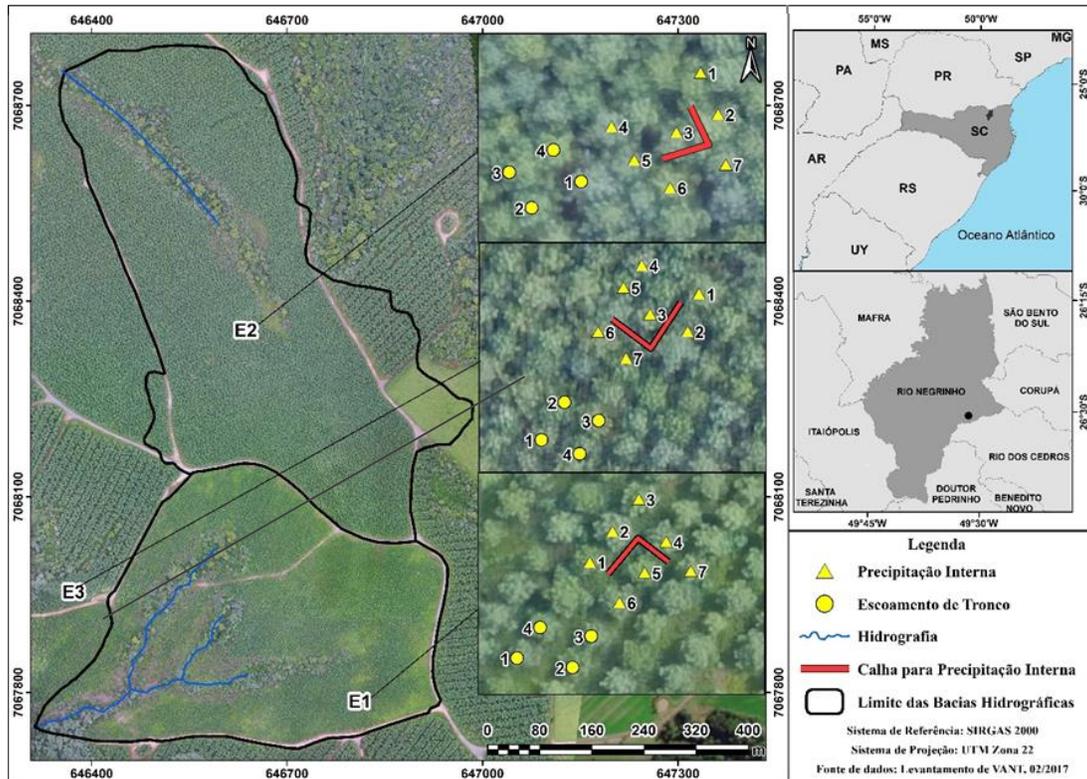


Figura 2- Cartograma de localização dos experimentos. E1: plantação com 5 anos (Bacia do Saci). E2: plantação com 7 anos (Bacia do Sagui). E3: plantação com 10 anos. Fonte: os autores, (2024).



Figura 3- Imagens dos três experimentos e respectivos sistemas coletores do escoamento de tronco, calhas coletoras da precipitação interna e abrigos das básculas, sendo A) E1 (plantação com 5 anos), B) E2 (plantação com 7 anos) e C) E3 (plantação com 10 anos). Fonte: os autores, (2024).

Em cada experimento, a parcela amostrada se baseia em uma área de ocupação teórica, assumindo a dimensão de 6m<sup>2</sup> para cada planta nas idades de sete e dez anos e 7,5m<sup>2</sup> para as de cinco anos, nas medições de escoamento de tronco. Essa área teórica resulta do espaçamento do pinus de três metros entre fileiras e dois metros entre plantas na mesma fileira para os pinus de sete e dez anos, e dois metros e meio por três metros (respectivamente) para os de cinco anos. Embora o povoamento com sete anos tenha passado por um desbaste aos três anos após o plantio, onde foi retirada aproximadamente um terço de seus indivíduos (Tabela 3), a localização específica do experimento não foi diretamente afetada, mantendo-se a área teórica de 6m<sup>2</sup> para o escoamento de tronco.

