Efeitos do relevo na estimativa da transpiração real do eucalipto

Alexandro Gomes Facco [1]
Aristides Ribeiro [2]
Jonathas Batista Gonçalves da Silva [3]
Ricardo Guimarães Andrade [4]
Sady Júnior Martins da Costa de Menezes [3]

(1)Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, CEP 29932-540 São Mateus, ES. E-mail: agfacco@ceunes.ufes.br
(2)Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Engenharia Agrícola, CEP 36570-000 Viçosa, MG. E-mail: ribeiro@ufv.br,
(3)Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Instituto de Tecnologia, Avenida Prefeito Alberto da Silva Lavinas, 1847,Centro, CEP 25802-100 - Três Rios, RJ E-mail: jonathasbsilva@gmail.com, sadymenezes@yahoo.com.br
(4)Embrapa Monitoramento por Satélite (CNPM), Avenida Soldado Passarinho, nº 303, Fazenda Chapadão, CEP 13070-115 Campinas, SP. E-mail: ricardo@cnpm.embrapa.br

Abstract. The aim of this study was to evaluate the influence of the relief in the estimation of transpiration real of eucalyptus plantation. Specifically, we intend to verify the effect in estimated transpiration by real spatial method with estimatida method punctual. Water balance components were monitored in a micro watershed located in the Eastern region of the state of Minas Gerais, Brazil. The Transpiration was estimated real timely and spatially and in time scale for the useful layer of soil and validated with data measured in the field. When comparing the averages of the spatial variation of transpiration real spatial method with that obtained by the method punctual, it was observed that in the two years analyzed, the months in which there was availability or soil water storage for eucalyptus, transpiration by the spatial method was on average 25% higher than the punctual. Already in the months that the availability of soil water was lower, perspiration space was on average 14% less than punctual. The method of estimating of transpiration real considering the effects of topography, proved more than adequate without considering it. If there is water availability in the soil for plant, features of relief can considerably influence the transpiration rates. Eucalyptus forests proved a good regulator of the flow of water in watersheds.

Palavras-chave: Transpiração real, sistema de informações geográficas, eucalipto

1. Introdução

Em razão da importância da água e das crescentes preocupações ambientais nas diversas atividades desenvolvidas pelo homem, está evoluindo progressivamente em todo mundo um novo conceito integrado de planejamento, gestão e uso dos recursos hídricos, onde, através de um conjunto de medidas técnicas, administrativas e legais, busca-se uma resposta eficaz às necessidades humanas e às exigências sociais para melhorar a utilização da água. As florestas plantadas têm sido alvo de inúmeros questionamentos quanto ao seu impacto no meio ambiente, principalmente no que se refere ao consumo de água. Os efeitos dos plantios florestais sobre os recursos hidrológicos não é algo simples de ser quantificado. A utilização de microbacias hidrográficas experimentais no monitoramento dos componentes do balanço hídricos configura um excelente laboratório, proporcionando muitas vantagens quanto à precisão de cada componente do balanço e avaliação das técnicas de manejo hidrológico. A análise destes aspectos do ecossistema envolve características de clima, geomorfologia, solo, vegetação, deflúvio e evapotranspiração, com os quais, pode-se quantificar os processos hidrológicos da microbacia e correlacioná-los às diferentes variáveis relacionadas com a quantidade e qualidade da água, assim como sua dinâmica.

Muitos trabalhos realizados com objetivo de determinar os componentes do balanço hídrico em microbacias hidrográficas com plantios florestais de eucalipto têm tratado o assunto de forma pontual e sem considerar a topografia em relação aos fatores energéticos e em relação à redistribuição da água. O crescente desenvolvimento de sistemas de informações geográficas aplicado à hidrologia e associados ao aumento do poder computacional tem favorecido uma representação matemática dos processos envolvidos no mundo real, em que os componentes do balanço hídrico são estimados espacialmente, buscando simular suas interações com a topologia da área em estudo.

No Brasil diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de investigar os efeitos das florestas plantadas sobre a quantidade e qualidade da água. Entre estes, podemos citar Facco (2012), Ribeiro (2009) Carneiro (2008), Facco (2004), que já proporcionaram importantes informações sobre o impacto das atividades florestais sobre os sistemas aquáticos das microbacias hidrográficas.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência do relevo na estimativa da transpiração real em microbacia hidrográficas com plantio de eucalipto. Especificamente, pretende-se verificar a variação da estimativa da transpiração real pelo método espacial com a estimatida pelo método pontual.

