

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**DANIEL NOE COAGUILA NUÑEZ**

**Determinação da Evapotranspiração com aplicação do algoritmo  
SAFER em imagens LANDSAT na escala de microbacia**

Ilha Solteira  
2017

DANIEL NOE COAGUILA NUÑEZ

Determinação da Evapotranspiração com aplicação do algoritmo  
SAFER em imagens LANDSAT na escala de microbacia

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira - UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção.

Prof. Dr. Fernando Braz Tangerino Hernandez  
**Orientador**

Dr. Antônio Heriberto de Castro Teixeira  
**Co-orientador**

Ilha Solteira  
2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C652d Coaguila Nuñez, Daniel Noe .  
Determinação da evapotranspiração com aplicação do algoritmo SAFER em  
imagens LANDSAT na escala de microbacia / Daniel Noe Coaguila Nuñez. --  
Ilha Solteira: [s.n.], 2017  
219 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia.  
Área de conhecimento: Sistema de Produção, 2017

Orientador: Fernando Braz Tangerino Hernandez  
Co-orientador: Antônio Heriberto de Castro Teixeira  
Inclui bibliografia

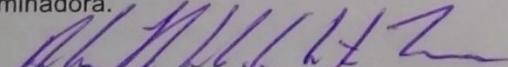
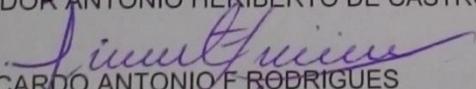
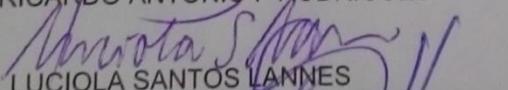
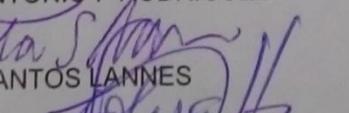
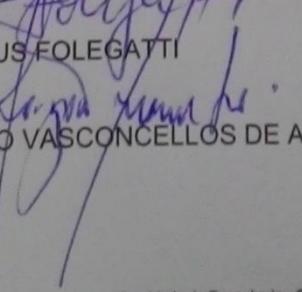
1. Sensoriamento remoto.
2. Evapotranspiração atual.
3. Bacia hidrográfica .
4. Simple algorithm for evapotranspiration retrieving.
5. Espécies invasoras.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE DANIEL NOE COAGUILA NUÑEZ,  
DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, DA FACULDADE DE  
ENGENHARIA - CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

Aos 27 dias do mês de janeiro do ano de 2017, às 14:00 horas no(a) Anfiteatro do DEFERS, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: PESQUISADOR ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA do(a) Embrapa Monitoramento por Satélites / EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA, Prof. Dr. RICARDO ANTONIO F RODRIGUES do(a) Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Profa. Dr. LUCIOLA SANTOS LANNES do(a) Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Prof. Dr. MARCOS VINICIUS FOLEGATTI do(a) Departamento de Engenharia de Biossistemas / Universidade de São Paulo - USP, Prof. Dr. LÁZARO NONATO VASCONCELLOS DE ANDRADE do(a) Departamento de Ciências Exatas e da Terra / Universidade Estadual da Bahia, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição

pública da TESE DE DOUTORADO de DANIEL NOE COAGUILA NUÑEZ, intitulada 'Determinação da evapotranspiração cana aplicação de algoritmo SAFER em imagens LANDSAT na escala de microbacia'

-----'. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

  
PESQUISADOR ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA  
Prof. Dr. RICARDO ANTONIO F RODRIGUES  
Profa. Dr. LUCIOLA SANTOS LANNES  
Prof. Dr. MARCOS VINICIUS FOLEGATTI  
Prof. Dr. LÁZARO NONATO VASCONCELLOS DE ANDRADE

Aos meus pais, que sempre me apoiaram em cada decisão seja boa ou equivocada, sem vocês  
nada disto seria possível.

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Asociación Universitaria Iberoamericana de Postgrado (AUIP) e ao Programa de Apoio a Estudantes de Doutorado do Exterior (PAEDEX) pela bolsa de estudos para cursar doutorado na Universidade Estadual Paulista (UNESP), que desde o primeiro dia que cheguei ao Brasil fui bem recebido em São Paulo pelos Professores Rubén A. Romero da Elétrica e Mario Luiz Teixeira de Moraes da Agronomia e inclusive pela secretaria da Seção Técnica da Pós-graduação Márcia, pessoas que sempre serei grato por terem feito minha aproximação à UNESP uma experiência muito agradável. Já na minha chegada na Ilha Solteira agradeço ao meu Orientador Prof. Fernando Braz Tangerino Hernandez pela grande oportunidade de trabalhar na Área de Hidráulica e Irrigação, ao meu amigo Ronaldo Cintra Lima pelas longas conversas e conselhos, aos amigos da minha primeira república que fizeram da minha permanência na Ilha Solteira uma experiência muito reconfortante, ao meu “chocera” José Mateus quem sempre esteve ai para partilhar dos melhores momentos da minha vida me empurrando para ir as confraternizações, à Elizabete que me aguentou até agora e sempre esteve ao meu lado quando mais precisei, aos meus amigos Diego e Darlin que nem sei como a vida uniu a três “gringos” na remota Ilha Solteira, ao meu amigo Renato Alberto Momesso Franco pelo apoio técnico e pelos conselhos que sempre foram de ajuda, ao meu Co-orientador Antônio Heriberto de Castro Teixeira que com menos de oito horas soube acrescentar na minha pesquisa e na minha vida mais do que o auto-aprendizado de três anos na Área de Hidráulica e Irrigação, e que junto com a Janice Leivas fizeram amar o pouco tempo que fiquei na Embrapa em Campinas, ao Gustavo Bayma pelas conversas em relação ao SAFER. Saibam que sem a participação de todos vocês, tanto seja na vida pessoal ou acadêmica, nada disto poderia ter sido possível, estarei sempre agradecido.

“Uma mente crédula... encontra o maior deleite em acreditar coisas estranhas e, quanto mais estranhas soam, mais fácil lhe resulta as acreditar; mas nunca toma em consideração as que são singelas e possíveis, porque todo mundo pode as acreditar”.

Samuel Butler,

Caracteres

(1667-1669)

## RESUMO

Em cenários de mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo, a bacia do córrego Cabeceira Comprida, localizada em Santa Fé do Sul - SP, se apresenta degradada com talvegues assoreados, ausência de matas ciliares e nascentes desprotegidas levando à incapacidade de gerar e armazenar água para atender a demanda atual (população, agricultura e saneamento) e em períodos de seca, agravando-se em prolongadas estiagens, como em 2004, 2013 e 2014 agravando o problema do abastecimento de água à população. Sendo assim, torna-se importante avaliar os fluxos hídricos da água acima do solo na bacia com o uso combinado de imagens de satélites Landsat 5 (TM) e Landsat-8 (OLI e TIRS) no período de 2000 - 2011 e 2013 - 2015 e informações provenientes de estações agrometeorológicas. Para tanto, utilizou-se o modelo Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) para estimativa da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ), resultando em uma média da bacia no período avaliado de  $0,70 \text{ mm dia}^{-1}$ ,  $0,85 \text{ mm dia}^{-1}$  das espécies invasoras (EI),  $1,20 \text{ mm dia}^{-1}$  da mata remanescente (MR),  $0,70 \text{ mm dia}^{-1}$  da pastagem (Pa),  $0,65 \text{ mm dia}^{-1}$  das culturas anuais (CA) e  $0,72 \text{ mm dia}^{-1}$  das culturas perenes (CP). O ano de 2003 registrou a menor média de  $ET_a$  da bacia com  $0,42 \text{ mm dia}^{-1}$ , enquanto o ano de 2015 apresentou a maior média anual do período estudado, com  $1,03 \text{ mm dia}^{-1}$ . Destaca-se que os valores da  $ET_a$  das EI equivale ao consumo de 25% da população de Santa Fé do Sul, o que traz consequências na época seca quando o recurso hídrico é mais escasso. Estes cenários exigem ações imediatas para a produção e armazenamento de água na bacia, que tem morfometria alongada, evidenciando menor risco de cheias em condições normais de pluviosidade anual. A declividade média de 5,4% caracteriza o relevo como suave-ondulado, com drenagem deficiente ( $1,054 \text{ km km}^{-2}$ ). Com essas características morfométricas associadas à precipitação anual média de 1.271 mm e padrão de drenagem caracterizado como do tipo dendrítico, com baixo grau de ramificação (Ordem 3), a disponibilidade de água não deveria ser um problema, mas o é, pelo fato de que a bacia se encontra degradada com apenas 4,5% de MR, os serviços ecossistêmicos fornecidos pela vegetação natural são mínimos e insuficientes para atender a demanda de água por parte dos usuários. São necessárias a adoção de medidas de mitigação, incluindo intervenção e implementação ações como por exemplo, o pagamento por serviços ambientais, sendo uma medida urgente a preservação ou recomposição da mata ciliar.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica. Estações agrometeorológicas. Simple algorithm for evapotranspiration retrieving. Sensoriamento remoto. *Typha* sp.

## ABSTRACT

In a scenario of climate change and land use and occupation, the watershed of Cabeceira Comprida stream, located in Santa Fé do Sul - São Paulo State, presents as degraded with thalwegs sedimented, absence of riparian forests and unprotected springs leading to the inability to generate and store water to meet current demand (population, agriculture and sanitation) in periods of drought, aggravating in prolonged droughts, such as those of 2004, 2013 and 2014 exacerbating the problem of water supply to the population. Being necessary to evaluate the behavior of above-ground water in the watershed with combined use of Landsat 5 (TM) and Landsat - 8 images (OLI and TIRS) in the period of 2000 - 2011 and 2013 - 2015 and information from agrometeorological stations. Therefore, we used the Simple Algorithm for Retrieving Evapotranspiration (SAFER) to estimate actual evapotranspiration, resulting in average basin during the study period of  $0.70 \text{ mm dia}^{-1}$ ,  $0.85 \text{ mm dia}^{-1}$  of invasive species (EI),  $1.20 \text{ mm dia}^{-1}$  of the remaining forest (MR),  $0.70 \text{ mm dia}^{-1}$  of pasture (Pa),  $0.65 \text{ mm dia}^{-1}$  of annual crops (CA) e  $0.72 \text{ mm dia}^{-1}$  of perennial crop (CP). The year 2003 recorded the lowest average evapotranspiration of the basin with  $0.42 \text{ mm dia}^{-1}$ , while the year 2015 had the highest annual average in the study period with  $1.03 \text{ mm dia}^{-1}$ . It is worth noting that the evapotranspiration of the IE corresponds to the consumption of 25% of the population of Santa Fé do Sul, which has consequences in the dry season when the water resource is scarcer, requiring immediate actions for the production and storage of water in the watershed, which has an elongated morphometry, showing a lower risk of flooding under normal annual rainfall conditions. The mean slope of 5.4% is characterized by a smooth-wavy relief with poor drainage ( $1.054 \text{ km km}^{-2}$ ). With these morphometric characteristics associated to the average annual precipitation of 1,271 mm and drainage pattern characterized as dendritic type, with low degree of branching (Order 3), the availability of water should not be a problem, but it is due to the fact that the watershed is degraded with only 4.5% of remaining forest, the ecosystem services provided by natural vegetation are minimal and insufficient to meet users' water demand. It is necessary to adopt mitigation actions, including intervention and implementation actions such as payment for environmental services, being an urgent measure the preservation or restoration of the riparian forest.