De acordo com Santos (2009) a forma indicada de se obter as taxas de interceptação de uma floresta é a realização do balanço hídrico do dossel. Isso pode ser expresso pela seguinte equação:

$$I = P_g - T_f - S_f \quad (1)$$

Em que  $I$  é a perda por interceptação,  $P_g$  é a precipitação total externa (mm),  $T_f$  é a precipitação interna (mm), e  $S_f$  é o escoamento de tronco (mm), portanto, a soma da  $T_f$  e  $S_f$  é considerada a parcela que realmente chega ao solo, chamada precipitação efetiva.

Foram estimados a densidade do plantio, diâmetro à altura do peito ( $DBH$ ), área basal ( $G$ ), 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. Para a estimativa do  $C$  e  $LAI$  foi utilizado um aplicativo de celular chamado *VitiCanopy*. Este aplicativo 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 cima 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 (DE BEI et al., 2016).

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.

A precipitação total externa ( $P_g$ ) utilizada para o balanço da interceptação foi medida, em intervalos de dez minutos, na estação pluviométrica localizada a cerca de um km das parcelas. O equipamento possui ajuste para a correção de eventos de alta intensidade (*logger* H-500 e báscula H-340 da *WATERLOG*).

Os componentes do processo de interceptação avaliados foram monitorados em eventos de precipitação ocorridos entre setembro de 2017 e janeiro de 2019. 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 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, aporte de água de outras fontes não medidas por pluviômetros convencionas (nevoeiro e precipitação conduzida pelos ventos), características do dossel ou variabilidade na quantidade de precipitação ao redor da área.

### **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: calhas para medição da precipitação interna (Figura 4-A1 e A2), pluviômetros de balança (Figura 4- A2 e B), sistema de anéis coletores para a medição do escoamento de tronco e abrigos para os pluviômetros (Figura 4-C). As básculas foram acopladas em dataloggers para aquisição e registro automático do dados (Figura 4-D). Após testes e calibrações os equipamentos foram qualificados para serem instalados em campo.

O sistema de medição da precipitação interna ( $Tf$ ) é composto por duas calhas coletoras, cuja área total de captação é de 0,6 m<sup>2</sup>. As calhas coletoras foram instaladas em uma altura de 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 no qual cada balança foi submetida a dez intensidades diferentes (que simularam a precipitação) a fim de se estabelecer o erro (Figura 5). 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 Tabela 2. Cada ponto do gráfico representa o resultado médio da coleta de dez basculadas em uma determinada intensidade de chuva.



Figura 4- Aparato utilizado no monitoramento automático dos componentes da interceptação (precipitação interna e escoamento de tronco). A1) dimensões da calha para coleta da precipitação interna, A2) calhas e balança, B) balança e abrigo, C) anel coletor de escoamento de tronco, D) datalogger. Fonte: os autores, (2024).

Os parâmetros das regressões lineares são representados na Tabela 2. 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 balanças, permitindo a correção dos erros de medição *a posteriori*.

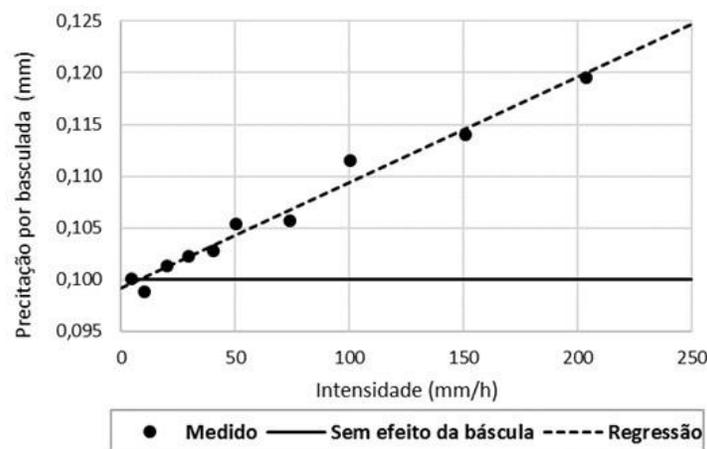


Figura 5- Gráfico de exemplo do ensaio para se estabelecer o valor de correção para os pluviômetros de balança. Fonte: os autores, (2024).