2. Metodologia

O estudo foi realizado em microbacia hidrográfica localizada no Município de Antônio Dias, região do Vale do Rio Doce, Estado de Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são latitude 19º 28’ S e longitude 42º 49’ O. Tal área pertence à empresa “Celulose Nipo-Brasileira S.A” (CENIBRA). A microbacia possui relevo que varia de forte-ondulado a montanhoso (De Biase, 1993). O solo predominante é o Cambissolo latossólico cuja capacidade de campo é de 35 kg kg^{-1} e o ponto de murcha permanente de 18 kg kg^{-1}. A cobertura do solo predominante é composta por florestas de eucaliptos *grandis* plantados no ano de 2003 e floresta com espécies nativas. O plantio de eucalipto tem espaçamento de 3 por 3,33 m. As margens do curso d´água são ocupadas por florestas com espécies nativas e capoeira. O solo é recoberto por espessa serrapilheira e as margens do córrego encontram-se bem protegidas, sem sinais de erosão.

A calibração e validação do modelo de transpiração real do eucalipto foi feita utilizando os dados meteorológicos horários (anos de 2005 e 2006) provenientes de estação automática instalada em uma torre de 30 m de altura localizada na microbacia estudada. Nessa torre micrometeorológica, a umidade relativa do ar (UR), a temperatura do ar (T) e a velocidade do vento (u) foram monitoradas em quatro níveis a partir das copas das árvores, 1, 2; 4, e 16 m. Esta distribuição se justifica para a determinação do perfil dos fluxos ascendentes que passam pelas árvores, e assim, melhorar a estimativa da transpiração das plantas e da resistência aerodinâmica conforme apresentado por Rodrigues e Pita (2003). Utilizou-se, ainda dados de vazão do córrego da microbacia e precipitação (P) registrados em intervalos de cinco minutos.

Para a estimativa da transpiração real (TRr) foi utilizada a equação de Penman - Monteith (1965), o qual inclui os componentes aerodinâmicos e do balanço de energia. A resistência aerodinâmica (ra) foi obtida utilizando a equação apresentada por Allen et al. (1998) calibrada pelos dados de velocidade do vento que foram instalados nas torres. Uma modificação a ser efetuada no tratamento da equação de Penman-Monteith é relacionada à estimativa da resistência do dossel onde foi usado o modelo proposto por Carneiro (2008), que foi utilizado em experimentos realizados em plantios adultos de eucaliptos na bacia do Rio Doce. O saldo de radiação foi calculado seguindo a metodologia descrita por Facco (2009).

Utilizou-se os dados dos perfis de vento, temperatura e umidade relativa do ar para ajustar o modelo de TRr para os períodos com e sem chuvas. Para esse ajuste aplicou-se o método da razão de Bowen (Twine et al., 2000). Aplicou-se o teste T ao nível de significância de 5%

para comparar os resultados do método pontual com aqueles obtidos por meio do método espacial.

O modelo de estimativa da TRr de água no solo foi implementado no software ArcGIS 9.3.1, utilizando a linguagem de programação Visual BASIC. Esse modelo teve como base um modelo digital do terreno hidrologicamente consistente, com resolução espacial de 4 m. A simulação foi horária. Após ajustar a irradiação solar global (Rgs) e a temperatura do ar ajustada (T_{ajust}) considerando a topografia da microbacia, associou-se a umidade relativa (UR) para calcular o déficit de pressão de vapor (DPV) e, em seguida, estimou-se o índice de área foliar (IAF) e a resistência do dossel (rs) (Figura 1). O fluxo de calor no solo (G) foi estimado considerando a hora do dia. Durante o período diurno ele foi calculado em função da Rgs e, no período noturno, em função do saldo de radiação (Rn). A resistência aerodinâmica (Ra) foi estimada ajustando a velocidade do vento a 30 m (U30) para altura da planta (Uz) que, por sua vez, era em função da idade. O ajuste da TRr considera ocorrência ou não de precipitação. A estrutura do modelo é descrita em detalhes por Facco et al (2012).

.

