

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

Décio Oscar Cardoso Ferreto

**COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE PEQUENAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS COM TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* NO BIOMA
PAMPA**

Santa Maria, RS

2019

Décio Oscar Cardoso Ferreto

**COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE PEQUENAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS COM TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* NO BIOMA
PAMPA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogénéticos do solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo**.

Orientador: Prof. PhD. José Miguel Reichert

Santa Maria, RS

2019

Ferreto, Décio Oscar Cardoso

Comportamento hidrológico de pequenas bacias hidrográficas com três espécies de *Eucalyptus* no bioma Pampa / Décio Oscar Cardoso Ferreto.- 2019.

104 p.; 30 cm

Orientador: José Miguel Reichert

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, RS, 2019

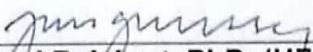
1. Hidrologia florestal 2. Balanço hídrico 3. Interceptação pelo dossel 4. Partição da precipitação em plantações de eucalipto I. Reichert, José Miguel II. Título.

Décio Oscar Cardoso Ferreto

**COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE PEQUENAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS COM TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* NO BIOMA
PAMPA**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogénéticos do solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Ciência do Solo**.

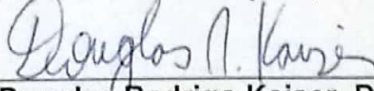
Aprovado em 27 de fevereiro de 2019:



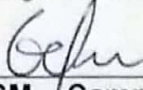
José Miguel Reichert, PhD. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



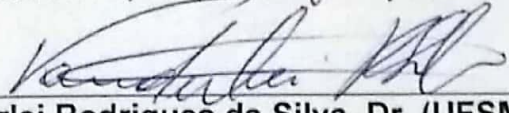
André Carlos Cruz Copetti, Dr. (UNIPAMPA)



Douglas Rodrigo Kaiser, Dr. (UFFS)



Edner Baumhardt, Dr. (UFSM – Campus Frederico Westphalen)



Vanderlei Rodrigues da Silva, Dr. (UFSM – Campus Frederico Westphalen)

Santa Maria, RS

2019

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Dílma e Derocy,
pelo exemplo de vida e apoio
incondicional. A minha filha
Cecília, e a minha amada
Elisângela dedico este trabalho.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me proporcionado tantas oportunidades.

Ao professor José Miguel Reichert, pela orientação, oportunidade e confiança.

Ao professor Jean Minella, pela colaboração e segurança na co-orientação.

À Rosane Cavalcante pelas contribuições, ensinamentos, disponibilização de dados e ajuda em todas as etapas desse estudo.

Aos professores André Copetti, Douglas Kaiser, Edner Baumhardt e Vanderlei Rodrigues, que constituíram a banca examinadora, agradeço pela disponibilidade e contribuições.

Ao amigo Cassiano Bauer e sua equipe que me auxiliaram na instrumentalização das áreas do estudo, nas coletas e a sanar muitas dúvidas

À UFSM pelo ensino público gratuito e de qualidade.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo e à FAPERGS pelo apoio financeiro.

Ao professor Frederico, por me possibilitar ingressar na pós-graduação. Também sou grato pelo conhecimento compartilhado, pelas lições de vida e pelo exemplo de dedicação profissional.

Aos colegas e amigos do laboratório de física do solo, Daniel, Amanda, Mayara, Raí, Cristiano, Mirian, Jordano, Alan, Samára, Suélen, Letiéri, Karina, Diuli, Luiza, Douglas, Jean, Miriam e Franciele. Obrigado pelos momentos de trabalho, diversão, amizade e pela troca de ideias em nossas discussões.

Aos colegas Ederson e Thais que disponibilizaram seu tempo para ler este trabalho e dar valiosas sugestões.

Aos meus pais por todo o esforço que fizeram para que eu consiga almejar um futuro melhor.

À Elisangela, pelo companheirismo, carinho e amor. Pelo contínuo estímulo e apoio na realização deste estudo. Por me proporcionar a maior alegria do mundo, o privilégio de ser pai da Cecília.

A todos que de alguma forma colaboraram, direta ou indiretamente, para que este trabalho se concretizasse.

RESUMO

COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS COM TRÊS ESPÉCIES DE *Eucalyptus* NO BIOMA PAMPA

AUTOR: Décio Oscar Cardoso Ferreto

ORIENTADOR: José Miguel Reichert

A introdução de plantações de eucalipto em áreas antes utilizadas para a agricultura e pecuária no bioma Pampa, tem gerado frequentes questionamentos, devido aos possíveis impactos ambientais negativos, principalmente relacionados com o consumo de água por essa cultura. Entretanto, estes questionamentos são, na maioria das vezes, carentes de fundamentação científica. Este estudo buscou compreender a influência da cobertura vegetal do solo sobre o comportamento hidrológico de pequenas bacias hidrográficas pareadas (BHs). Foram monitoradas três BHs, sendo duas com plantações de eucalipto, uma com *Eucalyptus saligna* (plantas entre 7,5 a 11,5 anos de idade; BEs) e outra com *E. benthamii*, (plantas entre 0,5 a 4,5 anos de idade; BEb) e uma terceira BH sob campo natural antropizado degradado (BC) usada para produção de pecuária. Os componentes do ciclo hidrológico de três BHs foram monitorados durante quatro anos no município de São Gabriel, RS, de outubro de 2014 a setembro de 2018. As variáveis monitoradas foram, precipitação total (Pt), vazão (Q), variação do armazenamento de água no perfil do solo, precipitação interna, escoamento pelo tronco, interceptação pela serapilheira, altura total e diâmetro a 1,3 metros de altura das árvores. Também foram estimados a evaporação do solo e transpiração vegetal (ETa), evaporação da água interceptada pela vegetação (INT), índice de área foliar, déficit hídrico, excedente hídrico, retirada e reposição de água no perfil do solo disponível às plantas. Também foi analisada as diferenças na partição da precipitação em três espécies de *Eucalyptus* jovens (*E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*; 2 aos 4,5 anos). Além disso, foi analisado o manejo de corte de 100% e 30% nas bacias de eucalipto. Uma seção de monitoramento fluviométrico foi instalada no exutório de cada BHs. Houve três anos com precipitações muito acima da média histórica na região durante o estudo. Foi observado uma menor Q anual na BEs em relação à BC de 44,9, 44,5, 55,7 e 58,2%, do ano hidrológico 1 ao 4, respectivamente e uma redução na Q na BEb em relação a BC de 16,4, 36,2, 66,5 e 78,4% do ano hidrológico 1 ao 4, respectivamente. A principal saída de água nas três BHs ocorreu pelo processo de ETa. Os maiores déficits hídricos, durante os quatro anos hidrológicos do estudo, ocorreram na BEs e BEb e os maiores excedentes hídricos foram estimados para a BC. A Q específica ($L s^{-1} km^{-2}$), antes do corte de 100% da área com eucalipto na BEb, representava 5,4% da Pt, e após o corte passou a representar 23,7% da Pt. Em períodos com baixas precipitações a BEs disponibilizou mais água a jusante que a BC em 65% do tempo. O manejo em mosaico de idades, por meio do corte raso em 30% da área de eucalipto na BEs foi benéfico para a manutenção das vazões mínimas.

Palavras-chave: Precipitação efetiva. Interceptação vegetal. Evapotranspiração. Disponibilidade hídrica. Hidrologia florestal.

ABSTRACT

HYDROLOGICAL BEHAVIOR OF SMALL WATERSHEDS WITH THREE SPECIES OF *Eucalyptus* IN PAMPA BIOME

AUTHOR: Décio Oscar Cardoso Ferreto

ADVISOR: José Miguel Reichert

The establishment of *Eucalyptus* plantation in areas previously used for agriculture and livestock in the Pampa biome has generated questions about possible negative environmental impacts, mainly related to water consumption by that culture. However, mostly of these questions need scientific basis. This study investigated the influence of the land cover on the hydrological behavior of small paired watersheds: two watersheds with *Eucalyptus* plantation, one with *Eucalyptus saligna* (plants between 7.5 and 11.5 years of age; EsW) and another with *E. benthamii* (plants between 0.5 and 4.5 years of age; EbW), and a third watershed under degraded grassland (GW), used for livestock production. The components of the hydrological cycle of three watersheds located in São Gabriel-RS were monitored for four years from October 2014 to September 2018. The variables monitored were: rainfall (Pt), streamflow (Q), water storage variations in the soil profile, Throughfall, Stemflow, litter interception, total height and diameter at 1.30 meters high of the trees. Also, were estimated, actual evapotranspiration, canopy interception (INT), leaf area index, water deficit, water surplus and withdrawal and put backr into the soil profile. It was also analyzed the diferences in the partitioning of the rainfall in three young eucalyptus species (*E. saligna*, *E. benthamii* and *E. dunnii*, 2 at 4.5 years). Besides that, the manejeament of shallow cutting of 100% and 30% in the eucalyptus watersheds. There were three years with precipitation far above the historical average in the region during the study. It was observed a lower Q of the EsW in relation to GW of 44.9, 44.5, 55.7 and 58.2%, from hydrological year 1 to 4, respectively, and a reduction in BEb in relation to GW of 16.4, 36.2, 66.5 and 78.4% of the year hydrological 1 to 4, respectively. The main water outlet in the three BHs occurred by the ETa process. The largest water deficits, during the four hydrological years of the study, occurred in BEs and BEb and the highest water surplus were estimated for BC. The specific flow rate ($L s^{-1} km^{-2}$), before the cut of 100% of the area with eucalyptus in the EbW represented 5.4% of Pt and after the cut represent 23.7% of Pt. The highest averages of INT were verified in the species *E. saligna* and *E. dunnii*, when the plants had 3 to 4 years of age. The lower averages of INT, during all study period occurred in the *E. benthamii* species. In periods with low rainfall the BEs provided more water downstream than the BC in 65% of the time. The mosaic management of ages, by means of cutting in 30% of the eucalyptus area in the BEs, was beneficial for the maintenance of the minimum streamflow.

Keywords: Effective rainfall. Interception. Actual evapotranspiration. Hydric availability. Forest hydrology.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL..... | 10 |
| 2 HIPÓTESES..... | 13 |
| 3 OBJETIVOS..... | 14 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL..... | 14 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 14 |
| 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 15 |
| 4.1 ALTERAÇÃO DE USO DO SOLO NO BIOMA PAMPA..... | 15 |
| 4.2 PARTICIPAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO..... | 16 |
| 4.3 DINÂMICA DA ÁGUA DA CHUVA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE EUCALIPTO..... | 18 |
| 4.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS E EFEITOS DA SAZONALIDADE..... | 19 |
| 5 ESTUDO I..... | 22 |
| 6 ESTUDO II..... | 65 |
| 7 DISCUSSÃO GERAL..... | 96 |
| 8 CONCLUSÕES GERAIS..... | 98 |
| 9 PERSPECTIVAS DE ESTUDOS FUTUROS..... | 99 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

A compreensão do papel de diferentes coberturas vegetais do solo como agentes da redistribuição da água da chuva no ambiente é fundamental para a elaboração de práticas de manejo sustentáveis. Por isso, afim de melhorar o entendimento da influência da cobertura vegetal no particionamento da precipitação é imprescindível uma análise detalhada dos componentes do ciclo hidrológico em pequenas bacias hidrográficas pareadas (BHs).

O tipo de cobertura vegetal do solo influencia na disponibilidade de água em BHs (CUI et al., 2012; MADANI et al., 2017). Estudos relatam que áreas sob plantações de eucalipto possuem maior consumo de água em relação a áreas de pastagens (FARLEY et al, 2005; DIAS et al., 2015; ROHATYN et al., 2018), devido a maior perda de água por transpiração e interceptação da precipitação (INT) nas árvores (MADANI et al., 2017).

Em uma revisão de 166 artigos, de estudos conduzidos em BHs pareadas, Brown et al. (2005) relataram que a alteração de uso do solo pode afetar tanto as vazões médias anuais, quanto a variabilidade das vazões ao longo do ano. Além disso, as maiores diferenças ocorrem nos períodos chuvosos, porém, proporcionalmente os maiores impactos são verificados nas vazões mínimas. Pesquisas conduzidas em plantações de *Eucalyptus* concordam com esses resultados. Por exemplo, Farley et al. (2005) e Nosetto et al. (2005 e 2012) observaram que a alteração de uso do solo de pastagens naturais, para plantações de eucalipto aumentaram as perdas de água por evapotranspiração e reduziram as vazões anuais em BHs. Entretanto, estudos recentes indicam que em períodos com baixa precipitação, as áreas sob povoamentos de eucalipto podem disponibilizar mais água do que as áreas sob pastagem natural no bioma Pampa (BAUMHARDT, 2014; REICHERT et al., 2017). Isso ocorre por que a áreas de pastagem natural destinadas para produção de pecuária extensiva, sem a adoção de práticas de manejo adequadas, são mais suscetíveis a compactação superficial do solo, o que resulta na redução da infiltração e condutividade hidráulica do solo saturado (MORRIS; JACKSON, 2016).

Áreas florestais têm grande “perda de água” pelo processo de evapotranspiração (DRESEL et al., 2018). Uma parte dessa perda de água ocorre devido ao processo de INT. Schellekens et al. (1999) relataram que a perda de água

por INT em áreas sob florestas, pode chegar até 50% da precipitação total (Pt). Todavia, a percentagem de INT em povoamentos de eucalipto é muito dependente do tipo de espécies, da idade das plantas, do espaçamento de plantio, das estações do ano, do índice de área foliar e das características (duração, intensidade e frequência) da precipitação (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; SHI et al., 2012). Algumas pesquisas conduzidas em áreas sob povoamentos de eucaliptos no bioma Pampa relatam esse comportamento da INT entre espécies de eucaliptos. Por exemplo, Sari et al. (2016) encontraram perdas de INT de 14,5% da Pt em povoamentos jovens de *Eucalyptus grandis*. Já Consensa (2012) observou perdas por INT em plantações de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus urograndis*, de 10,0 e 26,8% da Pt, respectivamente.

Em virtude da ampliação das áreas sob florestamentos com *Eucalyptus* no bioma Pampa, ainda há uma grande demanda por estudos de INT nessa região (GIGLIO; KOBAYAMA 2013). Diante disso, as empresas florestais têm firmado parcerias com Universidades, com o intuito de investigar a interferência do eucalipto sobre os componentes do ciclo hidrológico. Uma das ferramentas que está sendo utilizada para identificar essa influência das plantações de eucalipto nos fluxos de água desse bioma é o estudo do balanço hídrico na escala de pequenas BHs pareadas.

Pesquisas iniciais na área do presente estudo, indicaram que à inserção do eucalipto em áreas antes ocupadas com pastagem natural degradada, aumentou as perdas de água por evapotranspiração e diminuiu a vazão média anual de BHs (REICHERT et al., 2017). Contudo, esses resultados foram obtidos em BHs ocupadas com a espécie *Eucalyptus saligna* adultos, que possivelmente não representem resultados obtidos para outros genótipos e idades de plantas. Por isso, faz-se necessário o monitoramento em BHs com diferentes espécies e idade de plantas para assegurar a sustentabilidade do ecossistema local.

O presente estudo comparou o balanço entre áreas com plantações de eucalipto e pastagens naturais por meio do método de balanço hídrico em BHs pareadas sob as mesmas condições climáticas. Os resultados são comparados não só anualmente, mas também as diferenças sazonais são discutidas. O período de análise, contempla a colheita de plantações de eucalipto, e faz comparação de duas BHs pareadas com plantações de eucalipto com diferentes idades, o que permitiu avaliar a variação dos componentes hidrológicos nessas BHs ao longo do ciclo produtivo das plantações. Por último, devido a importância da interceptação pela copa

na evapotranspiração total de bacias florestadas e a diversidade de características entre espécies de eucalipto, a partição da chuva para três diferentes espécies de eucalipto (*Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*), mais utilizadas no estado do Rio Grande do Sul foi avaliada e comparada com características do dossel e de crescimento das árvores. Assim, o presente estudo visa aprofundar os conhecimentos do uso da água em plantações florestais de eucalipto no bioma Pampa, gerando subsídios para a racionalização da implantação e condução de florestamentos com eucalipto.

2 HIPÓTESES

I. Pequenas bacias hidrográficas rurais com ocupação do solo por plantações florestais de eucaliptos adultos exibem aumento das vazões máximas após o corte total da floresta, porém, o corte parcial da floresta diminui os impactos das vazões máximas.

II. Por meio do monitoramento dos componentes do processo de interceptação vegetal das espécies *Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii* é possível obter a parametrização da interceptação e assim, elaborar equações para essas espécies.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Compreender como diferentes coberturas vegetais do solo (diferentes estádios de desenvolvimento e espécies de eucalipto, herbáceas e gramíneas) interferem nos componentes do ciclo hidrológico de três pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Compreender a interferência dos efeitos climáticos sazonais e do uso do solo sobre o comportamento das vazões, a partir das curvas de permanência das vazões das bacias hidrográficas.

II. Analisar a relação da precipitação interna, do escoamento pelo tronco e da interceptação vegetal, com a precipitação total, o índice de área foliar e o diâmetro a altura do peito em diferentes espécies de eucalipto (*Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*).

III. Determinar a partição da precipitação em diferentes espécies de eucalipto (*Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*, de 2 a 4,5 anos, por meio da precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela serapilheira.

IV. Analisar o efeito do corte florestal em área total (100% da área com eucalipto) e parcial (30% da área com eucalipto), mediante o monitoramento da vazão específica diária em duas bacias hidrográficas pareadas.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 ALTERAÇÃO DE USO DO SOLO NO BIOMA PAMPA

O bioma Pampa possui uma área de 176.496 km², o que corresponde a 63% do território do estado do Rio Grande do Sul (RS) e 2,07% do território brasileiro, abrangendo também áreas no Uruguai e Argentina (SUERTEGARAY et al., 2009). Esse bioma é caracterizado por apresentar vegetação rasteira (gramíneas e arbustos) e algumas áreas com árvores, principalmente acompanhando cursos de água (matas de galerias) ou em “capões” (ilhas de árvores dentro da paisagem) (OVERBECK et al., 2006).

Tradicionalmente, as áreas desse bioma são utilizadas para pastejo animal (NABINGER et al., 2000). Entretanto, seu potencial forrageiro não tem sido devidamente valorizado e a pastagem nativa tem sido substituída por outras culturas aparentemente mais rentáveis, como soja, pastagem plantada e silvicultura (PILLAR et al., 2009). Estima-se que 26% da área do bioma Pampa já foi convertida para essas culturas (OLIVEIRA et al., 2017). Essa alteração no tipo de cobertura vegetal do solo, pode causar impacto na disponibilidade da água e no comportamento das vazões em bacias hidrográficas da região (TUCCI; CLARKE, 1997; NOSETTO et al., 2012; GUZHA et al., 2018).

O tipo de cobertura vegetal do solo interfere na redistribuição da precipitação, tanto no deslocamento para os corpos d'água, quanto no retorno para a atmosfera (GIGLIO; KOBIYAMA, 2013). Em geral, áreas com florestas, perdem mais água por evapotranspiração, em relação à vegetações de pequeno porte (BOSCH; HEWLETT, 1982; NOSETTO et al., 2005; FARLEY et al., 2005; DIAS et al., 2015; ROHATYN et al., 2018), devido a maior perda de água por interceptação da precipitação (INT) e maior transpiração nas árvores (MADANI et al., 2017).

As pesquisas em áreas do bioma Pampa, no estado do RS, vêm aumentando com o intuito de analisar os efeitos do florestamento com eucalipto sobre os recursos hídricos. Uma das ferramentas que está sendo utilizada para identificar a interferência dos diferentes tipos de cobertura vegetal nos fluxos de água, entre o sistema solo-planta-atmosfera, é o estudo do balanço hídrico na escala de pequenas bacias hidrográficas (BHs) pareadas. Essa técnica de estudo, está demonstrando eficácia para esclarecer os efeitos do uso e manejo do solo sobre o ciclo hidrológico em BHs desse

bioma (TUCCI et al., 2001; BROWN et al., 2005). Para isso, utilizam-se duas BHs com características similares (bacias pareadas), sendo que uma é submetida a alteração do uso do solo, denominada de bacia experimental e a outra é mantida sem alteração do uso do solo, denominada de bacia de controle (BROWN et al., 2005). Esse estudo se baseia na análise quantitativa dos parâmetros de entrada (precipitação) e saída (evapotranspiração e deflúvio) de água em BHs, em um determinado intervalo de tempo (TUCCI, 2009).

Alguns estudos utilizando esse método ao redor do mundo apontam que o florestamento com eucalipto em áreas de pastagem degradadas provoca aumento das perdas de água por evaporação e reduz a produção de água em BHs (FARLEY et al., 2005; NOSETTO et al., 2012, MADANI et al., 2017). No RS o uso dessa técnica tem contribuído para responder as indagações sobre os possíveis impactos da mudança de uso do solo que vem ocorrendo, por meio da substituição de pastagem natural do bioma Pampa para florestamento com eucalipto (REICHERT et al., 2017). Todavia, os estudos até então desenvolvidos na região não analisaram as diferenças entre as espécies e genótipos utilizados. Nesse sentido, frente à importância das florestas plantadas de *Eucalyptus* para suprir a demanda de produtos madeireiros e para a economia do estado do RS, e sua relação crítica com a disponibilidade de água na região, se faz necessário conduzir estudos que contemplem diferentes espécies de eucalipto plantadas em larga escala na região, a fim de estabelecer melhores práticas de manejo para essa cultura.

4.2 PARTIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO

A água da chuva que precipita sobre uma área com plantações de eucalipto passa por muitas etapas até chegar à rede de drenagem. Para compreender a dinâmica desse deslocamento é imprescindível analisar cada componente do ciclo hidrológico envolvido no processo, desde a entrada de água no sistema, via precipitação, até a saída de água da bacia hidrográfica, por deflúvio. Porém, tão importante quanto esses componentes, são os processos que ocorrem no recebimento e fracionamento da água da chuva, os quais, definem a magnitude do escoamento superficial e da infiltração de água no solo em áreas florestais (TUCCI; CLARKE, 1997), impactando na disponibilidade de água às plantas e no risco de erosão do solo.

O primeiro processo de fracionamento da água da chuva compreende na interceptação pelo dossel vegetal e na evaporação durante ou após o evento pluvial, sendo chamado de interceptação vegetal (INT). O restante, ou seja, a quantidade de água da chuva que exceder a capacidade de armazenamento de água do dossel, pode ser redistribuída por meio da precipitação interna (P_i) e do escoamento pelo tronco (E_t) (CHANG, 2006).

A fração da água da chuva que atinge a superfície do solo por meio da precipitação direta, entre as aberturas das copas e/ou pelo gotejamento do dossel é chamada de P_i . A P_i depende, especialmente, da lâmina total de água precipitada, da intensidade da precipitação, da precipitação antecedente e das estações do ano (MARTINS FILHO, 2014). Uma pequena fração de água da chuva chega no solo por meio do escoamento de água pelos troncos das árvores, porém, não deve ser desprezada, pois ocorre lentamente, o que favorece a infiltração de água no solo (REICHERT et al., 2017).

A serapilheira depositada sobre os solos florestais, também retém uma parte da água da chuva, chamada de interceptação pela serapilheira (I_s) (SACRAMENTO NETO, 2001). Além disso, a serapilheira é imprescindível para o amortecimento do impacto das gotas de chuva sobre o solo, evitando o desprendimento das partículas e selamento da superfície, o que aumenta a capacidade de infiltração de água no solo (MORRIS; JACKSON, 2016). Em áreas florestais, onde a camada de serapilheira é geralmente expressiva e densa, a I_s não deve ser negligenciada, pois intercepta grandes volumes de água da chuva, sendo um componente representativo do balanço hídrico (LI et al., 2017).

A quantidade de água da chuva que efetivamente atinge o solo, é chamada de precipitação efetiva (P_e). A P_e representa a parcela da água da chuva que está disponível para reposição de água no solo, se for menor ou igual à taxa de infiltração de água do solo, ou para o escoamento superficial, se for maior que a taxa de infiltração de água do solo (TUCCI, 2009).

Todavia, a percentagem de cada um desses componentes do ciclo hidrológico supracitados é muito dependente do tipo de cobertura vegetal do solo, da estrutura do dossel (diferentes espécies, idades das plantas, espaçamento de plantio, estação do ano e índice de área foliar) e das características dos eventos climáticos (duração, intensidade e frequência da precipitação) (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000). Tais peculiaridades impedem que os resultados obtidos para um local e um tipo de espécie

sejam extrapolados para outros locais e espécies diferentes. Além disso, os estudos de INT devem ser integrados a estudos de balanço hídrico em BHs, a fim de obter uma melhor compreensão do comportamento hidrológico de BHs (GIGLIO; KOBIYAMA, 2013).

Em razão disso, são necessários estudos de partição da precipitação em diferentes tipos de coberturas vegetais, que contemplem diferentes espécies e estágios de desenvolvimento de plantas, para sinalizar possíveis alterações indesejáveis em BHs, em decorrência da alteração de cobertura vegetal do solo (LI et al., 2014).

4.3 DINÂMICA DA ÁGUA DA CHUVA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE EUCALIPTO

A interceptação total da água da chuva pela vegetação (INT) pode representar até 50% da precipitação total (Pt) (KLAASSEN et al., 1998; SCHELLEKENS et al., 1999). A INT pode ser definida como: toda a parcela de água da chuva que não atinge o solo, assim, não participa do escoamento superficial, nem dos processos subsuperficiais em BHs. Portanto, a INT pode ser vista como uma “perda de água” para em BHs e como um “ganho de água” para a atmosfera (SAVENIJE, 2004). Contudo, esse processo tem sido negligenciado ou estimado por modelos de interceptação que podem não representar a realidade do comportamento hidrológico em BHs (SAVENIJE, 2004).

A magnitude das perdas de água por INT é muito variável entre espécies e estádios de desenvolvimento das plantas. É esperado que as maiores perdas por INT em plantações comerciais de eucalipto, ocorra nos primeiros anos de desenvolvimento da cultura, entre dois e três anos de idade, pois nessa fase, antes da desrama natural, as plantas apresentam maior índice de área foliar (IAF) (ALMEIDA et al., 2007). Porém, o IAF é muito variável entre as espécies de eucalipto (SCOLFORO et al., 2019), logo, é necessário quantificar a INT em diferentes espécies e idades de plantas, bem como avaliar a INT em diferentes espaçamentos de plantio, para assim, obter resultados confiáveis sobre a perda de água por INT em povoamentos comerciais de eucalipto.

No estado do Rio Grande do Sul (RS), a espécie do gênero *Eucalyptus* mais cultivada pelas empresas florestais para a produção de celulose é o *Eucalyptus*

saligna, devido a sua alta capacidade produtiva. Entretanto, essa espécie é susceptível a geadas severas nos primeiros anos de desenvolvimento (SANTOS et al., 2013). Por isso, nos últimos anos, após a ocorrência de geadas severas que ocasionaram a morte de muitas plantas dessa espécie, tem se optado por plantar nas áreas mais propensas à geadas das regiões fisiográficas da Campanha e Serra do Sudeste do estado do RS, as espécies *Eucalyptus benthamii* e *Eucalyptus dunnii*, em virtude dessas espécies serem tolerantes à geada (EMBRAPA, 1988; ALVES et al., 2011).

Essa introdução de novas espécies no bioma Pampa, gerou uma demanda de estudos para compreender melhor o impacto das diferentes espécies utilizadas sobre os recursos hídricos. Um estudo pioneiro avaliou os processos ecofisiológicos e a produtividade de plantações florestais com *E. benthamii* e *E. dunnii* (KLIPPEL, 2015), na região fisiográfica da Depressão Central do estado do RS. Esse estudo demonstrou que, os extremos climáticos (período frio e quente) interferem menos nos processos fisiológicos dos plantios de *E. dunnii* e *E. benthamii*, quando comparados ao *E. saligna*. Porém, o *E. saligna* apresentou maiores índices de crescimento, influenciado pelo maior IAF desta espécie. Por isso, uma das hipóteses do presente estudo é que ocorra maiores perdas de água por INT em áreas com *E. saligna* em relação a áreas com *E. benthamii* e *E. dunnii*, devido ao maior IAF dessa espécie. Além disso, é esperado uma menor INT na espécie *E. benthamii*, devido ao formato da copa dessa espécie, em que as folhas dessa espécie apresentam maior ângulo de inclinação com o solo (folhas perpendiculares ao solo) (MATTOS, 2015).

4.4 DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS E EFEITOS DA SAZONALIDADE

A maioria dos povoamentos comerciais de eucalipto no RS estão localizados na metade sul do estado, em áreas do bioma Pampa. Essa região, que é tradicionalmente utilizada para a pecuária extensiva, com criação de bovinos e ovinos, foi gradativamente incorporada ao sistema de produção florestal. Todavia, logo que surgiu a notícia da implantação dos primeiros empreendimentos florestais no estado, surgiram questionamentos, por moradores, ambientalistas, cientistas e leigos da região, referentes aos impactos ambientais do eucalipto sobre o bioma Pampa, sobretudo, no que se refere a biodiversidade e uso dos recursos hídricos. A escassez

de conhecimento científico, sobre os possíveis impactos do florestamento com eucalipto nessa área, mobilizou a comunidade científica e empresas a desenvolverem pesquisas com intuito de responder essas questões.

Alguns estudos desenvolvidos em áreas de florestamento com *Eucalyptus* e *Pinus* sob clima subtropical úmido no Uruguai, divergem quanto aos efeitos sazonais. Por exemplo, Silveira et al. (2016), em um estudo de quatro anos observaram que a redução da vazão foi maior no outono e inverno e menor durante primavera e verão. Entretanto, Silveira e Alonso, (2009), monitorando eventos de chuva-vazão durante 34 anos em áreas de florestamento com *Eucalyptus*, também no Uruguai, encontraram o oposto desses resultados, pois verificaram que o declínio da vazão foi maior durante a primavera e verão e menor durante o outono e inverno. Isso destaca os efeitos importantes da variabilidade climática sobre a disponibilidade de água e fornece evidências da necessidade de conduzir estudos de monitoramento da vazão em longo prazo, os quais, sejam representativos da variabilidade climática intrasazonal e interanual.

Os primeiros estudos conduzidos em áreas de florestamento com eucaliptos nessas áreas indicaram redução da vazão média anual de pequenas bacias hidrográficas da região (BHs) (BAUMHARDT, 2014; REICHERT et al., 2017). Entretanto, em épocas com baixa precipitação, as áreas com povoamentos de eucalipto disponibilizam mais água do que as áreas com pastagem natural degradada (BAUMHARDT, 2014; REICHERT et al., 2017) contribuindo para a regularização das vazões e redução de picos de cheias nos cursos d'água (CHENG et al., 2012).

O consumo de água em plantações comerciais de eucalipto é controlado pela disponibilidade hídrica do local (BOURNE et al., 2015, CARNEIRO et al., 2008). Em épocas de estiagem, algumas espécies apresentam mecanismos como: o alinhamento vertical das folhas, o fechamento rápido dos estômatos e a elevada razão raiz/parte aérea, que lhes confere capacidade de sobrevivência mesmo em condições de pouca umidade no solo (SILVA et al., 2004). Deste modo, em épocas de déficit hídrico ocorre redução das taxas de transpiração nas plantas de eucalipto e menor consumo de água (ZHANG et al., 2015).