Tabela 1- Parâmetros da regressão linear para calibração das balanças utilizadas no monitoramento da precipitação interna ( $Tf$ ) e escoamento de tronco ( $Sf$ )

Báscula	Coefficiente angular	Coefficiente linear	R <sup>2</sup>
1	0,000100650	0,103	0,94
2	0,000095808	0,107	0,95
3	0,000101310	0,108	0,95
4	0,000091843	0,105	0,96

5	0,000107759	0,105	0,97
6	0,000075810	0,104	0,98
Média	<b>0,000095530</b>	<b>0,105</b>	<b>0,96</b>
Desv. Pad.	<b>0,000011061</b>	<b>0,001</b>	<b>0,01</b>
Cv %	<b>11,578</b>	<b>1,701</b>	<b>1,379</b>

Fonte: os autores, (2024).

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 (Tabela 1). 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 2- Estudos com medição de interceptação em povoamentos de pinus

Tipo de vegetação	<i>D</i> (ha <sup>-1</sup> )	<i>G</i> (m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> )	Idade (anos)	<i>I</i> (%)	<i>Tf</i> (%)	<i>Sf</i> (%)	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 elliotii</i>	1994	63,2	-	-	73,1	-	Gênova et al. (2007)	
<i>Pinus elliotii</i>	2100	-	8	-	73,4	-	Calux; 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 elliotii x caribaea</i>	840	23,6	12	21,1	77,9	1	Fan et al. (2015)	Oceania

*D* = Densidade, *G* = Área Basal, *I* = interceptação, *Tf* = precipitação interna, *Sf* = escoamento de tronco. Fonte: os autores, (2024).

Dentre os estudos listados na Tabela 1, nota-se que a definição experimental nem sempre contempla simultaneamente as variáveis precipitação interna (*Tf*) e escoamento de tronco (*Sf*), necessárias para a determinação da interceptação. A precipitação interna destaca-se como a variável geralmente medida de

forma experimental, e os valores obtidos apresentam uma relação direta com a idade da vegetação, resultando para os estudos apresentados na Tabela 1 um  $R^2=0,654$ . Ou seja, existe uma relativa tendência entre as duas variáveis que aponta para a idade ser um parâmetro explicativo da taxa de precipitação interna. No entanto, esse valor do coeficiente de determinação indica uma considerável variação entre os valores descritos nos estudos anteriores. Isso pode ser atribuído a métodos de medição não padronizados, distintos padrões de espaçamentos entre as árvores, ou a regimes de precipitação diferentes.

Percebe-se ainda, pela Tabela 1, que os estudos sobre as taxas do escoamento de tronco são escassos 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. Hoover (1953), ressalta o fato que o escoamento de tronco no *Pinus taeda* L. apresenta taxas maiores em relação às relatadas na literatura para várias outras espécies de pinus. 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. Portanto, nota-se a importância da medição desse componente para estudos de interceptação para esta espécie.

Santos (2009) realizou estudo na bacia experimental do rio Saci, mesma bacia de um dos experimentos da presente pesquisa, com o *pinus* na idade de trinta anos, sendo que atualmente a nova plantação apresenta cinco anos. Altos valores para o escoamento de tronco foram medidos (7,4%) em relação à média (4,9 %) obtida pela Tabela 1.

A regressão linear entre a área basal e a precipitação interna, obtida com base na Tabela 1, apresentou o valor de  $R^2 = 0,325$ . Porém, a variável área basal está estreitamente relacionada a densidade do plantio, e consequente finalidade da produção e técnicas de plantio, o que explica o valor baixo do coeficiente de determinação e indica cautela ao se utilizar a área basal para inferir sobre o comportamento dos componentes da interceptação (SANQUETTA et al., 2003; LIMA et al., 2013). Por outro lado, o valor obtido por regressão linear entre a área basal e a interceptação, com base em dados estudos sobre pinus ( $n=7$ ), descritos no trabalho de revisão de Breuer et al. (2003), apresenta uma boa correlação ( $R^2= 0,7898$ ). No mesmo estudo a correlação entre a interceptação e a idade da vegetação resultou em  $R^2= 0,1867$ .

Para caracterização da vegetação nas áreas dos três experimentos, com distintas idades de plantio (cinco, sete e dez anos), foram determinadas variáveis dendrométricas de interesse e comumente utilizadas em estudos similares ( $n=10$  para cada parcela experimental) (Tabela 3).

Tabela 3-Variáveis dendrométricas para as distintas idades dos povoamentos de *Pinus taeda* L.