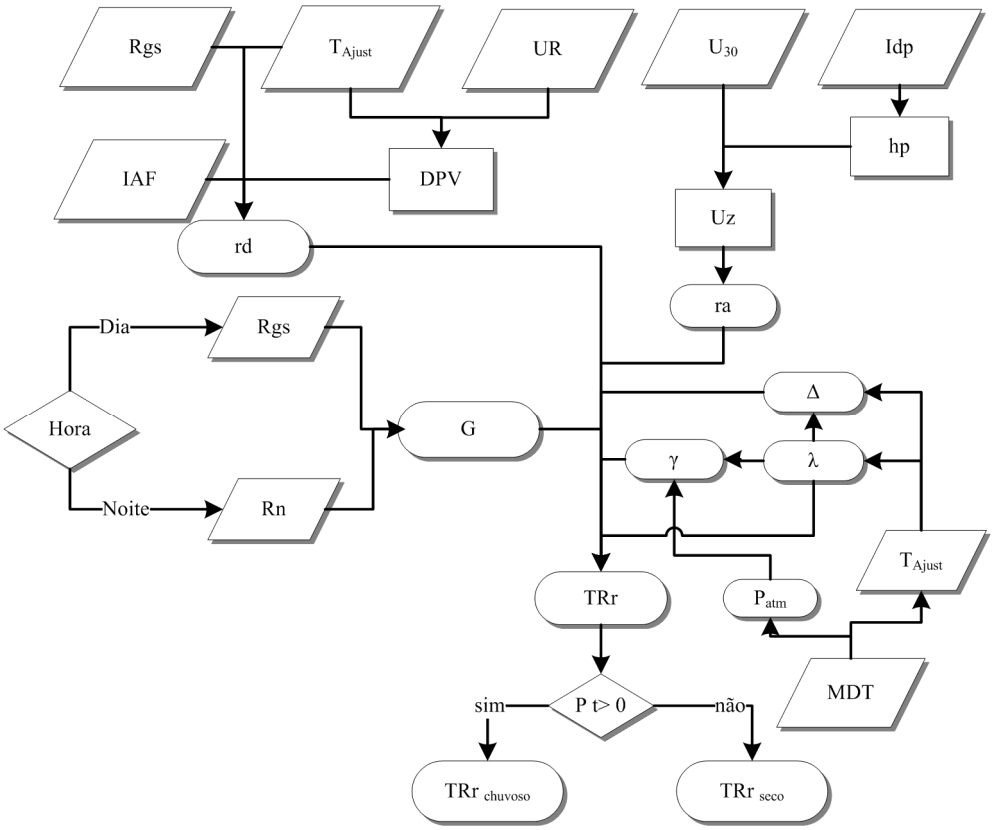


Figura 1. Submodelos de determinação da transpiração real em que Uz, velocidade do vento a altura da planta (m s^{-1}); γ, coeficiente psicrométrico (kPa °C^{-1}); λ, calor latente de vaporação (MJ m kg-1); Δ, declividade da curva de pressão de vapor (kPa ºC-1); DPV, deficit de pressão de vapor (kPa); G, fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} h^{-1}); IAF, índice de área foliar (m m^{-1}), Idp, idade da planta (anos); hp, altura da planta (m); MDT, modelo digital do terreno; Patm, Pressão atmosférica (kPa); Ra, resistência aerodinâmica (s m^{-1}); Rd, resistência do dossel da planta (s m^{-1}); Rgs, irradiação solar global ajustada (MJ m^{-2} h^{-1}); Rn, saldo de radiação (MJ m-2 h-1); Tajust, temperatura do ar ajustada (ºC); TRr, transpiração real (mm h-1); TRr chuvoso, transpiração real ajustada para período com chuva (mm h-1); TRr seco, transpiração real para período sem chuva (mm h-1); U30, velocidade do vento a 30 m (m s-1); e UR, umidade relativa do ar (%).

2. Resultados

Com base nos dados meteorológicos coletados na torre da bacia experimental, foi possível ajustar, aplicando-se uma de regressão simples, o modelo de transpiração proposto por Carneiro et al (2008) com o método da razão de Bowen. No ajuste considerou-se a individualização da transpiração em cenários com e sem chuva. Verificou-se que o modelo de Carneiro et al (2008), superestima a transpiração em 59,12 e 35,06% quando ocorrem e não ocorrem chuvas, respectivamente.