Áreas destinadas para produção de pecuária extensiva, sem a adoção de práticas de manejo como: o ajuste de lotação animal/hectare e intensidade de pastejo, são mais suscetíveis a compactação superficial do solo (MORRIS; JACKSON, 2016). Essa forma inadequada de uso do solo, resulta na redução da infiltração e

condutividade hidráulica do solo saturado. Por isso, é esperado que BHs com cobertura florestal, bem manejadas, proporcionam melhores condições para a infiltração de água no solo, que áreas com intenso pastoreio de gado (REICHERT et al., 2017, DRESEL et al., 2018). A compreensão desses processos é importante em estudos de balanço hídrico, visto que a interação entre seus componentes (infiltração e escoamento superficial) definirá a magnitude do armazenamento de água no solo, a recarga de águas profundas e a vazão em bacias hidrográficas (REICHERT et al., 2011).

O comportamento hidrológico das diferentes coberturas vegetais, sobre a disponibilidade de água em bacias hidrográficas (BHs), pode ser estudado pela comparação dos valores de vazão (Q) específica média diária ($L s^{-1} km^{-2}$) (SILVEIRA; TUCCI, 1998). A curva de permanência permite a identificação de vazões específicas (máximas, médias e mínimas) associados a diferentes probabilidades de permanência no tempo, o que representa muito bem a disponibilidade hídrica em períodos de estiagens (CRUZ; TUCCI, 2008). A maioria dos trabalhos em BHs sobre mudança de uso do solo, possuem enfoque anual, não dando ênfase as influências sazonais sobre a vazão (BROWN et al., 2005). Porém, a variação do clima e de características da vegetação (CAMPOE et al., 2016) influenciam na disponibilidade de água em BHs (ALMEIDA et al., 2007).

Nos últimos anos, vêm ocorrendo mais seguidamente extremos climáticos, como os fenômenos climáticos El Niño e La Niña (BERLATO; FONTANA, 2003). Esses fenômenos são causados por anomalias na temperatura da superfície do oceano pacífico e alteram o regime pluvial do RS, sendo que eventos de El Niño são associados ao aumento da precipitação (primavera e verão) e de La Niña há uma redução da precipitação em todas as estações do ano (BERLATO; FONTANA, 2003). Por esse motivo, pesquisas sobre balanço hídrico em áreas de florestamento com eucalipto, devem contemplar, períodos mais longos, para abranger regimes hidrológicos extremos, pois algumas espécies de eucaliptos são muito sensíveis à variação climática (SCOLFORO et al., 2019).

5 ESTUDO I

COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE TRÊS PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS PAREADAS SOB DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS E MANEJO DE IDADES DE EUCALIPTOS NO BIOMA PAMPA

RESUMO

Áreas do bioma Pampa, no estado do Rio Grande do Sul, tradicionalmente utilizadas para produção de pecuária extensiva, estão sendo substituídas por florestas plantadas de eucalipto. Essa alteração da cobertura vegetal do solo pode provocar alterações no regime de vazões de pequenas bacias hidrográficas (BHs) desse bioma. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento hidrológico em três BHs com diferentes coberturas vegetais do solo no período compreendido entre outubro de 2014 a setembro de 2018. Para isso, foram monitoradas duas BHs com plantações comerciais de eucalipto, uma com *Eucalyptus saligna* (plantas entre 7,5 e 11,5 anos de idade; BEs) e outra com *E. benthamii*, (plantas entre 0,5 a 4,5 anos de idade; BEb) e uma terceira BH sob campo natural antropizado degradado (BC) utilizada para pecuária no bioma Pampa. As variáveis monitoradas foram, precipitação total (Pt), vazão (Q) e variação do armazenamento de água no perfil do solo. Também, foram estimados, a evaporação do solo e transpiração vegetal (ETa), a interceptação vegetal, o déficit hídrico, o excedente hídrico e a retirada e reposição de água no perfil do solo. A principal saída de água nas três BHs ocorreu pelo processo de ETa, especialmente nos anos com maior Pt. Foi observado uma redução da Q específica ($L s^{-1} km^{-2}$), na BEs em relação à BC de 45, 44, 56 e 58%, do primeiro ao quarto ano do estudo, respectivamente e uma redução da Q na BEb em relação à BC de 16, 36, 66 e 78% do ano hidrológico 1 ao 4, respectivamente. Houve redução da Q específica dois anos após o plantio do eucalipto e persistiu, no mínimo, até os 4,5 anos de idade das plantas.

Palavras chave: Interceptação vegetal. Permanência das vazões. Déficit hídrico. Vazão específica.

HYDROLOGICAL BEHAVIOR OF THREE SMALL PAIRED WATERSHEDS UNDER DIFFERENT VEGETABLE COVERING AND MANAGEMENT OF AGE OF EUCALYPTUS IN PAMPA BIOME

ABSTRACT

Areas of the Pampa biome, in the state of Rio Grande do Sul, southern region of Brazil traditionally used for extensive livestock production, are being replaced by planted forests with eucalyptus. This change in soil cover may modify in the flow regime of the small watersheds of this biome. The objective of this study was to evaluate the hydrological behavior in three watersheds with different cover crops of the soil in the period between October 2014 to September 2018. For this, two watersheds with *eucalyptus* plantation were monitored, one with *Eucalyptus saligna* (plants between 8 and 12 years of age; EsW) and another with *E. benthamii* (plants between 0.5 and 4.5 years of age; EbW) and the third watershed under degraded grassland (GW) used for livestock production in the Pampa biome. The variables monitored were the rainfall (Pt), the streamflow (Q), and the variation of water storage in the soil profile. Actual evapotranspiration (ETa), vegetable interception, water deficit, water surplus and withdrawal were estimated by water balance. The main water loss in the three watersheds occurred by ETa process, especially in the years with higher Pt. Specific flow rates ($L s^{-1} km^{-2}$) of the EsW were 45, 44, 56 and 58% lower than of the GW, and the specific flow rates of the EbW were 16, 36, 66 and 78% lower than of the GW for the four studied years, respectively

Keywords: Vegetable interception. Flow-duration curve. Water deficit. Forest hydrology.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda mundial por produtos florestais vem contribuindo para a expansão de áreas destinadas ao plantio de espécies florestais de rápido crescimento, sendo o *Eucalyptus* o principal gênero utilizado para suprir essa demanda (SILVA, 2012).

Áreas do bioma Pampa, no estado do Rio Grande do Sul (RS), tradicionalmente utilizadas para produção de pecuária extensiva, estão sendo substituídas por florestas plantadas (OLIVEIRA et al., 2017). Em 2016, a área cultivada com florestas plantadas no RS atingiu 780,9 mil hectares, o que corresponde a 2,7% do território do estado. Destes, 54,6% são cultivados com eucalipto (AGEFLOR, 2017). Essas alterações de uso do solo geraram questionamentos pela sociedade e/ou pela comunidade científica em relação aos possíveis danos ambientais, incluindo impactos sobre os recursos hídricos, culminando com a definição de restrições à silvicultura no estado, de acordo com o zoneamento ambiental para a atividade de silvicultura (ZAS; RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 227/2009).

Para embasar cientificamente essa lacuna do conhecimento, nos últimos anos, iniciaram-se pesquisas em áreas do bioma Pampa, com o intuito de avaliar o efeito dessa alteração da cobertura vegetal do solo, sobre os recursos hídricos (BAUMHARDT, 2010; BAUMHARDT, 2014; REICHERT et al., 2017).

Um dos métodos mais eficazes para responder esses questionamentos é a condução de estudos de balanço hídrico na escala de pequenas bacias hidrográficas (BHs) pareadas (TUCCI et al., 2001). Esse método consiste em selecionar duas BHs com características similares, onde uma é mantida sem alteração de uso do solo, denominada de bacia controle, e a outra submetida à alteração do uso do solo, denominada de bacia experimental (BROWN et al., 2005). Estudos com BHs são muito utilizados para verificar os efeitos da alteração da cobertura vegetal do solo (ALMEIDA et al., 2016; MADANI et al., 2017; LI et al., 2014; NOSETTO et al., 2012).

O tipo de cobertura vegetal do solo influencia na disponibilidade de água em BHs (COLLISCHONN; TASSI 2008; CUI et al., 2012). A interceptação da água da chuva pela vegetação (INT) pode representar até 50% do total precipitado (KLAASSEN et al., 1998). Todavia, a magnitude da INT varia entre diferentes tipos de cobertura vegetal e depende das características da vegetação, como a idade das plantas, o tipo de espécie, o número de árvores por hectare, o ângulo dos galhos, a

forma e a inclinação das folhas e o índice de área foliar (ALMEIDA et al., 2007) e das características dos eventos climáticos (duração, intensidade e frequência da precipitação) (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; SHI et al., 2012). Giglio e Kobiyama (2013), em estudo de revisão, constataram haver carência de pesquisas sobre INT no bioma Pampa e sugerem a inclusão desse estudo em bacias experimentais, em conjunto com pesquisas sobre os processos hidrológicos.

Áreas com eucalipto perdem mais água por evapotranspiração (ETa), em relação às vegetações de pequeno porte (gramíneas) (FARLEY et al., 2005; NOSETTO et al., 2012; DIAS et al., 2015; ROHATYN et al., 2018) devido à maior perda de água por INT e transpiração nas árvores (MADANI et al., 2017). Entretanto, esses resultados são extremamente dependentes das condições locais de clima, solo e manejo (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000). Além disso, a INT e a transpiração em áreas com plantações de eucalipto são muito dependentes do estágio de desenvolvimento das plantas (CORNISH; VERTESSY, 2001; FERRAZ et al., 2013). Desse modo, é imprescindível conduzir estudos de balanço hídrico em BHs com diferentes coberturas vegetais do solo e verificar as interações solo-planta-atmosfera no bioma Pampa.

A hipótese deste estudo é que BHs com ocupação do solo por plantações florestais de eucaliptos adultos exibem aumento das vazões máximas após o corte total da floresta, porém, o corte parcial da floresta diminui os impactos da colheita das vazões máximas. O objetivo desse estudo foi compreender como diferentes coberturas vegetais do solo e manejo de florestas plantadas interferem nas vazões mínimas e máximas em BHs pareadas no bioma Pampa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREAS DE ESTUDO

O estudo foi conduzido no período compreendido entre outubro de 2014 e setembro de 2018 em três pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas (BHs), localizadas no município de São Gabriel, RS. As três BHs estão inseridas na bacia hidrográfica dos rios Vacacaí-Vacacaí Mirim, na qual estão situadas na região fisiográfica da Depressão Central e da Campanha do Estado do Rio Grande do Sul.

As BHs florestais pertencem à empresa CMPC Celulose Riograndense e fazem parte do sistema de produção florestal com povoamentos de eucalipto para produção de celulose. Uma bacia é cultivada com predomínio de *Eucalyptus saligna* adulto (BEs), com plantio realizado em outubro de 2006, e posteriormente submetida a corte parcial de 30% em fevereiro de 2014 (Figura 1b). A outra BH foi cultivada até fevereiro de 2014 com *Eucalyptus saligna*, quando foi submetida à colheita florestal de 100% da área de eucalipto. O plantio com *Eucalyptus benthamii* (BEb) nessa BH ocorreu em maio de 2014 (Figura 1a).

A terceira BH é de propriedade particular, ocupada por campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC) (Figura 1c) para a pecuária extensiva. As três bacias estão localizadas próximas à BR-473, distantes há 20 km da área urbana de São Gabriel. A BEs situa-se entre as coordenadas geográficas 30°30'18" de latitude Sul e 54°09'09" de longitude Oeste, a BEb entre as coordenadas geográficas 30°30'11" de latitude Sul e 54°09'38" de longitude Oeste. E, à BC, entre as coordenadas geográficas 30°30'54" de latitude Sul e 54°09'17" de longitude Oeste.

O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, com estações de verão e inverno bem definidas e precipitação anual de 1.356 mm bem distribuída ao longo do ano. A ocorrência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña provoca chuvas acima e abaixo do normal, respectivamente, para os meses de novembro, dezembro e janeiro (BERLATO; FONTANA, 2003).

A temperatura média anual é de 19°C, com temperaturas máxima e mínima média anual entre 26°C e 15°C, respectivamente (ALVARES et al., 2013). Pode haver ocorrência de temperaturas negativas nos meses de inverno e temperaturas próximo a 40°C nos meses de verão.

As bacias BEs, BEb e BC possuem áreas de drenagem de 0,83, 0,80 e 1,10 km², perímetros de 4,57, 4,14 e 4,86 km, com coeficientes de compacidade de 1,40, 1,30 e 1,29 e tempos de concentração de 2:52, 1:35 e 1:47 horas, respectivamente estimado com base nos cálculos realizados a partir da série de eventos monitorados. A drenagem é caracterizada como de segunda ordem, pelo método de Strahler (Tabela 1).

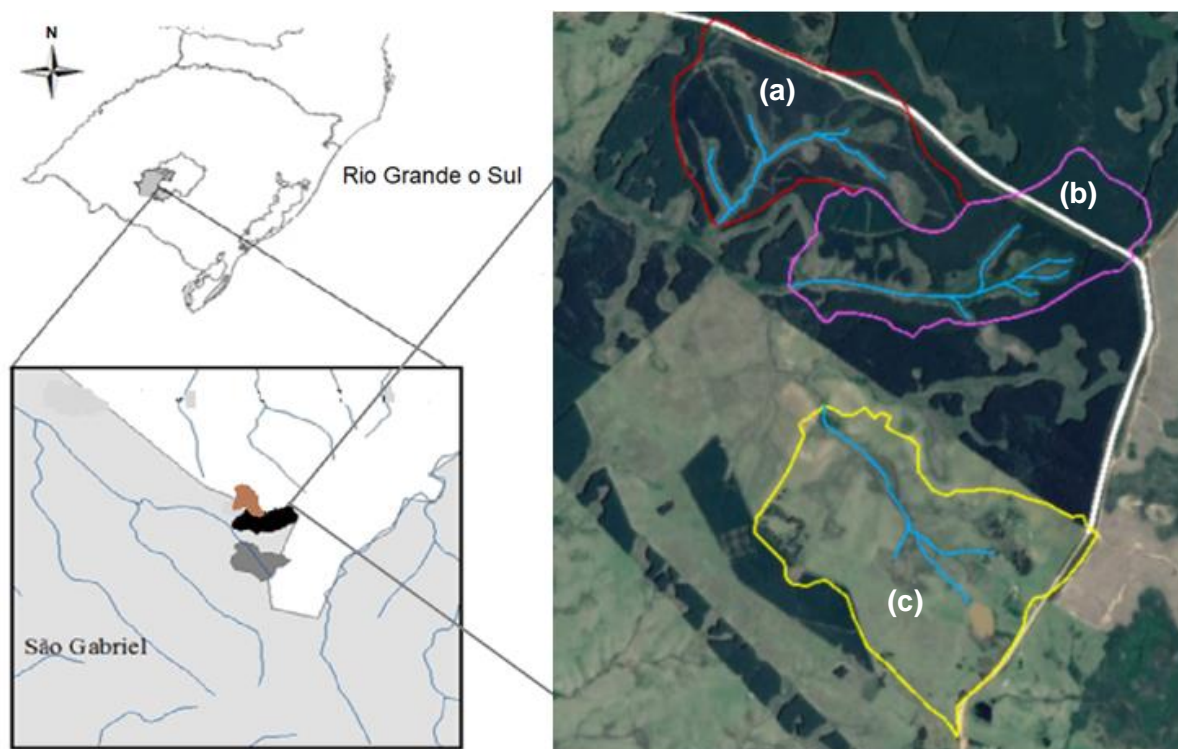
Tabela 1 – Características das bacias hidrográficas com eucalipto (BEs e BEb) e da bacia hidrográfica com campo natural antropizado degradado (BC), São Gabriel, RS.

| Características | BEs | BEb | BC |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Área (km ²) | 0,83 | 0,80 | 1,10 |
| Uso principal do solo | <i>E. saligna</i> | <i>E. benthamii</i> | Campo natural |
| Manejo | Corte total* | Corte parcial** | |
| Perímetro (km) | 4,6 | 4,1 | 4,9 |
| Altitude média (m) | 271,5 | 258,0 | 284,5 |
| Declividade média (%) | 7,7 | 6,2 | 3,9 |
| Coeficiente de compacidade | 1,4 | 1,3 | 1,3 |
| Tempo de concentração (hora) | 2,52 | 1,35 | 1,47 |
| Ordem dos cursos d'água | 2 ^a ordem | 2 ^a ordem | 2 ^a ordem |

* Corte raso realizado em fevereiro de 2014 em 100% da área de eucalipto da BEs e, ** corte parcial realizado em fevereiro de 2014 em 30% da área de eucalipto da BEb.

Fonte: Autor.

Figura 1 - Localização das pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas: (a): com predomínio de *Eucalyptus benthamii* jovem (BEb); (b) com predomínio de *E. saligna* adulto (BEs) e (c): campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC), no município de São Gabriel - RS.



Fonte: Autor.

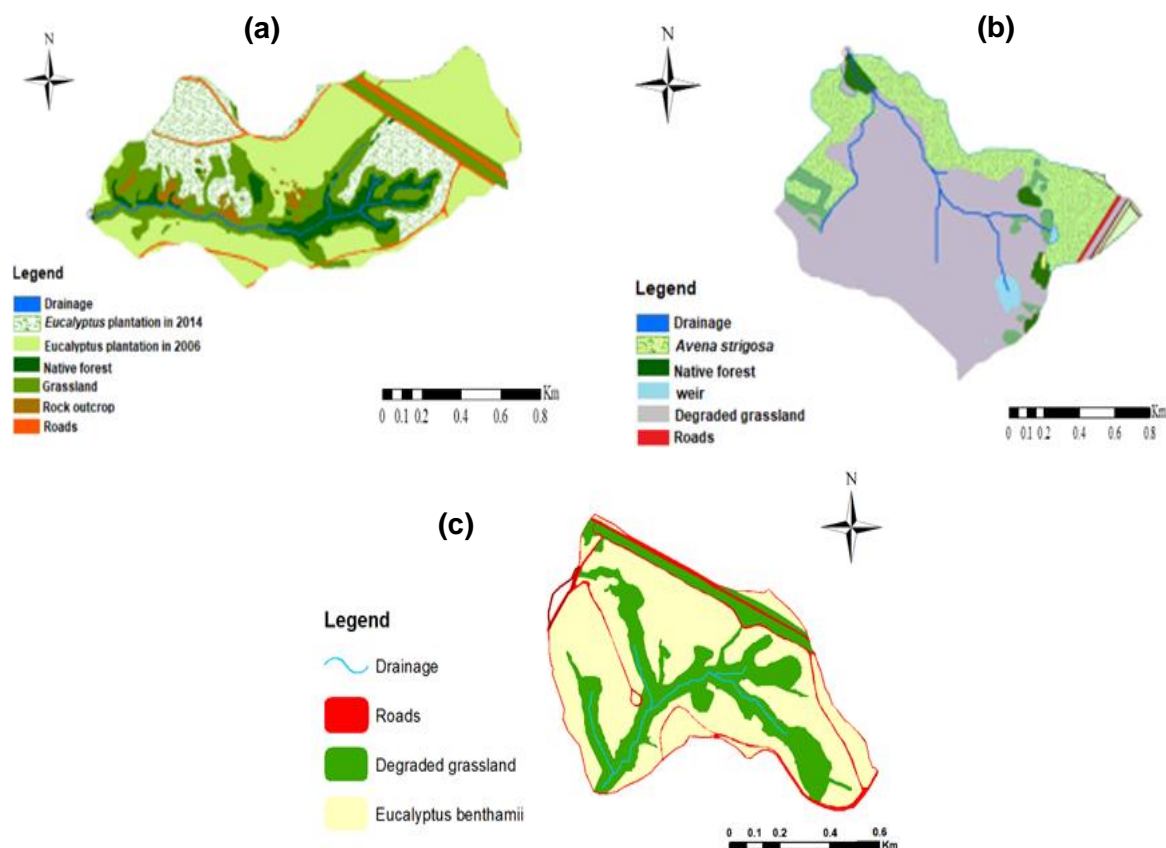
O uso do solo na BEs consiste em povoamentos clonais de *E. saligna* (61,0%), campo com vassourais (22%), mata nativa ripária (8%), estradas e aceiros (6%) e afloramentos rochosos (3%). Em fevereiro de 2014, cerca de um terço da área com eucalipto foi colhido iniciado um novo ciclo de plantio (Figura 2).

O uso do solo na BEb até fevereiro de 2014 era composto por povoamentos de *E. saligna* (65%) plantados em 2006, campo com vassourais (32,0%) e estradas e aceiros (2,5%). Após corte raso de toda a área em 2014, foi realizado novamente o plantio nesta mesma área com a espécie *E. benthamii* (Figura 2).

A BC é majoritariamente composta (71%) por campo natural antropizado degradado, com domínio fisionômico de *Saccharum angustifolium*, *Aristida laevis*, *Baccharis riograndensis*, *Andropogon lateralis* e *Eryngium pandanifolium* no estrato superior e, no estrato inferior de *Paspalum sp.*, *Axonopus affinis* e *Fimbristylis autumnalis* (Peláez, 2014). As demais áreas são ocupadas por pastagem manejada e cultivada com aveia (*Avena strigosa*) no inverno (24% da área da bacia), mata nativa

riparia (2,6%), açude (1,4%) e estradas (1%)(Figura 2).

Figura 2 - Usos do solo na bacia hidrográfica com *Eucalyptus saligna* (BEs (a)); na bacia hidrográfica com campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC) (b) e na bacia hidrográfica com uso atual por *E. benthamii* (BEb) (c), em São Gabriel-RS.



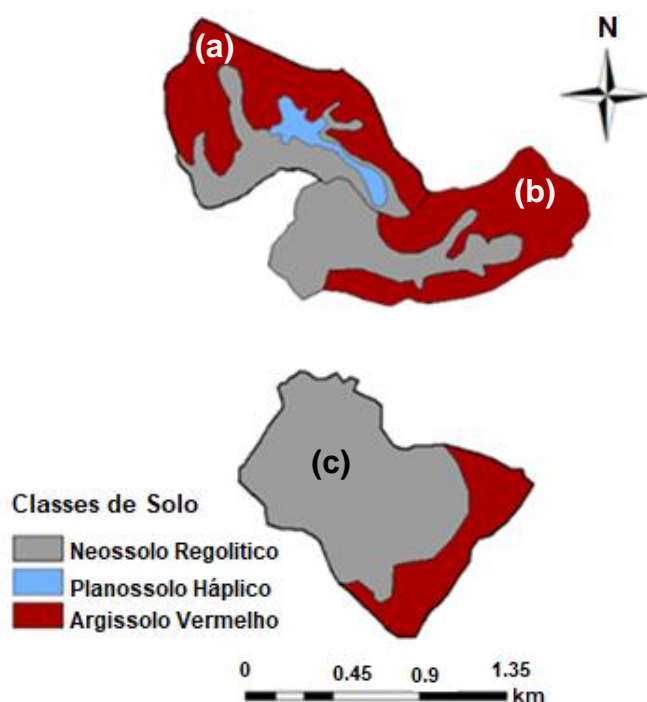
Fonte: Autor.

O material de origem dos solos na área em estudo consiste de Ortognaisses e Metadioritos, da unidade estratigráfica Complexo Cambaí, e Arenitos e Siltitos, da unidade estratigráfica Formação Rio Bonito. Os mapas com a classificação dos solos e a distribuição espacial das classes de solo da BEs, BEb e BC foram elaborados por meio do levantamento de amostras de solo georreferenciadas e coletadas em diferentes usos e posições na paisagem, seguido do agrupamento das amostras pelas suas características físicas e morfológicas.

As classes de solos predominantes nas três bacias são: Argissolos Vermelhos, na maioria rasos, com ocorrência predominante nos interflúvios suaves e na parte

mais alta da paisagem. Nas encostas declivosas, ocorrem os Neossolos Regolíticos e nas áreas baixas ocorrem Planossolos Háplicos (Figura 3).

Figura 3 - Classes de solos na bacia hidrográfica com uso atual por *Eucalyptus benthamii* (BEb; a); na bacia hidrográfica com *Eucalyptus saligna* (BEs; b) e na bacia sob campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC; c), em São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

2.2 BALANÇO HÍDRICO ANUAL NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

O balanço hídrico nas três bacias foi determinado pelo método de conservação de massas. Para a adoção deste método, considerou-se que os limites da drenagem superficial e subterrânea da bacia são coincidentes e que não há trocas subterrâneas de água com áreas adjacentes. Estudo hidrogeológico da área indicou que os fluxos de água subterrâneos se correlacionam com a topografia local e as áreas de descarga são próximas às áreas de drenagens das bacias (Kiang et al., 2008).

O balanço hídrico foi realizado no espaço de tempo anual, considerando-se a precipitação pluvial (Pt) a única entrada de água e o processo de evapotranspiração (evaporação da água interceptada pela vegetação, evaporação de água do solo e transpiração das plantas) e o deflúvio, as únicas saídas de água das bacias.

As variáveis Pt e vazão foram diretamente medidas. A evaporação da água interceptada pela vegetação (INT) por ter uma grande contribuição para as saídas de água em bacias florestais foi quantificada separadamente da evaporação de água do solo e da transpiração vegetal (ETa). A INT foi obtida por meio da média ponderada pela área da interceptação medida em parcelas experimentais para os diferentes usos de solo. A ETa foi estimada pelo balanço hídrico.

O cálculo do balanço hídrico anual em cada bacia foi determinado por diferença entre as entradas e saídas de água, de acordo com a Equação 01:

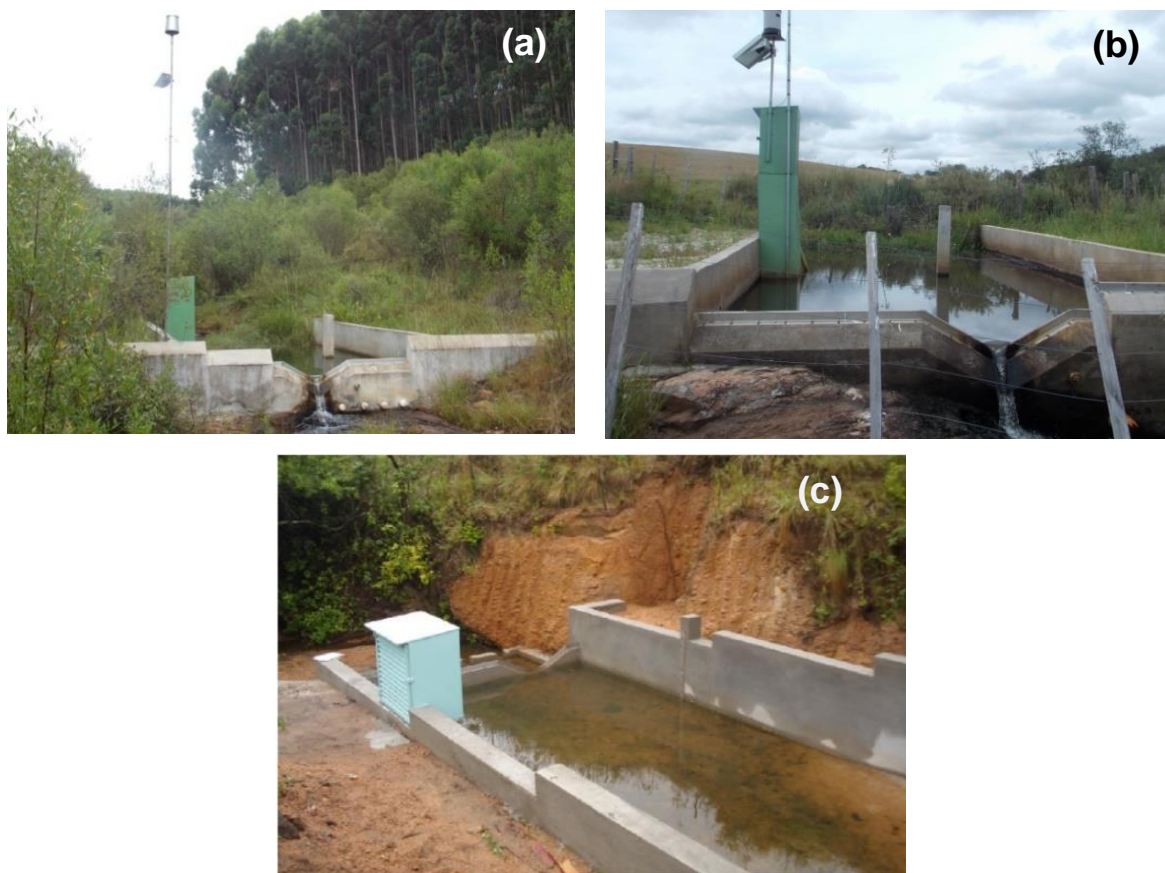
$$Pt_{ano} - Q_{ano} - ETa_{ano} - INT_{ano} +/\Delta s_{ano} = 0 \quad (\text{Equação 01})$$

Onde: Pt_{ano} = precipitação total no ano i (mm); Q_{ano} = vazão no ano i (mm); ETa_{ano} = evaporação do solo e transpiração vegetal no ano i (mm); INT = evaporação da água interceptada pela vegetação (mm) e Δs_{ano} = variação do armazenamento de água na bacia no ano i (mm).

2.2.1 Precipitação total

Junto às seções de monitoramento (vertedores) de cada BH foram instalados pluviômetros automáticos, programados para o registro e armazenamento de dados em intervalos fixos de 10 minutos, os quais são armazenados em uma central datalogger. Visto que este tipo de pluviômetro pode subestimar a precipitação (HABIB et al., 2001; MOLINI et al., 2005), impactando a análise do balanço hídrico local, estes dados foram corrigidos a partir da sua relação com os dados de precipitação mensal medidos em pluviômetros manuais. Quatro pluviômetros manuais foram instalados na BEs e BEb e três na BC. Os pluviômetros foram posicionados em locais com menor ou nenhum efeito de interferência da vegetação. A Pt mensal em cada bacia foi determinada pela média aritmética do volume de água acumulado nos pluviômetros manuais.

Figura 4 - Seção de monitoramento da precipitação e da vazão na BEs (a); na BC (b); e na BEb (c), no município de São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

2.2.6 Nível do lençol freático

Os dados de nível de água subterrânea foram medidos em piezômetros localizados no interior das três BHs. Esses dados foram utilizados para verificação dos valores de variação de armazenamento de água estimados pelo balanço hídrico. Cada bacia hidrográfica possui dois piezômetros de monitoramento do lençol freático, um na porção mais alta e outro na porção mais baixa de cada bacia hidrográfica.

Os poços de monitoramento do nível de água subterrânea foram perfurados com base no estudo de mapeamento do lençol freático (KIANG et al., 2008) em locais por onde passam os fluxos de água subterrânea nas três BHs do estudo. Os “dataloggers”, nas três BHs, foram programados para registrar e armazenar os dados em intervalos de tempo fixos de uma hora.