**Keywords:** Actual evapotranspiration. Agrometeorological stations. Simple algorithm for evapotranspiration retrieving. Remote sensing. *Typha* sp. Watershed.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Método de hierarquização de canais na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida	26
Figura 2 - Disposição espacial dos principais tipos de padrões de drenagem.	27
Figura 3 - Distribuição do género <i>Typha</i> no Brasil	33
Figura 4 - Linha do tempo do programa Landsat	41
Figura 5 - Mapa da área de estudo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida	49
Figura 6 - Média (cada 16 dias) da radiação solar global ( $R_G$ ) e totais de precipitação pluviométrica (P) e de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), representativas da área de estudo, durante o período 2000-2011 e 2013-2015.	51
Figura 7 - Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista	57
Figura 8 - Fluxograma do cálculo da evapotranspiração atual através da aplicação do Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving (SAFER) com imagens do Landsat 5 (A) e Landsat 8 (B)	72
Figura 9 - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida	76
Figura 10 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2000. Média ± Desvio Padrão	78
Figura 11 - Valores médios de evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2000. Barras representando as médias e o desvio padrão	79
Figura 12 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2000. Barras representando as médias e o desvio padrão.	82
Figura 13 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2001. Média ± Desvio Padrão	85

Figura 14 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2001. Barras representando as médias e o desvio padrão	86
Figura 15 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2001. Barras representando as médias e o desvio padrão	89
Figura 16 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2002. Média ± Desvio Padrão	92
Figura 17 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2002. Barras representando as médias e o desvio padrão	93
Figura 18 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2002. Barras representando as médias e o desvio padrão	96
Figura 19 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2003. Média ± Desvio Padrão	99
Figura 20 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2003. Barras representando as médias e o desvio padrão	100
Figura 21 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2003. Barras representando as médias e o desvio padrão	103
Figura 22 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabaceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2004. Média ± Desvio Padrão	106

Figura 23 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2004. Barras representando as médias e o desvio padrão	107
Figura 24 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2004. Barras representando as médias e o desvio padrão	110
Figura 25 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2005. Média ± Desvio Padrão	113
Figura 26 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2005. Barras representando as médias e o desvio padrão	114
Figura 27 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2005. Barras representando as médias e o desvio padrão	117
Figura 28 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2006. Média ± Desvio Padrão	120
Figura 29 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2006. Barras representando as médias e o desvio padrão	121
Figura 30 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2006. Barras representando as médias e o desvio padrão	124
Figura 31 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2007. Média ± Desvio Padrão	127

Figura 32 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2007. Barras representando as médias e o desvio padrão	128
Figura 33 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2007. Barras representando as médias e o desvio padrão	131
Figura 34 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2008. Média ± Desvio Padrão	134
Figura 35 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2008. Barras representando as médias e o desvio padrão	135
Figura 36 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2008. Barras representando as médias e o desvio padrão	138
Figura 37 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2009. Média ± Desvio Padrão	141
Figura 38 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2009. Barras representando as médias e o desvio padrão	142
Figura 39 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2009. Barras representando as médias e o desvio padrão	145
Figura 40 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2010. Média ± Desvio Padrão	148

Figura 41 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2010. Barras representando as médias e o desvio padrão	149
Figura 42 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2010. Barras representando as médias e o desvio padrão	152
Figura 43 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2011. Média ± Desvio Padrão	155
Figura 44 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2011. Barras representando as médias e o desvio padrão	156
Figura 45 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2011. Barras representando as médias e o desvio padrão	159
Figura 46 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2013. Média ± Desvio Padrão	162
Figura 47- Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2013. Barras representando as médias e o desvio padrão	163
Figura 48 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2013. Barras representando as médias e o desvio padrão	166
Figura 49 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2014. Média ± Desvio Padrão	169

Figura 50 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2014. Barras representando as médias e o desvio padrão

170

Figura 51 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2014. Barras representando as médias e o desvio padrão

173

Figura 52 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2015. Média ± Desvio Padrão

176

Figura 53 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2015. Barras representando as médias e o desvio padrão

177

Figura 54 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2015. Barras representando as médias e o desvio padrão

180

Figura 55 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo: Espécies invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Cultura Anual (CA) e Cultura Perene (CP) na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida no período de 2000 - 2011 e 2013 - 2015

182

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo informativo das três espécies de <i>Typha</i> sp. presentes no Brasil	34
Tabela 2 - Resumo das principais caracteristicas do sensor TM do Landsat 5	43
Tabela 3 - Resolução radiometrica e espacial dos sensores do Landsat 8	45
Tabela 4 - Resumo das análises de regressão	58
Tabela 5 - Parâmetros radiométricos para o cálculo da radiância e reflectância de imagens Landsat 5	61
Tabela 6 - Parâmetros radiométricos para o cálculo da reflectância de imagens Landsat 8	64
Tabela 7 - Constantes de calibração da banda termal dos sensores TM (Landsat 5) e TIRS (Landsat 8)	66
Tabela 8 - Distribuição das áreas em função da exposição do terreno, bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida.	74
Tabela 9 - Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida.	75
Tabela 10 - Características morfométricas da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida	75
Tabela 11 - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida	76
Tabela 12 - Evapotranspiração atual por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2000. Média ± Desvio Padrão	83
Tabela 13 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2001. Média ± Desvio Padrão	90
Tabela 14 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2002. Média ± Desvio Padrão	97
Tabela 15 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2003. Média ± Desvio Padrão	104

Tabela 16 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2004. Média ± Desvio Padrão	111
Tabela 17 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2005. Média ± Desvio Padrão	118
Tabela 18 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2006. Média ± Desvio Padrão	125
Tabela 19 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2007. Média ± Desvio Padrão	132
Tabela 20 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2008. Média ± Desvio Padrão	139
Tabela 21 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2009. Média ± Desvio Padrão	146
Tabela 22 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2010. Média ± Desvio Padrão	153
Tabela 23 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2011. Média ± Desvio Padrão	160
Tabela 24 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2013. Média ± Desvio Padrão	167
Tabela 25 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2014. Média ± Desvio Padrão	174
Tabela 26 - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2015. Média ± Desvio Padrão	181

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land
METRIC	Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos
ERTS	Earth Resources Technology Satellite
MSS	Multispectral Scanner
RBV	Return Beam Vidicon
TM	Thematic Mapper
ETM	Enhanced Thematic Mapper
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
SLC	Scan Line Corrector
LDCM	Landsat Data Continuity Mission
OLI	Operational Land Imager
TIRS	Thermal Infrared Sensor
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
EOSAT	Earth Observation Satellite Company
TIPS	Image Processing System
EIPS	Enhanced Image Processing System
NLAPS	National Landsat Archive Production System
LPGS	Level 1 Product Generation System
IC	Calibrador Interno
FAO	Food and Agriculture Organization
SAFER	Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving
SUREAL	Surface Resistance Algorithm
MDE	Modelo Digital de Elevação
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
IDW	Inverse Distance Weighting
TOA	Topo da Atmosfera
DSA ou DOY	Dia Sequencial do Ano

## LISTA DE SÍMBOLOS

$ET_a$	Evapotranspiração atual (mm dia $^{-1}$ )	$LMIN_{\lambda}$	Radiância espectral no sensor dimensionada para $Q_{calmin}$ (W m $^{-2}$ sr $^{-1}$ $\mu m^{-1}$ )
$ET_0$	Evapotranspiração de referência (mm dia $^{-1}$ )	$Q_{calmax}$	Valor do pixel quantificado e calibrado correspondente a $LMAX_{\lambda}$
$P$	Precipitação pluviométrica (mm)		
$R_G$	Radiação solar global (MJ m $^{-2}$ dia $^{-1}$ )	$Q_{calmin}$	Valor do pixel quantificado e calibrado correspondente a $LMIN_{\lambda}$
$T_a$	Temperatura média do ar (°C)	$Q_{cal}$	Produto padrão quantificado e calibrado por valores de pixel
$\Delta$	declinação da curva de saturação do vapor de água (kPa °C $^{-1}$ )	DN	Número digital de cada
$R_n$	Radiação líquida (MJ m $^{-2}$ dia $^{-1}$ )	pixel	
$G$	Fluxo de calor no solo (MJ m $^{-2}$ dia $^{-1}$ )	$M_L$	Fator multiplicativo de dimensionamento específico
$\gamma$	Constante psicométrica (kPa °C $^{-1}$ )	$A_L$	Fator aditivo de dimensionamento específico
$u_2$	Velocidade média do ar (m s $^{-1}$ )	$\rho_{\lambda}$	Reflectância planetária no TOA (sem unidades)
$e_s$	Pressão de saturação do vapor (kPa)	$ESUN_{\lambda}$	Irradiância solar média no topo da atmosfera (W m $^{-2}$ $\mu m^{-1}$ )
$e_a$	Pressão atual do vapor (kPa)	$\theta_s$	Ângulo zenital solar (rad)
$e_s - e_a$	Déficit de pressão de vapor (kPa)	$E_0$	Correção da distância entre o sol e a terra (unidades astronômicas)
$L_{\lambda}$	Radiância espectral no sensor (W m $^{-2}$ sr $^{-1}$ $\mu m^{-1}$ )	da	Ângulo diário (rad)
$LMAX_{\lambda}$	Radiância espectral no sensor dimensionada para $Q_{calmax}$ (W m $^{-2}$ sr $^{-1}$ $\mu m^{-1}$ )	$D_M$	Dia do mês
		$M$	Mês
		$Y$	Ano