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

C.v.= Coeficiente de variação. \*Povoamento recebeu desbaste aos três anos após plantio, reduzindo aproximadamente 35%, de 1666 para 1100 indivíduos por hectare. Fonte: os autores, (2024).

Como esperado o fator de cobertura *C*, entre os plantios 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% o pinus de sete e dez). Já os valores do *DBH* para o plantio de dez anos foram inferiores aos dos de sete anos, provavelmente em decorrência do menor espaçamento no plantio e, portanto, alteração das condições ambientais necessárias 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 m<sup>2</sup> e 16,0 m<sup>2</sup> por árvore). Seus resultados indicam que o espaçamento influencia de forma significativa o crescimento em volume por hectare. Com altas densidades (espaçamentos entre 1 e 5 m<sup>2</sup>), observou-se a produção de fustes mais tortuosos e pequenos, e diâmetros menores, em relação às densidades mais baixas (> 5 m<sup>2</sup>). Portanto, espaçamentos mais amplos promovem diâmetros maiores com menor produção volumétrica, enquanto 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 (1666 indivíduos por

hectare) o *DBH* foi inferior aos do povoamento de sete anos (1100 indivíduos por hectare) (Tabela 3 e Figura 19).

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/desbaste os valores máximos da taxa de interceptação diminuíram 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 papel que os administradores dos plantios têm no gerenciamento da disponibilidade de água por meio da gestão e controle da vegetação. No caso específico, a redução da densidade de plantas e conseqüentemente do índice de área foliar reduz também a capacidade de armazenamento do dossel, resultando em menores taxas de interceptação e maior disponibilidade de água na bacia hidrográfica.

A Figura 6 apresenta a relação entre precipitação total externa (*Pg*) e precipitação interna (*Tf*). 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.

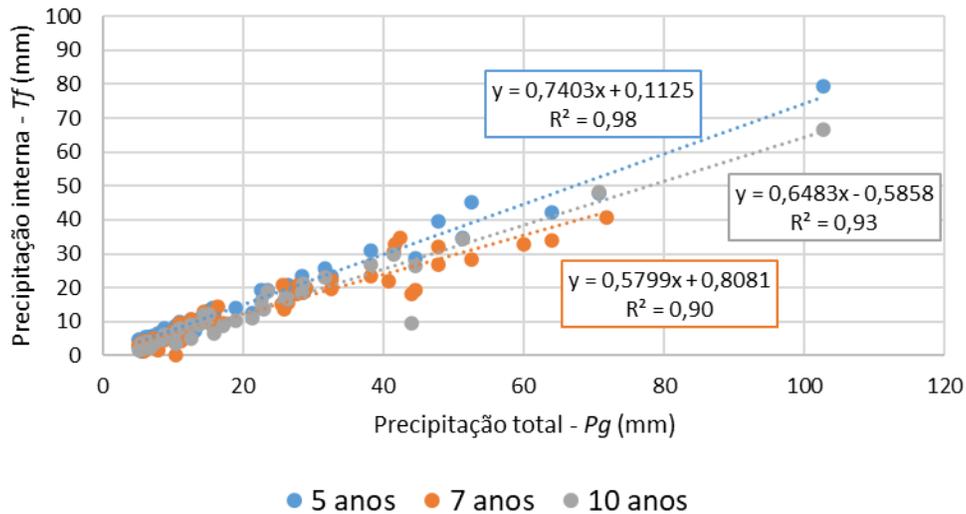


Figura 6- Relação entre precipitação total ( $P_g$ ) e precipitação interna ( $T_f$ ). Fonte: os autores, (2024).

Considerando em conjunto os dados dos três experimentos, o  $DBH$  foi o parâmetro dendrométrico que apresentou maior relevância para explicar as taxas de precipitação interna ( $R^2=0,98$ ). A correlação foi inferior para a precipitação interna e os parâmetros fator de cobertura  $C$  ( $R^2=0,39$ ), índice de área foliar  $LAI$  ( $R^2=0,09$ ) e idade do pinus ( $R^2=0,21$ ). A variável  $DBH$  como um fator explicativo das taxas de interceptação foi também descrita nos artigos de Sanguetta et al. (2003), Lima et al. (2013) e Gavazzi et al. (2016).