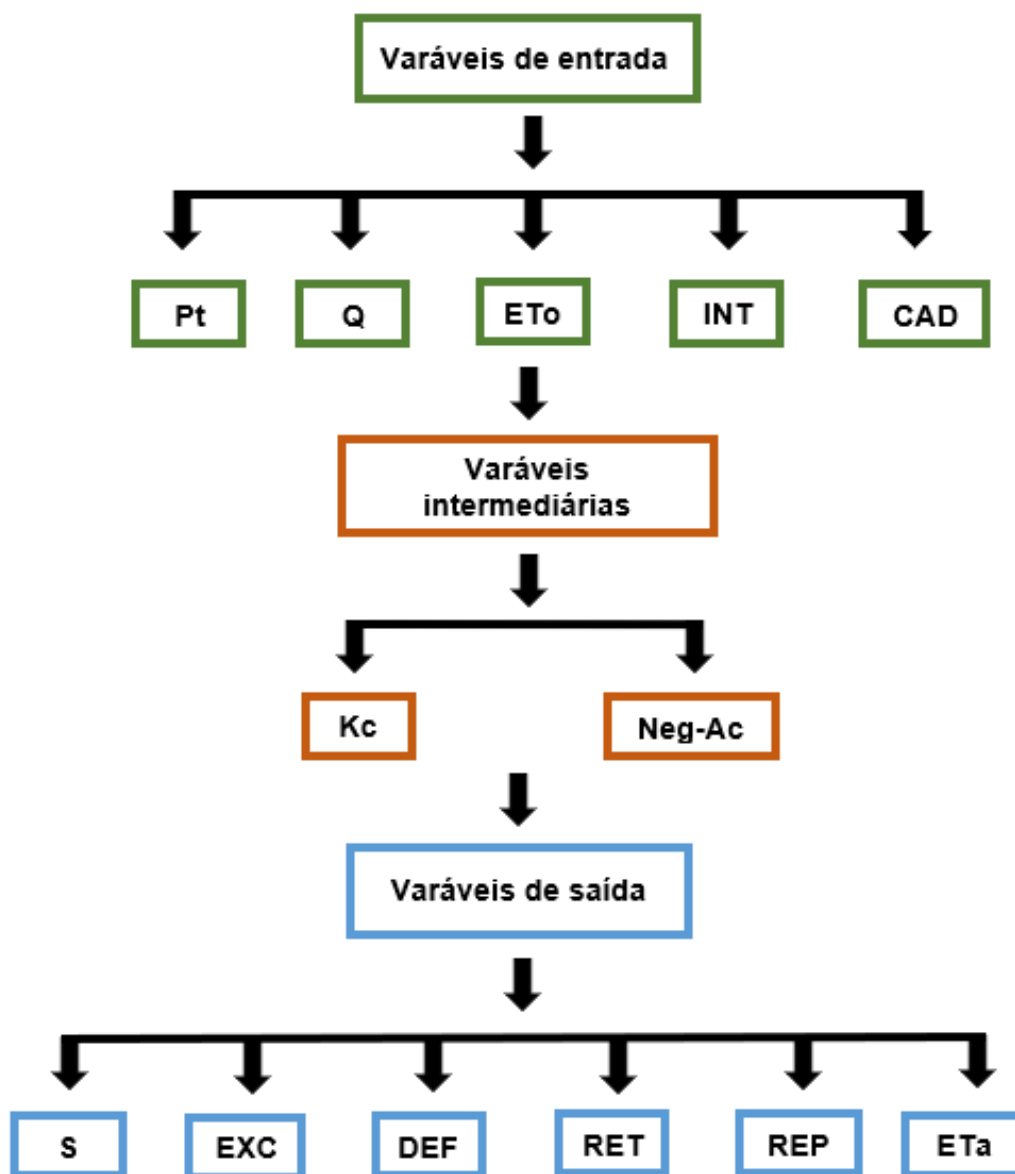
2.3 BALANÇO HÍDRICO MENSAL NO PERFIL DO SOLO DISPONÍVEL AS PLANTAS

O balanço hídrico do perfil do solo disponível às plantas nas três bacias hidrográficas foi determinado pelo método sequencial adaptado de Thornthwaite and Mather (1955). Esse método permite acesso rápido e de fácil obtenção dos dados que abastecem o modelo, além da facilidade de manipulação do modelo em ambiente de planilha do EXCEL™, com possibilidade de manipulação de arquivos e figuras.

O primeiro passo é preencher as células do programa EXCEL™ com as variáveis de entrada na escala mensal, as quais são: a precipitação total mensal (Pt), a vazão (Q), a evapotranspiração de referência (ET_o) e a evaporação da água interceptada pela vegetação (INT; Figura 5). A capacidade de água disponível às plantas até a profundidade efetiva do sistema radicular (CAD), varia conforme o uso do solo. A partir dessas variáveis o modelo calcula o coeficiente de conversão da evapotranspiração de referência em evapotranspiração da cultura (anual) (K_c) e o negativo acumulado (Neg-Ac) que é definido como o aumento da resistência do solo à retirada de água, à medida que o solo perde água.

As variáveis mensais de saída do modelo são a demanda evapotranspirativa da vegetação não suprida, devido ao déficit de água (DEF); o excedente de água após atendida a demanda evapotranspirativa (EXC); a reposição do armazenamento de água dentro da zona de raiz (REP); a evapotranspiração evaporação do solo e transpiração vegetal (ET_a); o armazenamento de água no solo (S) e a retirada de água que foi armazenada anteriormente no solo para suprir a demanda evapotranspirativa (RET; Figura 5).

Figura 5 - Fluxograma da sequência de cálculos, com os parâmetros e as variáveis de entrada, as variáveis intermediárias e as variáveis de saída do modelo sequencial adaptado de Thornthwaite and Mather (1955), São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

2.3.1 Capacidade de água disponível no solo para as plantas

A capacidade de água disponível no solo às plantas (CAD) foi considerada como o conteúdo de água entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP).

O limite inferior da última camada do solo foi estabelecido para coincidir com a profundidade efetiva das raízes (z), de 50 cm para as bacias com eucalipto e de 20 cm para a bacia de campo natural antropizado degradado. A profundidade efetiva das raízes foi determinada por meio de trincheiras feitas nas três BHs (Equação 07).

$$CAD = (CC - PMP) * \rho_a * z \quad (\text{Equação 07})$$

Onde: CAD = capacidade de água disponível no solo às plantas (mm); CC = umidade do solo à capacidade de campo (%); PMP = umidade do solo no ponto de murcha permanente (%); ρ_a = densidade aparente do solo (g cm^{-3}) e z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (cm).

A CAD obtida em cada BH foi de 88,4, 98,2 e 64,2 mm, para a BEs, BEb e BC, respectivamente.

2.3.2 Armazenamento de água no solo

O modelo de Thornthwaite and Mather (1955) considera o aumento da resistência do solo à retirada de água, à medida que o solo perde água. Assim, o modelo estabelece a seguinte metodologia para determinar o armazenamento de água no solo (S) em condições de retirada de água (Equação 08). Considerando apenas a quantidade de água que o solo comporta na profundidade efetiva do sistema radicular da cultura.

$$S_{\text{mês}} = CAD * \exp\left(\frac{\text{Neg. Ac.}}{CAD}\right) \quad (\text{Equação 08})$$

$$\text{Se } Pt_{\text{mês}} - ET_{\text{O}_{\text{mês}}} < 0 \quad \rightarrow \text{Neg. Ac.} = \sum (Pt_{\text{mês}} - ET_{\text{O}_{\text{mês}}})$$

$$\text{Se } Pt_{\text{mês}} - ET_{\text{O}_{\text{mês}}} \geq 0 \quad \rightarrow \text{Neg. Ac.} = 0$$

Onde: $S_{\text{mês}}$ = armazenamento de água no solo no mês i (mm); CAD = capacidade de água disponível às plantas no mês i (mm); Neg. Ac. = Negativo acumulado (mm); $Pt_{\text{mês}}$ = precipitação total no mês i (mm); $ET_{\text{O}_{\text{mês}}}$ = evapotranspiração de referência no mês i (mm).

2.3.3 Excedente hídrico

O excedente hídrico após atendida a demanda evapotranspirativa (EXC) foi estimado mediante a equação do balanço hídrico sequencial mensal (Equação 09).

$$EXC_{mês} = Pt_{mês} - INT_{mês} - ETo_{mês} * Kc \quad (\text{Equação 09})$$

Onde: $EXC_{mês}$ = Excedente hídrico no mês i (mm); $Pt_{mês}$ = precipitação total no mês i (mm); $INT_{mês}$ = evaporação da água interceptada pela vegetação; $ETo_{mês}$ = evapotranspiração de referência no mês i (mm) e Kc = coeficiente de conversão da evapotranspiração de referência em evapotranspiração da cultura.

O Kc foi obtido por meio da razão entre ETa_{ano} e ETo_{ano} . Esse método apresenta incertezas, tendo em vista que não se considerou a resposta fisiológica das plantas as diferentes condições climáticas. Entretanto, na escala de bacia hidrográfica, com múltiplos usos, essa estratégia permite converter os valores de evapotranspiração potencial em real.

O EXC mensal foi considerado igual a zero, sempre que o S foi menor do que a CAD .

2.3.4 Demanda evapotranspirativa da vegetação

A demanda evapotranspirativa da vegetação não suprida devido ao déficit de água (DEF) foi calculada pela Equação 10:

$$DEF_{mês} = ETo_{mês} * Kc - ETa_{mês} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde: $DEF_{mês}$ = demanda evapotranspirativa da vegetação não suprida devido ao déficit de água no mês i (mm); $ETo_{mês}$ = evapotranspiração de referência no mês i (mm); $ETa_{mês}$ = evaporação do solo e transpiração vegetal i e Kc = coeficiente de conversão da evapotranspiração de referência em evapotranspiração da cultura.

2.3.5 Retirada de água do solo

A retirada de água que foi armazenada anteriormente no solo para suprir a demanda evapotranspirativa (RET) foi calculada pelas Equações 11 e 12:

$$RET_{mês} = -(\Delta S) \quad \text{se } \Delta S \leq 0 \quad (\text{Equação 11})$$

$$RET_{mês} = 0 \quad \text{se } \Delta S \geq 0 \quad (\text{Equação 12})$$

Onde: RET= retirada de água do solo armazenada anteriormente para suprir a demanda evapotranspirativa no mês i (mm) e ΔS = variação de armazenamento de água no solo no mês i (mm).

2.3.6 Reposição de água no solo

A reposição do armazenamento de água no solo disponível às plantas (REP) foi calculada pelas equações 13 e 14:

$$REP_{\text{mês}} = +(\Delta S) \quad \text{se } \Delta S > 0 \quad (\text{Equação 13})$$

$$REP_{\text{mês}} = 0 \quad \text{se } \Delta S \leq 0 \quad (\text{Equação 14})$$

Onde: REP= reposição de água do solo disponível às plantas no mês i (mm) e ΔS = variação de armazenamento de água no solo no mês i (mm).

2.4 ESTUDOS DAS VAZÕES

O comportamento hidrológico das bacias hidrográficas com eucalipto BEs e BEb foi estudado pela comparação dos valores da vazão (Q) específica diária (mm dia⁻¹). Para isso, foi plotado um gráfico com eixo na escala logarítmica da Q específica diária do período compreendido entre setembro de 2012 e julho de 2018, onde aborda o período antes e pós colheita, corte raso de 30 % na BEs e corte raso de 100% na BEb.

O comportamento hidrológico das diferentes coberturas vegetais, sobre a disponibilidade de água nas BHs, foi estudado pela comparação dos valores de vazão (Q) específica média diária (L s⁻¹ km⁻²), calculado pela relação entre a Q (L s⁻¹) e a área da respectiva bacia (km²).

As curvas de permanência de vazões, foram elaboradas para todos os registros de Q do período, na escala diária. A Q diária foi ordenada do maior para o menor valor, classificada em classes de frequência, a partir dos valores de vazão específica média diária observada em cada bacia e pela associação de cada uma das classes ao número de registros observados em cada intervalo (TUCCI, 2007), plotados com eixo na escala logarítmica.

As curvas de permanência foram elaboradas para todo o período de monitoramento deste estudo (abril de 2015 a setembro de 2018), retirando-se os dias

com falhas de obtenção da vazão de todas as BHs. Também foram elaboradas curvas de permanência para períodos críticos: períodos com precipitações abaixo da média histórica da região e períodos com precipitações muito acima da média histórica da região.

3 RESULTADOS

3.1 BALANÇO HÍDRICO NA ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA

3.1.1 Precipitação total

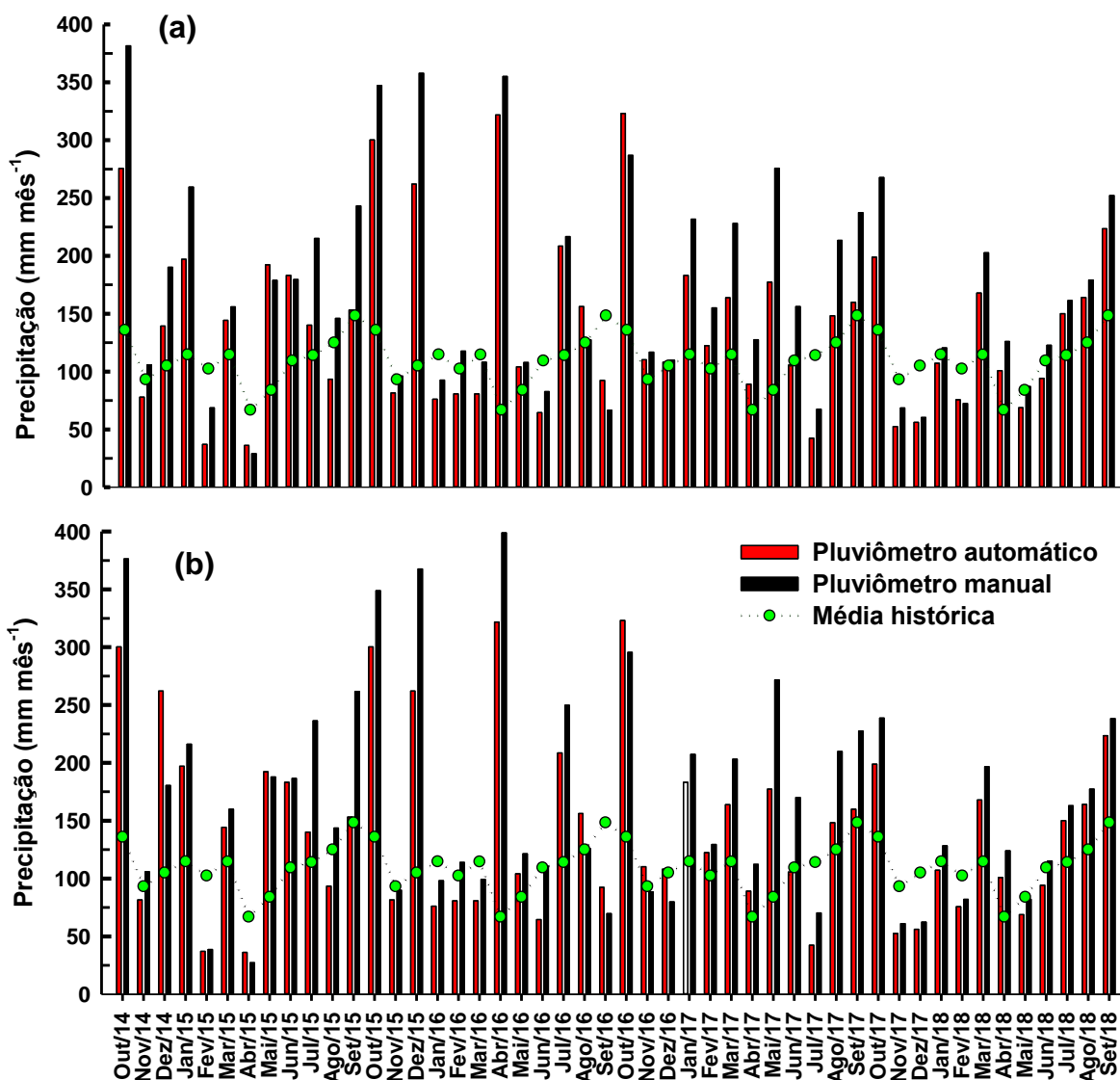
A precipitação mensal total (Pt) registrada no período de 01 de outubro de 2014 a 30 de setembro de 2018 pode ser observada na Figura 6.

Em todos os anos do estudo a Pt anual (Tabela 2) nas três BHs foi maior que a média histórica para o município de São Gabriel (1324 mm) com base nas médias de precipitação registradas pelo INMET de 1961 a 1990. A Pt registrada nos pluviômetros automáticos foram 16% menores que o volume de Pt obtido nos pluviômetros manuais. As maiores diferenças ocorreram nos meses com maior volume acumulado de chuva (Figura 6a, b).

A Pt registrada nos pluviômetros manuais em todo o período do estudo foi de 8156 mm na BEs e BEb e de 8050 mm na BC. Os volumes médios de Pt dos três pluviômetros automáticos instalados nas seções de monitoramento das BHs foi de 6844mm, o que representa 16,0% e 14,9% a menos que a Pt quantificada nos pluviômetros manuais da BEs, BEb e BC, respectivamente (Figura 6a, b).

As maiores diferenças mensais nos volumes de Pt entre os pluviômetros manuais e automáticos, ocorreram em dezembro de 2015, em que a Pt registrada nos pluviômetros manuais foi de 367,6 mm, na BC e 357,8 mm, na BEs e BEb, representando 28,7% e 26,7% maior que a Pt média registrada nos pluviômetros automáticos (262,1 mm). Em maio de 2017 a Pt registrada nos pluviômetros manuais foi de 271,7 mm, na BC e 275,8,8 mm, na BEs e BEb, correspondendo a 34,7% e 35,7% maior que a Pt média registrada nos pluviômetros automáticos (177,3mm) da BC e BEs, BEb, respectivamente (Figura 6a, b).

Figura 6 - Precipitação mensal nos pluviômetros manuais e automáticos na BEs e BEb (a), na BC (b) e média histórica para o município de São Gabriel-RS, com base nas médias mensais de precipitação registradas pelo INMET de 1961 a 1990 (INMET, 2009), no período de outubro de 2014 a setembro de 2018, São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

3.1.2 Vazão

A vazão (Q) na BEs correspondeu a 15,2, 22,7, 12,9 e 13,6% da Pt, do ano 1 ao 4, respectivamente.

Na BEb a Q representou 19,5, 21,5, 10,8 e 4,3% da Pt, do ano 1 ao ano 4, respectivamente e na BC representou 27,7, 40,9, 23,2 e 32,5% da Pt, do ano 1 ao ano

4, respectivamente (Tabela 2). Foi observado uma redução acentuada da Q da BEb no ano 4, influenciada pela menor Pt nesse ano (Figura 8).

Observa-se uma menor Qesp ($L s^{-1} km^{-2}$) na BEs em relação à BC de 44,9%, 44,5%, 55,7% e 58,2%, do ano 1 ao ano 4, respectivamente (Tabela 2). Já a diferença na Qesp entre BEb e BC, foi menor no primeiro ano, onde a Qesp na BEb foi de apenas 16,4% menor que a Qesp da BC. Porém, essa diferença entre as vazões foi mais pronunciada para os anos seguintes, onde a Qesp foi 36,2, 66,5 e 78,4% menor na BEb em relação à BC, do ano 2 ao ano 4, respectivamente (Tabela 2). Esses resultados foram influenciados pelo aumento da transpiração e INT das plantas na BEb com o crescimento do plantio, que do segundo ao quarto ano do estudo, estavam com idades entre 2,5 e 4,5 anos.

Entre as bacias com eucalipto, a Qesp foi 30,6% e 11,2% maior na BEb em relação à BEs no ano 1 e ano 2, respectivamente. Já nos dois últimos anos do estudo, ano 3 e ano 4, a Qesp foi 18,2 % e 53,1%, respectivamente, maior na BEs em relação a BEb (Tabela 2).

3.1.3 Evaporação da água interceptada pela vegetação

A INT de outubro de 2014 a setembro de 2018 nas três BHs foi de 2183 mm, 1850 mm e 1095 mm, representando 26,8%, 22,7% e 13,6% da Pt, na BEs, BEb e BC, respectivamente (Figuras 7, 8 e 9).

Na BEs a INT (% da Pt) foi maior no quarto ano, quando foi registrado a menor Pt nessa bacia, representando 27,4% da Pt. E na BEb e BC as maiores INT ocorreram no ano 3 e no ano 2 onde foram registradaa as maiores Pt nessas BHs, representando 23,4% e 15,7% da Pt, respectivamente (Tabela 2).

A maior INT estimada para a BEs em relação a BEb, ocorreu principalmente, devido a maior interceptação da água da chuva pela serapilheira (Is) na BEs, em virtude da maior quantidade de serapilheira depositada sobre o solo da área com eucaliptos adultos (BEs) em relação a área com eucaliptos jovens (BEb).

3.1.4 Evaporação do solo e transpiração vegetal

A ETa (Figura 7, 8 e 9) correspondeu a 53,8%, 57,0% e 49,6% da Pt, ocorrida na BEs, BEb e BC, respectivamente (Tabela 2). A ETa foi maior no primeiro ano de

estudo na BEs e na BC, representando 57,6% e 55,5% da Pt, respectivamente. Já na BEb o ano com maior ETa foi o ano 3, onde a ETa representou 65,8% da Pt (Figura 2 a, b, c e d; Tabela 2).

A ETa estimada pelo balanço hídrico no primeiro ano foi 14,3% maior na BC em relação a BEb, que havia sido recém-plantada. Porém, nos três anos seguintes, a ETa foi 12,9, 34,6 e 11,9% maior na BEb em relação à BC, respectivamente. Na comparação entre BEs e BC, a ETa foi 3,6% maior na BC em relação à BEs no primeiro ano. Já nos anos seguintes a ETa foi 4,0, 9,3 e 10,6% maior na BEs em relação à BC, do ano 2 ao ano 4, respectivamente (Tabela 2). Ressalta-se que estes valores são influenciados por diferenças de variação de armazenamento de solo entre as bacias, visto que esta variação foi considerada nula na escala anual.

Tabela 2 – Balanço hídrico anual: precipitação total (Pt); evaporação do solo e transpiração vegetal (ETa); vazão (Q) e evaporação da água interceptada pela vegetação (INT) nas três BHs durante os 4 anos hidrológicos de monitoramento, São Gabriel-RS.

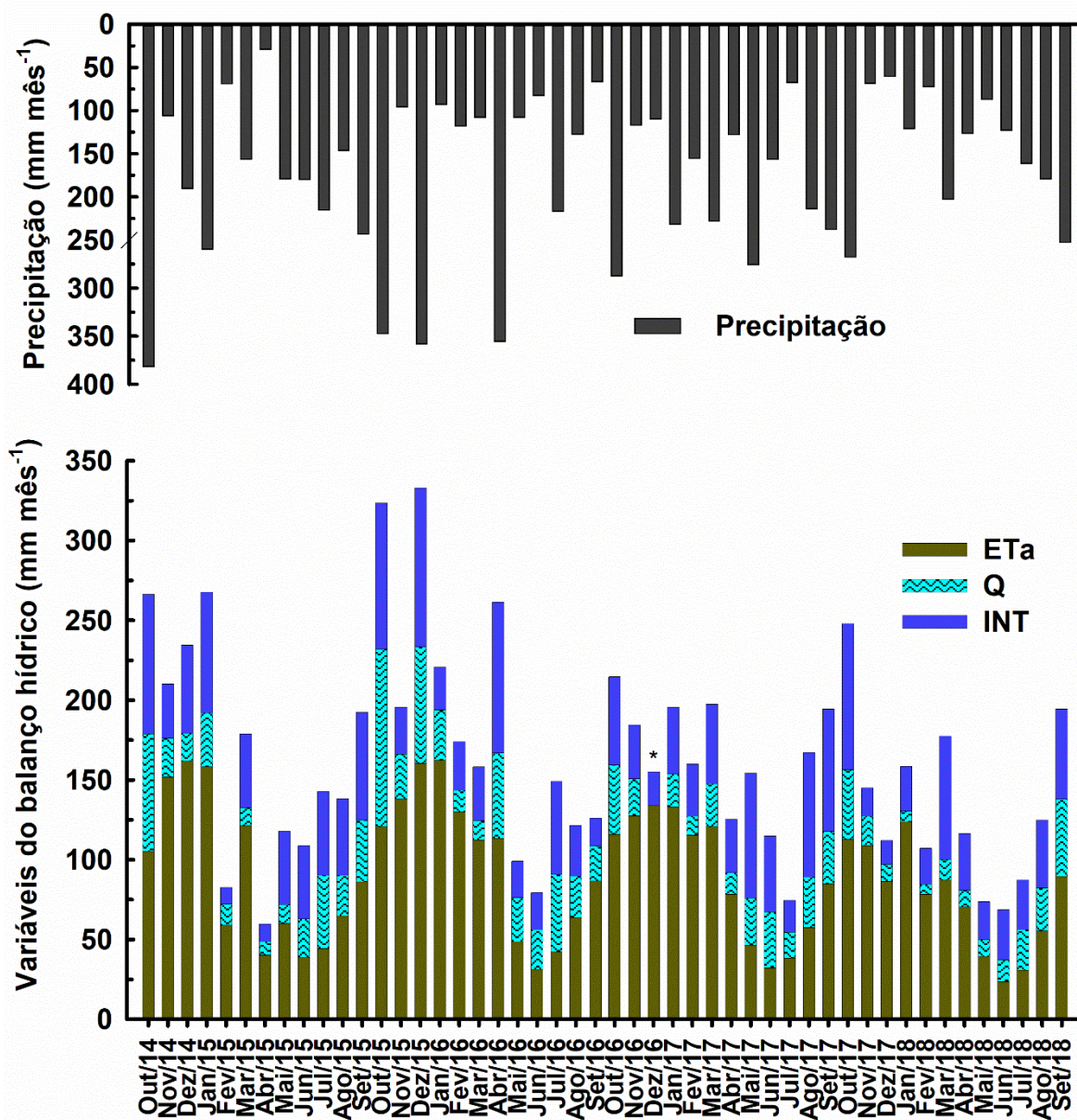
| Ano | Pt (mm ano ⁻¹) | | ETa (mm ano ⁻¹) | | | Q (mm ano ⁻¹) | | | INT (mm ano ⁻¹) | | |
|-------|----------------------------|------|-----------------------------|-------|------|---------------------------|-------|------|-----------------------------|------|------|
| | BEs/ BEb | BC | BEs | BEb | BC | BEs | BEb | BC | BEs | BEb | BC |
| 1 | 2153 | 2121 | 1241 | 1025* | 1196 | 328 | 421** | 596 | 584 | 495 | 329 |
| 2 | 2076 | 2195 | 1046 | 1147* | 999 | 472 | 447** | 851 | 558 | 472 | 345 |
| 3 | 2206 | 2065 | 1084* | 1451 | 949* | 285** | 239 | 513* | 569 | 516 | 217 |
| 4 | 1721 | 1669 | 1015 | 1028* | 906 | 234 | 75** | 559 | 472 | 367 | 204 |
| Total | 8156 | 8050 | 4386 | 4651 | 4050 | 1318 | 1181 | 2519 | 2183 | 1850 | 1095 |

*determinada pelo método adaptado de Thornthwaite and Mather (1955)

**Falhas nos sensores automáticos

Fonte: Autor.

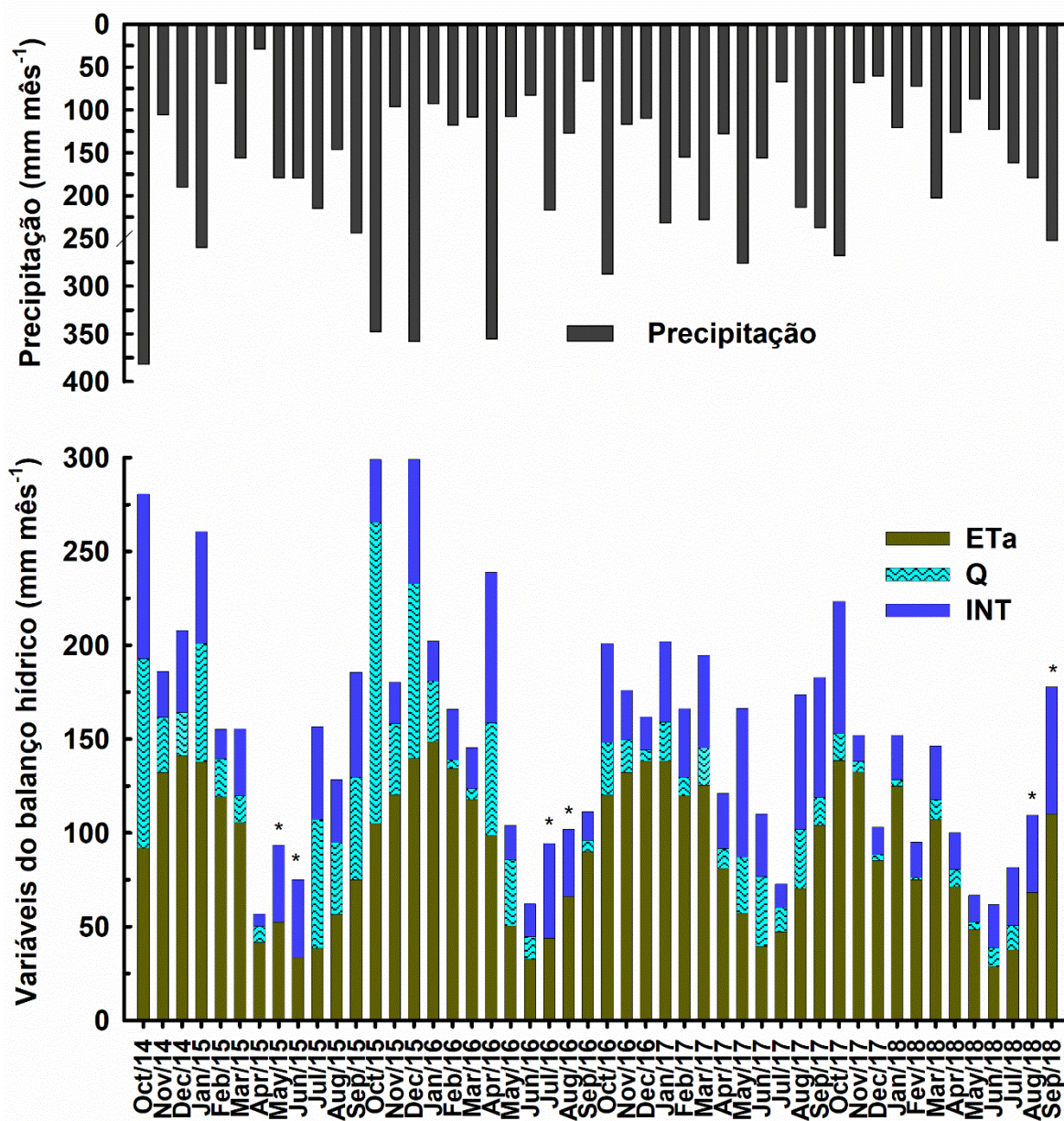
Figura 7 - Balanço hídrico mensal: precipitação total (Pt); evaporação do solo e transpiração vegetal (ETa); vazão (Q) e evaporação da água interceptada pela vegetação (INT) na bacia hidrográfica com *Eucalyptus saligna* (BEs), São Gabriel-RS.



*Falha nos sensores automáticos que medem o nível da lâmina de água.

Fonte: Autor.