$\delta$	Ângulo de declinação solar (rad)	$\lambda E$	Fluxo de calor latente ( $W\ m^{-2}$ )
$\omega$	Ângulo horário (rad)	H	Fluxo de calor sensível ( $W\ m^{-2}$ )
LT	Correção do meridiano para o horário local aparente (horas)	$\alpha_{0.24}$	Albedo da superfície de 24 horas
GMT	Tempo meio de Greenwich da passagem do satélite (horas)	$a_L$	Coeficiente de regressão entre o saldo de radiação de ondas longas e $\tau_{sw}$
Et	Equação do tempo	$\tau_{sw}$	Transmissividade atmosférica
$\alpha_{TOA}$	Albedo planetário de banda larga no TOA	$R_a$	Radiação no topo da atmosfera ( $W\ m^{-2}$ )
$\omega_\lambda$	Peso para cada banda (sem unidades)	$G_{sc}$	Constante solar ( $0,082\ MJ\ m^{-2}\ min^{-1}$ )
$T_{bri}$	Temperatura de brilho efetiva no sensor (K)	$\omega_s$	Ângulo da hora no pôr do sol (rad)
K2	Constante de calibração dois (K)	$\varphi$	Latitude (rad)
K1	Constante de calibração um ( $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ )	$c_p$	Calor específico a pressão constante ( $1,013 \times 10^{-3}\ MJ\ kg^{-1}\ ^\circ C^{-1}$ )
$\alpha_0$	Albedo da superfície		Pressão atmosférica (kPa)
$T_0$	Temperatura da superfície	$Patm$	Cociente do peso molecular de vapor de água e o ar seco (0,622)
NDVI	Índice de vegetação por diferença normalizada	$\varepsilon$	Elevação acima do nível do mar (m)
$\rho_{IVP}$	Refletância na faixa do infravermelho próximo	z	Calor latente de vaporização ( $MJ\ kg^{-1}$ )
$\rho_v$	Reflectância na faixa vermelha	$\lambda$	Coeficiente de compacidade
$(ET_a/ET_0)_{SAFER}$	Razão da evapotranspiração atual e a de referência	Kc	Índice de circularidade
$ET_0\_{anual}$	Evapotranspiração de referência média anual do local de estudo ( $mm\ dia^{-1}$ )	IC	fator de forma

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	20
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	23
2.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1.1	<i>Bacia hidrográfica</i>	23
2.1.2	<i>Água</i>	28
2.1.3	<i>Agroecossistemas</i>	31
2.1.4	<i>O género <i>typha</i> (“taboa”)</i>	32
2.1.5	<i>Geotecnologias</i>	38
2.1.6	<i>O programa landsat</i>	40
2.1.7	<i>Conceitos de evapotranspiração</i>	45
2.1.8	<i>Simple algorithm for evapotranspiration retrieving - SAFER</i>	47
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	49
2.2.1	<i>Área de estudo</i>	49
2.2.2	<i>Delimitação da bacia hidrográfica</i>	52
2.2.3	<i>Determinação dos parâmetros morfométricos</i>	54
2.2.4	<i>Variáveis meteorológicas</i>	56
2.2.5	<i>Processamento das imagens landsat</i>	59
2.2.6	<i>Evapotranspiração atual através do algoritmo SAFER</i>	69
2.2.7	<i>Imagens faltantes</i>	71
2.3	RESULTADOS	73
2.3.1	<i>Bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida</i>	73
2.3.2	<i>Evapotranspiração</i>	77
2.4	DISCUSSÃO	183
2.4.1	<i>Morfometria da bacia hidrográfica</i>	183

2.4.2	<i>A bacia do córrego Cabeceira Comprida como produtora de água</i>	185
2.4.3	<i>Evapotranspiração atual da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida</i>	190
<b>3</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	199
	<b>REFERÊNCIAS</b>	200

## 1 INTRODUÇÃO

A água, até recentemente vista como recurso inesgotável, começa a se tornar escassa (recurso natural limitado) em vários pontos do planeta. Em várias regiões do mundo os aquíferos e rios estão secando, assoreando e perdendo sua biota, devido à impertinência de intervenções insustentáveis. As matas de topo e ciliares são destruídas para dar lugar a áreas para a agricultura, pastagens ou aglomerados. As atividades antrópicas interferem no ciclo hidrológico, causando em alguns casos, escassez de água que, apesar de ser uma substância que se renova ciclicamente está ficando cada vez mais escassa em ambientes aquáticos continentais (água doce) (BRASIL, 1981; LIMA, 2008; MACHADO et al., 2011).

A partir de 1970 a preocupação mundial sobre a recuperação ambiental e manutenção dos recursos naturais, difundiu o conceito de bacia hidrográfica no mundo. Para enfrentar a poluição, escassez e conflitos pelo uso da agua, foi preciso reconhecer a bacia hidrográfica como um sistema ecológico e entender como os recursos naturais são interligados e independentes (CAPRA, 2007).

A bacia hidrográfica é um recorte territorial, importante no planejamento do ambiente, na qual interagem fatores naturais e sociais que orientam a ideia de ambiente onde aspectos bióticos e abióticos, se envolvem numa teia de relações (MACHADO et al., 2011). Pode ser considerada como um sistema geomorfológico aberto, recebendo energia de agentes climáticos e perdendo-a através do deflúvio. Um sistema aberto pode ser descrito em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão e encontra-se em equilíbrio dinâmico (LIMA; ZAKIA, 2000; LIMA, 2008), quando não perturbada por intervenção antrópica.

A água é um bem de domínio público, é um recurso natural limitado e dotado de valor económico. A sua gestão deve sempre proporcionar o seu uso múltiplo (BRASIL, 1981). Desde o abastecimento de cidades e uso doméstico, diluição de efluentes domésticos e industriais, produção industrial, dessedentação de animais, geração de energia, irrigação, navegação, pesca, aquicultura e até lazer (MACHADO et al., 2011).

No Brasil a agropecuária, a indústria e o consumo humano foram responsáveis, respectivamente, pelo 59, 19 e 22% no uso de água durante a última década (CLARKE; KING, 2006) o que tem mudado nos últimos anos sendo atualmente, respectivamente, 60, 17 e 23% ( Agência Nacional de Águas - ANA, 2014). Mensurar este uso, particularmente da

agricultura (evapotranspiração), em escala espaço-temporal permite uma melhor gestão dos recursos hídricos.

Em regiões com precipitações anuais elevadas, quando as chuvas são mal distribuídas, ocorrem déficits hídricos sucessivos, fazendo com que a atividade agropecuária seja carregada de incertezas, cenário encontrado em Santa Fé do Sul - região noroeste do Estado de São Paulo - que registra até oito meses de déficit hídrico no solo (HERNANDEZ et al., 2003; SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010) caracterizando-se como uma área tipicamente explorada pela agropecuária (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2016a), o que faz com que o uso eficiente da água seja necessário para assegurar a produtividade.

Em bacias hidrográficas, com uso conflitivo da água, como a do córrego Cabeceira Comprida, é de extrema importância a determinação da evapotranspiração, podendo esta ser realizada com precisão a partir de métodos diretos (BEZERRA et al., 2012) e indiretos. Os métodos indiretos estão baseados em medidas radiométricas obtidas a partir de sensores remotos (por exemplo, os sensores a bordo de satélites) tendo sido estes testados em diferentes ecossistemas e regiões do planeta, como nos Estados Unidos (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007), México (ZWART; BASTIAANSSEN, 2007), China (LI et al., 2008), Brasil (TEIXEIRA, 2010; BEZERRA et al., 2012; COAGUILA; HERNANDEZ; TEIXEIRA, 2015; TEIXEIRA et al., 2015d), entre outros, no cálculo da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ).

A evapotranspiração pode ser difícil de estimar com precisão, especialmente em grandes escalas espaciais, por esta razão, diferentes técnicas de modelagem hidrológicas foram desenvolvidas para estima-la através do sensoriamento remoto, e podem ser agrupadas em duas classes que incluem modelos com base no balanço de energia na superfície (BASTIAANSSEN et al., 1998; ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007; ANDERSON et al., 2007; SU et al., 2009; TEIXEIRA, 2010) e no balanço hídrico (SENAY et al., 2007).

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à agricultura, ecossistemas e recursos hídricos, possibilitam a geração de séries temporais, facilitando a comparação entre as mesmas; oferecem uma cobertura espacial muito ampla; e as informações obtidas podem ser espacialmente representadas e, em geral, revelam aspectos importantes para o planejamento agrícola (BASTIAANSSEN, 2000). Estas técnicas tornam-se ferramentas de suma importância, possibilitando a obtenção de medidas representativas da  $ET_a$  em escala regional (SU, 2002) de forma econômica, eficiente e operacional. Assim, as informações espaciais e temporais proporcionadas pelo sensoriamento remoto sobre o uso da água desempenham papel vital no manejo e na avaliação da escassez dos recursos hídricos em determinada região (ZWART; BASTIAANSSEN, 2007).

O modelo *Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving* (SAFER) está baseado na modelagem da razão  $ET_a/ET_0$ , e foi validado com dados de quatro experimentos de campo envolvendo culturas irrigadas e vegetação natural nas condições semiáridas brasileiras (TEIXEIRA, 2010, 2012), ajustado empiricamente para o Noroeste Paulista (HERNANDEZ et al., 2014) e calibrado para outras regiões (TEIXEIRA et al., 2015d). O SAFER é de simples aplicação, não é necessária a classificação da vegetação, e prescinde das condições hidrológicas extremas e da necessidade de conhecimentos específicos da física da radiação. Além disso, tem a vantagem de não ser obrigatório o uso da banda termal e de poder ser aplicado com dados meteorológicos provenientes de diferentes tipos de estações (desde convencionais a automáticas), possibilitando a avaliação das tendências históricas dos componentes da produtividade da água (TEIXEIRA et al., 2013a).

Assim, o presente trabalho teve por objetivo determinar a evapotranspiração de cada uso e ocupação do solo, na última década, através do modelo SAFER, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida localizado em Santa Fé do Sul - SP.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1.1 Bacia hidrográfica

A história da ocupação de regiões no mundo desde o início da formação de civilizações se relaciona com fatores naturais. As civilizações egípcia e mesopotâmica se instalaram há cerca de 3.000 a.C. às margens do rio Nilo e Eufrates. Na América Latina, os colonizadores (espanhóis e portugueses), instalaram suas cidades perto de rios ou corpos de água. No Brasil, apesar das capitâncias não respeitarem as bacias hidrográficas como limite político, o processo de colonização bandeirante do território tinha os rios como condição mínima para a sobrevivência e como ponto de orientação em busca de ouro e escravos. Mais tarde os tropeiros, no comércio de produtos, também tiveram os rios como referência (MACHADO et al., 2011; ARRUDA, 2015).