Em virtude da localização geográfica da microbacia, o sol, em seu movimento aparente, fica a maior parte do ano ao posicionado norte da microbacia. Essa posição aparente do sol, faz com que as encostas voltadas para o sul receba menos irradiação solar durante o ano do que as encostas voltadas para o norte. Essa atenuação é intensificada nos meses de inverno, quando observou-se variações de até 50% entre a transpiração do eucalipto nas encostas voltadas sul e norte. Resultados semelhantes foram encontrados por Facco et al. (2009) e Turco & Rizzatti (2006).

Ao comparar as médias da variação espacial da TRr pelo método espacial ($TRr_{espacial}$) com as TRr obtida pelo método pontual ($TRr_{pontual}$), observou-se que nos dois anos analisados, nos meses em que havia disponibilidade ou armazenamento de água no solo (ARM) para o eucalipto, a $TRr_{espacial}$ ficou, em média, 25% maior que $TRr_{pontual}$. Já nos meses em que o ARM era menor, a $TRr_{espacial}$ ficou em média 14% menor que $TRr_{pontual}$. Em ambos os períodos, as médias da $TRr_{espacial}$ e $TRr_{pontual}$ são estatisticamente diferentes ao nível de significância de 5%. Esses resultados mostram que, havendo disponibilidade de água no solo para planta, as características do relevo exercem influência na transpiração do eucalipto.

De forma geral, para os meses de janeiro a maio dos anos de 2005 e 2006, a média da $TRr_{pontual}$ diária foi de 2,11 mm e a $TR_{respacial}$ foi de 2,95 mm. Nos meses de agosto a dezembro foram obtidos valores médios de $TRr_{pontual}$ e $TRr_{espacial}$ da ordem de 2,17 e 1,70 mm, respectivamente.

Em 2005 a média da TRr na microbacia foi de 746±28,01 mm (equivalente a 2,04 mm d^{-1}). Os meses que totalizaram as maiores transpirações foram janeiro, fevereiro e dezembro, predominando a faixa de 106 a 120 mm. Nos meses de março, abril, maio, outubro e novembro os totais que predominaram foram entre 61 e 90 mm. Nos meses de junho e julho os totais foram entre 31 e 45 mm. Os meses de menor transpiração foram agosto e setembro. A baixa transpiração é explicada, principalmente, pelo fato da umidade do solo estar próxima à umidade referente ao ponto de murcha permanente. O total transpirado para estes meses ficou entre 0 e 15 mm na maior parte da microbacia, Figura 2.

As rampas com encostas voltadas para o sul e leste apresentaram os menores valores de TRr. Uma possível justificativa pode estar na posição do sol, ou seja, na maior parte do ano o sol situa-se ao norte da microbacia. Além disso, a inclinação das rampas no lado oeste da bacia pode ter influenciado na diminuição da incidência de radiação solar global direta. Tal variação foi melhor observada nas estimativas realizadas para o ano de 2006, Figura 3. Percebeu-se, nitidamente, redução da TRr nas encostadas voltadas para o sul. Nesse ano, o valor médio do total transpirado foi de 859±30,36 mm ou equivalente 2,35 mm d^{-1}. O aumento da TRr no ano de 2006 é explicado pela ocorrência de chuvas bem abaixo da média nos meses de janeiro e fevereiro, o que influenciou a irradiação solar pela pouca nebulosidade. Essas taxas de transpiração são menores que as encontradas por Gentil (2010) para plantios de eucalipto irrigado e não irrigado com quatro anos de idade, cuja média diária de transpiração foi da ordem de 6,8 mm entre os meses de agosto e dezembro. Carneiro et al. (2008) encontraram transpiração de 8,6 e 6,17 mm d^{-1} para plantios jovens de eucaliptos submetidos a tratamentos com e sem irrigação, respectivamente. Soares e Almeira (2001) encontraram para eucaliptos *grandis* valores de transpiração entre 1,1 e 5,8 mm d^{-1}.