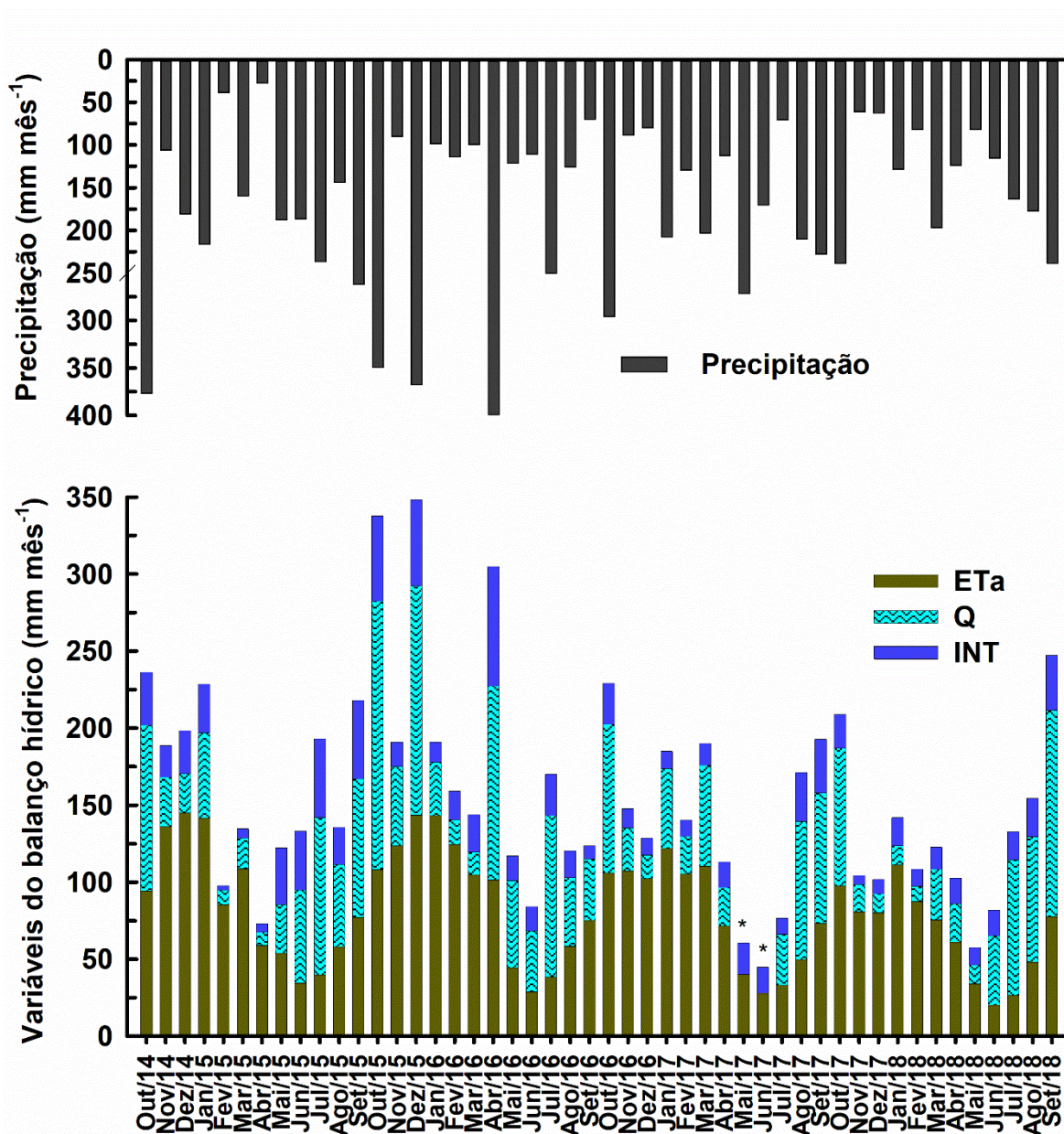
Figura 8 - Balanço hídrico mensal: precipitação total (Pt); evaporação do solo e transpiração vegetal (ETa); vazão (Q) e evaporação da água interceptada pela vegetação (INT) na bacia hidrográfica com *Eucalyptus benthamii* (BEb), São Gabriel-RS.



*Falha nos sensores automáticos que medem o nível da lâmina de água.

Fonte: Autor.

Figura 9 - Balanço hídrico mensal: precipitação total (Pt); evaporação do solo e transpiração vegetal (ETa); vazão (Q) e evaporação da água interceptada pela vegetação (INT) na bacia hidrográfica com campo natural antropizado degradado (BC), São Gabriel-RS.



*Falha nos sensores automáticos que medem o nível da lâmina de água.

Fonte: Autor.

3.2 BALANÇO HÍDRICO MENSAL NO PERFIL DO SOLO DISPONÍVEL AS PLANTAS

3.2.1 Déficit hídrico (DEF), excedente hídrico (EXC), Retirada (RET) e reposição (REP) da água armazenada no perfil do solo disponível as plantas

Os maiores déficits hídricos (DEF) estimados, durante os quatro anos hidrológicos do estudo, ocorreram na área sob *Eucalyptus saligna* adulto (BEs; 318,8 mm) e os menores DEF ocorreram na área com campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC; 235,2 mm). Na área sob *E. benthamii* jovens BEb, o DEF estimado para a todo o período foi de 273,2 mm (Figuras 10, 11 e 12).

O excedente de água depois de atendida a demanda evapotranspirativa e reposição do armazenamento de água dentro da zona das raízes (EXC ou drenagem profunda), estimado durante todo o período de estudo, foi maior na BC (3508 mm), o que representa 43,6% da Pt, e o menor EXC ocorreu na BEs (2007 mm), o que representa 26,3% da Pt e na BEb o EXC foi de 2149 mm, o que representa 24,6% da Pt (Figuras 10, 11 e 12).

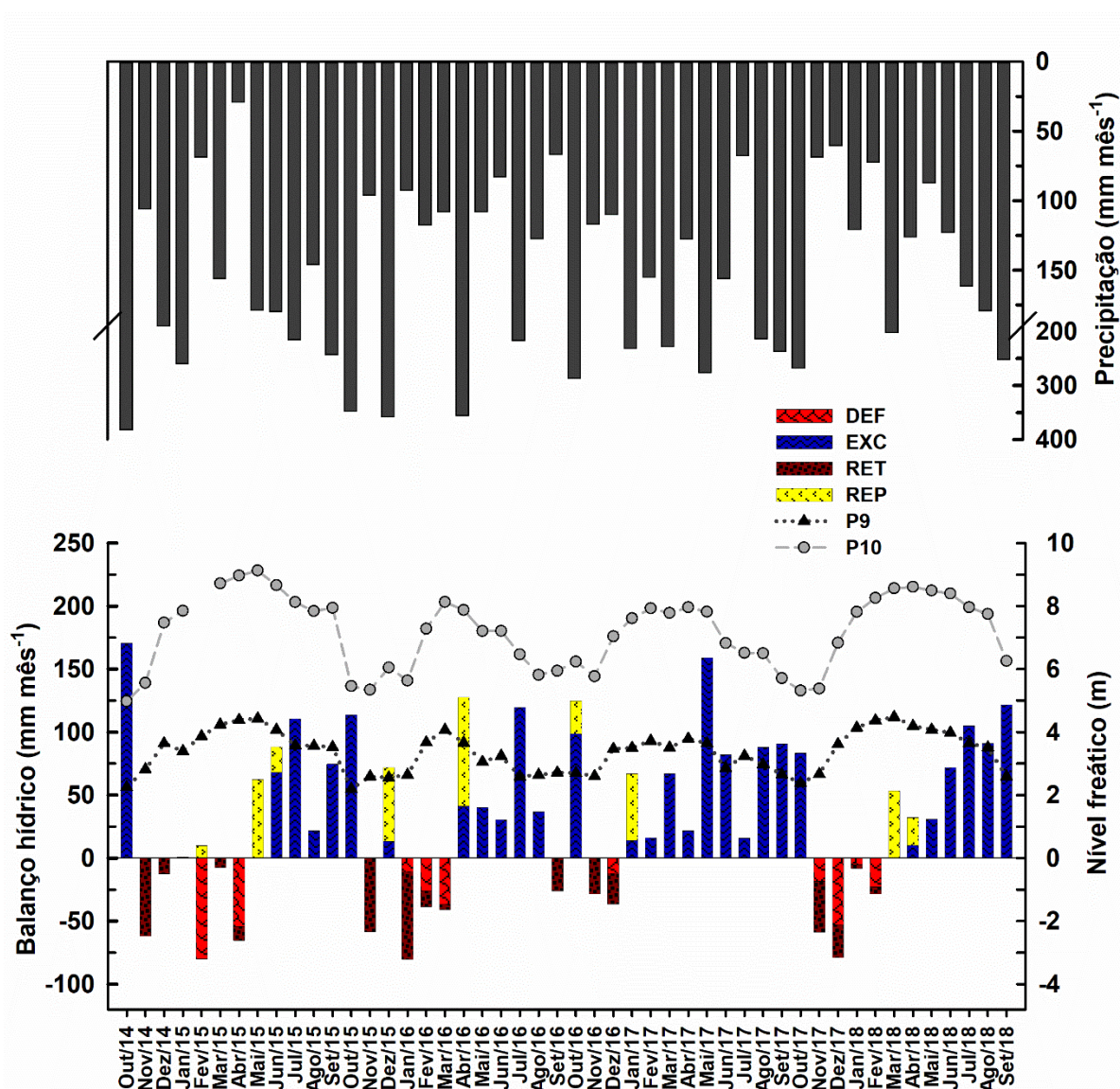
Na maior parte do período de estudo ocorreu menos meses com DEF (10 meses) nas três BHs em relação a EXC, quando foram 32, 30 e 29 meses na BC, BEs e BEb, respectivamente. Os meses com DEF no perfil do solo, nas bacias com eucalipto BEs e BEb, coincidiram, porém não ocorreram ao mesmo tempo que na BC.

Os meses com maiores DEF foram dezembro de 2017 na BEb e BC e fevereiro de 2015 na BEs, sendo que não ocorreu DEF no período de maio a outubro, em todos os anos do estudo nas três BHs. Já os meses com maior EXC nas três BHs ocorreram em outubro de 2014 influenciado pelo fenômeno El Niño ocorrido no final de 2014 (Figuras 10, 11 e 12).

O período com maior DEF na BEs e BEb, ocorreu de novembro de 2017 a fevereiro de 2018, sendo de 191,2 e 99,0 na BEb e BEs, respectivamente e na BC o período de maior DEF (55,8 mm) ocorreu de janeiro a março de 2016, influenciado pela baixa precipitação 322 mm, 23% menor do que a média histórica esperada para esse período. Já o período com maior EXC ocorreu de janeiro a outubro de 2017 nas três BHs, resultante da alta precipitação do período (1960 mm, 43% superior à média histórica esperada para esse período (Figura 6 e Figuras 10, 11 e 12).

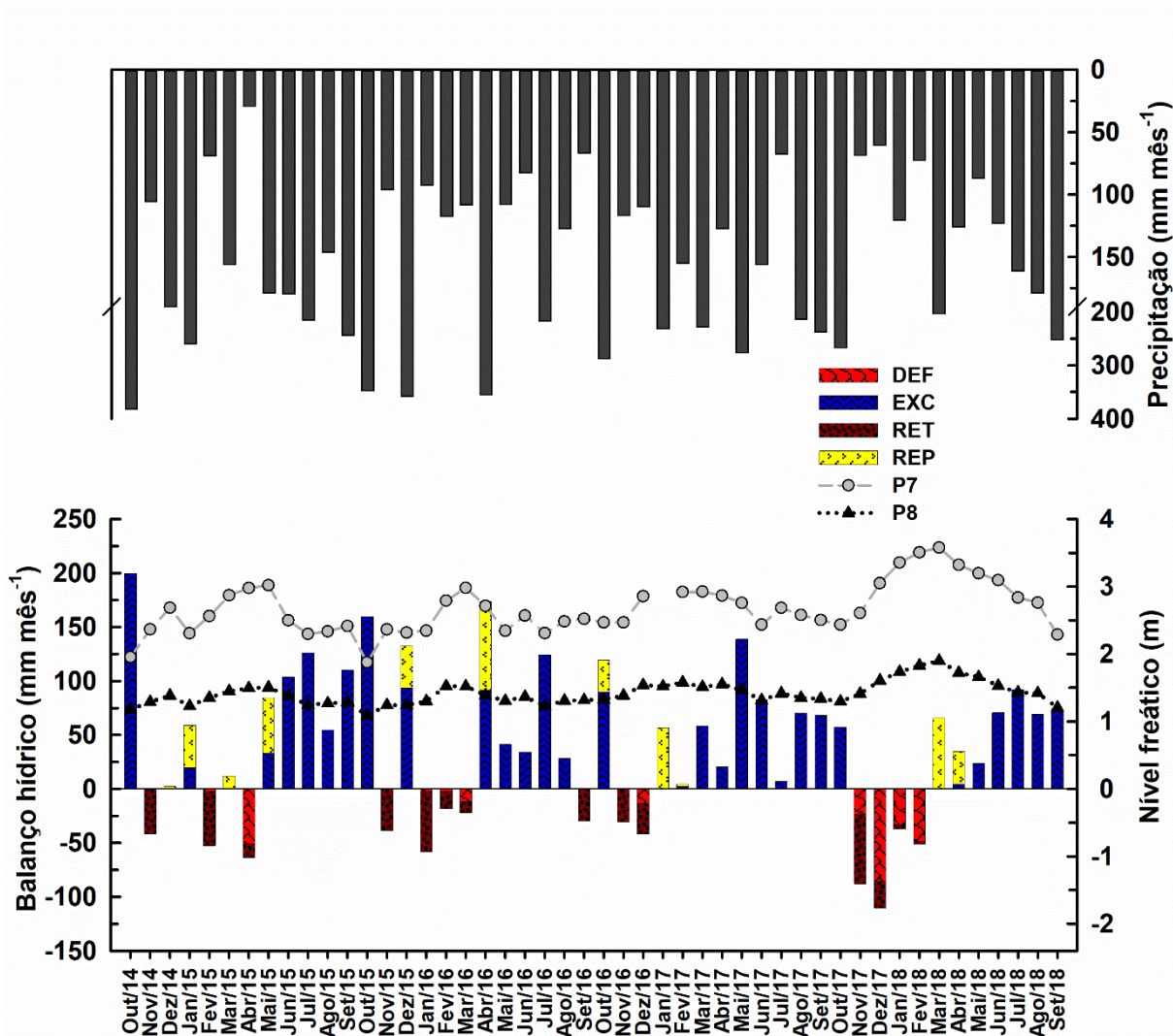
As maiores retiradas de água armazenada no perfil do solo disponível as plantas (RET) e a reposição do armazenamento (REP) ocorreram na BEb (Figura 11). Não ocorreu RET na BEs, BEb e BC nos meses de maio a agosto, durante todo o período de estudo (Figuras 10, 11 e 12). Foi verificado nas três BHs maiores quantidade de meses com RET do que meses com REP, ou seja, ocorreram RET nos meses com precipitação normal ou abaixo da média e REP apenas em meses com grandes volumes acumulados de chuva (Figuras 10, 11 e 12).

Figura 10 - Balanço hídrico sequencial adaptado de Thornthwaite and Mather (1955) e nível freático na bacia hidrográfica com *Eucalyptus saligna* adulto (BEs): DEF = déficit hídrico; EXC = excedente hídrico; RET = retirada de água do solo; REP = reposição do armazenamento e P9 e P10 = piezômetros 9 e 10, localizados no interior da bacia, São Gabriel-RS.



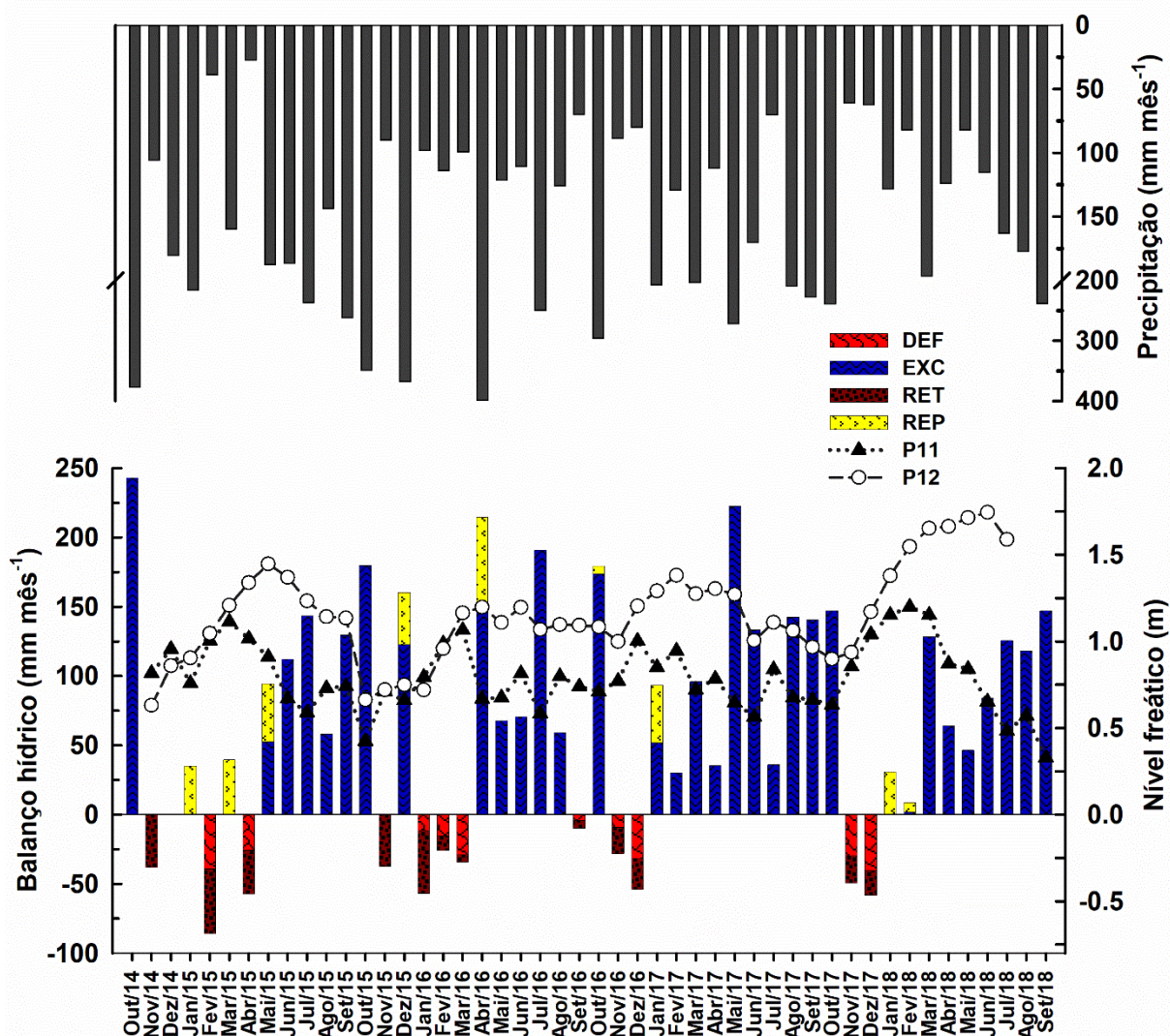
Fonte: Autor.

Figura 11 - Balanço hídrico sequencial adaptado de Thornthwaite and Mather (1955) e nível freático na bacia hidrográfica com *Eucalyptus benthamii* jovens (BEB): DEF = déficit hídrico; EXC = excedente hídrico; RET = retirada de água do solo; REP = reposição do armazenamento e P7 e P8 = piezômetros 7 e 8, localizados no interior da bacia, São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

Figura 12 - Balanço hídrico sequencial adaptado de Thornthwaite and Mather (1955) e nível freático na bacia hidrográfica com campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC): DEF = déficit hídrico; EXC = excedente hídrico; RET = retirada de água do solo ; REP = reposição do armazenamento e P11 e P12 = piezômetros 11 e 12, localizados no interior da bacia, São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

3.3 VERIFICAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO SIMULADO

Os valores estimados de EXC, DEF e RET correlacionaram-se com os dados medidos da variação do nível de água subterrânea, observados nos piezômetros em todas as BHs, com exceção para os piezômetros 11 e 12 que não tiveram correlação com a RET (Tabela 3).

A variação de nível de água subterrânea observada nos piezômetros localizados no interior da BEb e BEs tiveram correlação muito significativa ($p < 0.01$)

com a RET e EXC, e significativa ($p < 0.05$) com o DEF (Tabela 3). Os valores de correlação com a RET foram superiores a 0.75, indicando que os meses com maiores retiradas também apresentaram maior aumento da profundidade do lençol freático. Trata-se provavelmente de um efeito indireto, visto que o modelo não considera a possibilidade de ascensão capilar ou uso de água subterrânea pelas plantas.

Para a BC, os dados medidos nos piezômetros não apresentaram correlação significativa com a RET, mas apresentou boa correlação muito significativa com o EXC e, em um dos piezômetros, com o DEF.

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre os resultados obtidos no balanço hídrico sequencial adaptado de Thornthwaite and Mather (1955) e os dados de monitoramento contínuo do nível do lençol freático, São Gabriel-RS.

| Piezômetros | DEF | EXC | RET | REP |
|-------------|---------|---------|--------|-----|
| 7 | -0,60* | -0,61** | 0,78** | x |
| 8 | -0,55* | -0,59** | 0,75** | x |
| 9 | -0,35* | -0,42** | 0,83** | x |
| 10 | -0,43* | -0,43** | 0,85** | x |
| 11 | -0,79** | -0,65** | x | x |
| 12 | -0,42* | -0,54** | x | x |

DEF = demanda evapotranspirativa da vegetação não suprida devido ao déficit hídrico; EXC = excedente de água após atendida a demanda evapotranspirativa e reposição do armazenamento de água dentro da zona das raízes (= drenagem profunda); RET = retirada de água que foi armazenada anteriormente no solo para suprir a demanda evapotranspirativa; REP = reposição do armazenamento de água no solo disponíveis as plantas. P7 e P8 = piezômetros 7 e 8, localizados no interior da bacia BEb; P8 e P9 = piezômetros 8 e 9, localizados no interior da BEs e P11 e P12 = piezômetros 11 e 12, localizados no interior da BC. ** $p < 0,01$ e * $p < 0,05$.

Fonte: Autor.

3.4 INFLUÊNCIA DO USO E MANEJO DE PLANTAS SOBRE AS VAZÕES

3.4.1 Efeito hidrológico do corte florestal em mosaico e raso nas bacias hidrográficas com eucalipto

As vazões específicas médias diárias (Qesp) nas duas bacias hidrográficas (BHs) com eucalipto mostraram comportamentos diferentes durante o período compreendido entre setembro de 2012 a julho de 2018 (Figura 13).

No período que antecede a colheita, de setembro de 2012 a fevereiro de 2014, a Qesp (mm dia^{-1}) era menor na BEb, do que na BEs, apesar de nesse período as BHs possuírem o mesmo uso do solo (plantios em 2006 com a espécie *E. saligna*; Figura 13). Essa diferença na Qesp pode ser resultado da ocorrência de troca de água subterrânea da BEb com áreas adjacentes, refletindo em diferenças hidrogeológicas das duas BHs.

Após a colheita, em fevereiro de 2014, em 100% da área sob eucalipto (corte raso) na BEb e da colheita parcial em 30% da área com eucalipto na BEs, a Qesp na BEs ainda permaneceu um pouco maior do que na BEb por 3 meses, provavelmente devido à grande quantidade de resíduos (galhos, folhas, cascas e tocos) que ficam depositados sobre o solo após a colheita e interceptam grande quantidade da água da chuva. Todavia, em junho 2014, a Qesp na BEb passou a ser maior que na BEs. Esse cenário persistiu por dois anos, até junho de 2016, quando a Qesp na BEs voltou a ser maior que na BEb. Essa redução da Qesp, 2 anos após o corte raso na BEb, coincidiu com os dois anos de idade das plantas de *Eucalyptus benthamii*.

Portanto, mesmo que as duas bacias apresentassem vazões diferentes antes do manejo de corte, o manejo de idades (corte raso em 100% da área com eucalipto) favorece as vazões máximas, o que pode causar danos ao ambiente, por meio da erosão hídrica.

A partir de junho de 2016 até julho de 2018 a Qesp voltou a ser maior na BEs, contudo essa diferença foi maior no último ano de monitoramento, setembro de 2017 a julho de 2018. Porém, em um grande evento, observado em 23 de março de 2018, no qual choveu 149,6 mm em um dia, a Qesp na BEb (5,6 mm) superou a Qesp na BEs (5,3 mm), possivelmente devido a maior INT na BEs (Tabela 02).

Com intuito de analisar o efeito do corte raso em 100% da área sob eucalipto na BEb sobre a Qesp, foi computado a soma da da Qesp e da Pt, um ano antes do corte (março de 2013 a fevereiro de 2014) e um ano após o corte (março de 2014 a fevereiro de 2015).

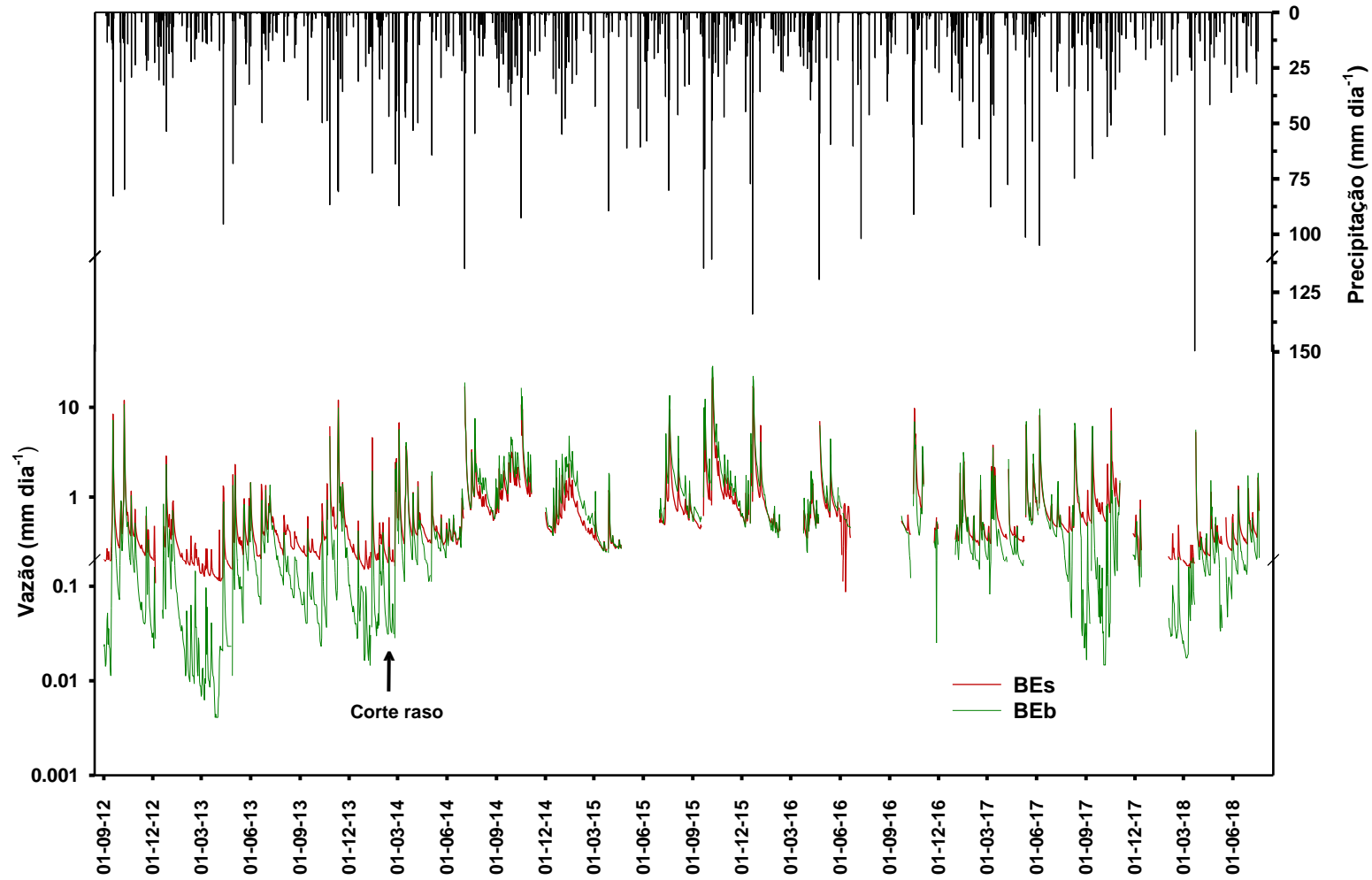
No período anterior ao corte a Qesp e a Pt na BEb foram de 96,4 e 1777,4 mm, respectivamente e após o corte a Qesp e Pt foram de 466,1 e 2052,7 mm, representando em um coeficiente de escoamento (C) de 0,22 e 0,05 para o período anterior e posterior ao corte, respectivamente (Figura 13).

Além disso, foi observado que a Qesp antes do corte de 100% (mar/2013 a fev/2014) correspondia a apenas 5,4% da Pt e após o corte (mai/2014 a abr/2015)

passou a representar 22,7% da Pt. Já para o ano seguinte, dois anos após o corte (mai/2015 a abr/2016) e quando as plantas estavam com dois anos de idade a Qesp, correspondeu a 27,2% da Pt. No terceiro ano após o corte (mai/2016 a abr/2017) a Qesp reduziu novamente, representando 13,4 % da Pt e reduziu mais ainda no quarto ano (mai/2017 a abr/2018), quando a Qesp correspondeu a apenas 8,4% da Pt, valor próximo ao observado antes do corte (5,4%) (Figura 13).

Nesse mesmo período, a Qesp também aumentou na BEs, após o corte parcial de 30% da área com eucalipto, porém em menor proporção. A Qesp na BEs era de 169,2 mm, antes do corte e após o corte a Qesp foi de 329,3 mm, correspondendo a um aumento de 48,6%. Logo, observa-se que a Qesp antes do corte parcial na BEs correspondia a 9,7% da Pt e após o corte passou a representar 18,1% da Pt. O que se manteve no segundo ano 20,3 % e reduziu no terceiro 14,3% e quarto ano 13,9% da Pt (Figura 13).

Figura 13 - Vazão específica diária da bacia hidrográfica com uso atual por *Eucalyptus benthamii* (BEb) e vazão específica diária da bacia com *Eucalyptus saligna* adulto (BEs) do período de setembro de 2012 a julho de 2018, São Gabriel, RS. A seta indica o corte raso de 30% na BEs e de 100% na BEb corrido em fevereiro de 2014.



3.4.2 Permanência das vazões

As curvas de permanência das vazões específicas médias diárias (Q_{esp}) das três BHs apresentou recessão íngreme, nas maiores vazões, no período de primeiro de outubro de 2014 a 31 de setembro de 2018 (Figura 14).

As vazões específicas máximas (Q_5) foram de 29,0; 34,8 e 71,3 $L s^{-1} km^{-2}$ na BEs, BEb e BC, respectivamente (Figura 14).