A partir do 1970 houve uma preocupação mundial sobre a necessidade de promover a recuperação ambiental e a manutenção dos recursos naturais, difundindo-se o conceito de bacia hidrográfica no mundo. Para enfrentar os efeitos da poluição, escassez e conflitos pelo uso da água, foi preciso reconhecer a bacia hidrográfica como um sistema ecológico (abrange todos os organismos que funcionam em conjunto numa determinada área), e entender como os recursos naturais são interligados e independentes (CAPRA, 2007).

##### 2.1.1.1 Definições

A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Através da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, foram incorporados princípios e normas para a gestão de recursos hídricos adotando a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão, sendo de grande importância para a compreensão do conceito e suas subdivisões (BRASIL, 1997; TEODORO et al., 2007).

Existem muitas definições de bacia hidrográfica, com grande semelhanças e consideração deste recorte espacial, baseado na área de concentração de determinada rede de

drenagem. Entretanto, as definições das subdivisões da bacia hidrográfica, sub-bacia e microbacia, dependem de fatores físicos e/ou ecológicos (TEODORO et al., 2007).

A seguir se apresentam algumas definições de bacia hidrográfica mencionadas na literatura científica:

Bacia hidrográfica é um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e os rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (BARRELLA, 2001).

O termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural delimitada pelos pontos mais altos do relevo, dentro dos quais a água proveniente das chuvas é drenada superficialmente por um curso de água principal até sua saída da bacia, no local mais baixo do relevo, foz desse curso de água, podendo ser denominada como bacia de captação ou de drenagem, se atua como coletora de água pluvial ou como uma área drenada pelos cursos de água, respectivamente (SANTANA, 2004).

Uma bacia hidrográfica comprehende toda a área de captação natural de água da chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus tributários. Sendo o limite superior, o divisor de águas (divisor topográfico), e o limite inferior, a saída da bacia (confluência, exutório). Além disso, a bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema geomorfológico aberto, recebendo energia de agentes climáticos e perdendo através do deflúvio. Como sistema aberto pode ser descrito em termos de variáveis interdependentes, que oscilam em torno de um padrão, encontrando-se em equilíbrio dinâmico (LIMA; ZAKIA, 2000; LIMA, 2008).

A bacia hidrográfica é um recorte territorial, importante no planejamento do ambiente, no qual interagem fatores naturais e sócias que orientam a ideia de ambiente onde aspectos bióticos e abióticos, se envolvem numa teia de relações (MACHADO et al., 2011).

### ***2.1.1.2 Sub-bacia e microbacia hidrográfica***

Os termos microbacia e sub-bacia hidrográfica, não apresentam uma convergência conceitual. As sub-bacias são áreas de drenagem dos tributários dos cursos de água principal (TEODORO et al., 2007). Cada bacia hidrográfica interliga-se com outra de ordem hierárquica superior, constituindo-se sub-bacias. Tornando os termos de bacia e microbacia relativos (SANTANA, 2004). Rocha (1997), descreve as sub-bacias como unidades com áreas

entre 200 - 300 km<sup>2</sup>, enquanto Faustino (1996), afirma que várias microbacias formam uma sub-bacia e que uma microbacia tem uma área inferior a 100 km<sup>2</sup>.

Segundo Lima (2008), as microbacias têm como característica distintiva uma grande sensibilidade a chuvas de alta intensidade e ao fator uso do solo. Assim, as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio são detectadas com mais sensibilidade nas microbacias do que nas bacias. Para Calijuri e Bubel (2006), são áreas frágeis e frequentemente ameaçadas por perturbações, sendo fundamentais as escalas espacial, temporal e observacional, sendo áreas formadas por canais de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> Ordem (3<sup>a</sup> Ordem em alguns casos), que devem ser definidas como base na dinâmica dos processos hidrológicos, geomorfológicos e biológicos. Por sua vez Santana (2004), afirma que o termo microbacia, constitui uma denominação empírica e sugere a sua substituição pelo termo sub-bacia hidrográfica.

### **2.1.1.3 *Hierarquia fluvial***

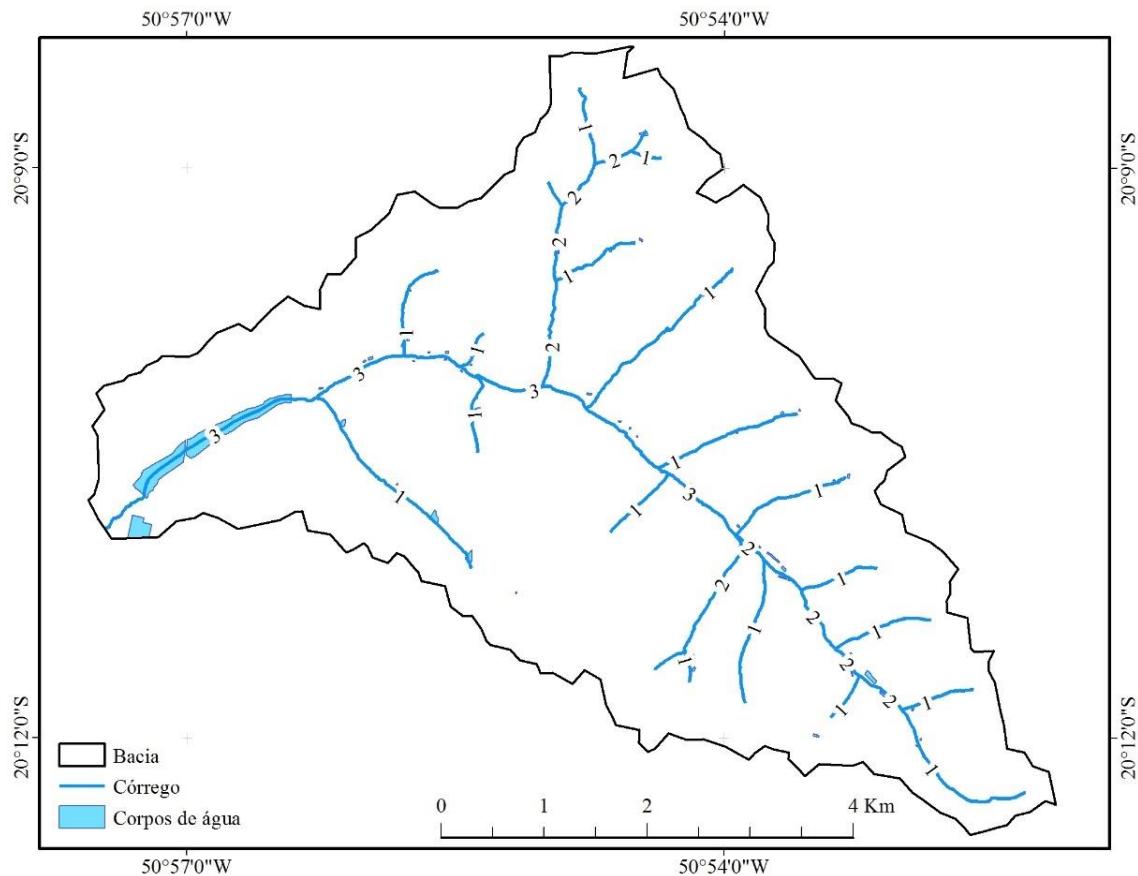
A bacia hidrográfica pode desenvolver-se em diferentes tamanhos, que se articulam a partir dos divisores de drenagem principais e drenam em direção de um coletor principal, constituindo um sistema hierarquicamente organizado (SANTANA, 2004).

Robert E. Horton em 1945 foi quem propôs, de modo mais preciso, os critérios iniciais para a ordenação dos cursos de água. Considerando a necessidade inerente de decisões subjetivas no sistema de Horton, um sistema diferente foi introduzido por Arthur N. Strahler em 1952. Sendo que o método utilizado para a hierarquização fluvial propõe um sistema crescente de classificação. Canais de primeira ordem, não possuem tributários e estão ligados diretamente as nascentes. Canais de segunda ordem, resultam da confluência de dois canais de primeira ordem, só recebem afluentes de primeira ordem. Canais de terceira ordem, surgem da confluência dos canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de ordem inferior. Em geral a união de dois canais da mesma ordem, resulta num canal de ordem imediatamente superior; e quando dois canais de ordem diferentes se unem, formam um canal com a ordem maior dos dois (STRAHLER, 1957; CHRISTOFOLETTI, 1980; BERTONI; LOMBARDI, 1999). A **Figura 1** apresenta a aplicação do sistema de Strahler na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida.

No Brasil, as bacias hidrográficas, por sua vez, também podem ser, no ponto de vista político-administrativo: federais, estaduais ou municipais. Consideram-se as bacias hidrográfica federais, quando sua rede de drenagem está inserida dentro do território de mais

de um estado, as bacias hidrográficas estaduais, têm a sua rede de drenagem inserida dentro do território do estado e as bacias hidrográficas municipais, possuem sua rede de drenagem inserida dentro do território do município (SANTANA, 2004).

**Figura 1 -** Método de hierarquização de canais na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida



1 - Canal de 1º Ordem, 2 - Canal de 2º Ordem, 3 - Canal de 3º Ordem

Fonte: Dados do próprio autor.