Em povoamentos de *Pinus taeda* L. para fins comerciais o desenvolvimento parece estar mais relacionado às 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.

A Figura 7 apresenta a relação entre precipitação total ( $P_g$ ) e escoamento de tronco ( $S_f$ ). Nota-se que 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 (LEVIA JR; FROST, 2003), 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; FAN et al., 2014) Ainda podem ocorrer variações intra-específicas na geração de escoamento de tronco, como a redução dos volumes conforme o incremento da idade (LEVIA; FROST, 2003).

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.

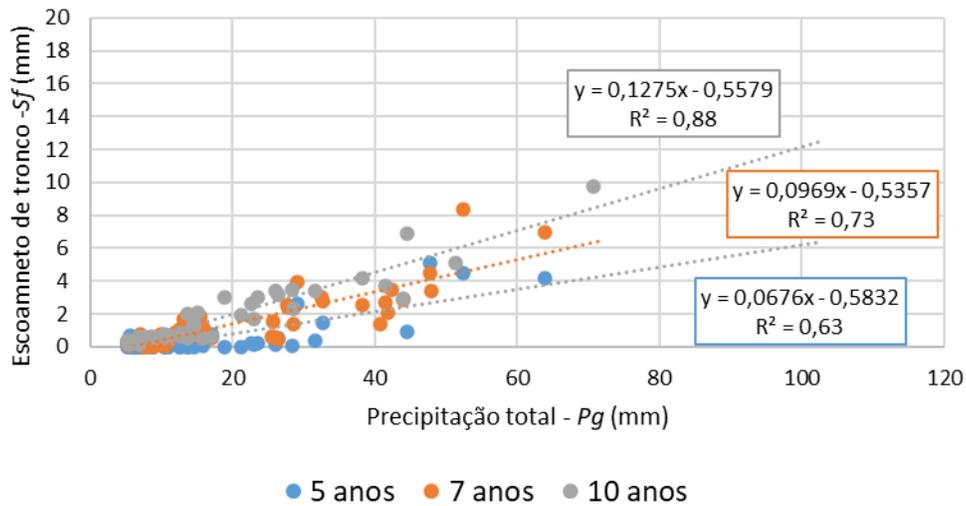
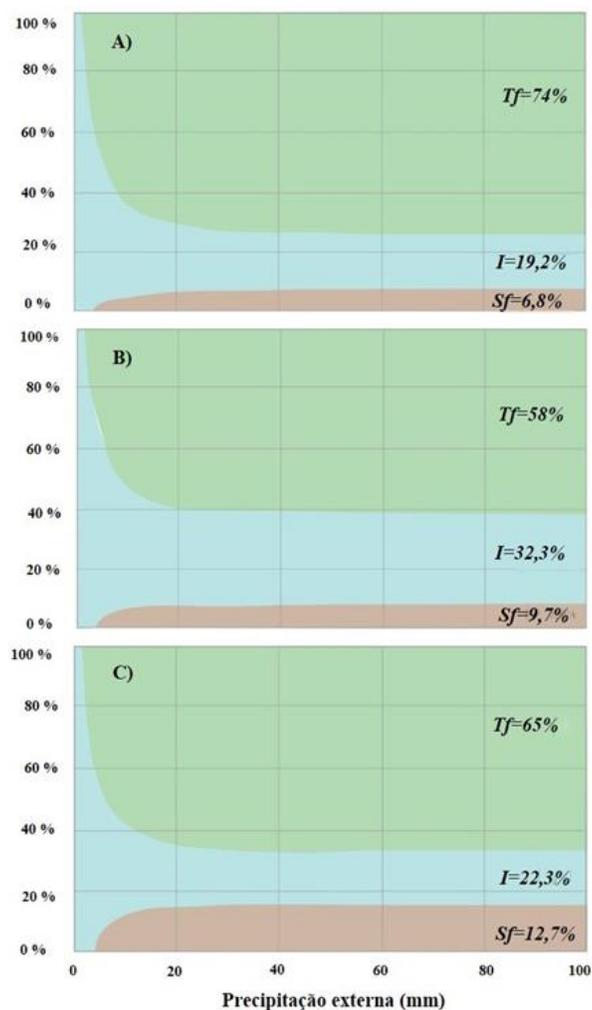


Figura 7- Relação entre precipitação total ( $P_g$ ) e escoamento de tronco ( $S_f$ ). Fonte: os autores, (2024).