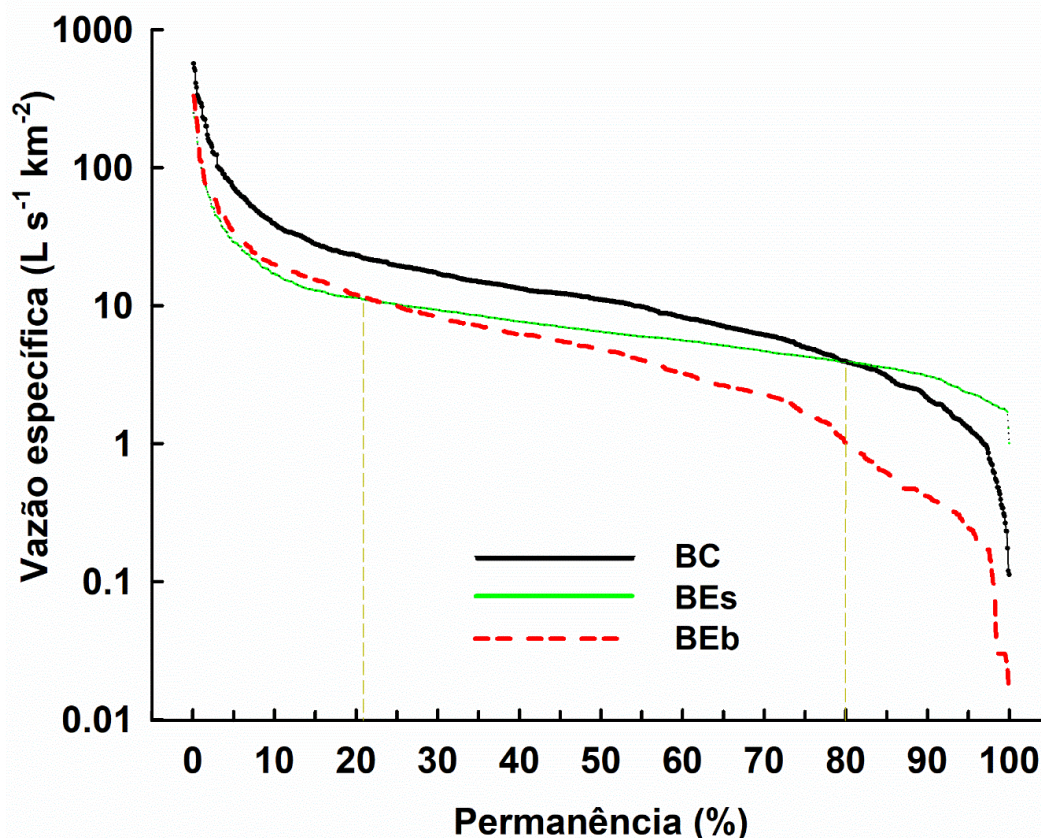
As vazões mínimas, entre 80 e 100% de permanência tiveram maior amplitude para as bacias BEb e BC, em que a Q_{esp} variou de 1,0 a 0,02 e 3,9 a 0,1 $L s^{-1} km^{-2}$, respectivamente e menor amplitude na BEs onde a Q_{esp} variou de 3,9 a 1,0 $L s^{-1} km^{-2}$ (Figura 14).

A inversão das curvas de permanência, entre a BEs e BEb ocorreram na permanência de 22% das vazões, quando a Q_{esp} nas duas BHs foi de aproximadamente 10,8 $L s^{-1} km^{-2}$, a partir desse ponto a BEs passou a ter maior disponibilidade de água no curso d'água que na BEb. Já a inversão das curvas de permanência entre a BEs e BC ocorreram na permanência de 80% das Q_{esp} , quando a Q_{esp} nas duas BHs foi de 3,9 $L s^{-1} km^{-2}$, a partir desse ponto, ocorreu maior disponibilidade de água na BEs (Figura 14).

As curvas de permanência da BEb e BC não se cruzaram durante todo o período de monitoramento, onde a Q_{esp} na BC foi sempre maior que na BEb (Figura 14). Entretanto o comportamento da curva de permanência da BEb e da BC foi similar, ou seja, nas vazões máximas (Q_5), as duas BHs tiveram uma recessão íngreme e nas vazões mínimas, (80 a 90% da permanência das vazões) houve uma redução abrupta na Q_{esp} (Figura 14).

Nas três BHs durante 50% do tempo do estudo (Q_{50}), a Q_{esp} foi superior a 6,5; 4,8 e 11,1 $L s^{-1} km^{-2}$, na BEs, BEb e BC, respectivamente, e em 95% do tempo a Q_{esp} foi superior a 2,3; 0,24 e 1,3 $L s^{-1} km^{-2}$, na BEs, BEb e BC, respectivamente (Figura 14).

Figura 14 - Permanência das vazões na bacia com *Eucalyptus saligna* adultos (BEs), *E. benthamii* jovens (BEb) e campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC) para o período, compreendido entre outubro de 2014 e setembro de 2018, em São Gabriel-RS.



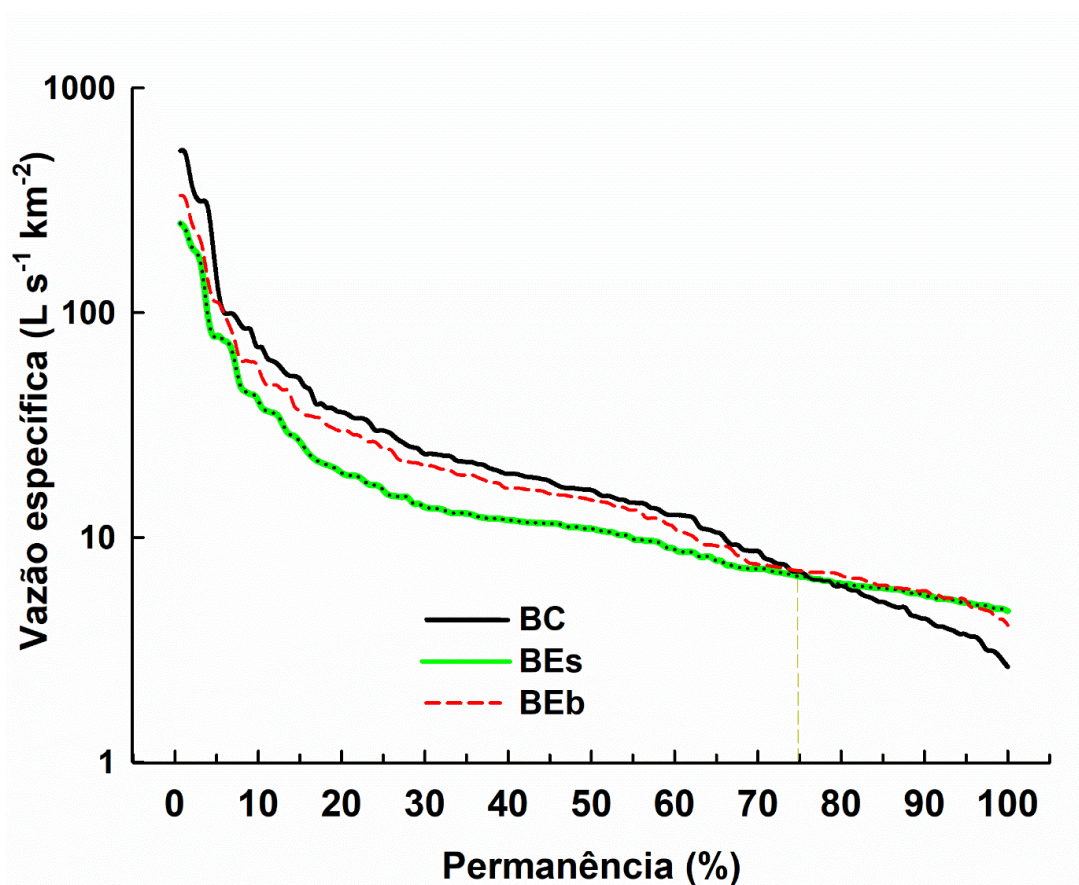
Fonte: Autor.

No período, compreendido entre 15 de setembro de 2015 a 15 de fevereiro de 2018, com o dobro de precipitações à média histórica para esse período na região (574,4 mm), o acumulado de chuva foi de 1168 mm. Nesse período foi observado que a BEb e BEs mostraram maior capacidade de regularização das vazões em relação à BC (Figura 15).

As vazões máximas observadas foram de 249,5; 332,8 e 525,6 L s⁻¹ km⁻² BEs, BEb e BC, respectivamente, ou seja, a Qesp máxima na BC foi 52,4% maior em relação à BEs e 36,7% maior em relação à BEb. Já para vazões mínimas Q₉₅, a Qesp foi maior nas BHs com eucalipto, onde a Qesp observada foi de 5,1 e 5,0 L s⁻¹ km⁻², na BEs e BEb, respectivamente e 3,6 L s⁻¹ km⁻² na BC (Figura 15).

A Qesp na BC permaneceu mais alta em aproximadamente 80 e 100% do tempo, em relação à BEs e BEb, respectivamente. O que indica maior escoamento superficial e maior potencial erosivo durante eventos de elevada magnitude na BC (Figura 15).

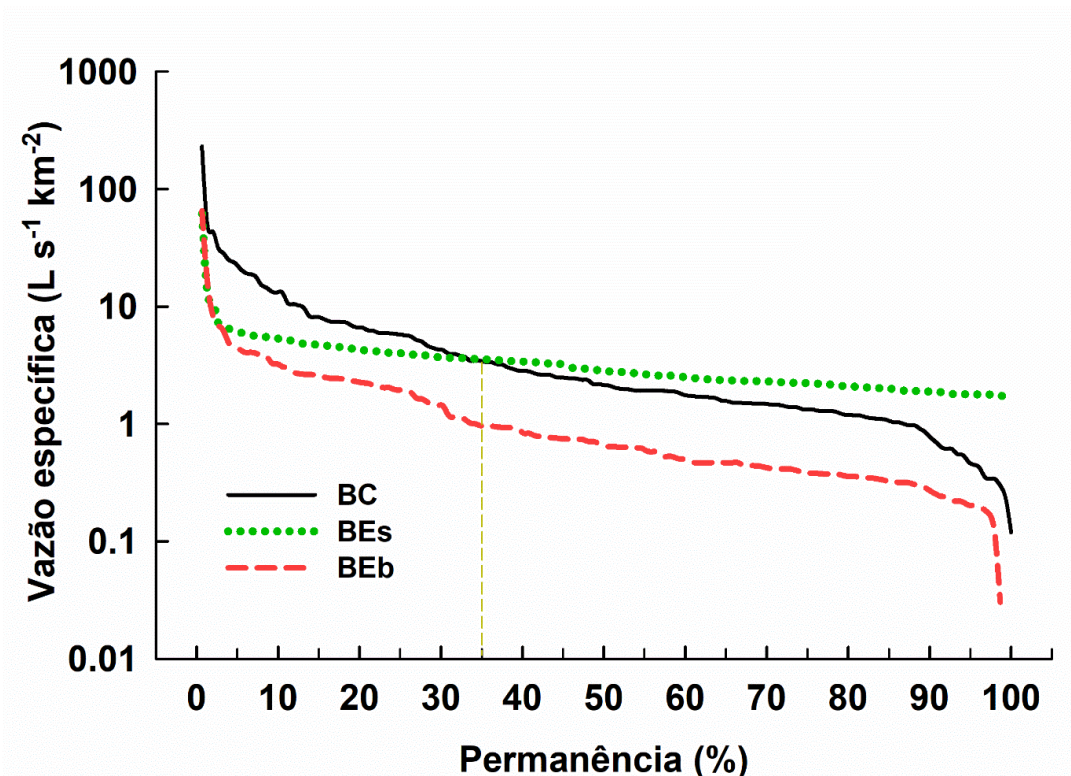
Figura 15 - Permanência das vazões nas bacias hidrográficas com *Eucalyptus saligna* (BEs), *Eucalyptus benthamii* (BEb) e campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC) para o período com chuvas acima da média, de 15 de setembro de 2015 a 15 de fevereiro de 2016, São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

No período, compreendido entre 15 de novembro de 2017 a 15 de abril de 2018, com precipitações semelhantes à média histórica para esse período na região (516,9 mm), o acumulado de chuva foi de 516,2 mm. Nesse período foi observado que a Qesp na BEs foi superior a Qesp na BC na maior parte do tempo, e a Qesp na BEb foi inferior à BC em todo o período (Figura 16).

Figura 16 - Permanência das vazões nas bacias hidrográficas com *Eucalyptus saligna* (BEs), *Eucalyptus benthamii* (BEb) e com campo natural antropizado degradado e pastagem manejada (BC) para o período de 15 de novembro de 2017 a 15 de abril de 2018, com chuvas próximo a média histórica da região, em São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

A curva mais suave na BEs e as menores vazões para permanência de 5%, indicam a maior capacidade de regularização da vazão da floresta de eucalipto adulto. Além disso, a BEs disponibiliza mais água a jusante que a BC e BEb em 65 e 99% do tempo, respectivamente (Figura 16).

As maiores Qesp observadas foram de 230,9, 65,6 e 61,4 L s⁻¹ km⁻² na BC, BEs e BEb, respectivamente, ou seja, a Qesp máxima na BC foi 73,3 e 71,7% maior em relação à BEs e BEb, respectivamente (Figura 16).

Para permanências de vazões entre 5 e 85% do período de monitoramento, a Qesp da BC variou de 21,3 a 1,0 L s⁻¹ km⁻², enquanto na BEs variou de 5,9 a 2,0 L s⁻¹ km⁻² (Figura 16).

Essas vazões evidenciam a recessão mais íngreme da BC em relação à BEs, o que também indica maior regularização das vazões na BEs. Neste mesmo intervalo a Qesp na BEb variou de 4,3 a 0,3 L s⁻¹ km⁻², o que indica maior consumo de água

pelas plantas de eucaliptos jovens (3 a 4 anos de idade) em relação a floresta na fase adulta (11,5 anos).

4 DISCUSSÃO

4.1 PRECIPITAÇÃO TOTAL

Para todos os anos do estudo os registros de precipitação total (Pt) foram superiores à média histórica para o município de São Gabriel (INMET, 2009). A ocorrência do fenômeno climatológico El niño influenciou, principalmente no primeiro e segundo ano de estudo, o aumento das precipitações nos meses de primavera e verão. Essa maior Pt, proporcionou maiores perdas de água por evaporação do solo e transpiração vegetal (ETa), especialmente nas áreas com eucalipto, que em condições de maior disponibilidade de água, tem altas taxas de crescimento das plantas (Stape et al., 2010). Além disso, a maior Pt causou aumento das vazões máximas (Q₅) na bacia com pastagem natural e aumento das vazões mínimas (Q₉₀) na bacia com eucalipto adulto.

Na maioria dos registros de precipitação, o volume (mm) acumulado nos pluviômetros manuais foi maior que o registrado pelos pluviômetros automáticos de balança da bacia, principalmente em meses com grande volume de chuva. O erro relativo observado foi maior que o recomendado ($\pm 5\%$) pelo WMO (*World Meteorological Organization*). Os medidores das áreas do estudo são do tipo “tipping bucket” (balança) e os erros de medição nesse tipo de equipamento são fortemente dependentes da taxa de precipitação e especialmente em intensidades muito altas, como ocorreu na região do estudo, os erros podem chegar a 20% para alguns tipos de medidores desse tipo (WMO, 2005). Em razão disso, os dados dos pluviômetros automáticos foram calibrados por meio dos dados dos pluviômetros manuais para todos os registros de precipitação nas três bacias hidrográficas do estudo.

Outros estudos também relatam que em locais com precipitação de alta intensidade, os pluviômetros automáticos de balança subestimam a taxa de precipitação (HABIB et al., 2001; MOLINI et al., 2005). Essa observação é extremamente importante à medida que a precipitação é a principal variável de entrada em modelos de balanço hídrico e muitas vezes é obtida apenas por equipamentos automáticos, sem a calibração com dados coletados em pluviômetros

manuais, podendo ocasionar subestimativa da evapotranspiração calculada pelo balanço hídrico.

4.2 BALANÇO HÍDRICO NA ESCALA DE BACIA HIDROGRÁFICA

Os diferentes usos e manejos da cultura influenciaram nos componentes do balanço hídrico, principalmente na vazão (Q). Outros autores também observaram essa dinâmica quando o uso do solo foi alterado de pastagem para plantações de *Eucalyptus* (NOSETTO et al., 2012; DRESEL et al., 2018; ELLIOTT et al., 2017).

O processo de evaporação do solo e transpiração vegetal (ETa) representou cerca de 50% da Pt nas três bacias BHs. As maiores ETa nas BHs com eucalipto foram verificadas nos anos hidrológicos com maiores Pt. Isso reforça a ideia de que o consumo de água em floretas de eucalipto é controlado pela disponibilidade hídrica local (ALMEIDA et al., 2007). Além disso, as BEs e BEb tiveram maior ETa em relação à BC influenciadas pela maior perda de água por INT e transpiração vegetal nessas BHs.

A vazão específica média anual (Qesp) observada durante o período foi aproximadamente 50% menor na BEs em relação à BC. Esse resultado era esperado devido ao deflúvio observado na bacia controle (BC) representar em torno de 30% da precipitação incidente sobre a bacia (FARLEY et al., 2005).

As vazões mínimas (Q₉₀) foram maiores na BEs. A diferença para as vazões mínimas observadas na BEb deve-se provavelmente a geologia e tipo de solo (mais raso) nessa bacia. Isso destaca a importância da realização de estudos hidrogeológicos e de se realizar um período de monitoramento com o mesmo uso do solo, antes da realização de alterações, em estudos de microbacias pareadas. Por outro lado, as vazões máximas (Q₅) foram maiores na BC, o que mostra o maior poder de degradação ambiental desse uso do solo.

As Qesp dependem do estágio de desenvolvimento das plantas (FERRAZ et al., 2013). Após o corte raso de 100% da área de eucalipto, a BEb apresentou Qesp 20% inferior a Qesp da BC, considerada como controle, por não ter sido submetida a alteração no uso solo. Entretanto, a partir do segundo ano de estabelecimento da cultura, a Qesp na BEb passou a ser cerca de 50% menor que na BC, o que persistiu até o término do monitoramento deste estudo (4.5 anos de idade das plantas).

Resultados semelhantes foram observados por Ferraz et al. (2013) em estudo de longa duração, os quais observaram redução da Q com o desenvolvimento do plantio florestal dos 3 aos 5 anos. Esse comportamento de redução ds Qesp nos primeiros anos de estabelecimento da floresta também foi observado em outros estudos (NEARY et al., 2016; ELLIOTT et al., 2017; ALMEIDA et al., 2016).

Por outro lado, a Qesp na BEs onde foi realizado o corte parcial de 30% manteve-se aproximadamente estável, em relação a microbacia controle, durante os 4 anos seguintes ao corte parcial. Uma explicação possível é que o aumento de água infiltrada pela redução da INT e ETa nas áreas colhidas seja utilizado pela vegetação (nativa e plantios) ao redor, não se transformando em aumento de vazão, a exemplo do simulado em áreas de colheita total por Smethurst et al. (2015). Os resultados indicam que esse tipo de manejo (mosaico de idades) é benéfico para a regulação da disponibilidade hídrica do local, concordando com os resultados do estudo de Cassiano (2017).

Os volumes de Pt ocorridos muito acima da média para a região nos três primeiros anos do estudo contribuiu para uma maior diferença entre as vazões das bacias com *Eucalyptus* e campo natural degradado. Esse comportamento foi influenciado pelo uso do solo e pela maior degradação do solo na BC, devido ao efeito da atividade pecuária extensiva, o que pode promover maior compactação pelo pisoteio animal e, por consequência, diminuir a taxa de infiltração de água no solo e contribuir para um maior fluxo de água superficial (MORRIS and JACKSON, 2016). Além disso, em condições de maior disponibilidade hídrica no solo, as áreas florestais, com maior índice de área foliar (IAF), aumentam as taxas de crescimento elevando as perdas por transpiração e INT (ALMEIDA et al., 2007).

Foi verificado maior Qesp na BC em relação a BEs e BEb na maior parte do tempo. Entretanto, no período de menor precipitação, a BEs disponibilizou mais água em 65% do tempo em relação à BC e em 99% do tempo em relação a BEb. Esse período ocorreu entre novembro de 2017 e fevereiro de 2018, quando as plantas na BEb tinham entre 3 e 4 anos. Apesar da INT ter sido maior na BEs no segundo e terceiro ano de estudo em relação a BEb, a ETa nesse período foi maior na BEb. Isso indica que a maior ETa na BEb foi proporcionada pelo processo de transpiração das árvores jovens (NEARY, 2016). Isto está de acordo com os resultados de Xavier et al. (2002), Farley et al. (2005) and Ferraz et al. (2013) de que nessa idade as plantas estão em período de maior crescimento e IAF e consomem mais água, embora não

possa ser concluído deste estudo devido as diferenças hidrogeológicas entre as bacias.

Houve diferenças no percentual de água da chuva interceptado nas BHs entre as estações do ano. A INT foi menor em grandes volumes de Pt ocorridos nos meses de primavera e verão, influenciados pelas características das chuvas convectivas de alta intensidade e curta duração. Isso provoca rápida saturação do dossel e menores perdas de água por INT (ZHANG et al., 2015).

4.3 BALANÇO HÍDRICO MENSAL NO PERFIL DO SOLO

Os usos do solo que causaram maior déficit hídrico (DEF) foram as plantações de eucalipto (BEs e BEb), esse resultado era esperado porque áreas florestais apresentam maior ETa e INT em relação às herbáceas da BC (DIAS et al., 2015; ELLIOTT et al., 2017).

Houve reposição do armazenamento de água ao solo, nos meses de outono e inverno, período de menor ETo e menor crescimento das plantas, e retirada da água armazenada no solo nos meses de verão, período de maior crescimento das plantas. Esses resultados foram proporcionados porque durante os três primeiros anos do estudo, não houve períodos com falta prolongada de chuva no verão, que possivelmente limitassem o crescimento das plantas (ALMEIDA et al., 2007).

Os dados simulados pelo método sequencial adaptado de Thornthwaite and Mather (1955), descreveram bem o comportamento da variação de armazenamento de água no solo. Esse fato pode ser verificado por meio da variação de armazenamento de água no perfil do solo, observada nos piezômetros instalados no interior das três BHs.

5 CONCLUSÕES

As vazões específicas nas bacias com eucalipto foram influenciadas pelo estágio de desenvolvimento das plantas e pelo tipo de manejo de colheita nas bacias, sendo que o corte raso em 30% da área com eucalipto foi benéfico para a regulação das vazões.

No período com menor precipitação, o uso do solo com plantações de eucalipto adulto disponibilizou mais água a jusante que o uso do solo com campo natural

antropizado degradado em 65% do tempo e de que a microbacia com plantações de eucalipto jovem.

A microbacia hidrográfica com plantação de *Eucalyptus benthamii* jovens (BEb), apresentou redução da vazão média anual entre o período do 3 a 4,5 anos e os anos iniciais de plantio, em comparação com a microbacia controle com pastagem, possivelmente pela maior perda de água por transpiração e evaporação da água interceptada pela vegetação.

As diferenças de resultados de acordo com o estágio de desenvolvimento do plantio e entre microbacias e o fato dos 4 anos estudados terem apresentado precipitação superior à normal climatológica local ressaltam a importância de monitoramentos de longos períodos e de utilização de uma microbacia controle para avaliação dos efeitos de plantios florestais na vazão local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEFLOR - Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **Relatório 2017. Ano base 2016**. Porto Alegre, 2017.

ALLEN. R. G. et al. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 300p, 1998.

ALMEIDA, A. C. et al. Quantifying the effects of *Eucalyptus* plantations and management on water resources at plot and catchment scales. **Hydrology Process**. v.30, p.4687-4703, 2016.

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

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p. 711-728, 2013.

BAUMHARDT, E. **Balanco hídrico de microbacia com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Santa Maria, 2010.

BAUMHARDT, E. **Hidrologia de bacia de cabeceira com eucaliptocultura e campo nativo da região da campanha gaúcha**. 166p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, 2014.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D. C. **EL Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto alegre: Ed: UFRGS, 2003, 110p

BOURNE, A. E.; HAIGH, A. M.; ELLSWORTH, D. S. Stomatal sensitivity to vapour pressure deficit relates to climate of origin in *Eucalyptus* species. **Tree Physiology** v. 00, p. 1-13, 2015.

BROWN, A. E. et al. 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.

CORNISH, P. M.; VERTESSY, R. Forest Age-Induced Changes in Evapotranspiration and Water Yield in a Eucalypt Forest. **Journal of Hydrology**. v. 242, p.43-63, 2001.

CASSIANO, C. C. **Efeitos hidrológicos da composição da paisagem em microbacias com florestas plantadas de *Eucalyptus***. 2017. 101p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2017.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Rio Grande do Sul. UFRGS, 2008, 151p.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, New Jersey, v. 14, p. 2903-2920, 2000.

CUI, X.; LIU, S.; WEI, X. Impacts of forest changes on hydrology: a case study of large watersheds in the upper reaches of Minjiang River watershed in China, **Hydrology and Earth System Science**, v. 16, p. 4279-4290, 2012.

DIAS, L. C. P. et al. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Study**, p.108-122, 2015.

DRESEL et al., Effect of *Eucalyptus* plantations, geology, and precipitation variability on water resources in upland intermittent catchments. **Journal of Hydrology**, v.564, p.723-739, 2018.

ELLIOTT, K. J. et al. Water yield following forest–grass–forest transitions. **Hydrology Earth System Sciences**, v.21, p.981-997, 2017.

FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P., RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **Forest Ecology and Management**. v.301, p.58-66, 2013.

FARLEY, K. A; JOBBAGY, E. G; JACKSON, R. B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1565-1576, 2005.

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

HABIB, E.; KRAJEWSKI, W. F.; KRUGER, A. Sampling Errors of Tipping-Bucket Rain Gauge Measurements. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.6, n.2, p. 159-166, 2001.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009: **Normais Climatológicas do Brasil 1961 - 1990**. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, 465 pp. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas> Acessado em 28 de outubro de 2016.

KIANG, H. C.; OLIVA, A.; BARRERA, F. M. G. Mapeamento do Lençol Freático de Microbacias Utilizando Método de Eletrorresistividade – Fazenda Ponta das Canas, Município de São Gabriel – RS, 2008.

KLAASSEN, W.; BOSVELD, F.; WATER, E. D. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Jornal Hydrology*, Amsterdam, v.213, p.36-50, 1998.

WMO - Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity (RI) Gauges. **WMO Technical Conference on Meteorological and Environmental Instruments and Methods of Observation (TECO-2005)**, Bucharest, Romania, 4-7, 2005 (published on CD-ROM).

LI, J.; FENG, P.; CHEN, F. Effects of land use change on flood characteristics in mountainous area of Daqinghe watershed, China. *Natural Hazards*, v. 70, p. 593-607, 2014.

MADANI, E. M.; JANSSON, P. M.; BABELON, L. Differences in water balance between grassland and forest watersheds using long-term data, derived using the CoupModel. *Hydrology Research*, v.49, p.72-89, 2017.

MOLINI, A.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. LA. The impact of tipping-bucket raingauge measurement errors on design rainfall for urban-scale applications, *Hydrological Processes*, v.19, p. 1073-1088, 2005.

MORRIS, L. A.; JACKSON, C. R. Interactions of soils and land uses with water quantity and quality, *Soil Ecosystems Services*, 24p. 2016.

NEARY, D. G. Long-Term Forest Paired Catchment Studies: What Do They Tell Us That Landscape-Level Monitoring Does Not? *Forests*, v.7, 2016.

NOSETTO, M. D.; JOBBAGY, E. G.; PARUELO, J. M. Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. *Global Change Biology*. v.11, p.1101-1117, 2005.

NOSETTO, M. D. et al. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. v.154, p.2-11, 2012.

OLIVEIRA, T. E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy*. v. 63, p. 394-400, 2017.

REICHERT, J. M. et al. Water balance in paired watersheds with *Eucalyptus* and degraded grassland in Pampa biome. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 237, p. 282-295, 2017.

RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 227/2009 - Aprova alterações do Zoneamento Ambiental para a Atividade de Silvicultura no Estado do Rio Grande do Sul de que trata a Resolução CONSEMA nº 187, de 09 de abril de 2008 e dá outras providências, Porto Alegre, 2009).

Disponível em: <http:// http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zoneam_silvic.asp >
Acessado em: 15 de janeiro de 2019.

ROHATYN, S. et al. Differential impacts of land use and precipitation on “ecosystem water yield”. **Water Resources Research**. v. 54, p. 5457-5470, 2018.

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

SILVA, M. D. Os cultivos florestais do Pampa, no Sul do Rio Grande do Sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, p. 215 - 226, 2012.

SMETHURST, P.J.; ALMEIDA, A. C.; LOOS, R.A. Stream flow unaffected by Eucalyptus plantation harvesting implicates water use by the native forest streamside reserve. **Journal of hydrology: Regional Studies**. v. 3, p. 187-198, 2015.

STAPE, J. L. et al. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**. v. 259, p. 1684-1694, 2010.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, v.3, 1104p, 1955.

TUCCI, C. E. M.; MENDIONDO, E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Pequenas bacias Hidrográficas: conceitos básicos**. Capítulo 1 em Hidrologia Aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre, ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4.ed, Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2007, p. 943.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do índice área foliar em clones de eucalipto ao longo do seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 421-427, 2002.

ZHANG, Z. Z. et al. Water use strategies of a young *Eucalyptus urophylla* forest in response to seasonal change of climatic factors in South China. **Biogeosciences Discussion**. v.12, p.10469-10510, 2015.

6 Estudo II

RELAÇÃO DO CRESCIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE *Eucalyptus* COM A PARTIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EM PLANTAÇÕES JOVENS NO BIOMA PAMPA

RESUMO

As plantações comerciais de eucalipto representam uma ótima alternativa para suprir a demanda por produtos madeireiros. Todavia, devido ao seu rápido crescimento surgem especulações em relação ao aumento do consumo de água nessas áreas, o que tem gerado uma grande demanda de pesquisas, para dar respaldo científico a esses questionamentos. Este estudo buscou contribuir para a compreensão da partição da precipitação em três espécies de *Eucalyptus* jovens (*E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*; 2 aos 4,5 anos) e sua relação com o crescimento do caule (diâmetro a 1,3 metros de altura; DAP), da altura total (Ht) e do índice de área foliar (IAF). Para tanto, foram monitoradas, a precipitação tota (Pt), a precipitação interna (Pi), o escoamento pelo tronco (Et), a interceptação pela serapilheira (Is), o IAF, a Ht e o DAP das árvores. O estudo foi conduzido em parcelas com 660 m² (10 linhas e 10 plantas por linha) em espaçamento de 3,0 x 2,2 m de março de 2016 a setembro de 2018. As médias de Pi (em % da Pt) foi significativamente maior na área sob *Eucalyptus benthamii* em relação as áreas sob *E. dunnii* e *E. saligna* durante o período do estudo. O Et foi significativamente maior no *E. saligna* em relação as outras espécies, na maior parte do tempo de estudo. As menores % de interceptação vegetal (em % da Pt) foram influenciadas por efeitos climáticos, devido à redução da Pt no segundo ano do estudo.

Palavras-chave: Material genético. Estrutura do dossel. Índice de área foliar. Precipitação interna. Idade das plantas.