#### 2.1.1.4 Caracterização física

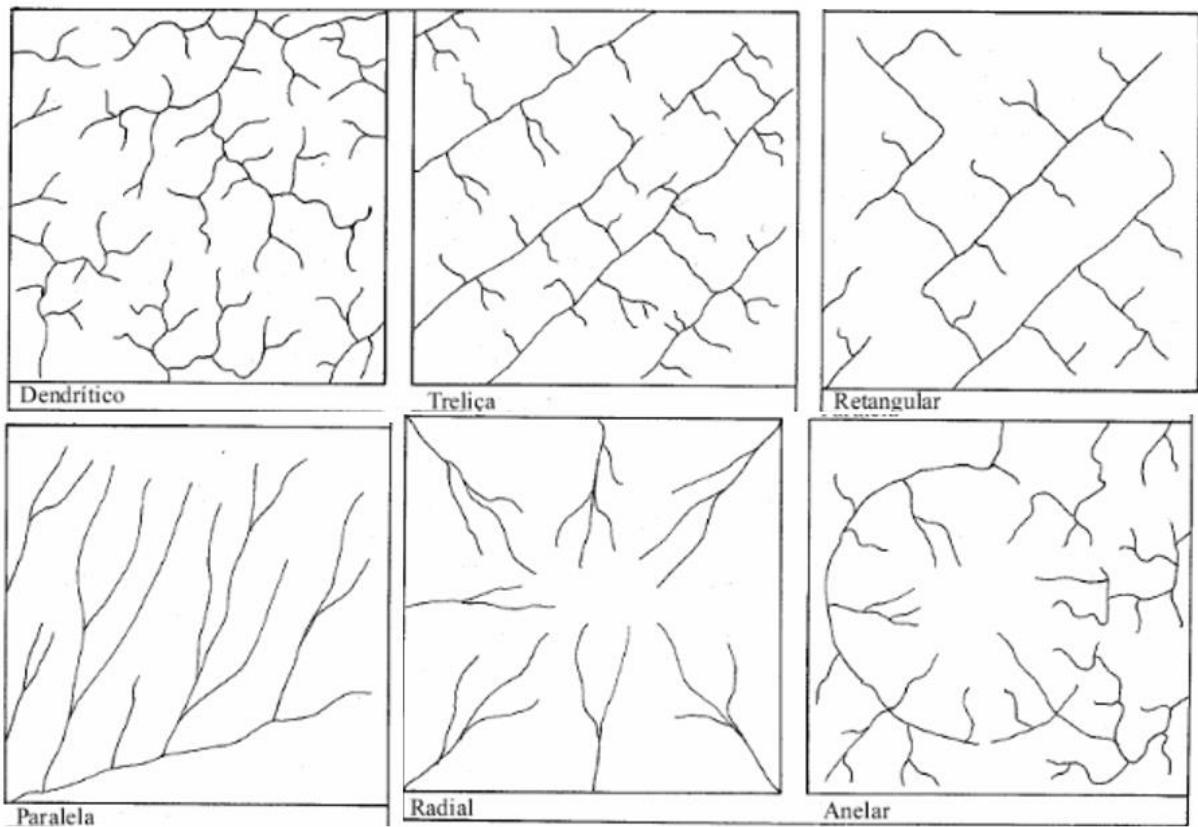
De acordo com o escoamento global, as bacias de drenagem podem ser classificadas em: exorreicas, quando o escoamento da água se faz de modo continuo até o mar; endorreicas, quando as drenagens são internas e não possuem escoamento até o mar; arreicas, quando não há qualquer estruturação em bacias; criptorreicas, quando as bacias são subterrâneas (CHRISTOFOLLETTI, 1980).

Também os cursos de água podem ser objeto de classificação, de acordo com o período de tempo durante o qual o fluxo ocorre, distinguindo-se os seguintes tipos de rios:

perenes, há fluxo o ano todo (ou pelo menos 90% do ano), num canal bem definido; intermitentes, só a fluxo durante a estação chuvosa (50% do período ou menos); efêmero, só há fluxo durante as chuvas ou períodos chuvosos, os canais não são bem definidos (LIMA, 2008).

Dentro da bacia, a forma da rede de drenagem apresenta variações. Os chamados padrões de drenagem (**Figura 2**), estão baseados em critérios geométricos, engloba os seguintes tipos (CHRISTOFOLETTI, 1980; TEODORO et al., 2007; LIMA, 2008): dendrítica, treliça, retangular, paralela, radial, anelar e desarranjados ou irregulares.

**Figura 2** - Disposição espacial dos principais tipos de padrões de drenagem.



Fonte: Christofoletti (1980).

#### 2.1.1.5 Parâmetros físicos - características morfométricas

Para entender o funcionamento de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar quantitativamente as manifestações de forma, de processos e suas inter-relações. Nesse sentido vários parâmetros físicos foram desenvolvidos, alguns deles aplicáveis a bacia como um todo, outros apenas relativos a apenas algumas características do sistema, nenhum

desses parâmetros é capaz de simplificar a dinâmica da bacia hidrográfica (LIMA, 2008). Estes parâmetros e suas inter-relações podem ser classificadas em (TONELLO et al., 2006; TEODORO et al., 2007; LIMA, 2008):

#### ***2.1.1.5.1 Parâmetros físicos***

Área, fator de forma, compacidade, altura média, declividade média, densidade de drenagem, número de canais, direção e comprimento do escoamento superficial, comprimento da bacia, hipsometria (relação área-altitude), comprimento dos canais, padrão de drenagem, orientação, rugosidade dos canais, dimensão e forma dos vales, índice de circularidade, etc.

#### ***2.1.1.5.2 Parâmetros geológicos***

Tipos de rochas, tipos de solos, tipos de sedimentos fluviais, etc.

#### ***2.1.1.5.3 Parâmetros de vegetação***

Tipos de cobertura vegetal, espécies, densidade, índice de área foliar, biomassa, etc.

#### ***2.1.1.5.4 Inter-relações***

Lei do Número de Canais (razão de bifurcação), Lei do Comprimento dos Canais (relação entre comprimento médio dos canais e ordem), Lei das Áreas (relação entre área e ordem), etc.

### **2.1.2 Água**

A água está intimamente associada a evolução do homem em inúmeras maneiras, na forma líquida é uma das condições básicas para a existência da vida na terra. Cada processo orgânico só pode ocorrer em meio aquoso. Sendo constituinte fundamental do protoplasma, seu papel no metabolismo, no processo regulatório da temperatura do corpo e na nutrição dos tecidos é vital. Constituindo-se no lar dos organismos vivos, com cerca do 90% de todos os

organismos da terra imersos em água, e o restante, que permanece num “oceano” de vapor de água, utiliza água líquida (LIMA, 2008).

A água é diferente de todos os outros recursos naturais, devido às suas propriedades físicas (sua capacidade de existir como sólido, líquido e gás), importância cultural e religiosa, complexas características econômicas e por último, mas não menos importante, seu papel essencial para o apoio na vida do planeta (GROVER, 2006).

A civilização moderna é caracterizada por alta demanda hídrica. Nos tempos passados, o consumo "per capita" diário, considerando todos os usos, inclusive a água de beber, era de cerca de 12 - 20 litros. Atualmente, esse consumo é de aproximadamente 300 litros por dia. Se computados todos os fatores de produção (uso doméstico, agricultura, industrial, etc.) o consumo gira ao redor de 15.000 litros por pessoa por dia. A demanda de água aumenta com o crescimento da população e com a melhoria do padrão de vida (LIMA, 2008).

Na cidade de São Paulo o consumo "per capita" no final do século XIX era de aproximadamente 60 litros. Atualmente o consumo médio gira ao redor de 188 litros por pessoa, o que considerando a população atual (11.967.825), representa uma demanda de cerca de  $821,2 \times 10^6 \text{ m}^3$  de água por ano (DNAEE, 1972; IBGE, 2016a; SNIS, 2016).

### ***2.1.2.1 Características e ciclo hidrológico***

Em virtude de seu calor latente e calor específico, a água funciona como regulador térmico para as trocas de energia da Terra, armazenando o excesso e aliviando as deficiências térmicas. Por sua constante movimentação, a água funciona como moderadora da temperatura na biosfera, as correntes oceânicas transferem energia dos trópicos para os polos, enquanto que a circulação da atmosfera é sempre na direção de áreas de alta para áreas de baixa evaporação (LIMA, 2008).

O ciclo da água é de fundamental importância para uma ampla variedade de processos, desempenha um papel central na meteorologia, no clima, na dinâmica do carbono da comunidade vegetal e biogeoquímica dos nutrientes (VÖRÖSMARTY; FEDERER; SCHLOSS, 1998). A quantidade total de água existente na Terra, nas suas três fases, tem-se mantido constante desde o aparecimento do homem (MACHADO et al., 2011).

O ciclo da água ou ciclo hidrológico não tem começo nem fim, é mantido pela energia radiante de origem solar e pela atração da gravidade. A água da Terra, que constitui a hidrosfera, distribui-se por três reservatórios principais, os oceanos, os continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação perpétua. A água é evaporada dos oceanos e

da superfície continental (cobertura vegetal e solo) e se torna parte da atmosfera. A umidade atmosférica precipita-se tanto nos oceanos como nos continentes. Nestes últimos a água precipitada pode ser interceptada pela vegetação, pode escoar pela superfície dos terrenos, ou pode infiltrar-se no solo, de onde pode ser consumida pelas plantas. Assim, o ciclo da água envolve vários e complicados processos hidrológicos como a evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial, etc. (LIMA, 2008; MACHADO et al., 2011).

A água, do escoamento superficial, é geralmente o principal recurso hídrico renovável acessível para usos humanos. Na escala de bacia hidrográfica, o escoamento é aproximadamente o equilíbrio entre a precipitação recebida da atmosfera e a evapotranspiração. Esta última compreende a evaporação do solo e a transpiração através dos tecidos das plantas a partir da precipitação interceptada durante um período de tempo relativamente longo (uma estação ou um ano). A água disponível para os seres humanos e os ecossistemas de uma dada região pode ser aproximada pela diferença entre a precipitação acumulada e a evapotranspiração (DONOHUE; RODERICK; MCVICAR, 2007; MU; ZHAO; RUNNING, 2012).

#### **2.1.2.2 Usos da água**

A água é um bem de domínio público; é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, e em situações de escassez hídrica, o seu uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais. A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas (BRASIL, 1981).

Vários são os usos da água em todo o mundo: abastecimento de cidades e uso doméstico, diluição de efluentes domésticos e industriais, produção industrial, dessedentação de animais, geração de energia, irrigação, navegação, pesca aquicultura e lazer (MACHADO et al., 2011).

O relatório da Food and Agriculture Organization (FAO) de 2003, aponta que neste ano a agropecuária era responsável por cerca de 70% da água consumida, a indústria 7% e o consumo humano por 23%. No Brasil a agropecuária, a indústria e o consumo humano são responsáveis pelo 59%, 19% e 22% do consumo hídrico, respectivamente (CLARKE; KING, 2006). No ano 2010 a demanda consuntiva total estimada para o Brasil foi de  $2.373 \text{ m}^{-3}$  s correspondendo 54% à irrigação, 22% ao consumo urbano, 17% à indústria, 6% ao consumo animal e 1% ao consumo rural. Sendo a vazão efetivamente consumida de  $1.161 \text{ m}^{-3}$  s,

correspondendo 72% à irrigação, 11% ao consumo animal, 9% ao consumo urbano, 7% ao consumo industrial e 1% ao consumo rural (ANA, 2014).

A Política Nacional de Recursos Hídricos foi instituída somente em 1997 através da Lei 9.433 - comumente conhecida por Lei das Águas - propôs assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequadas aos respectivos usos e utilização racional e integrada dos recursos hídricos e tem como um dos instrumentos o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água (BRASIL, 1997), para assim definir os padrões de qualidade, como por exemplo, Classe especial, a destinada ao abastecimento doméstico ou as Classe 2 e 3, para o uso na irrigação das culturas, enquanto que a resolução CONAMA N° 357, de 17 de abril de 2005 (BRASIL, 2005) estabelece os limites em cada Classe.