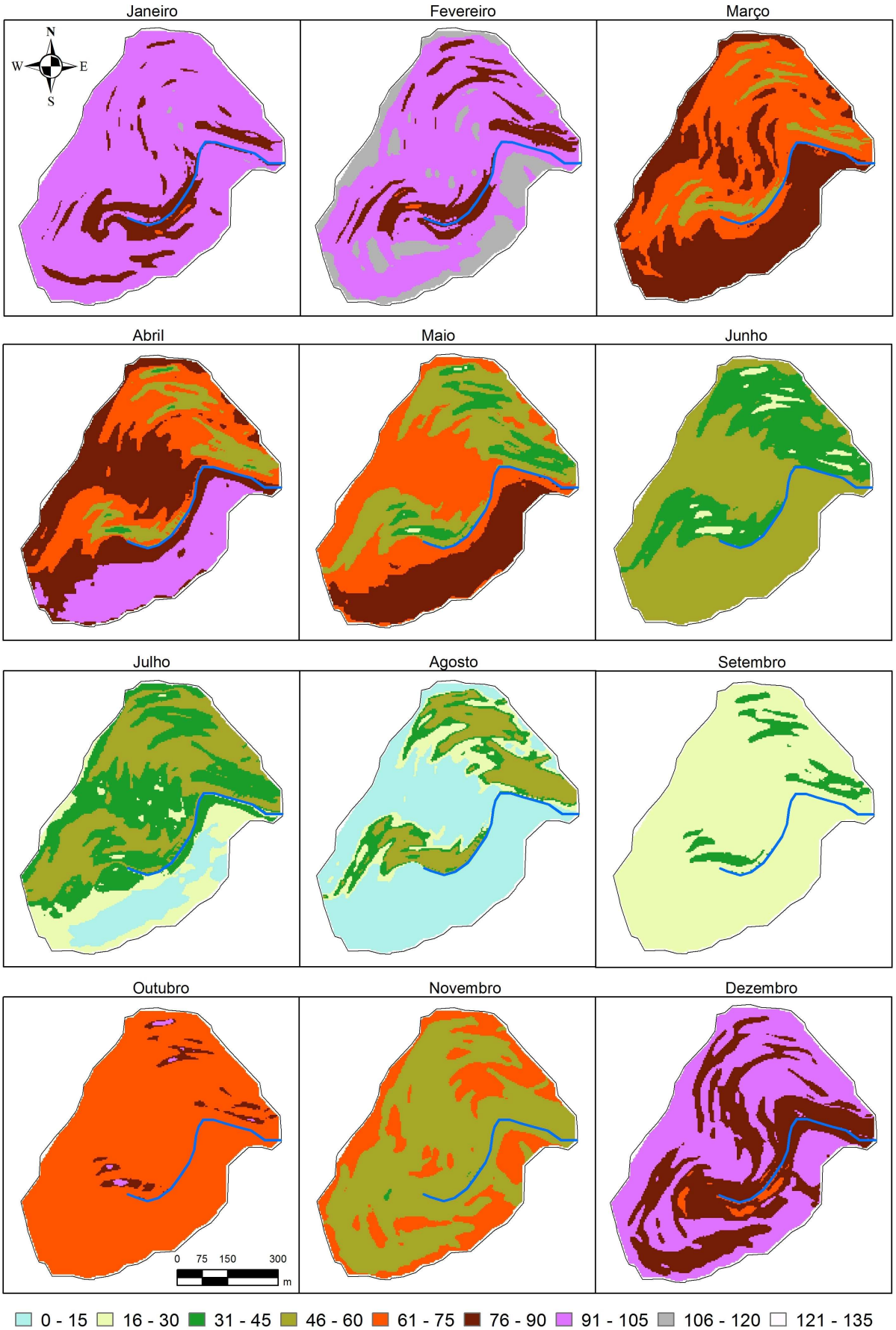


Figura 2 – Transpiração real mensal em 2005, dado em mm.