RELATIONSHIP OF GROWTH OF DIFFERENT SPECIES OF *Eucalyptus* WITH PARTITION OF THE RAINFALL IN YOUNG PLANTATIONS IN PAMPA BIOMA

ABSTRACT

Eucalyptus commercial plantations represent a great alternative to supplying the demand for products timber. However, due to its rapid growth speculations arise in relation to the increased water consumption in these areas, which has generated a great demand for research, in order to give scientific support to these questions. This study aimed to contribute to the understanding of the partitioning of the rainfall in three young eucalyptus species (*E. saligna*, *E. benthamii* and *E. dunnii*, 2 at 4.5 years) and its relation to the diameter at 1.3 meters of the height (DAP), total height (Ht) and leaf area index (LAI). For this, rainfall (Pt), throughfall (Tf), stemflow (Sf), interception by litter (Is), LAI, Ht and DAP of the trees were monitored. The study was conducted in plots with 660 m² (10 lines and 10 plants per line) in spacing of 3.0 x 2.2 m from March 2016 to September 2018. The averages of Tf (in % of the Pt) was significantly higher in the area under *Eucalyptus benthamii* in relation to areas under *E. dunnii* and *E. saligna* during the study period. The Sf was significantly higher in *E. saligna* in relation to the other species in most of the study time. The lowest interception (in % of the Pt) were influenced by climatic effects, due to the reduction of Pt in the second year of the study.

Keywords: Genetic material. Structure of canopy. Index of leaf area. Throughfall. Age of the plants.

1 INTRODUÇÃO

A grande demanda por produtos florestais e a necessidade de aliar a sustentabilidade econômica com a proteção ambiental impulsionaram as empresas florestais a selecionar espécies com alta produtividade.

As plantações comerciais de *Eucalyptus* representam uma ótima alternativa para suprir a demanda por produtos madeireiros em um curto espaço de tempo. Contudo, devido ao rápido crescimento dessa cultura, surgiram especulações com relação ao aumento do consumo de água nessas áreas (NOSETTO et al., 2012), o que gerou uma grande demanda de pesquisas, para dar respaldo científico a esses questionamentos.

A produtividade de plantações de eucalipto é muito dependente de técnicas adequadas de manejo, do material genético e sua relação com o ambiente e da disponibilidade hídrica local (STAPE et al., 2010; SANTOS et al., 2015). No estado do Rio Grande do Sul (RS), as áreas destinadas ao florestamento com eucalipto, tem se expandido bastante na metade sul do estado, especificamente, no bioma Pampa. No entanto, essa região apresenta condições climáticas severas, com frios rigorosos, sendo comum a ocorrência de temperaturas negativas no inverno, com o agravante da queda abrupta de temperatura, onde as plantas não têm tempo necessário para a adequação fisiológica as amplitudes térmicas. Por esses motivos, poucas espécies do gênero *Eucalyptus* são indicadas para plantios nessas áreas (HIGA; PEREIRA, 2003).

Esse comportamento impulsionou as empresas florestais a buscarem alternativas a fim de selecionar espécies subtropicais que melhor se adaptam às características de solo e clima da região. Dentre as espécies que tem potencial para suportar esse estresse térmico está o *Eucalyptus dunnii* e o *Eucalyptus benthamii* (SANTOS et al., 2013). Essas duas espécies vêm sendo plantadas na região, nos últimos anos, após a ocorrência de temperaturas negativas (-8°C), que no ano de 2012 causaram grandes prejuízos para as empresas florestais. Porém, pouco se sabe sobre o comportamento dessas espécies em relação ao crescimento e uso de água na região.

Áreas florestais interceptam grande parte da água da chuva que atinge o dossel florestal (SAVENIJE, 2004), onde uma parte é devolvida para atmosfera por evaporação, e a outra fração, quando o volume de precipitação ultrapassa a capacidade de armazenamento de água pelo dossel, pode ser redistribuída por meio

da precipitação interna e do escoamento pelo tronco (CHANG, 2006). Uma parte da água da chuva que atinge o piso florestal também é interceptada e volta a atmosfera pelo processo de evaporação.

A percentagem de cada um desses componentes do ciclo hidrológico é muito dependente das características da vegetação (estrutura do dossel, diferentes espécies, idades das plantas, espaçamento de plantio) e das características dos eventos climáticos (duração, intensidade e frequência da precipitação) (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000; SHI et al., 2012). Desse modo, a interceptação pela vegetação (INT) influencia nos demais processos hidrológicos em bacias hidrográficas, como a infiltração, a erosão, o armazenamento de água no solo, o escoamento superficial e a vazão dos cursos d'água (TSIKO et al., 2012).

Neste contexto é necessário expandir o conhecimento da dinâmica dessas espécies sobre a interceptação vegetal (GIGLIO; KOBAYAMA, 2013). Com isso, será possível nortear alternativas de manejo que melhorem a sincronização entre a demanda de água das culturas e o suprimento de água do solo, o que vai auxiliar na manutenção da disponibilidade hídrica das microbacias hidrográficas na região, especialmente em épocas de falta prolongada de chuva (FERRAZ et al., 2013). Este estudo buscou compreender a partição da precipitação em três espécies de *Eucalyptus* jovens (*E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunni*; 2 aos 4,5 anos) e sua relação com o crescimento do caule (diâmetro a altura do peito, DAP), da altura total (Ht) e o índice de área foliar (IAF) na região do bioma Pampa.

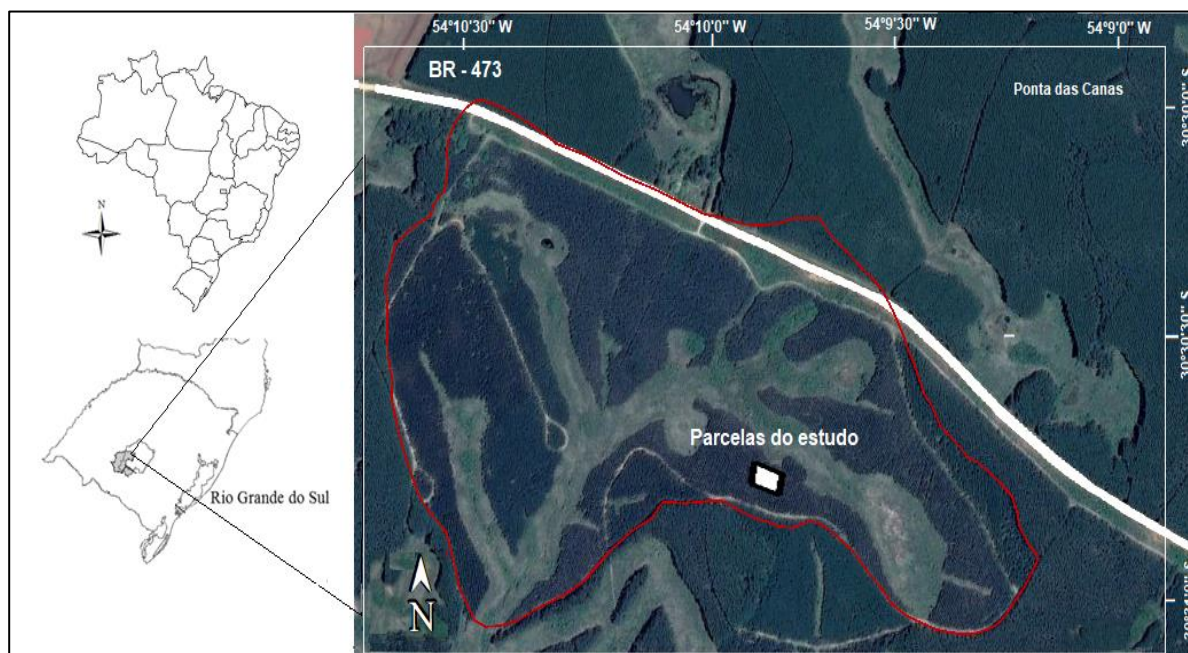
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido em uma área experimental do sistema de produção florestal com povoamentos de eucalipto para produção de celulose, no Horto Florestal Ponta das Canas, pertencente à empresa CMPC Celulose Riograndense.

A área está localizada no município de São Gabriel, região fisiográfica da Depressão Central e Campanha do estado do Rio Grande do Sul (RS), situada na latitude 30°30'22,1''S e longitude 54°10'09,1''W (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo: parcelas do experimento com os genótipos das espécies de eucalipto (*Eucalyptus benthamii*, *E. dunnii* e *E. saligna*) na bacia experimental do horto florestal Ponta das Canas, no município de São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido, com estações de verão e inverno bem definidas e precipitação anual de 1356 mm, bem distribuída ao longo do ano. Porém, nos últimos anos tem ocorrido mais seguidamente os fenômenos El Niño e La Niña, os quais provocam chuvas acima e abaixo do normal, respectivamente, para os meses de novembro, dezembro e janeiro. A temperatura média anual é de 19 °C, com temperaturas máxima e mínima média anual de 26 °C e 15 °C, respectivamente (ALVARES et al., 2013). Pode ter ocorrência de temperaturas negativas nos meses de inverno e temperaturas próximo a 40°C no verão. A altitude média do local é 270 metros, com relevo ondulado.

O solo da área do estudo é classificado como Neossolo Regolítico, com horizonte A (0-22 cm) de textura franco-arenosa muito cascalhenta e horizonte Cr (22-45+ cm) com textura franco argilo arenosa cascalhenta, conforme Tabela 1 (EMBRAPA, 2013).

Tabela 1 - Distribuição granulométrica, classe textural, classificação do teor de cascalho e densidade do solo na área com o plantio das três espécies de eucalipto, São Gabriel-RS.

| Camada cm | Cascalho % | Areia | | Silte g kg ⁻¹ | Argila ----- | Classe textural | Teor de cascalho | Ds* g cm ⁻³ |
|--------------|---------------|-----------------|------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|---------------------------|
| | | Grossa ----- | Fina | | | | | |
| 0 - 22 | 67,45 | 120 | 490 | 170 | 220 | Franco arenoso | Muito cascalhenta | 1,4 |
| 22 - 45+ | 47,2 | 60 | 290 | 220 | 430 | Franco argilo Arenoso | Cascalhenta | 1,3 |

*Ds= Densidade do solo

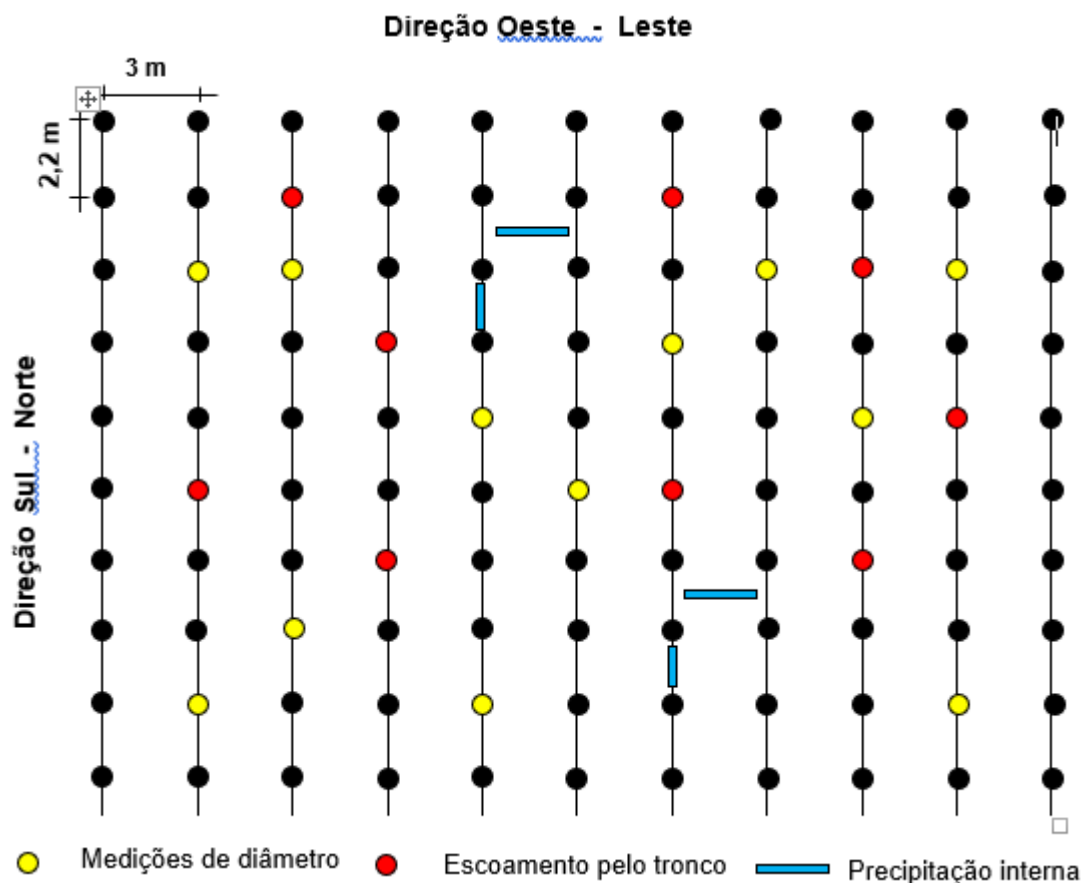
Fonte: Autor.

2.2 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O estudo foi conduzido em um experimento com três espécies comerciais de eucalipto (*Eucalyptus benthamii*, *E. dunnii* e *E. saligna*) plantados em maio de 2014. Parcelas com 660 m² (10 linhas e 10 plantas por linha) em espaçamento de 3,0 x 2,2 m, dos três materiais genéticos foram implantadas, totalizando 100 plantas em cada parcela para cada espécie avaliada (Figura 2).

Foram monitoradas a precipitação total (Pt), as variáveis de crescimento (altura total; Ht e diâmetro a altura do peito; DAP), o índice de área foliar (IAF) e a partição da precipitação (precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e interceptação pela serapilheira; Is) de março de 2016 a setembro de 2018.

Figura 2 - Croqui de uma das parcelas da área experimental com os genótipos das espécies de eucalipto (*Eucalyptus benthamii*, *E. dunnii* e *E. saligna*) na bacia experimental do horto florestal Ponta das Canas, no município de São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

2.3 PARTIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

2.3.1 Precipitação total (Pt)

Próximo à área experimental foram instalados quatro pluviômetros, para quantificação da precipitação total (Pt) em locais com menor ou nenhum efeito de interceptação pela vegetação. Cada pluviômetro, com área de captação de 0,0163 m², foi fixado em uma barra vertical, posicionado a 1,50 m de altura do solo e, posteriormente, nivelado.

Os pluviômetros foram acoplados individualmente a recipientes plásticos com capacidade para armazenar até 20 litros de água. Os dados foram coletados em intervalos quinzenais e integrados mensalmente por meio dos dados coletados em

pluviógrafos de balança (modelo CS700) instalado junto à seção de monitoramento pluviométrico, programados para o registro e armazenamento de dados em intervalos fixos de 10 minutos.

2.3.2 Precipitação interna (P_i)

A precipitação interna (P_i) é a quantidade de água da chuva que supera a capacidade de armazenamento do dossel (S_d) e goteja no piso florestal. A quantificação da P_i foi realizada em 4 coletores instalados em cada parcela (calhas lineares com dimensões de 10 cm de largura e 197 cm de comprimento) (Figura 3).

Esse método, de calhas, propicia uma maior área de amostragem que pluviômetros circulares. As calhas também diminuem o desvio padrão entre a P_i na linha e entre linha de plantio, principalmente em áreas de eucaliptos jovens onde ainda não tenha ocorrido o fechamento do dossel.

As calhas foram instaladas na linha e entrelinha de plantio (2 na linha e 2 na entrelinha), posicionadas a 0,50 m acima do solo, conectados a um recipiente plástico com capacidade para armazenar de 50 L de água. A P_i foi quantificada a cada 15 dias, ou quando ocorreram precipitações maiores que a S_d . Houve situações durante o período de monitoramento em que em no intervalo entre as medições ocorreu mais de um evento de precipitação.

A precipitação interna (mm) foi determinada a partir da razão entre o volume de água acumulado na calha (L) e áreas de captação de cada calha (m^2).

Figura 3 - Calhas lineares para a quantificação da precipitação interna na linha e entrelinha de plantio na parcela com a espécie *Eucalyptus saligna* jovem, São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

2.3.3 Escoamento pelo tronco (Et)

A água que escoar pelo tronco e atingir o solo (Et) foi quantificada juntamente com a Pi e nas mesmas parcelas onde a Pi foi monitorada.

Para isso, em cada parcela da área experimental foi realizado um inventário para selecionar nove árvores representativas da parcela. Posteriormente, as árvores selecionadas foram agrupadas em três repetições, em que cada repetição foi formada por três árvores com diferentes diâmetros (diâmetro médio, diâmetro médio mais o desvio padrão e diâmetro médio menos o desvio padrão).

A água que escoar pelo tronco foi coletada a partir de canaletas coletoras, confeccionadas com manta asfáltica. As canaletas foram fixadas no tronco das árvores com espuma de poliuretano em forma de espiral, iniciando a 1,3 m de altura em relação ao solo. Na extremidade inferior, as canaletas foram conectadas por meio de uma mangueira plástica a um recipiente com capacidade para armazenar até 40 L de água (Figura 4). O Et (mm) foi determinado pela razão entre o volume de água escoado pelo tronco (L) e a área de projeção da copa de cada árvore (m²).

Figura 4 - Canaletas coletoras na forma de espiral para a quantificação do volume de água que escoa pelo tronco das árvores, São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

2.3.4 Intercepção pela serapilheira (Is)

A intercepção da água da chuva pela serapilheira (Is) foi determinada a partir da capacidade de retenção de água pela serapilheira (CRAS) (adaptado de Sacramento Neto, 2001). Essa metodologia foi utilizada devido à pouca quantidade de serapilheira depositada sobre o solo e também, porque as árvores não proporcionaram o fechamento do dossel, até o início do estudo.

Para obtenção da CRAS, áreas com serapilheira foram molhadas, abundantemente, no período da manhã, e cobertas com plástico para evitar a evaporação enquanto a água drena. Após cessada a drenagem, amostras de serapilheira (6 repetições) foram coletadas com o auxílio de uma moldura de madeira, medindo 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²), tomando-se o cuidado de evitar a coleta de solo juntamente com a serapilheira.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos fechados para evitar perda de umidade e foram levadas para o laboratório, pesadas e secas em estufa a

65°C, por 96 horas. A CRAS foi obtida pela diferença entre a massa úmida e a massa seca da amostra.

A CRAS foi quantificada a cada três meses, para abranger período chuvosos e secos, e períodos de desfolhamento e renovação da casca das árvores. Também foi realizado o acompanhamento da umidade residual da serapilheira (URS) após eventos de chuva, para obtenção da variação de umidade da mesma. A determinação da URS foi realizada da mesma forma descrita anteriormente para a determinação da CRAS.

A I_s foi considerada zero para eventos em que a P_t foi menor ou igual a capacidade de armazenamento de água no dossel (S_d). A S_d foi obtida mediante a observação de três eventos de chuva, a partir do acompanhamento simultâneo da P_i e P_t registrada pelo pluviógrafo próximo à área. A I_s foi determinada em cada evento de chuva que promovesse precipitação maior que a S_d pela diferença entre a CRAS e a URS.

3.2.5 Interceptação vegetal (INT)

A interceptação total da água da chuva pela vegetação (INT) foi determinada pelas Equações 01 e 02:

$$INT = P_t - P_e \quad (\text{Equação 01})$$

$$P_e = (P_i + E_t) - I_s \quad (\text{Equação 02})$$

Onde: INT = interceptação total proporcionada pela vegetação (mm); P_t = precipitação total (mm); P_e = precipitação efetiva (mm); P_i = precipitação interna (mm); E_t = escoamento pelo tronco (mm) e I_s = interceptação pela serapilheira (mm).

2.4 ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

O Índice de Área Foliar (IAF) foi estimado de forma não destrutiva com o analisador de dossel LAI-2200 plant canopy analyzer (LI-COR, Biosciences, USA). Os dados foram coletados pela empresa CMPC Celulose Riograndense e disponibilizados para este estudo.

As estimativas foram realizadas ao amanhecer, pôr do sol ou em períodos do dia com alta incidência de cobertura de nuvens, a cada três meses, para explorar

diferenças fenológicas atuantes sobre os valores de IAF em diferentes épocas do ano. As leituras com o LAI-2200 foram obtidas por caminhamento na forma de “X”, coletando pontos nas linhas e entrelinhas de plantio. Para cada área, foram realizadas 10 leituras consecutivas abaixo do dossel, em quatro repetições.

2.5 CRESCIMENTO EM DIÂMETRO (DAP) E ALTURA TOTAL (Ht)

Os dados de crescimento do diâmetro à altura o peito (DAP) e de altura total (Ht) foram coletados nas parcelas experimentais do horto florestal Ponta das Canas pela empresa CMPC Celulose Riograndense. As coletas de dados de DAP (com hipsômetro) e Ht (fita métrica) foram realizadas em nível de cada indivíduo das três espécies (*Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*). As coletas foram realizadas em: abril de 2016, agosto de 2016, agosto de 2017, novembro de 2017, março de 2018 e junho de 2018, quando as plantas apresentavam 23, 27, 38, 41, 45 e 48 meses de idade, respectivamente.

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados avaliados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e de normalidade das variâncias. Foi realizado a análise de variâncias (ANOVA) dos dados de interceptação vegetal, índice de área foliar e das variáveis de crescimento (DAP e altura), considerando o delineamento inteiramente casualizado, através do software *Free Statistical software, SAS® University Edition*. Quando a análise de variância indicou diferença significativa ($p < 0,05$), foi realizada o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS

3.1 PRECIPITAÇÃO TOTAL (Pt)

A precipitação total (Pt) que ocorreu durante o período do estudo (março de 2016 a setembro de 2018) foi de 5091,1 mm, o que correspondeu a 33,4% maior que a média histórica para esse período, segundo as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2009).

Os meses com maior volume de Pt foram abril e outubro de 2016. Já os meses com menor Pt foram novembro e dezembro de 2017 (Figura 5).

3.2 PRECIPITAÇÃO INTERNA (Pi)

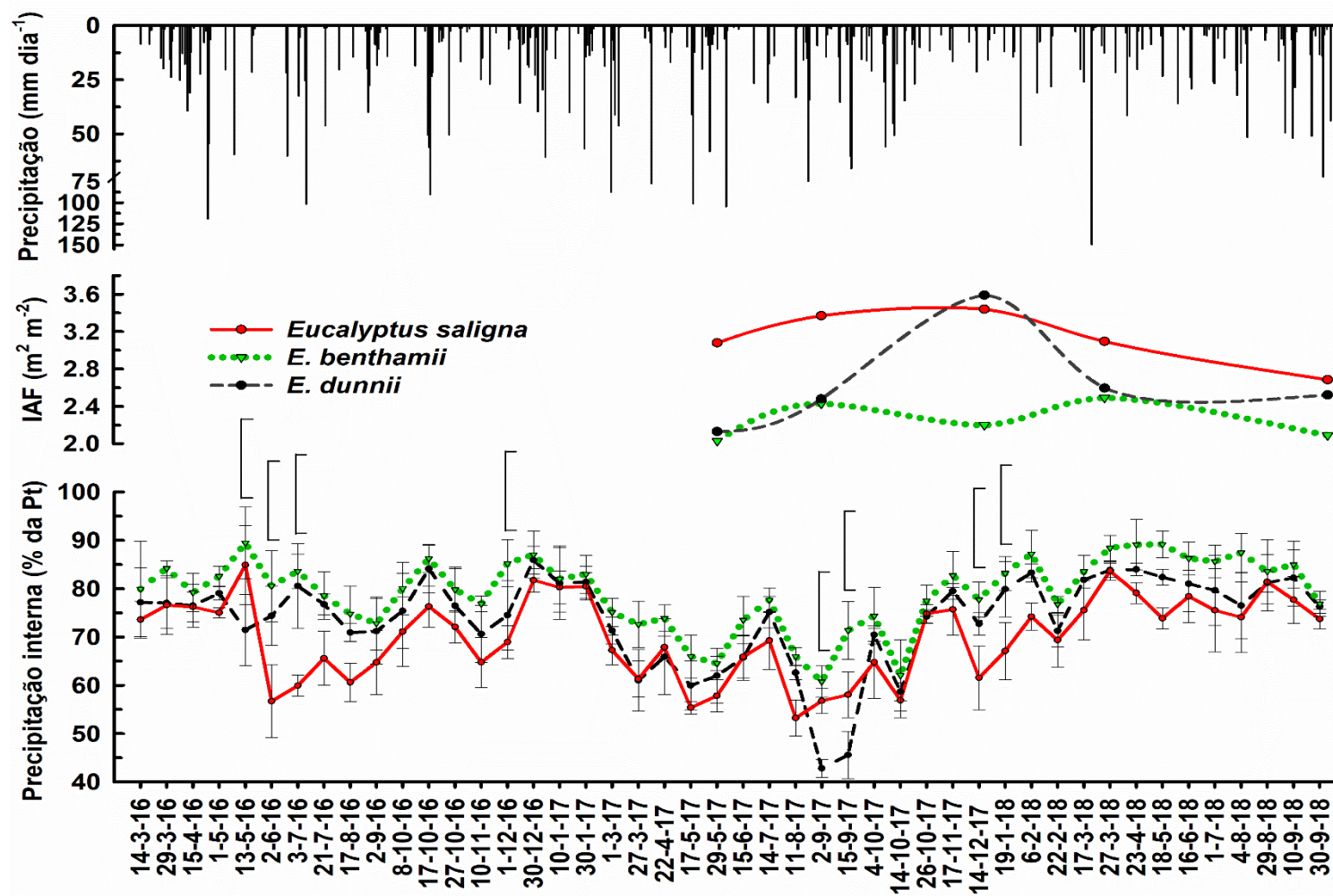
As médias de precipitação interna (Pi) (% da Pi em relação a Pt) foram significativamente ($p < 0,05$) maiores na área sob *Eucalyptus benthamii* em relação as áreas sob *E. dunnii* e *E. saligna*, em algumas coletas durante o período do estudo (Figura 5).

A Pi média observada dos 22 aos 36 meses foi de 79,0; 74,1 e 69,0% da Pt para as espécies *E. benthamii*; *E. dunnii* e *E. saligna*, respectivamente. Quando as plantas tinham entre 36 e 48 meses de idade a Pi média foi de 77,7; 71,4 e 68,2% da Pt nas espécies *E. benthamii* *E. dunnii* e *E. saligna*, respectivamente e quando as espécies estavam com idades entre 48 e 52 meses a Pi média foi de 84,1; 79,5 e 76,8% da Pt nas espécies *E. benthamii* e *E. dunnii* e *E. saligna*, respectivamente.

A correlação de Pearson indicou não haver correlação linear entre a Pi e o índice de área foliar (IAF). Contudo, o *E. benthamii*, o qual apresentou menor IAF, foi o que teve maior Pi e o *E. saligna* que teve maior IAF, foi o que teve menor Pi (Figura 5). Além disso, foi observado que no *E. dunnii*, o qual teve a maior variação de IAF, também foi a espécie com maior amplitude na Pi (42,8 a 85,9% da Pt). Já no *E. saligna* a Pi variou entre 53,2 e 83,7% da Pt e no *E. benthamii* a Pi variou entre 60,7 e 89,7% da Pt, respectivamente (Figura 5). As menores médias de Pi, observadas durante o estudo ocorreram no *E. saligna*, com exceção ao período entre 2 a 15 de setembro de 2017, onde foram observadas no *E. dunnii*, valores de Pi muito baixos (<45% da Pt) (Figura 5). Os valores não foram descartados como erro visto que não foi verificado em campo nenhum indício de mal funcionamento dos coletores.

A menor Pi (70% da Pt) na área com *E. benthamii* ocorreu em maio e agosto de 2017 quando as plantas estavam com 36 e 39 meses de idade, respectivamente (Figura 5). Na área com *E. dunnii*, os meses com menores Pi foram observados em maio de 2017 (55% da Pt) e setembro de 2017 (45% da Pt), período que as plantas tinham entre 36 e 42 meses de idade, respectivamente (Figura 5). Já na área com *E. saligna* os meses com menor Pi (60% da Pt) foram junho de 2016 e maio e setembro de 2017, esses períodos coincidiram com os 25, 36 e 42 meses de idade das plantas, respectivamente (Figura 5).

Figura 5 - Precipitação total (Pt), índice de área foliar (IAF) e precipitação interna (Pi) na área de estudo no período de março de 2016 a setembro de 2018, São Gabriel-RS. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

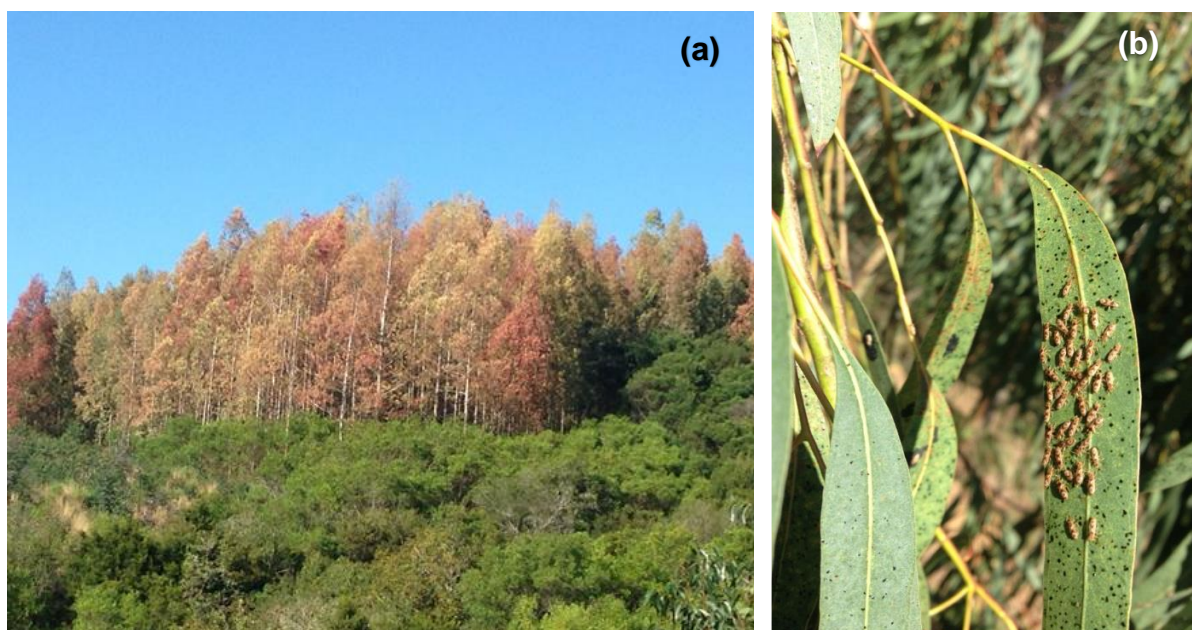


Fonte: Autor.

Também foi observado em todas as espécies maiores percentuais de Pi em eventos com grande volume de chuvas (Figura 5), a exemplo dos eventos observados nos meses de julho e outubro de 2016 e julho de 2017. Todas as espécies apresentaram alto percentual de Pi nos meses de março a julho de 2018. Adicionalmente, as espécies *E. benthamii* e *E. saligna* apresentaram percentuais elevados de Pi em maio de 2016 (24 meses após o plantio) e a espécie *E. dunnii* apresentou valores elevados de Pi em junho de 2016 e janeiro de 2017 (aos 25 e 32 meses de idade).

No período entre novembro de 2017 e fevereiro de 2018 ocorreram baixas precipitações na área de estudo, esse fato causou déficit hídrico do solo da área do estudo, o que propiciou maior desfolhamento das árvores e redução do IAF, por isso, a partir de março de 2018 foi observado um aumento da Pi em todas as espécies do estudo (Figura 7). Esse aumento na Pi também foi influenciado pela infestação do inseto *Thaumastocoris peregrinus* (percevejo bronzeado) na área de estudo (Figura 6).