#### **2.1.2.3 *A crise hídrica***

A água, até recentemente vista como recurso inesgotável, começa a se tornar escassa (recurso natural limitado) em vários pontos do planeta, não só pelo crescimento das populações em regiões historicamente com recursos hídricos limitados, mas também pela sistemática poluição dos rios com esgotos humanos, efluentes industriais e todo tipo de resíduos sólidos; pelo desmatamento generalizado e outras intervenções que impermeabilizam o solo. Os aquíferos e rios estão secando, assoreando e perdendo sua biota, devido à impertinência destas intervenções insustentáveis, como construção de cidades que impermeabilizou os solos através de calçadas, vias asfaltadas e quintais cimentados. Além disso, utilizou-se o leito dos rios e córregos na construção de ruas e avenidas, através de canalizações que os retificam, provocando enchentes a jusante, destruindo sua biota, transformando-os em verdadeiros esgotos. As matas de topo e ciliares foram destruídas para dar lugar a áreas para a agricultura, pastagens ou aglomerados. As intervenções antrópicas interferem no ciclo hidrológico, aumentando os problemas de escassez hídrica (BRASIL, 1981; MACHADO et al., 2011).

#### **2.1.3 Agroecossistemas**

Um ecossistema é um sistema ambiental complexo determinado pela interação dos organismos vivos de uma comunidade entre si, e com os elementos abióticos (físicos e químicos) de um determinado lugar. Os agroecossistemas, por outro lado, são aqueles

ambientes usados para a agricultura e pecuária, com componentes, interações e funções similares a um ecossistema natural, mas com características próprias determinadas pelos recursos genéticos, o ambiente físico, as práticas de manejo, os insumos incorporados e as interações entre componentes biofísicos, espaciais e temporais (ZACCAGNINI; WILSON; OSZUST, 2014).

#### **2.1.4 O género *typha* (“taboa”)**

As plantas do gênero *Typha* L., são herbáceas, glabras, com rizoma horizontal. De talhos eretos, simples, cilíndricos com folhas alternas, ensiformes, lineares, a bainha rodeia o comprimento do caule, com a parte interna superior lisa ou coberta de glândulas mucilaginosas de cor parda, que se atenua paulatinamente até o limbo ou com dois aurículas terminais. A inflorescência terminal é formada por duas partes espiciformes, muito densas, com uma ou mais brácteas foliáceas decíduas que podem estar em contato ou separadas por uma parte nua do eixo. A inflorescência masculina é ligeiramente cônica e a feminina com ráquis secundários papiliformes, subpiramidais ou filiformes. As flores masculinas possuem numerosas bractéolas desde filiformes até espatulado-lanceoladas, simples ou ramificadas. As flores femininas são ebracteoladas ou com bractéolas filiformes alargadas no ápice, as férteis estão inseridas nos ráquis secundários e entre eles, as estéreis geralmente na parte superior do ráquis, solitárias ou agrupadas.

##### **2.1.4.1 Origem e distribuição**

Carl Linnaeus há aproximadamente mais de 250 anos atrás descreveu o habitat de *Typha* L., como de zonas úmidas europeias (LINNAEUS, 1753). No mundo as espécies do gênero *Typha*, estão distribuídas na maior parte do Hemisfério Norte Temperado (*T. angustifolia*), nos Trópicos, Subtropicos e Regiões Temperadas quentes, desde Europa, Ásia, África e América do Norte e do Sul (*T. domingensis*) e com distribuição subcosmopolita incluindo Europa, Ásia, África, América e Oceania (*T. latifolia*) (ZHUANG, 2011; GUPTA, 2013; LANSDOWN, 2014).

Na América do Norte, *Typha latifolia* está amplamente distribuída em zonas úmidas pristinas, apresentando uma alta capacidade invasiva (MCNAUGHTON, 1966; SHIH; FINKELSTEIN, 2008). Sua ecologia e suas características de história de vida, assim como as mudanças ambientais, contribuem à expansão de esta macrófita ubíqua que requer alta

concentração de elementos essenciais (eutrophent) (GALATOWITSCH; ANDERSON; ASCHER, 1999; OLSON; PAUL; FREELAND, 2009). A espécie pode rapidamente desenvolver populações monoespecíficas por dispersão de sementes (222.000 em média por espiga) e crescimento de rizomas. Além disso, tem sido associada com empobrecimento da biodiversidade (YEO, 1964; HOULAHAN; FINDLAY, 2004).

*Typha angustifolia* L., é uma espécie da Europa (LINNAEUS, 1753), e tem se estabelecido bem no oeste dos Estados Unidos desde finais de 1800 (LINZ; HOMAN, 2011).

No Brasil as três espécies *T. angustifolia* L., *T. domingensis* Pers. e *T. latifolia* L. (<http://www.iucnredlist.org>), estão distribuídas praticamente em todo o país, envolvendo todos os domínios fitogeográficos do país, desde a região Norte até a região Sul (BOVE, 2016), como se apresenta na **Figura 3** e **Tabela 1**.

**Figura 3 - Distribuição do género *Typha* no Brasil**



Fonte: Bove (2016).

#### 2.1.4.2 Estado de Conservação da *Typha*

Segundo a *International Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN) na *Red list*, *T. angustifolia*, *T. dominguensis* e *T. latifolia* estão classificadas como pouco preocupantes (LC, *Least Concern*; [www.iucn.org](http://www.iucn.org)), o que significa que estas espécies são abundantes e amplamente distribuídas.

**Tabela 1** - Resumo informativo das três espécies de *Typha* sp. presentes no Brasil

Espécie	Forma de vida/Substrato	Origem/ Endemismo	Distribuição		
			Geográfica	Domínios Fitogeográficos	Tipo de vegetação
<i>Typha angustifolia</i>	Erva/Aquática Terrícola	Nativa/ Não é endêmica do Brasil	Nordeste (BA, CE)  Centro-oeste (GO)  Sudeste (ES, MG, SP)  Sul (PR, RS, SC)	Cerrado, Mata Atlântica	Área Antrópica, Restinga, Vegetação Aquática
<i>Typha domingensis</i>	Erva/Aquática Terrícola	Nativa/ Não é endêmica do Brasil	Norte (PA, TO)  Nordeste (AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN)  Centro-oeste (DF, GO, MS, MT)  Sudeste (ES, MG, RJ, SP)  Sul (PR, RS, SC)	Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal	Área Antrópica, Floresta Estacional Perenifólia, Floresta Ombrófila (=Floresta Pluvial), Restinga, Vegetação Aquática
<i>Typha latifolia</i>	Erva/Aquática	Nativa/ Não é endêmica do Brasil	Norte (PA)  Sudeste (MG, SP)  Sul (PR, RS)	Amazônia, Mata Atlântica	Cerrado (lato sensu)

BA - Bahia, CE - Ceará, GO - Goiás, ES - Espírito Santo, MG - Minas Gerais, SP - São Paulo, PR - Paraná, RS - Rio Grande do Sul, SC - Santa Catarina, PA - Pará, TO - Tocantins, AL - Alagoas, MA - Maranhão, PB - Paraíba, PE - Pernambuco, PI - Piauí, RN - Rio Grande do Norte, DF - Distrito Federal, MS - Mato Grosso do Sul, MT - Mato Grosso, RJ - Rio de Janeiro

Fonte: Adaptado de Bove (2016).

#### **2.1.4.3 Classificação botânica:**

Classe:	Equisetopsida C. Agardh
Subclasse:	Magnoliidae Novák ex Takht.
Super ordem:	Lilianae Takht.
Ordem:	Poales Small
Família:	Typhaceae Juss.
Gênero:	<i>Typha</i> L.
Especie:	<i>T. angustifolia</i> L. <i>T. domingensis</i> Pers. <i>T. latifolia</i> L.

Fonte: Missouri Botanical Garden (2015) - [www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)

Reino:	Plantae
Phylum:	Tracheophyta
Classe:	Liliopsida
Ordem:	Typhales
Familia:	Typhaceae
Genero:	<i>Typha</i> L.
Especie:	<i>T. angustifolia</i> L. <i>T. domingensis</i> Pers. <i>T. latifolia</i> L.

Fonte: IUCN (2016) - [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)

#### **2.1.4.4 Importância econômica**

##### **2.1.4.4.1 Benéfica**

Os primeiros reportes dos usos potenciais econômicos da *Typha* em geral, foram apresentados por Fernald, Kinsey e Rollins (1958) e Turner (1981), que propuseram o desenvolvimento de culturas de *Typha* para produção de alimento humano e pecuário, tendo sido utilizada historicamente como alimento por nativos americanos (GRACE; HARRISON, 1986). Seu uso foi também difundido em diferentes partes do mundo como coberturas, cama,

em cestaria, sapataria, na fabricação de cordas e papel e como ingrediente em vários remédios fitoterápicos (RAMEY, 1981).

As espécies do gênero *Typha* ao tolerar baixos níveis de pH e altas concentrações de metais pesados, podem ser utilizadas em biorremediação de efluentes mineiros (NOVOTNY; OLEM, 1994). A *Typha* é uma das plantas aquáticas mais utilizadas para o tratamento de águas residuais (METCALF; EDDY INCORPORATED, 1958) com efeito significativo sobre a eliminação da contaminação (SOTO et al., 1999), podendo reduzir a demanda química de oxigênio com valores superiores ao 55% (MAZZOLA; ROSTON; VALENTIMR, 2005). As plantas são utilizadas também para tratar águas subterrâneas contaminadas com petróleo e nitrato (MACHATE et al., 1999), na remoção de nitrogênio e fosforo de águas residuais com tratamento terciário (NICHOLS; HIGGINS, 2000).

A espécie *T. angustifolia* é utilizada para retenção de nitrogênio em zonas húmidas por absorção direta ou por desnitrificação provocada por microrganismos (OTTO et al., 1999), injetando grandes quantidades de oxigênio para suas raízes, e o saldo é aproveitado pelos microrganismos os quais metabolizam os contaminantes do sistema (NOVOTNY; OLEM, 1994). A *T. latifolia* em zonas húmidas artificiais pode reduzir até um 80% a demanda biológica de oxigênio e 95% o NH<sub>3</sub>-N provenientes de refinarias de petróleo (HUDDLESTON; GILLESPIE; RODGERS, 2000), tem uma grande potencialidade para volatilizar e acumular Se (PILON-SMITS et al., 1999), em zonas húmidas artificiais tiveram eficiências maiores de remoção de Mn, Zn, Cu, Ni, B e Cr quando comparado com as naturais (MAYS; EDWARDS, 2001). A espécie *T. dominguensis* numa zona húmida marina natural foi efetiva na captura de N, P, Cu e Fe de efluentes de atividades agrícolas e águas residuais já tratadas (PEZZOLESI et al., 1998).