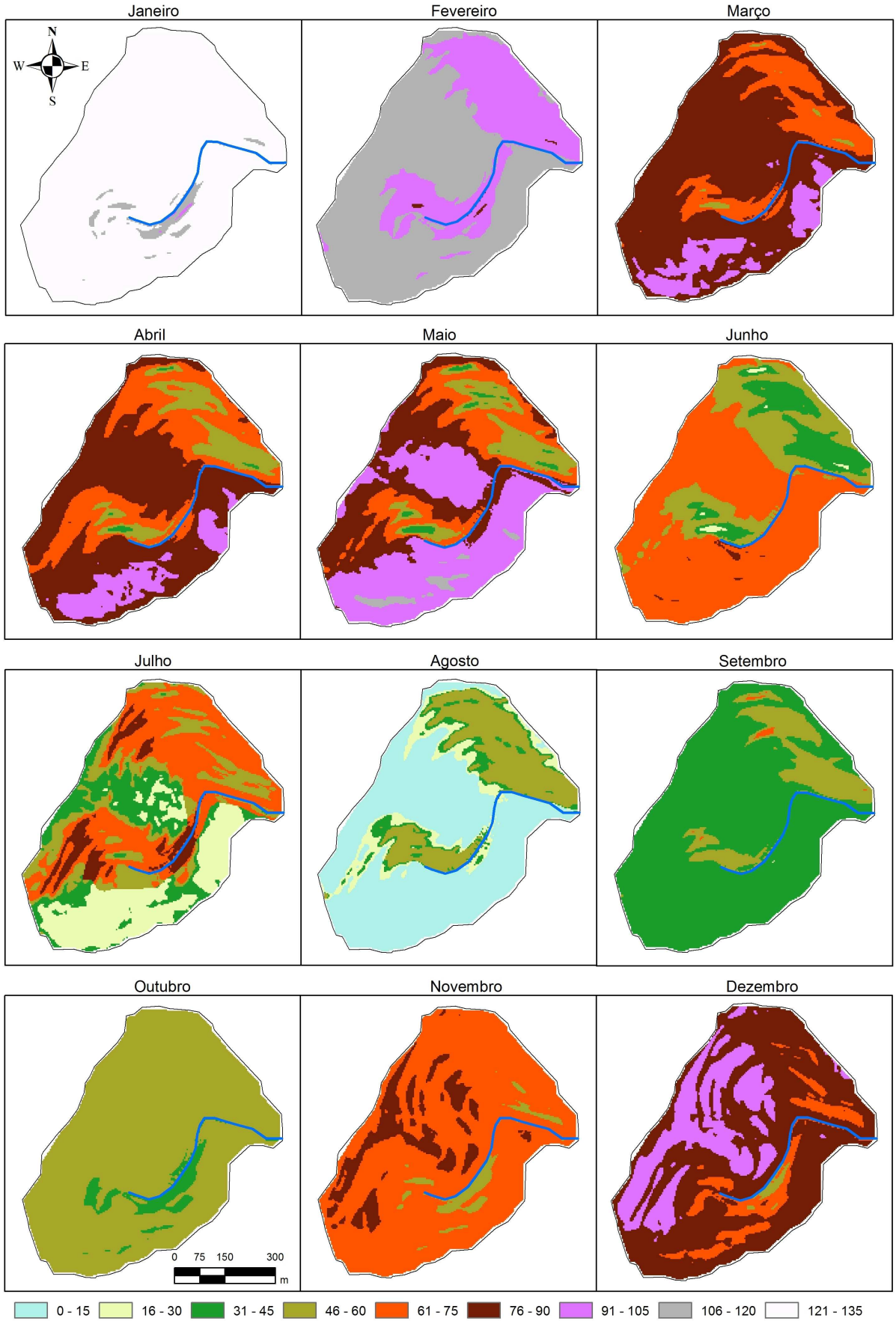


Figura 3 – Transpiração real mensal em 2006, dado em mm.

Ao considerar o escoamento no curso d'água como excesso hídrico (Eh) e que a TRr medida é dada pela precipitação descontada a interceptação pela cobertura vegetal e o excesso hídrico. observa-se que o método de estimativa pontual da TRr foi o que mais diferiu da TRr medida (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação da precipitação (P), da transpiração real (TRr), da interceptação pela cobertura vegetal (ICV), excesso hídrico (Eh) e do armazenamento de água no solo (ARM) entre os métodos estimados e medidos.