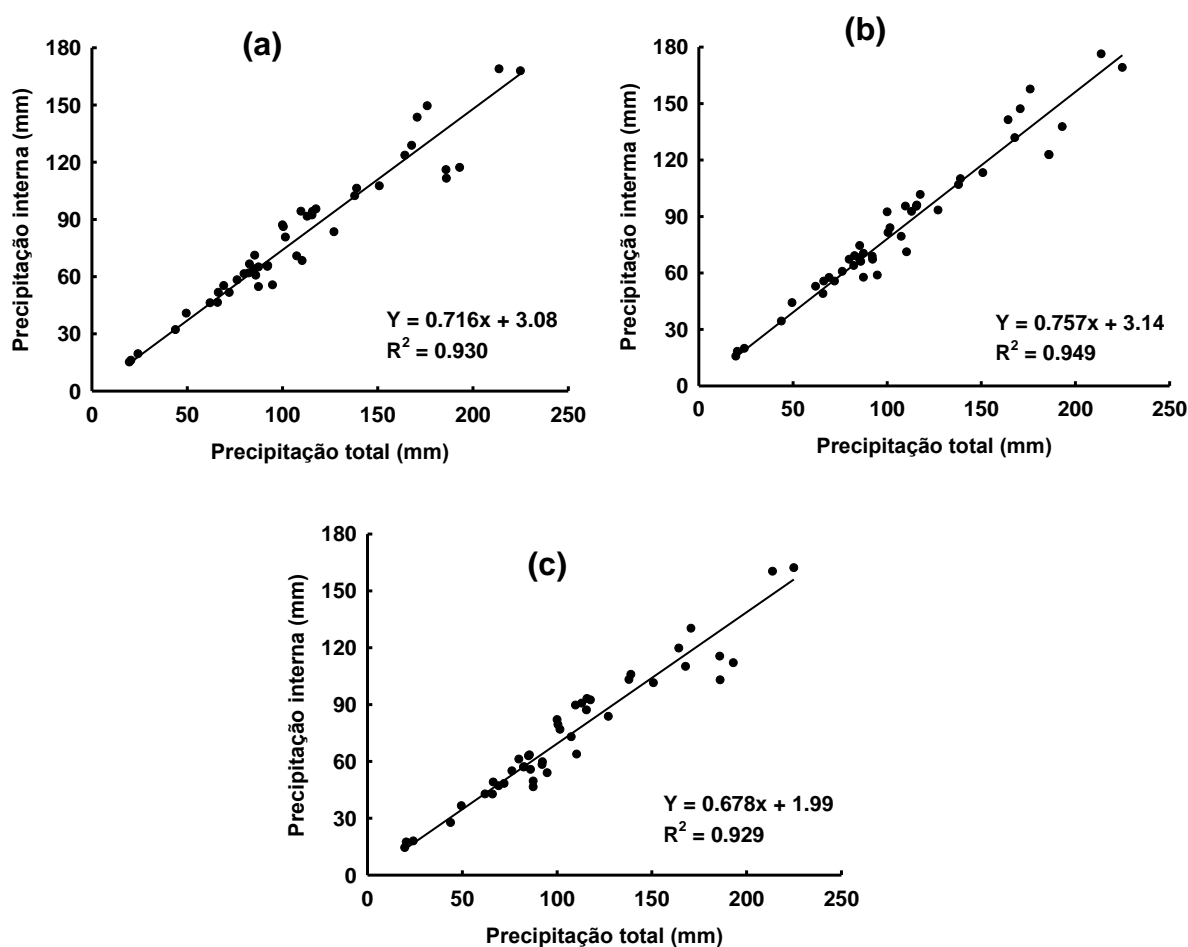
Figura 6 - Injuria causada pela espécie *Thaumastocoris peregrinus* (percevejo bronzeado) na copa das árvores da espécie *Eucalyptus benthamii* na área do estudo (a) e insetos adultos de *T. peregrinos* sobre as folhas de *E. benthamii* (b), São Gabriel-RS.



Autor: Autor.

A infestação pelo percevejo bronzeado causou desfolhamento das árvores, principalmente no *E. benthamii*, que foi mais afetado pelo ataque dessa “praga” (Figura 6). Com isso, a Pi na área com *E. benthamii*, aumentou muito a partir de abril de 2018, permanecendo alta até o início de setembro de 2018. Nas outras duas espécies (*E. dunnii* e *E. saligna*) a Pi também aumentou, mas em menor proporção e persistiu até maio de 2018 (Figura 7). Verifica-se, pela observação da Figura 7, que os valores médios de (Pi mm) aumentam proporcionalmente com o aumento da quantidade da Pt (mm), nas três espécies. O modelo ajustado apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0.95, 0.93 e 0.93 para as espécies *E. benthamii*, *E. saligna* e *E. dunnii*, respectivamente (Figura 7). Esse resultado era esperado, pela uniformidade do plantio em florestas plantadas com plantas de mesmo material genético, plantadas em espaçamentos iguais.

Figura 7 – Regressão entre a precipitação interna (mm; % da Pt) e precipitação total (mm) na área sob *Eucalyptus dunnii* (a), *E. benthamii* (b) e *E. saligna* (c), São Gabriel-RS.



3.3 ESCOAMENTO PELO TRONCO (Et)

O escoamento pelo tronco (Et) foi significativamente ($p < 0,05$) maior na área sob *E. saligna* em relação as áreas com *E. dunnii* e *E. benthamii*, na maior parte do estudo (Figura 8). No início do estudo, entre março e novembro de 2016, quando as plantas estavam com idades entre 22 e 30 meses, o Et na área sob a espécie *E. saligna* foi muito superior ao registrado nas áreas sob *E. dunnii* e *E. benthamii*.

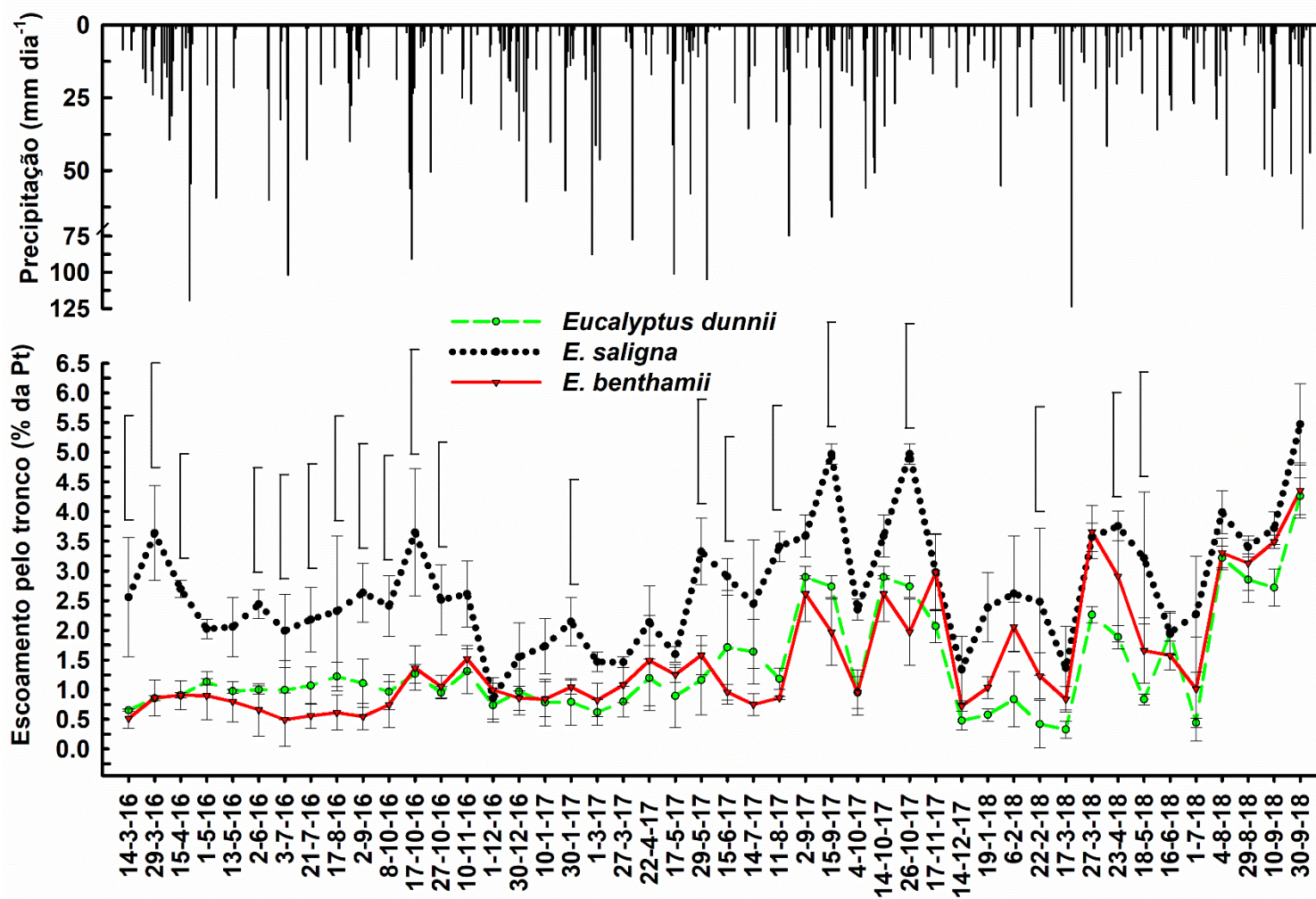
A partir de dezembro de 2016, o Et diminuiu no *E. saligna*, mas ainda permaneceu maior que nas outras espécies, até o termino do estudo (Figura 8).

O Et no *E. dunnii* e *E. benthamii*, permaneceu baixo durante o primeiro ano do estudo, e variou de 0,5% a 1,3% da Pt, não sendo influenciado por eventos com grande volume de precipitação (Figura 8). Isso pode ser verificado pelo baixo coeficiente de determinação obtido na relação entre o Et e a Pt nessas espécies (Figura 9a, b).

As espécies *E. dunnii* e *E. benthamii* tiveram alteração de Et ao longo de todo o período do estudo. No período de março a setembro de 2016 o Et foi maior na espécie *E. dunnii* e no período de outubro de 2016 a outubro de 2017, não foi observado diferença no Et entre as espécies. Porém, a partir de novembro de 2017 até setembro de 2018 o Et foi maior no *E. benthamii* (Figura 8). Esses períodos coincidiram com as idades entre 22 e 28, 29 e 41 e 42 e 52 meses de idade das plantas, respectivamente.

Os maiores percentuais de Et (5% da Pt) na área sob *E. saligna* ocorreram nas coletas do dia 15/09/2017, 26/10/2017 ($p < 0,05$) e 30/09/2018 e na área sob as espécies *E. dunnii* e *E. benthamii*, os maiores percentuais (3,6% da Pt) ocorreram no dia 27/03/2018 e 30/09/2018 (Figura 8).

Figura 8 - Precipitação total (Pt) e escoamento pelo tronco (Et) na área de estudo no período de março de 2016 a setembro de 2018, São Gabriel-RS. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

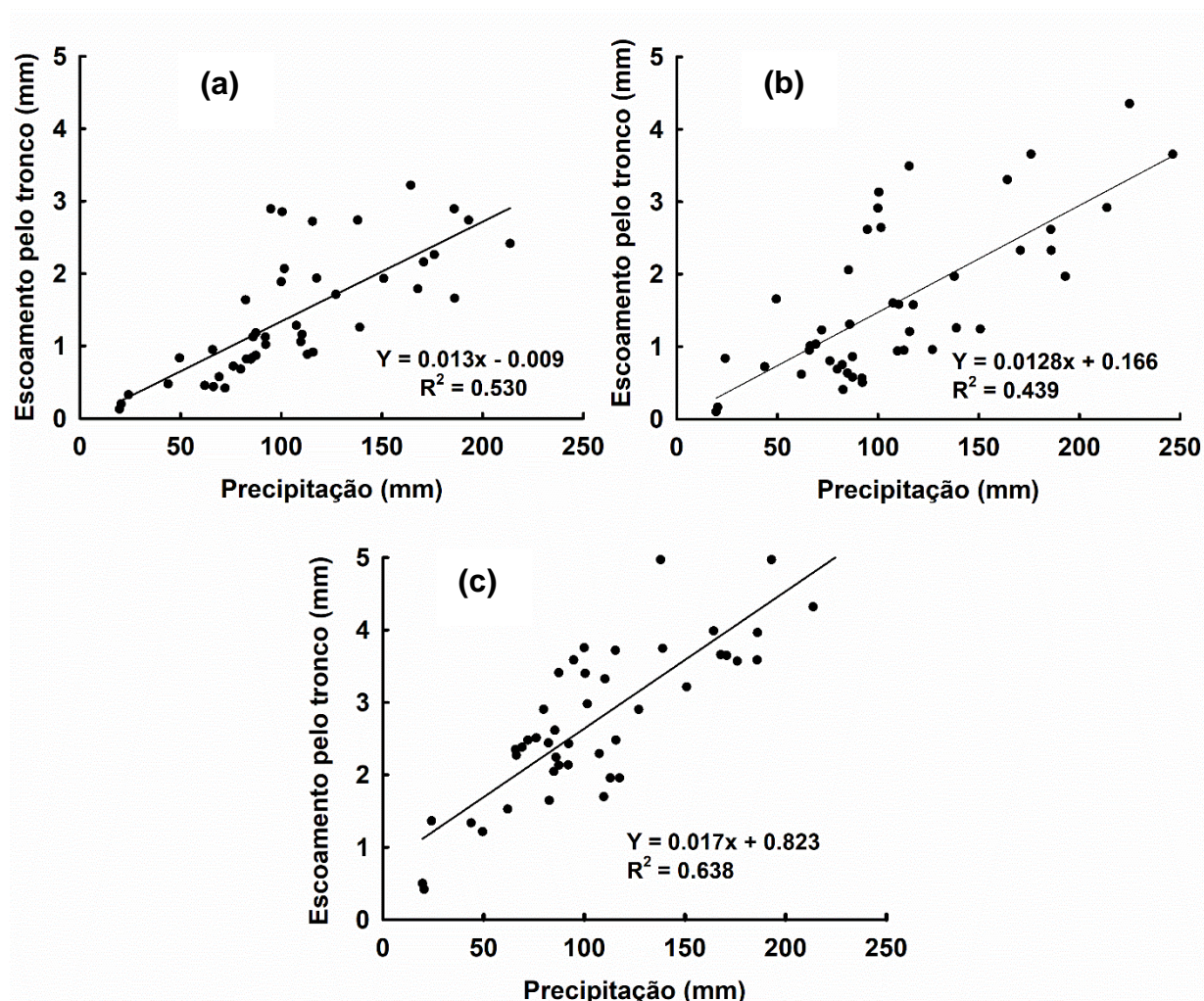


Fonte: Autor.

Na espécie *E. dunnii*, o menor Et (0,8% da Pt) foi observado no período de dezembro de 2017 a março de 2018, já no *E. benthamii* os menores percentuais (0,8% da Pt) foram verificados de maio a setembro de 2016 e na espécie *E. saligna* o menor Et (2,25% da Pt) ocorreu de janeiro a maio de 2017 (Figuras 8).

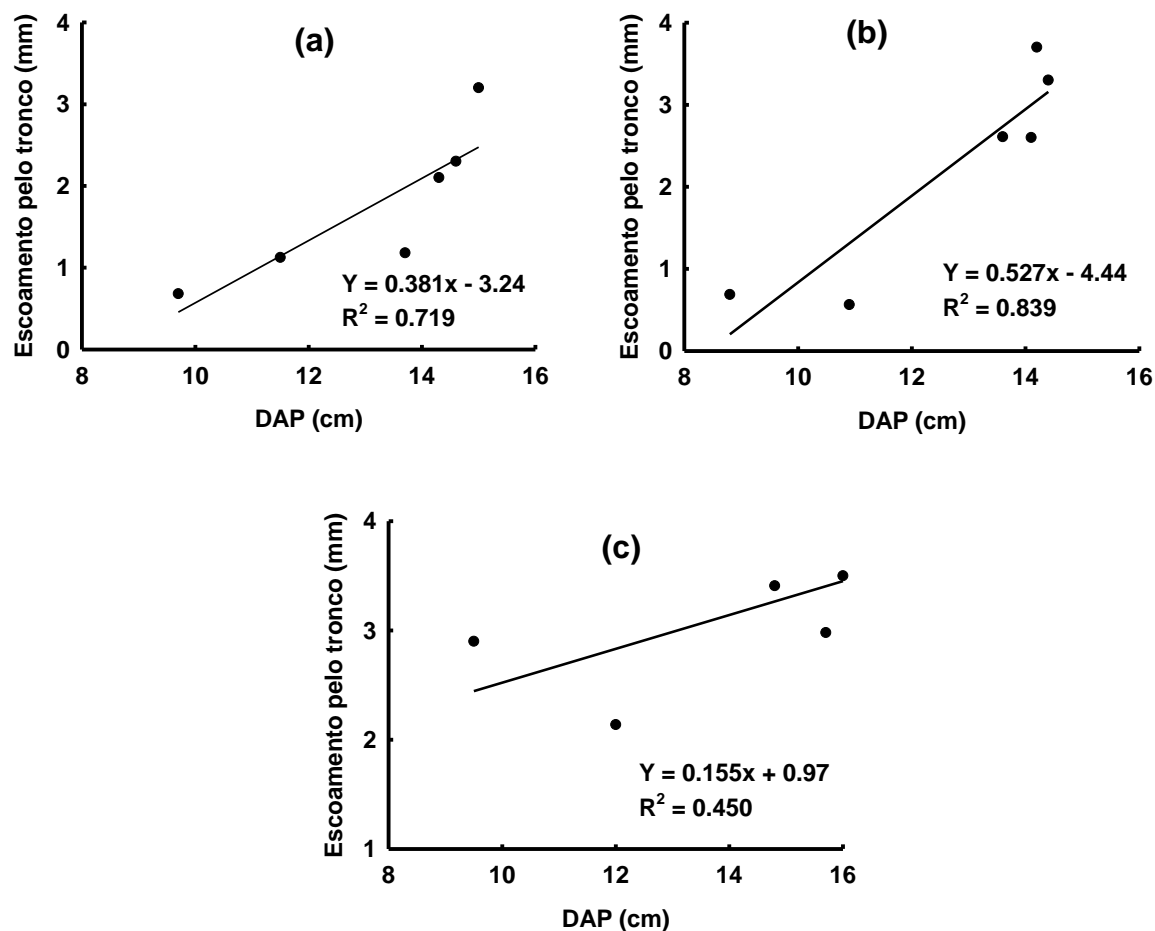
O *E. benthamii* e o *E. dunnii* tiveram maior relação do Et com o incremento do diâmetro a altura do peito (DAP) das árvores, e o *E. saligna* teve maior relação do Et com a Pt (Figuras 9 e 10).

Figura 9 - Regressão do escoamento pelo tronco (Et) em função da precipitação total (Pt) na área com *Eucalyptus dunnii* (a), *E. benthamii* (b) e *E. saligna* (c), São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

Figura 10 - Regressão do escoamento pelo tronco (Et) em função do diâmetro a altura do peito (DAP) na área com *Eucalyptus dunnii* (a), *E. benthamii* (b) e *E. saligna* (c), São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

3.4 INTERCEPTAÇÃO PELA SERAPILHEIRA (Is)

A interceptação pela serapilheira (Is) (% da Is em relação a Pt) foi significativamente ($p < 0,05$) maior em algumas coletas na área sob a espécie *E. saligna* em relação as áreas com as outras espécies (Figuras 11).

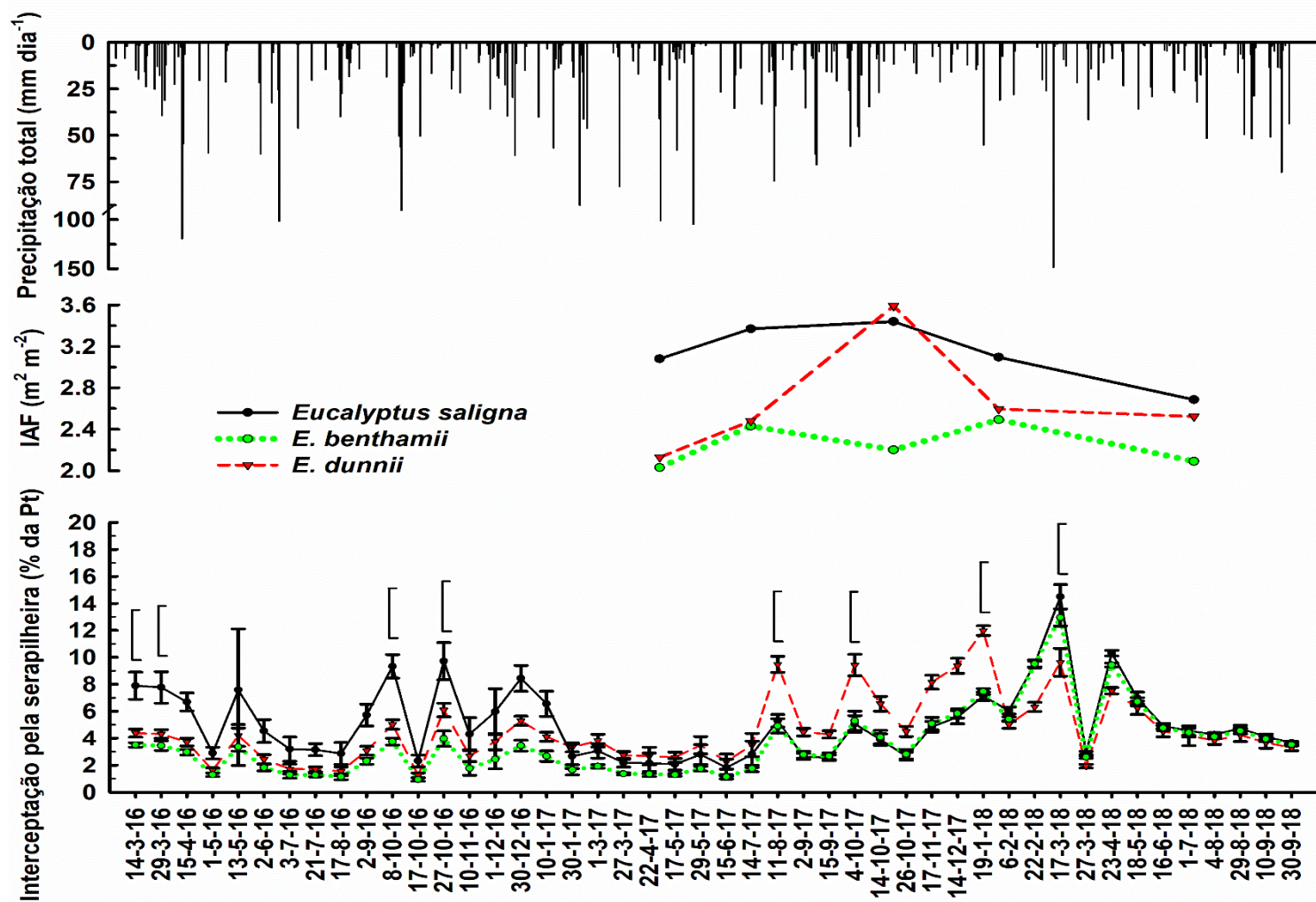
No primeiro ano de estudo quando as plantas estavam com idades entre 22 e 32 meses, a Is foi maior na área sob a espécie *E. saligna* em relação as demais espécies. No período entre fevereiro de 2017 a janeiro de 2018 a Is foi maior no *E. dunnii* e a partir de fevereiro de 2018 até setembro de 2018 a Is foi similar entre as espécies (Figura 11).

A Is média observada dos 22 aos 36 meses das plantas foi de 3,3; 4,9 e 2,2% da Pt para as espécies *E. dunnii*, *E. saligna* e *E. benthamii*, respectivamente. No segundo ano de estudo, quando as plantas tinham entre 36 e 48 meses de idade a Is média foi de 6,5; 5,5 e 5,3 % da Pt em *E. dunnii*, *E. saligna* e *E. benthamii*, respectivamente e quando as plantas estavam com idades entre 48 e 52 meses a Is média foi de 3,9; 4,4 e 4,2 % da Pt nas áreas com *E. dunnii*, *E. saligna* e *E. benthamii*, respectivamente (Figura 11).

As menores e maiores medias de Is em todas as espécies foram observadas em períodos muito próximos influenciadas principalmente pela Pt. Onde as menores médias de Is ocorreram nas coletas dos dias 17/10/2016 (1% da Pt) e no dia 27/03/2018 (2,5 % da Pt) e os maiores percentuais de Is foram observados nas coletas dos dias 27/10/2016 (9,6%) e 17/03/2018 (14,2%) (Figura 11).

A Is aumentou nas três espécies de estudo, com exceção a coleta do dia 27/03/2018, no período de novembro de 2017 a maio de 2018 influenciado pelo desfolhamento ocorrido na área devido à baixa Pt ocorrida nesses meses e a injúria causada pelo *Thaumastocoris peregrinus* (percevejo bronzeado; Figura 11).

Figura 11 - Precipitação total (Pt), índice de área foliar (IAF) e interceptação pela serapilheira (Is) nas espécies *Eucalyptus saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii* no período de março de 2016 a setembro 2018, São Gabriel-RS. As barras verticais indicam a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Autor.

3.5 INTERCEPTAÇÃO TOTAL PELA VEGETAÇÃO (INT)

A interceptação vegetal (INT) foi influenciada pelo estágio de desenvolvimento das plantas e pelas diferentes espécies do estudo (Figura 12).

No primeiro ano do estudo (março de 2016 a março de 2017) as médias de INT foram maiores na espécie *E. saligna* em relação as espécies *E. dunnii* e *E. benthamii*. As médias de INT nesse período foram de 31,5; 26,2 e 20,8% de INT em relação a Pt. Isso significa que quando ocorreu precipitações na área, o solo da área sob a espécie *E. benthamii* recebeu mais de 10% da Pt em relação ao solo sob a espécie *E. saligna*.

Não houve correlação significativa ($p < 0,05$) entre o IAF e INT, possivelmente devido as diferentes escalas temporais que são tomadas as medidas das mesmas e a grande diferença entre as características dos eventos de precipitação ocorrido no período de estudo. Porém, visualmente é possível perceber que as médias de INT tiveram influência da variação do IAF no período, principalmente na espécie *E. dunnii* (Figura 12).

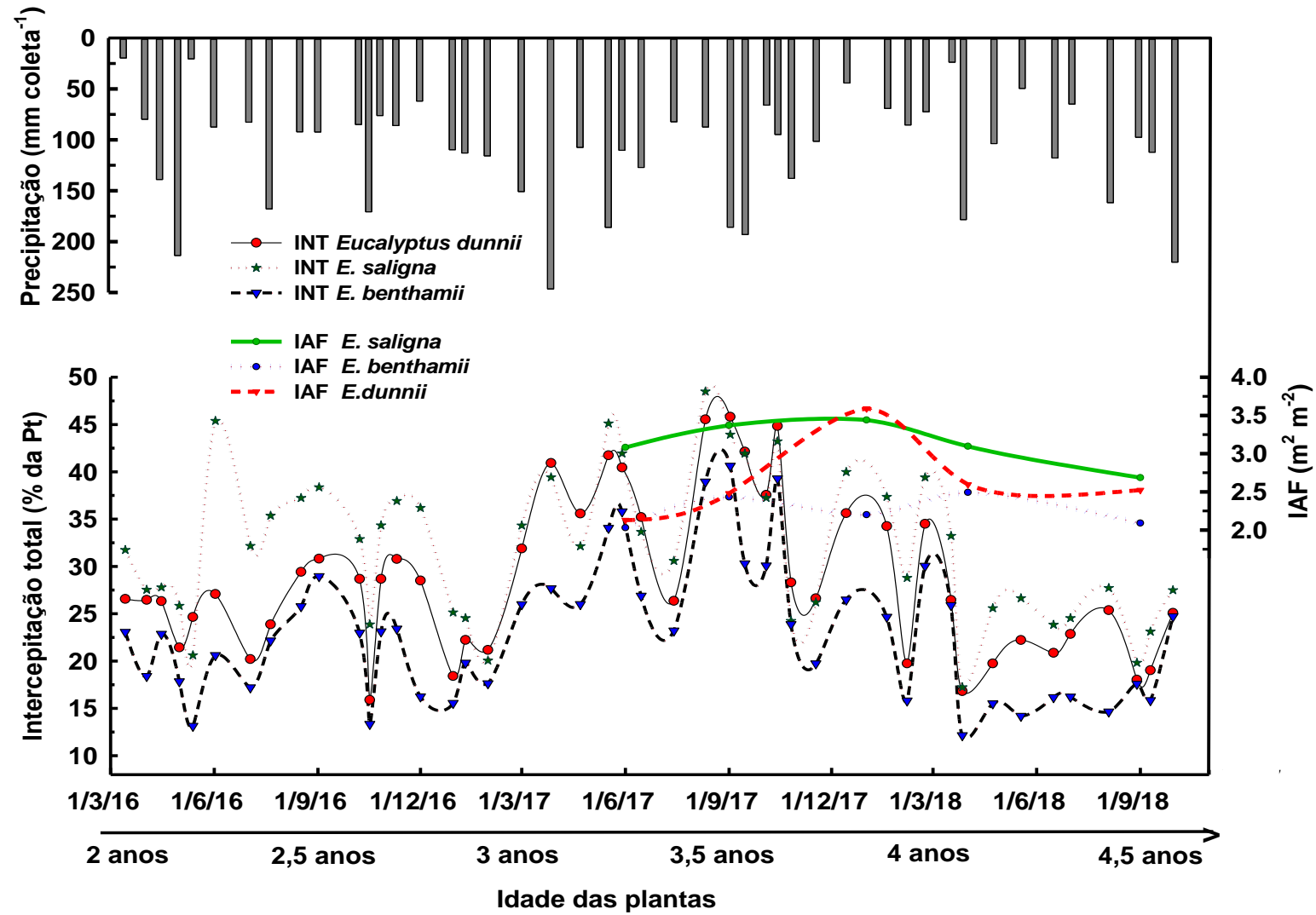
Isso pode ser observado por que partir de abril de 2017, ocorreu aumento da INT e do IAF nessa espécie e a partir desse mês as médias de INT no *E. dunnii* foram similares as médias de INT do *E. saligna* até setembro de 2018 (Figura 12).

O período com maior INT (% da INT em relação a Pt) ocorreu de março de 2017 a março de 2018, onde foi observado a média de 37,3, 36,3 e 29,4 % de INT nas espécies *E. saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii*, respectivamente, nesse período as plantas estavam com idades entre 3 e 4 anos (Figura 12).

Foi observado decréscimo da INT entre os meses de abril e agosto de 2018 influenciado pela redução de IAF causado pelo desfolhamento das árvores citados anteriormente. Essa redução da INT foi mais pronunciada no *E. benthamii* que passou a ter média de INT de 15,3 % da Pt, já as espécies *E. saligna* e *E. dunnii* a média de INT nesse período foi de 23,6 e 20,6 % da Pt, respectivamente (Figura 12).

As três espécies não apresentaram diferença significativa em relação a altura total (Ht). Logo, a menor INT na espécie *E. benthamii* significa um ganho ambiental, pois ao mesmo tempo em que proporcionou menor perda de água por INT, teve crescimento em Ht estatisticamente igual as outras espécies.