As espécies macrófitas apresentam várias propriedades intrínsecas que as tornam um componente indispensável nos leitos cultivados, sendo que as funções mais importantes destas espécies consistem nos efeitos físicos proporcionados ao tratamento de esgoto. A presença da vegetação em sistemas alagados construídos distribui e reduz a velocidade do escoamento, o que cria melhores condições para sedimentação de sólidos suspensos, reduzindo o risco de erosão e ressuspensão de sólidos já sedimentados, o que aumenta o tempo de contato entre a água e as raízes das plantas (BRIX, 1997). A capacidade de *Typha* para remediar água e solos contaminados é a razão da sua utilização em trabalhos de restauração (BOYD, 1970; JACOB; OTTE, 2004), desde meados do século passado e também como indicadora de contaminação por metais pesados (MOROZOV; TORPISHCHEVA, 1973).

#### 2.1.4.4.2 Não benéfica

Desde começos do século passado, Pammel (1911) reportou a “taboa” (espécie não identificada) como espécie venenosa, já a *T. latifolia* e *T. angustifolia* têm sido reportadas como potencialmente venenosas para humanos e pecuária, embora as espécies de *Typha*, como grupo, são geralmente considerados comestíveis (FERNALD; KINSEY; ROLLINS, 1958). As espécies do gênero *Typha* vem sendo considerada importante desde do ponto de vista negativo econômico desde o ano 1914 (OTIS, 1914), causando grandes perdas de água mediante a evapotranspiração incremental, assim como perturbações em campos de arroz, podendo invadir canais de irrigação, impedindo o fluxo de água e aumentando a sedimentação (MUENSCHER, 1955), provocando sérios problemas em reservatórios (FLETCHER; ELMENDORF, 1955; HALLOCK, 1973). As espécies são consideradas perturbadoras em muitos lagos, interferindo na pesca, passeios de barco e outros usos recreativos (MORTON, 1975), problemas na agricultura irrigada e sistemas de gestão da agua (POOPENOE, 1976).

Sendo uma indicadora de eutrofização, como acontece com muitas espécies invasoras, *Typha* tira proveito das perturbações. Respondendo positivamente à eutrofização (GALATOWITSCH; ANDERSON; ASCHER, 1999) e pode tolerar substratos contaminados com metais pesados (TANG et al., 2005).

A gênero *Typha* é cada vez mais considerada como erva daninha invasora ou indesejável em zonas húmidas (SHIH; FINKELSTEIN, 2008), por causar perda da heterogeneidade espacial o que produz uma diminuição da biodiversidade e abundancia de numerosas espécies das zonas úmidas (LINZ; HOMAN, 2011). As diferenças ecológicas entre as espécies *T. angustifolia* e *T. latifolia* sugerem que a primeira poderia exibir tendências invasoras maiores em relação a segunda (SHIH; FINKELSTEIN, 2008).

Em experimentos controlados Snyder e Boyd (1987), obtiveram em *T. latifolia* razões de 1,05-2,50 para evapotranspiração/evaporação, Price (1994) reportaram razões de 0,97 e de 3,7-12,5 para uma lagoa e um lago respectivamente. Goulden; Litvak; Miller (2007) registraram num pântano dominado por *Typha* e *Scirpus* uma variabilidade sazonal na evapotranspiração de poucos décimos de mm dia<sup>-1</sup> no inverno até 3-4 mm dia<sup>-1</sup> no verão. *T. latifolia* apresentou valores de evapotranspiração inferiores a 0,1 mm dia<sup>-1</sup> por mm<sup>2</sup> de aumento de área foliar (PAULIUKONIS; SCHNEIDER, 2001).

## 2.1.5 Geotecnologias

### 2.1.5.1 Geoprocessamento

O geoprocessamento pode ser definido como uma tecnologia (conjunto de conceitos, métodos e técnicas erigido em torno de um instrumental), que teve sua origem ligada a atividades bélicas (XAVIER-DA-SILVA, 1997; GREEN, 2006), e centra-se na geração de informação ambiental, usando dados já identificados e estruturados para gerar informação (XAVIER-DA-SILVA, 2009).

### 2.1.5.2 Sensoriamento remoto

As primeiras fotografias a partir de um balão foram tiradas perto de Paris em 1858. O termo sensoriamento remoto foi criado em 1960 por Evelyn Pruitt. Com o avanço no design de câmeras e filmes, as fotografias foram tiradas desde plataformas tão diversas como pipas, foguetes e até mesmo pombos-correios. A primeira fotografia tirada de um avião foi em Centocelli, Itália no ano de 1909. Os cientistas reconheceram o potencial da fotografia aérea como uma ferramenta de mapeamento e, gradualmente uma nova ciência foi se desenvolvendo (BUTLER et al., 1990).

Na época da Primeira Guerra Mundial foi que a fotografia aérea foi adquirida e utilizada em larga escala de uma forma sistemática. Nos anos 1920 e 1930 foi utilizada de maneira limitada por geólogos, especialistas florestais e planejadores na Europa e América do Norte, também por cartógrafos e geógrafos para estudos em pequena escala na África e América do Sul. E a Segunda Guerra Mundial foi catalizador para o rápido desenvolvimento tecnológico do sensoriamento remoto. O primeiro filme colorido infravermelho foi desenvolvido durante a guerra para a detecção de camuflagem. Nos anos 1940 destacou-se o radar *Plan Position Indicator* (PPI), provendo imagens do terreno (a partir de uma aeronave) independentemente das condições de tempo ou disponibilidade de luz solar (BUTLER et al., 1990; GREEN, 2006).

Na década de 50, se desenvolveram sistemas de imagens térmicas infravermelhas, e a partir de 1957 com o lançamento do Sputnik 1 pela URSS se marcou o início da era espacial. Em 1959 o satélite dos Estados Unidos EXPLORER-6 transmitiu a primeira imagem da terra vista do espaço. O primeiro satélite meteorológico o TIROS-1 foi lançado em 1960 (BUTLER

et al., 1990), e nos anos 1970 foi iniciado o programa de satélites de recursos terrestres Landsat.

Os dados de satélites têm sido usados para estudar a superfície da terra por muitas décadas, sendo o Landsat o mais utilizados para pesquisa com técnicas de sensoriamento remoto (KIENAST-BROWN; BOETTINGER, 2006), estas técnicas utilizam como dados as respostas teledetectadas oferecidas por fenômenos ambientais à incidência de formas de energia naturais ou artificialmente provocadas (XAVIER-DA-SILVA, 2009), e podem ser aplicadas à agricultura oferecendo vantagens, possibilitando a geração séries temporais das cenas estudadas e facilitando a comparação entre as mesmas. Oferece uma cobertura espacial muito ampla, favorecendo a análise da cena como um todo; e as informações obtidas podem ser espacialmente representadas revelando aspectos importantes para o planejamento agrícola (BASTIAANSSEN, 2000).

O sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta de suma importância, pois possibilita a obtenção de medidas representativas de evapotranspiração em larga escala (SU, 2002) de forma econômica, eficiente e operacional. Assim, as informações espaciais e temporais proporcionadas pelo sensoriamento remoto sobre o uso de água, produção de culturas e produtividade de água desempenham papel vital no manejo e na avaliação da escassez dos recursos hídricos em diferentes ecossistemas onde a produtividade de água pode ser melhorada (ZWART; BASTIAANSSEN, 2007).

As técnicas de sensoriamento remoto através de modelos, utilizam algoritmos destinados a converter as medidas radiométricas, originadas de sensores a bordo de satélites, em fluxos de energia. Dentre os algoritmos existentes pode-se destacar o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) e o *Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration* (METRIC), que têm como objetivo obter a evapotranspiração como resíduo do balanço de energia à superfície (BEZERRA, 2009).

O SEBAL foi desenvolvido por Wim G. M. Bastiaanssen, tendo sido amplamente aplicado em diversos países, tais como Espanha, Itália, Turquia, Paquistão, Índia, Sri Lanka, Egito, Nigéria, China, EUA, Brasil entre outros. Para o processamento do mesmo faz-se necessário o uso de dados coletados via satélite, cujos sensores ofereçam informações no espectro eletromagnético visível, infravermelho próximo e termal, bem como poucos dados complementares de superfície, que representa uma das principais vantagens do SEBAL (TREZZA, 2005).

Por sua vez, o METRIC sem a necessidade da classificação da vegetação é uma versão aprimorada do SEBAL, tendo sido desenvolvido por Allen, Tasumi e Trezza (2007), tendo

como objetivo prover melhor controle das estimativas da evapotranspiração usando a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) obtida pela equação padronizada Penman-Monteith ASCE-EWRI (ASCE-EWRI, 2005) aplicada à cultura da alfafa. Tal algoritmo proporciona a obtenção do albedo da superfície corrigido atmosfericamente banda a banda, além da obtenção dos fluxos de energia à superfície e, consequentemente, a evapotranspiração incluindo regiões montanhosas utilizando informações digitais sobre a topografia da região de interesse. As experiências realizadas com uso desse algoritmo têm corroborado e gerado confiança por parte dos pesquisadores, no que diz respeito ao uso de dados meteorológicos horários para a obtenção da  $ET_0$  utilizada nas estimativas da evapotranspiração diária e sazonal (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007).

Ambos modelos supracitados foram desenvolvidos para outras regiões, foi assim que nasceu o *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER), desenvolvido por Teixeira (2010), está baseado na modelagem da razão da evapotranspiração atual e a de referência (TEIXEIRA, 2010), este algoritmo foi validado com dados de campo que envolveu diferentes superfícies vegetadas no Nordeste do Brasil, ajustado para o Noroeste do Estado de São Paulo (TEIXEIRA et al., 2014a) e calibrado para outras regiões (TEIXEIRA et al., 2015d).