Nota-se a existência de variabilidade nos componentes da interceptação entre os eventos monitorados, sendo mais acentuada para os resultados do escoamento de tronco em relação a precipitação total, com os coeficientes de determinação de 0,63, 0,73 e 0,88. Para a precipitação interna a variabilidade é menor em relação a precipitação total, com coeficientes de determinação de 0,90, 0,93 e 0,98, considerando-se o conjunto de eventos e os três locais monitorados.

Com base nos resultados obtidos, a Figura 8 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. A análise dos eventos a partir da discretização temporal (10 minutos de intervalo) 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).



A) E1, B) E2 e C) E3.  $T_f$  - precipitação interna,  $S_f$  - escoamento de tronco e  $I$  - perdas por interceptação

Figura 8- Comportamento conceitual dos componentes do processo de interceptação nos três experimentos avaliados: A) E1 - 5 anos, B) E2 - 7 anos, C) E3 - 10 anos. Fonte: os autores, (2024).

Como observado na Figura 8 existe uma tendência a redução da capacidade de retenção relativa 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, ou seja, com o incremento desses valores ao longo do evento de precipitação, 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.

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% da precipitação total. Isso pode ser decorrente dos distintos regimes de precipitação, condições de plantio, manejo e características ambientais de cada área de estudo.

Tabela 4- Resumo dos valores dos componentes da interceptação obtidos pela literatura (descritos na Tabela 1).

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

*Tf*= precipitação interna, *Sf*= escoamento de tronco, *I* = perdas por interceptação, Desv. Pad.= Desvio padrão e C.V.= Coeficiente de Variação. Fonte: os autores, (2024).

A Figura 9 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 obtidos na presente pesquisa apresentaram precipitação interna inferior aos valores obtidos na literatura. Porém, os valores amostrados variam pouco em relação a idade quando comparada aos dados gerais.

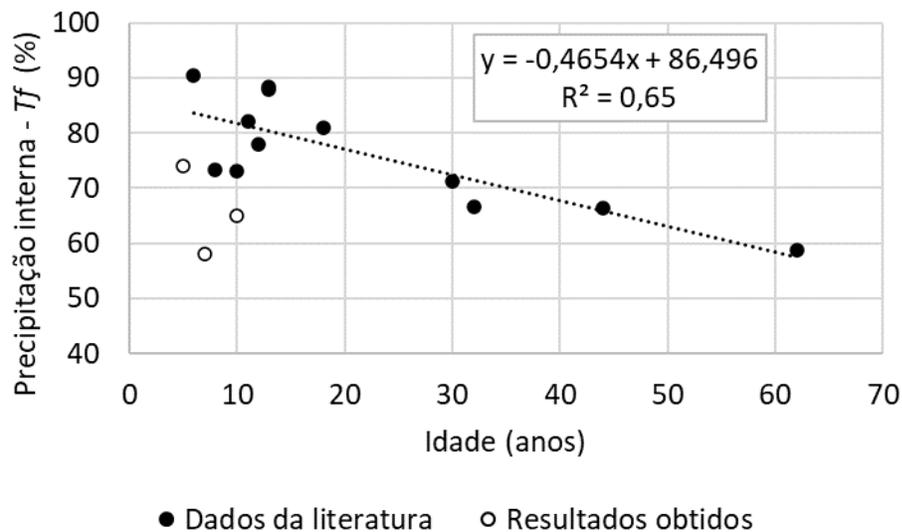


Figura 9- Relação entre a proporção da precipitação interna (*Tf*) sobre a precipitação total (*Pg*) e a idade da vegetação, a partir de dados obtidos pela literatura (apresentados na Tabela 1) e dados medidos. Fonte: os autores, (2024).

A avaliação dos dados obtidos nessa pesquisa em conjuntos com os relatados na literatura (Figura 10), mostra claramente que ocorre um decréscimo do escoamento de tronco conforme o desenvolvimento do pinus. Essa redução pode ser explicada pela necessidade de um volume maior de precipitação para a saturação e escoamento do tronco em florestas de pinus mais velhas. Embora exista uma tendência geral de

diminuição com a idade, nota-se uma grande variabilidade nos valores do escoamento de tronco principalmente em plantios mais jovens, sendo os resultados obtidos na presente pesquisa inseridos nesse contexto.