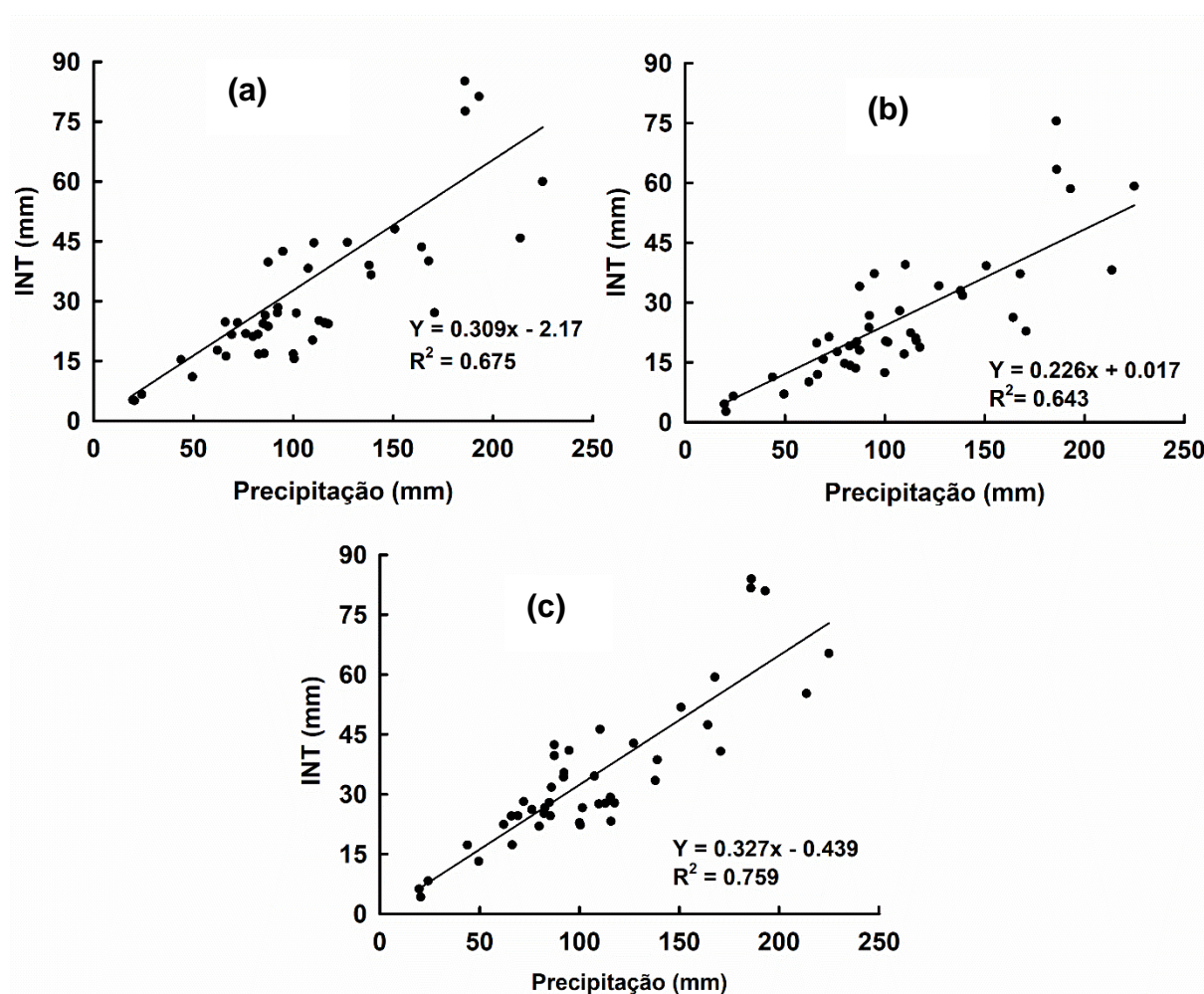
Figura 12 - Precipitação total (Pt), índice de área foliar (IAF) e interceptação total pela vegetação (INT) nas espécies *Eucalyptus saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii* no período de março de 2016 a setembro de 2018, São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

A relação da INT com a Pt não foi alta nas três espécies (Figura 13). Isso indica que a INT depende de outras variáveis, como a chuva antecedente, a intensidade da chuva e a sazonalidade. A maior relação foi verificada na espécie *E. saligna* com R^2 de 0.76 (Figura 13c).

Figura 13 - Relação entre a interceptação total pela vegetação (INT) e a precipitação total (Pt) na área com *Eucalyptus dunni* (a), *E. benthamii* (b) e *E. saligna* (c), São Gabriel-RS.



Fonte: Autor.

3.6 CRESCIMENTO, INDICADORES BIOFÍSICOS E BIOMASSA

Dentre as variáveis de crescimento, apenas o DAP teve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as espécies de estudo (Tabela 2). A maior diferença ocorreu entre as espécies *E. saligna* e *E. benthamii*, especialmente no período entre novembro de 2017 e junho de 2018. Esse fato ocorreu devido à escassez de chuva no período entre

novembro a março de 2018, onde foi observado a reduziu o crescimento das plantas, principalmente do DAP.

Essa redução foi mais acentuada na espécie *E. benthamii*, onde de novembro a junho de 2018 aumentou apenas 0,3 cm de DAP, já as espécies *E. dunnii* e *E. benthamii* tiveram incremento de 0,7 e 0,8 cm de DAP neste período, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2 - Médias da altura total (Ht), diâmetro a altura do peito (DAP) e índice de área foliar (IAF), obtidos em plantações de *Eucalyptus saligna*, *E. dunnii* e *E. benthamii* em diferentes idades, São Gabriel-RS.

| mês/ano | Idade (meses) | Espécies | | |
|---|------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| | | <i>Eucalyptus saligna</i> | <i>E. dunnii</i> | <i>E. benthamii</i> |
| Altura total (m) | | | | |
| Abr/16 | 23 | 10.0 (± 0.4) a | 9.8 (± 1.0) a | 9.8 (± 1.1) a |
| Ago/16 | 29 | 12.7 (± 0.5) a | 12.6 (± 1.2) a | 12.3 (± 1.2) a |
| Ago/17 | 39 | 16.5 (± 0.7) a | 16.5 (± 1.4) a | 16.5 (± 1.5) a |
| Nov/17 | 42 | 17.9 (± 0.7) a | 18.0 (± 1.6) a | 17.5 (± 1.5) a |
| Mar/18 | 46 | 19.4 (± 0.9) a | 19.9 (± 1.7) a | 18.3 (± 1.8) a |
| Jun/18 | 49 | 19.9 (± 0.9) a | 20.1 (± 1.7) a | 19.2 (± 1.0) a |
| DAP (cm) | | | | |
| Abr/16 | 23 | 9.5 (± 0.6) a | 9.7 (± 1.3) a | 8.8 (± 1.2) b |
| Ago/16 | 29 | 12.0 (± 0.7) a | 11.5 (± 1.6) a | 10.9 (± 1.5) b |
| Ago/17 | 39 | 14.8 (± 1.0) a | 13.7 (± 2.1) b | 13.6 (± 2.1) b |
| Nov/17 | 42 | 15.7 (± 1.2) a | 14.3 (± 2.3) b | 14.1 (± 2.2) b |
| Mar/18 | 46 | 16.0 (± 1.2) a | 14.6 (± 2.4) b | 14.2 (± 2.3) b |
| Jun/18 | 49 | 16.5 (± 1.3) a | 15.0 (± 2.5) b | 14.4 (± 2.3) b |
| IAF (m² m⁻²) | | | | |
| Jun/17 | 37 | 3,08 (± 0,32) a,A | 2,13b (± 0,37) b,B | 2.03 (± 0.42) b,A |
| Set/17 | 40 | 3,37(± 0,32) a,A | 2,48 (± 0,13) b,B | 2.43 (± 0.14) b,A |
| Jan/18 | 43 | 3,44 (± 0,35) a,A | 3,59 (± 0,18) a,A | 2,20 (± 0.30) b,A |
| Abr/18 | 47 | 3,09 (± 0,10) a,A | 2,59 (± 0,22) b,B | 2,49 (± 0.19) b,A |
| Ago/18 | 51 | 2,68 (± 0,32) a,B | 2,52 (± 0,13) ab,B | 2,09 (± 0.16) bc,A |

Médias seguidas de mesma letra na linha (minúscula) e na coluna (maiúscula) não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Autor.

4 DISCUSSÃO

4.1 PRECIPITAÇÃO TOTAL (Pt)

A precipitação total (Pt) foi 33,4% maior que a média histórica esperada para o período do estudo, segundo as normais climatológicas da região (INMET, 2009). Essa maior Pt, ocorreu principalmente no primeiro ano do estudo entre março de 2016 e fevereiro de 2017, influenciada pela ocorrência do fenômeno climático El Niño no ano de 2016. Esse maior volume de Pt, no primeiro ano do estudo, refletiu na menor perda percentual de água por interceptação vegetal (INT). Além disso, contribuiu para aumentar as taxas de crescimento das árvores devido a melhor disponibilidade hídrica para as plantas (ALMEIDA et al., 2007).

4.2 PARTICIONAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

O *E. benthamii* teve as menores percentagens de INT em relação ao *E. dunnii* e ao *E. saligna*. Esse resultado foi influenciado pela menor capacidade de armazenamento de água no dossel dessa espécie em relação as outras espécies. Esse resultado era esperado porque essa espécie teve menor índice de área foliar (IAF) durante todo o período do estudo (CROCKFORD; RICHARDSON, 2000).

Outro fator que contribuiu para a menor INT na espécie *E. benthamii*, foi o formato da copa, em que as folhas dela apresentam maior ângulo de inclinação com o solo em relação às outras espécies (folhas perpendiculares ao solo) (MATTOS, 2015). Entretanto, estudos adicionais em áreas com *E. benthamii* jovens devem ser conduzidos, devido as alterações morfológicas que ocorrem nas folhas dessa antes dos 22 meses de idade (idade inferior a que este estudo abrangeu) (MATTOS, 2015).

As menores INT (% da Pt) foram influenciadas por efeitos climáticos, especialmente para a espécie *E. benthamii*, devido à redução da Pt no segundo ano deste estudo, entre novembro de 2017 e fevereiro de 2018. Esse fato, deixou as plantas mais suscetíveis ao ataque de parasitas (PINKARD et al., 2010), o que beneficiou a ocorrência de uma infestação pelo inseto *Thaumastocoris peregrinus* (percevejo bronzeado) na área de estudo em março de 2018. A infestação pelo inseto causou desfolhamento das árvores, e redução acentuada da INT, principalmente na espécie *E. benthamii*, a qual se mostrou mais suscetível ao ataque desta “praga.”

Entre os componentes da partição da chuva, o processo de precipitação interna (Pi em mm) foi a que mostrou maior relação com a Pt. Outros autores também relataram esse tipo de comportamento, porém a maioria dos estudos foram realizados em florestas naturais, sendo poucos conduzidos em florestas plantadas (ARCOVA et al., 2003; SARI et al., 2015; LIMA et al., 2018).

Para as espécies *E. dunnii* e *E. benthamii* a percentagem de água que escoou pelo tronco aumentou com o incremento em DAP das plantas. Martins Filho (2014) estudou o Et em diferentes diâmetros de eucaliptos e também constatou que quanto maior o diâmetro das árvores, maior é a área de interceptação da árvore e, por consequência, maior é o valor de Et. Já a espécie *E. saligna* apresentou baixa relação com o DAP, porém maior relação com a Pt em relação as outras espécies.

A interceptação pela serapilheira (Is; % de Is em relação a Pt) foi maior na espécie *E. saligna* no primeiro ano do estudo, já no segundo ano do estudo a Is foi maior no *E. dunnii*, esse comportamento foi influenciado pelo aumento do IAF no *E. dunnii* no segundo ano de estudo, o que causou maior quantidade de resíduos depositados sobre o solo na área com essa espécie.

Os maiores percentuais de Is ocorreram entre os meses de novembro de 2017 e março de 2018, para as três espécies. Esse comportamento foi influenciado pela maior quantidade de serapilheira depositada sobre o solo nesses meses, reflexo da baixa Pt ocorrida nesse período.

No primeiro ano do estudo a INT na espécie *E. benthamii* foi 10,7 % menor que na espécie *E. saligna*, ou seja, dos 2210 mm de Pt ocorrido no primeiro ano, 1742 mm atingiram o solo na área com *E. saligna*, mas apenas 1512 mm na área com *E. benthamii*. Em solos com boas condições de infiltração, como usualmente é verificado em plantios florestais (MELLONI et al., 2008), isso indica um maior aporte de água ao solo nos plantios de *E. benthamii*, em relação ao *E. saligna*.

Esta água no solo pode ser tanto utilizada pelo *E. benthamii*, favorecendo o crescimento dessa espécie em épocas de seca, quanto escoar sub-superficialmente ou percolar favorecendo a recarga do aquífero e contribuindo para a manutenção da vazão de rios em períodos secos. Na primeira hipótese o *E. benthamii* teria uma maior disponibilidade de água nos períodos de seca, enquanto na segunda os plantios dessa espécie poderiam ser preferencialmente utilizados em áreas de ocorrência de conflitos de uso da água em relação ao *E. saligna*. Estudos adicionais que analisem o fluxo de

água e a umidade do solo nas diferentes parcelas podem ser utilizados para esclarecer esta questão.

A escassez prolongada de chuva entre novembro de 2017 e março de 2018 reduziu a taxa de crescimento das plantas, principalmente o DAP, sendo influenciado pelo déficit hídrico do solo (ALMEIDA et al., 2007). Logo, a INT também reduziu nesse período, influenciado pela redução do IAF, devido ao desfolhamento das plantas em resposta ao déficit hídrico (PAIVA, 2009; BOURNE et al., 2015). Esse comportamento foi benéfico para a reposição de armazenamento de água no solo, quando ocorreu precipitações, devido a maior quantidade de água que atingiu o solo pela redução da INT.

5 CONCLUSÕES

- O *E. benthamii* teve menor interceptação vegetal que as espécies *E. saligna* e *E. dunnii* devido ao menor índice de área foliar e estrutura da copa dessa espécie.
- As espécies *E. dunnii* e *E. benthamii* apresentaram menor escoamento pelo tronco (Et) em relação ao *E. saligna*, e o Et nessas espécies foi influenciado pelo incremento em diâmetro (DAP) das plantas, já a espécie *E. saligna* teve baixa relação com o DAP, porém boa relação com a Pt.
- O período em que ocorreu baixa precipitação, favoreceu a uma infestação pelo inseto *Thaumastocoris peregrinus* (percevejo bronzeado). Essa infestação causou desfolhamento das árvores, principalmente no *E. benthamii*, o que diminuiu a interceptação vegetal das espécies do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V.; LANDSBERG, J. J.; REZENDE, G. D. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrids plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, v. 251, n. 1-2, p. 10-21, 2007.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p. 711-728, 2013.

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

BOURNE, A. E.; HAIGH, A. M.; ELLSWORTH, D. S. Stomatal sensitivity to vapour pressure deficit relates to climate of origin in *Eucalyptus* species. **Tree Physiology**, v.35, p.266-278, 2015.

CHANG, M. **Forest Hydrology**: an introduction to water and forests. 2nd ed. Taylor & Francis. United States, 2006. 474 p.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, New Jersey, v. 14, p. 2903-2920, 2000.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Brasília, Embrapa, 2013, 353p.

FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P., RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **Forest Ecology and Management**. v.301, p.58-66, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.015>.

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

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. Colombo: Embrapa Florestas-CNPQ. EMBRAPA. **Comunicado Técnico**, 100, 4p, 2003.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009: Normas Climatológicas do Brasil 1961 - 1990, 2009. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, 465 pp. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 28 outubro de 2016.

LIMA, S. R.; BOURSCHEIDT, V.; TANAKA, M. O. Relationships between rainfall and throughfall in a secondary forest in southeastern Brazil: an evaluation of different statistical models. **Brazilian Journal of Water Resources** Versão On-line, Porto Alegre, v. 23, 2018.

MARTINS FILHO, F. M. **Balço hídrico e erosão do solo em uma plantação de eucaliptos novos**. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia da Universidade de São Carlos (EEFC), São Carlos, 2014.

MATTOS, E. M. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus***. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 2015.

MELLONI et al. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagens no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa. v.32, p.2461-2470, 2008.

NOSETTO, M. D. et al. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.154, p.2-11,2012.

PINKARD, E. A. et al. Process-based modelling of the severity and impact of foliar pest attack on eucalypt plantation productivity under current and future climates. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 839-847, 2010.

SARI, V.; PAIVA, M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Intercepção da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 2, p.65-79, 2016.

SACRAMENTO NETO, O. B. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente MG**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SANTOS, G. A. et al. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, p.759-769, 2013.

SANTOS, G. A. et al. Interação genótipos x ambientes para produtividade de clones de *Eucalyptus* L'Hér no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**. v.39, p. 81-91, 2015.

SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. **Hydrological processes**, West Sussex, v. 18, p.1507-1511, 2004.

STAPE, J. L. et al. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**. v. 259, p. 1684-1694, 2010.

TSIKO, C. T. et al. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v.47-48, p.122-127, 2012.

PAIVA, Y. G. **Estimativa do índice de área foliar por métodos óticos e sensoriamento remoto para calibrar modelo ecofisiológico em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado**. Dissertação (Mestrado em meteorologia agrícola), Viçosa, MG, 2009.

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

7 DISCUSSÃO GERAL

Os resultados apresentados nos estudos I e II evidenciam que o tipo de cobertura vegetal, a idade das plantas e os diferentes tipos de manejo de corte interferem na disponibilidade hídrica de pequenas bacias hidrográficas (BHs) no bioma Pampa.

O estudo I analisou o balanço hídrico na escala de BHs e no perfil do solo disponível às plantas, e possibilitou um melhor entendimento da dinâmica de BHs sob diferentes coberturas vegetais do solo (diferentes espécies e idades de plantas). Além disso, analisou o efeito do manejo de idades sobre o comportamento hidrológico de BHs, por meio da comparação das vazões específicas médias diárias (Qesp) de duas BHs com cobertura vegetal de eucalipto.

Os resultados desse estudo, mostrou que a Qesp é muito dependente do estágio de desenvolvimento das plantas. Esse mesmo comportamento foi apurado em outros estudos em BHs (FERRAZ et al., 2013; NEARY et al., 2016). Outro resultado importante no presente estudo foi verificar que BHs com plantações de *Eucalyptus* têm redução acentuada no deflúvio dois anos após o plantio e até no mínimo os 4,5 anos de idade das plantas. Foi possível observar também que o corte parcial, em um terço da área de eucalipto em BHs é vantajoso para a regulação da disponibilidade hídrica do local. Esses resultados estão de acordo com os resultados relatados por Cassiano (2017).

Os volumes de precipitação (Pt), nos três primeiros anos do estudo foram muito maiores que o esperado para a região do estudo (INMET, 2009). Essa condição aumentou a disponibilidade hídrica no solo, e proporcionou que as áreas florestais, com maior índice de área foliar (IAF), tivessem maiores taxas de crescimento, elevando as perdas de água por transpiração e evaporação da água interceptada pela vegetação.

O estudo de permanência das vazões (Q) em diferentes regimes hídricos indicou que em períodos com menores precipitações, BHs com florestas de *Eucalyptus saligna* adulto (BEs), disponibilizam mais água em relação a BHs sob campo natural antropizado degradado (BC) e plantações jovens de *Eucalyptus benthamii* (BEb). Em períodos com precipitações acima do dobro do esperado para o período, as bacias com plantações de eucalipto, proporcionaram a redução das

vazões máximas em comparação a área de campo natural degradado, sendo esse efeito muito importante para minimizar a degradação ambiental.

As estimativas obtidas pelo modelo de Thornthwaite and Mather (1955), apresentaram correlação significativa ($p < 0,01$) com os dados observados de variação do nível de água subterrânea dos piezômetros nas três BHs. Desse modo, o modelo pode ser utilizado como uma ferramenta para simular o armazenamento de água no solo em pequenas BHs da região, contribuindo para melhorar o conhecimento sobre o uso da água em florestas plantadas de eucalipto e campo natural degradado no bioma Pampa.

O estudo II, o qual buscou compreender a partição da precipitação em três espécies de *Eucalyptus* (*E. saligna*, *E. benthamii* e *E. dunnii*) com idades entre 2 e 4,5 anos, mostrou que a espécie *E. benthamii* apresentou os menores percentuais de INT e os menores valores de IAF, porém, não houve correlação linear entre essas variáveis. As diferentes espécies de eucaliptos estudadas tiveram valores de crescimento do caule (altura total e diâmetro a 1,30 m) muito próximos. Portanto, a menor INT na espécie *E. benthamii* significa um ganho ambiental, ou seja, essa espécie proporcionou menor perda de água e crescimento similar as outras espécies.

O período do estudo com os maiores déficits hídrico do solo, deixou as plantas jovens na BEb mais suscetíveis a infestação pelo inseto *Thaumastocoris peregrinus* (percevejo bronzeado). A injúria causada por essa “praga” provocou desfolhamento das árvores, principalmente no *E. benthamii* e reduziu a INT na BEb. A menor INT nesse período, ocasionou um leve aumento na Q específica da BEb, quando houve Pt na área, o que não foi observado na BEs. Esse comportamento era esperado devido a plantações jovens de eucalipto sofrem mais com estresse hídrico, quando comparado a plantações adultas (KLIPPEL, 2015).

8 CONCLUSÕES GERAIS

- O comportamento das vazões específicas nas três BHs com diferentes coberturas vegetais do solo foi muito influenciado pela variabilidade climática e muito sensível a alteração de uso e manejo de idades das plantas.
- A vazão específica média anual ($L s^{-1} km^{-2}$) na BEb reduziu dois anos após o plantio das plantas de *Eucalyptus benthamii*, indicando que em plantações de *E. benthamii* jovens, entre 3 e 4,5 anos, ocorre redução da vazão média anual, possivelmente pela maior perda de água por transpiração e evaporação da água interceptada pela vegetação.
- A quantidade de água da chuva perdida por evaporação da precipitação interceptada pela vegetação foi menor na espécie *E. benthamii*, logo houve maior aporte de água no solo na área sob *E. benthamii*. Esse maior aporte de água ao solo pode tanto favorecer o crescimento dessa espécie em épocas de seca, quanto escoar sub-superficialmente ou percolar favorecendo a recarga do aquífero e contribuindo para a manutenção da vazão de rios em períodos secos.
- As três espécies de eucalipto analisadas apresentaram diferenças significativas de precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação pela serapilheira.
- O método do balanço hídrico sequencial adaptado de Thornthwaite and Mather (1955), simulou bem a variação de armazenamento de água no perfil do solo disponível às plantas.

9 PERSPECTIVAS DE ESTUDOS FUTUROS

- Avaliar em conjunto com a partição da precipitação, a transpiração das árvores, o crescimento das plantas e a variação da umidade do solo, com intuito de compreender melhor o consumo de água por planta, e assim, extrapolar para a escala de bacia hidrográfica.
- Automatizar a partição da precipitação, com intuito de avaliar a influência das características da chuva sobre as taxas de escoamento pelo tronco, precipitação interna, interceptação pela serapilheira e interceptação total.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. C. et al. Quantifying the effects of *Eucalyptus* plantations and management on water resources at plot and catchment scales. **Hydrology Process**. v.30, p.4687-4703, 2016.
- ALMEIDA, A. C. et al. Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrids plantations in Brazil during a rotation for pulp production. **Forest Ecology and Management**, v. 251, n. 1-2, p. 10-21, 2007.
- ALVES, I. C. N. et al. Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- BAUMHARDT, E. **Balanço hídrico de microbacia com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, 2010.
- BAUMHARDT, E. **Hidrologia de bacia de cabeceira com eucaliptocultura e campo nativo da região da campanha gaúcha**. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, 2014.
- BERLATO, M.A.; FONTANA, D. C. **EL Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto alegre: Ed: UFRGS, 2003, 110p.
- BOSCH, J. M.; HEWLETT, J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal Hydrology**, Amsterdam, v.55, p.3-23, 1982.
- BOURNE, A. E.; HAIGH, A. M.; ELLSWORTH, D. S. Stomatal sensitivity to vapour pressure deficit relates to climate of origin in *Eucalyptus* species. **Tree Physiology**, v.35, p.266-278, 2015.
- BROWN, A. E. et al. 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.
- CARNEIRO, R. L. C et al. Consumo de água em plantios de eucalipto - Parte 1: Determinação da condutância estomática em tratamentos irrigados e não irrigados. **Revista Árvore**, v. 32, p. 1-10, 2008.
- CASSIANO, C. C. **Efeitos hidrológicos da composição da paisagem em microbacias com florestas plantadas de *Eucalyptus***. 2017. 101p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2017.
- CHANG, M. **Forest Hydrology: an introduction to water and forests**. 2nd ed. Taylor & Francis. United States, 2006. 474 p.

CHENG J.D.; LIN L.L.; LU H. S. Influence of forests on water flows from headwater watersheds in Taiwan. **Forest Ecology and Management**, v.165: p.11-28, 2002.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Rio Grande do Sul. UFRGS, 2008, 151p.

CAMPOE, C. O. et al. Meteorological seasonality affecting individual tree growth in forest plantations in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.380, p.149-160, 2016.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, New Jersey, v. 14, p. 2903-2920, 2000.

CUI, X.; LIU, S.; WEI, X. Impacts of forest changes on hydrology: a case study of large watersheds in the upper reaches of Minjiang River watershed in China, **Hydrology and Earth System Science**, v. 16, p. 4279-4290, 2012.

CRUZ J.; TUCCI, C. E. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.13, p.111-124, 2008.

DIAS, L. C. P. et al. Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Study**, p.108-122, 2015.

DRESEL et al., Effect of *Eucalyptus* plantations, geology, and precipitation variability on water resources in upland intermittent catchments. **Journal of Hydrology**, v.564, p.723-739, 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Curitiba, PR. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**, por Antônio Aparecido Carpanezi e outros. Curitiba, EMBRAPA CNPF, 1988. 113 p. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 21).

FERRAZ, S. F. B.; LIMA, W. P., RODRIGUES, C. B. Managing forest plantation landscapes for water conservation. **Forest Ecology and Management**. v.301, p.58-66, 2013.

FARLEY, K. A; JOBBAGY, E. G; JACKSON, R. B. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. **Global Change Biology**, v. 11, p. 1565-1576, 2005.

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

GUZHA, A. C. et al. Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: evidence from East Africa. **Journal of Hydrology**, v.15, p.49-67, 2016.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2009: **Normais Climatológicas do Brasil 1961 - 1990, 2009**. Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fortes. Brasília, DF: INMET, 465 pp. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: 28 outubro de 2016.

KLAASSEN, W.; BOSVELD, F.; WATER, E. D. Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. **Jornal of Hydrology**, Amsterdam, v.213, p.36-50, 1998.

KLIPPEL, V. H. **Modelagem ecofisiológica de cultivos de eucalipto em regiões subtropicais do Brasil**. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

Li, X. et al. Rainfall interception by tree crown and leaf litter: An interactive process. **Hydrological Processes**. v. 31, p.3533-3542, 2017.

LI, J.; FENG, P.; CHEN, F. Effects of land use change on flood characteristics in mountainous area of Daqinghe watershed, China. **Natural Hazards**, v. 70, p. 593-607, 2014.

MADANI, E. M.; JANSSON, P. M.; BABELON, L. Differences in water balance between grassland and forest watersheds using long-term data, derived using the CoupModel. **Hydrology Research**, v.49, p.72-89, 2017.

MARTINS FILHO, F. M. **Balço hídrico e erosão do solo em uma plantação de eucaliptos novos**. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia da Universidade de São Carlos (EEFC), São Carlos, 2014.

MATTOS, E. M. **Caracterização da sazonalidade do crescimento do lenho, da copa e da eficiência do uso da luz em clones do gênero *Eucalyptus***. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 2015.

MORRIS, L. A.; JACKSON, C. R. Interactions of soils and land uses with water quantity and quality, *Soil Ecosystems Services*, 24p. 2016.

NABINGER, C.; MORAES, A.; MARASCHIN, G. E. Campos in Southern Brazil. In: *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Eds. LEMAIRE, G.; HODGSON, J. G.; MORAES, A.; MARASCHIN, G. E. **CABI Publishing Wallingford**, p. 355-376, 2000.

NEARY, D. G. Long-Term Forest Paired Catchment Studies: What Do They Tell Us That Landscape-Level Monitoring Does Not? **Forests**, v.7, 2016.

NOSETTO, M. D.; JOBBAGY, E. G.; PARUELO, J. M. Land-use change and water losses: the case of grassland afforestation across a soil textural gradient in central Argentina. **Global Change Biology**. v.11, p.1101-1117, 2005.

NOSETTO, M. D. et al. The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.154, p.2-11, 2012.

OLIVEIRA, T. E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**. v. 63, p. 394-400, 2017.

OVERBECK, G. E. et al. Floristic composition, environmental variation and species distribution patterns in burned grassland in southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. v.66, p.1073-1090, 2006.

PILLAR, V. P. et al. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 42-59, 2009.

REICHERT, J. M. et al. Hidrologia do solo, disponibilidade de água às plantas e zoneamento agroclimático. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 7, p. 1-54, 2011.

REICHERT, J. M. et al. Water balance in paired watersheds with *Eucalyptus* and degraded grassland in Pampa biome. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 237, p. 282-295, 2017.

ROHATYN, S. et al. Differential impacts of land use and precipitation on “ecosystem water yield”. **Water Resources Research**. v. 54, p. 5457-5470, 2018.

SARI, V.; PAIVA, M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 2, p.65-79, 2016.

SHELLEKENS, J.; SCATENA, F. N.; BRUIJINZEEL L. A. Modeling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico. **Journal of Hydrology**. v.225, p.168-184, 1999.

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

SILVEIRA, L.; ALONSO, J. Runoff modifications due to the conversion of natural grasslands to forests in a large basin in Uruguay. **Hydrological processes**. v. 23, p.320-329, 2009.

SILVEIRA, L. et al. Effects of afforestation on groundwater recharge and water budgets in the western region of Uruguay. **Hydrological processes**, v.30, p.3596-3608, 2016.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3, p.97-110, 1998.

SACRAMENTO NETO, O. B. **Balanço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente MG**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SANTOS, G. A. et al. Adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* ao estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, p.759-769, 2013.

SAVENIJE, H. H. G. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. **Hydrological processes**, West Sussex, v.18, p.1507-1511, 2004.

SILVA, W. et al. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária. **Floresta**, v. 34, n. 3, p. 325-335, 2004.

SCOLFORO, H. F. et al. Yield pattern of *Eucalyptus* clones across tropical Brazil: An approach to clonal grouping. **Forest Ecology and Management**, v. 432, p. 30-39, 2019.

SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. Tchê Pampa: histórias da natureza gaúcha. In: Pillar, V. D. P et al., (Ed.), **Campos Sulinos-conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 42-59, 2009.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, N. J: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, Publications in Climatology, v.3, 1104p, 1955.

TSIKO, C. T. et al. Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v.47-48, p.122-127, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ªed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009. 943p.

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

TUCCI, C. E. M.; MENDIONDO, E. M.; GOLDENFUM, J. A. Pequenas bacias Hidrográficas: conceitos básicos. Capítulo 1 em Hidrologia Aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre, **ABRH**, 2001.

ZHANG, Z. Z. et al. Water use strategies of a young *Eucalyptus urophylla* forest in response to seasonal change of climatic factors in South China. **Biogeosciences Discussion**. v.12, p.10469-10510, 2015.