Componentes do balanço hídrico	2005			2006		
	Pontual (mm)	Espacial (mm)	Medido (mm)	Pontual (mm)	Espacial (mm)	Medido (mm)
P	1545	1545	1545	1349	1349	1349
TRr	682	746	925	714	859	893
ICV	113	113	113	109	109	109
Eh	693	653	508	384	340	347
ARM	58	33	0	142	41	0

Para o ano de 2005 a $TRr_{pontual}$ foi 35,5% menor que a medida e, no ano de 2006 foi 25% menor. Já a $TRr_{espacial}$ foi 23,9% e 3,9% menor que a medida nos anos de 2005 e 2006, respectivamente. Essas diferenças observadas entre $TRr_{espacial}$ e a medida podem ser explicadas pelo fato de se ter considerado que na medição toda a precipitação foi convertida em TRr, ICV e Eh, não restando nenhum aporte para o armazenamento de água no solo (ARM). Essa afirmativa não pode ser dada já que em todo momento de monitoramento da vazão do curso d'água houve descarga pelo exutório da microbacia. Assim, presume-se que a TRr medida foi menor, porém não se pode quantificá-la, haja vista que o período de dois anos de monitoramento é muito curto para inferir quaisquer resultados. Para as estimativas realizadas no ano de 2005, verificou-se que 33% da precipitação foi convertidas em deflúvio. No ano de 2006, o deflúvio foi de 25,7%. Menor conversão (14,3%) foi encontrada por Baumhardt (2010).

De forma geral, apesar do curto período de dados para a avaliação das metodologias, os resultados obtidos indicam ser de fundamental importância à aplicação de tecnologias da geoinformação para estimativa da transpiração real em áreas de relevo montanhoso. Assim, em estudos posteriores, recomenda-se a continuidade do monitoramento hidrológico para melhor validação dos métodos de estimativas da transpiração real do eucalipto.

CONCLUSÕES

O método de estimativa da transpiração real considerando os efeitos do relevo, mostrou-se mais adequado do que o método sem considerar o relevo.

Havendo disponibilidade de água no solo para planta, as características do relevo podem influenciar de forma considerável nas taxas de transpiração.

Florestas de eucalipto mostraram-se um bom agente regulador do escoamento da água em microbacias hidrográficas.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. Rome: FAO, 1998. 300p.

BAUMHARDT, E. **Balanço hídrico de microbacia com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS.** 2010. 138p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, RS. Santa Maria – RS,

CARNEIRO, R.L.C.; RIBEIRO, A.; HUAMAN, C.A.M; LEITE, F.P.; SEDIYAMA, G.C.; NEVES, J.C.L. Consumo de água em plantios de eucalipto: parte 2 modelagem da resistência estomática e estimativa da transpiração em tratamentos irrigados e não-irrigados. **Revista Árvore,** v.32, p.421-427, 2008.

De BIASE, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45-60, 1993.

FACCO, A. G. ; RIBEIRO, A. ; PRUSKI, F. F. ; MONTEIRO, W. C.; LEITE, F. P.; ANDRADE, R. G.; MENEZES, S. J. M. C. Técnicas de geoinformação para estimativa do balanço hídrico em eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n9, p. 1243-1250, 2012.

FACCO, A. G. ; RIBEIRO, A. ; SEDIYAMA, G. C. ; LEITE, F. P. ; BARRO, N. F. . Saldo de radiação em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado. **Revista Árvore**, v. 33, p. 471-480, 2009.

GENTIL, M. S.**Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de Eucalyptus aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia.** - Piracicaba, 2010. 71p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

RIBEIRO, A.; FACCO, A. G. ; SEDIYAMA, G. C. ; SOUZA, M. J. H.; LEITE, F. P. Variacion del almacenamiento de agua en el suelo en areas de plantaciones forestales de crecimiento rapido entre diferentes fases de exposicion y grados de inclinacion del terreno. **Mapping** (Madrid), v. 1, p. 99, 2005.

RODRIGUES, A. M.; PITA, G. P. A. Caracterização do Escoamento e Fluxo Atmosférico de Calor Latente em Montado de Sobro. **Silva Lusitana**., Lisboa, v. 11, n. 2. 2003

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

TWINE, T. E. ; KUSTAS, W. P; NORMAN, J .M. ,COOK ,D. R.; HOUSER, P. R.; MEYERS, T. P; PRUEGER, J. H.;STARKS, P. J., AND WESELY, M. L. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. **Agricultural and Forest Meteorology** 103:279-300, 2000.

TURCO, J.E.P.; RIZZATTI, G.S. Avaliação de modelo matemático para estimar a radiação solar incidente sobre superfícies com diferentes exposições e declividades. **Revista Engenharia Agrícola,** v.26 n.1, 2006.