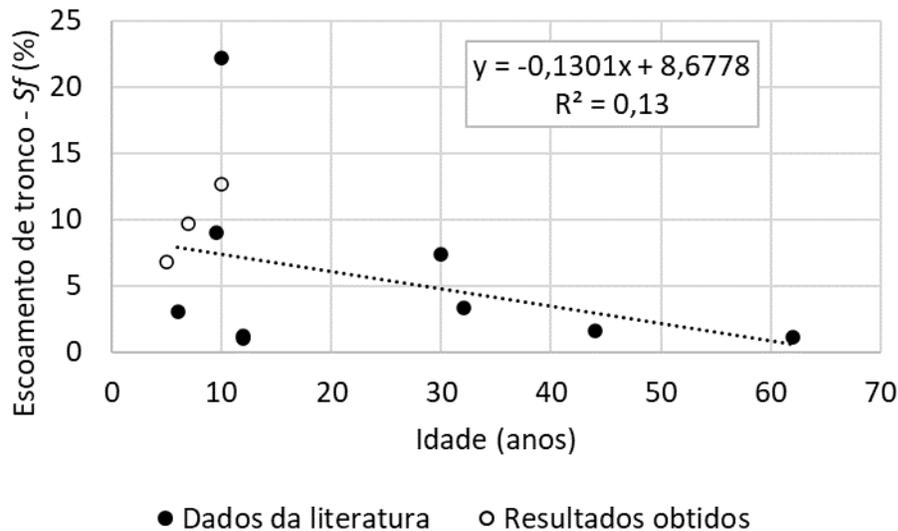


Figura 10- Relação entre a porcentagem do escoamento de tronco ( $S_f$ ) em relação e idade a partir de dados obtidos pela literatura (descritos na Tabela 1) e dados medidos. Fonte: os autores, (2024).

#### IV. CONCLUSÕES

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 ( $T_f$ ) médias mensuradas foram de 74%, 58% e 65% e as taxas de escoamento de tronco ( $S_f$ ) foram de 6,8%, 9,7% e 12,7%, em relação a precipitação total, para as idades de 5, 7, 10 com densidades 1333 ( $\text{ha}^{-1}$ ), 1100 ( $\text{ha}^{-1}$ ) e 1666 ( $\text{ha}^{-1}$ ) respectivamente.

Os resultados da precipitação interna ( $T_f$ ) 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 conseqüente alteração das características ambientais que condicionam seu desenvolvimento. Para o escoamento de tronco ( $S_f$ ) 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 conseqüente 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.

## V. REFERÊNCIAS

- 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.
- BREUER, L.; ECKHARDT, K.; FREDE, H. G. Plant parameter values for models in temperate climates. *Ecological Modelling*, v.169, 2003, p. 237–293.
- CALUX, J.; THOMAZ, E. L. Interceptação e precipitação interna: comparação entre Floresta Ombrófila Mista e *Pinus elliottii* var. *elliottii*. *Geoambiente*, v. 19, 2012, p. 24-39.
- 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, 2014, p. 156-165.
- 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, 1980, p. 89-105.
- 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), 2016, p. 601-610.
- GIGLIO, J. N.; KOBAYAMA, M. Interceptação da chuva: Uma revisão com ênfase no monitoramento em florestas brasileiras. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18 (2), 2013, p. 297-317.
- HELVEY, J. D. Interception by Eastern White Pine. *Water Resources Research*, v. 3 (3), 1967, p. 723-729.
- 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). 1919, p. 604-623.

IBA. Relatório 2017. Industria Brasileira de Árvores. Disponível em: [http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)

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

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. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.274, 2003, p.1–29.

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), 2013, p. 223-230.

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, 1976.

LIMA, W. P.; NICOIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. *IPEF*, n.24, 1983, p.43-46.

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.

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*, v. 9, 1971, p.367–384.

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), 2015, p. 1008 – 1018.

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*, v.1, n.1, 2003, p. 55-61.

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.

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

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.

STOGSDILL, W. R.; WITTEWER, 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, 1989, p. 105-113.

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, 1972, p. 160-164.

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, 2012, p.122–127.

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, 1997, p.141–162.

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

---