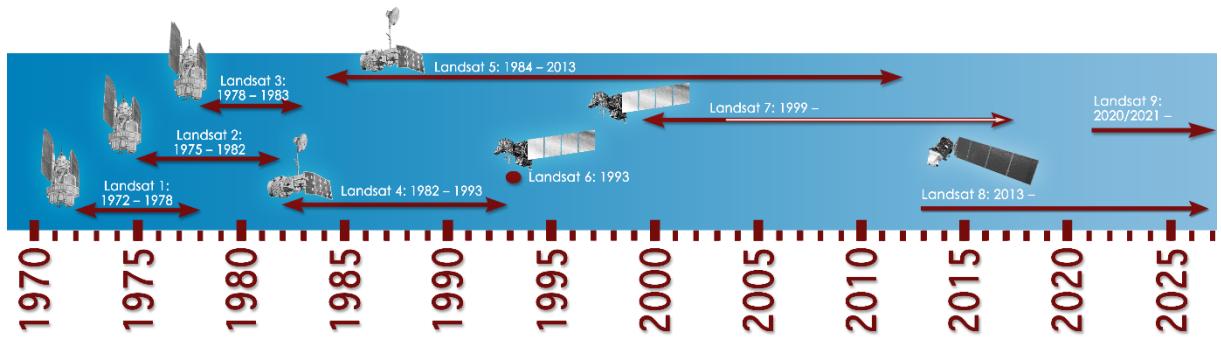
### **2.1.6 O programa landsat**

William T. Pecora, cerca de 40 anos atrás, teve um sonho numa década quando a maioria da comunidade da indústria espacial e da ciência centrou a sua atenção em colocar o homem na Lua. Pecora sentiu que talvez devêssemos olhar no espelho com alguns dos nossos avanços tecnológicos para aprender mais sobre a dinâmica do nosso próprio planeta e como é influenciado por eventos naturais e atividades humanas. O que evoluiu a partir desse sonho foi o conceito visionário de vigilância terrestre, cartografia ou exploração através de satélites, o que nós conhecemos hoje como a série de satélites Landsat de observação da Terra (WILLIAMS; GOWARD; ARVIDSON, 2006; ARIZA, 2013).

O programa Landsat, constitui-se de uma série de missões de observação da terra, gerenciadas em conjunto pela Administração Nacional da Aeronáutica e do Espaço (NASA) e pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), este programa tem revolucionado a forma de ver e estudar nosso planeta (ARIZA, 2013). A série de dados gerados deu origem à era moderna do sensoriamento remoto por satélite inaugurada em julho de 1972 com o lançamento do primeiro Landsat (então chamado *Earth Resources Satellite Technology* -

ERTS). Landsat 1 foi pioneiro no uso de plataformas espaciais para a coleta sistemática de imagens da superfície terrestre (SHORT et al., 1976). Na **Figura 4** se apresenta a cronologia do programa Landsat.

**Figura 4 - Linha do tempo do programa Landsat**



Fonte: National Aeronautics and Space Administration - NASA (2016).

Os três primeiros Landsat (Landsat 1, 2 e 3), constituem o primeiro grupo, com o sensor *Multispectral Scanner* (MSS) e o *Return Beam Vidicon* (RBV) a bordo da plataforma NIMBUS-like. O Landsat 1 foi retirado em 1978, entregando mais de 300.000 imagens da superfície terrestre, Landsat 2 e 3 foram desativados em fevereiro de 1982 e março de 1983, respectivamente, ambos bem além de seu tempo de vida de design (LAUER; MORAIN; SALOMONSON, 1997; WILLIAMS; GOWARD; ARVIDSON, 2006; CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009).

Landsat 4 e 5, transportaram tanto o sensor *Multispectral Scanner* (MSS) e um sensor mais avançado chamado *Thematic Mapper* (TM). Os satélites foram colocados em órbita em julho de 1982 e março de 1984, respectivamente, sendo desativados em junho de 2001 e novembro de 2011, respectivamente (LAUER; MORAIN; SALOMONSON, 1997; CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009; ARIZA, 2013).

Landsat 6 e 7 formam parte do terceiro grupo de Landsat, incluindo a bordo o sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM) e o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+). Landsat 6 foi lançado em outubro de 1993, mas não conseguiu alcançar a órbita. Landsat 7 foi lançado em abril de 1999, ainda está operando, embora o *Scan Line Corrector* (SLC) começo a falhar em maio de 2003 (WILLIAMS; GOWARD; ARVIDSON, 2006; CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009).

Landsat 8, originalmente chamado *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), armazena dados do sensor *Operational Land Imager* (OLI) e do *Thermal Infrared Sensor*

(TIRS) num driver de estado sólido incluído a bordo. Foi lançado em fevereiro de 2013 com uma vida útil de 5 anos, embora leve combustível para 10 anos (ARIZA, 2013; United States Geological Survey - USGS, 2013).

O programa Landsat tem o mais extenso histórico de dados e continua registrando as mudanças da superfície terrestre desde o espaço. Tem sido projetado e operado para observar repetidas vezes a superfície da terra com uma resolução espacial moderada; em geral cada pixel (30 x 30 m) da faixa do visível cobre a área de um campo de beisebol e o pixel da faixa do infravermelho térmico tem uma resolução de 100 x 100 m. Desde 2009, o arquivo de dados do programa Landsat foi disponibilizado, sem nenhum custo para a comunidade científica (WOODCOCK et al., 2008; ARIZA, 2013; USGS, 2013; ZHANG et al., 2015).

### **2.1.6.1 *Landsat 5***

O satélite Landsat 5 foi desenvolvido pela NASA e lançado em 01 de março de 1984. Após do check-out em órbita, foi inicialmente operado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Em setembro de 1985, a operação de Landsat 5 foi entregue a uma empresa privada, *Earth Observation Satellite Company* (EOSAT). Inicialmente previsto para três anos de vida útil, continuou operativo até 22 de novembro de 2011, mais de duas décadas além do seu tempo de vida útil. Em julho de 2001, o Landsat 5 e todos os seus arquivos de imagem foram retomados pelo governo dos Estados Unidos passando a ser operado pelo USGS (CHANDER; MARKHAM, 2003; WILLIAMS; GOWARD; ARVIDSON, 2006).

O satélite Landsat 5 formou parte da segunda geração de satélites Landsat, com um sensor mais sofisticado, melhorou a aquisição e transmissão de dados, em conjunto com o processamento de dados mais rápido numa instalação altamente automatizada. O MSS foi incluído para dar continuidade com as missões Landsat anteriores, mas os dados do sensor TM rapidamente se tornaram a principal fonte de informação utilizada a partir deste satélite com seus dados aprimorados espacial, espectral e radiometricamente assim como seu desempenho geométrico quando comparado com os dados do sensor MSS. O sensor TM possuía uma resolução espacial de 30 m para as seis bandas reflectivas e 120 m para a banda térmica. As aquisições estiveram limitadas a uma única ligação descendente em tempo real (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009).

Durante o tempo de vida do Landsat 5, houve três sistemas de geração de produtos de dados. O sistema de processamento inicial foi o *TM Image Processing System* (TIPS), usado

pela NOAA, e mais tarde EOSAT o adotou quando assumiu o controle operacional do Programa Landsat. EOSAT atualizou o seu sistema de processamento para o *Enhanced Image Processing System* (EIPS) em outubro de 1991. Ao mesmo tempo, o USGS começou seu próprio arquivo TM, iniciando assim o processamento de dados TM com o *National Landsat Archive Production System* (NLAPS) (CHANDER; MARKHAM, 2003).

Depois de cerca de 28 anos de serviço, o sensor TM continuou funcionando adequadamente. No entanto, suas características mudaram e os métodos de calibração radiométrica dos sistemas NLAPS e TIPS se degradaram por alterações no calibrador interno do instrumento. Os dois sistemas de processamento continuaram gerando produtos de dados Landsat: o *Level 1 Product Generation System* (LPGS) e o NLAPS. A partir do 08 de dezembro de 2008, todos os produtos TM do Landsat 5 foram processados através do LPGS. O Programa Landsat trabalhou na transição do processamento de todos os dados TM do Landsat para LPGS (CHANDER; MARKHAM, 2003; CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009). As principais características do sensor TM do Landsat 5 são descritas na **Tabela 2**.

**Tabela 2** - Resumo das principais caracteristicas do sensor TM do Landsat 5

<b>Sensor</b>	<b>Bandas</b>	<b>Resolução</b>			
		<b>Espectral (μm)</b>	<b>Espacial (m)</b>	<b>Temporal (dias)</b>	<b>Radiométrica (bits)</b>
TM	Banda 1 - Azul	0,45 - 0,52			
	Banda 2 - Verde	0,52 - 0,60			
	Banda 3 - Vermelho	0,63 - 0,69	30		
	Banda 4 - Infravermelho próximo	0,76 - 0,90		16	8
	Banda 5 - Infravermelho médio	1,55 - 1,75			
	Banda 6 - Infravermelho térmico	10,4 - 12,5	120		
	Banda 7 - Infravermelho distante	2,08 - 2,35	30		

Fonte: Ariza (2013) e USGS e NASA (2013).

O sensor TM tem sete bandas espectrais, das quais seis são reflectivas de 30 m e uma é termal térmica de 120 m. As bandas do TM têm comprimentos de onda como se apresenta na **Tabela 2**. Os produtos não processados e os dados calibrados são quantificados para oito bits. O sensor TM incorporou um Calibrador Interno (IC) com lâmpadas para as bandas reflectivas, uma fonte de corpo negro para a banda térmica, e um obturador que monitora a temperatura de todas as bandas. O IC está localizado atrás do instrumento principal do telescópio,

sincronizado com o espelho de varredura de tal forma que os detectores visualizam as fontes de calibração durante cada rotação do espelho (CHANDER; MARKHAM; BARSI, 2007).

### **2.1.6.2 Landsat 8**

O satélite Landsat 8 foi lançado como *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM) em 11 de fevereiro de 2013. Nos três primeiros meses após do lançamento o LDCM foi rebatizado como Landsat 8. A plataforma do Landsat 8, foi construída pela empresa *Orbital Sciences Corporation* em Gilbert, Arizona, com uma vida útil de cinco anos, embora leve combustível para 10 anos. O Landsat 8 tem uma órbita de norte a sul durante o dia, cruzando o equador às 10h (horário local), a 705 km acima da terra (USGS, 2013).

O Landsat 8 é composto de dois segmentos, o observatório e o sistema terrestre. O observatório é uma plataforma com dois sensores: o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). O sensor OLI foi construído pela empresa *Ball Aerospace & Technologies Corporation* em Boulder, Colorado e o sensor TIRS por sua vez foi construído pela NASA no centro espacial Goddard em Greenbelt, Maryland. O satélite segue as mesmas trajetórias dos seus antecessores (Landsat 4, 5 e 7). Os dados dos sensores OLI e TIRS são armazenados numa unidade de estado sólido que está a bordo da plataforma, estes dados são transmitidos às estações receptoras terrestres que concede a capacidade necessária para a planificação e programação das operações do Landsat 8 e de todas aquelas operações necessárias para administrar e distribuir os dados (ARIZA, 2013; UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS, 2013, 2016).

O sensor OLI oferece uma melhoria dos instrumentos das missões Landsat anteriores, com a incorporação de duas novas bandas espectrais; um canal profundo no azul visível (banda 1) e o novo canal infravermelho (banda 9); e uma banda de qualidade. O sensor TIRS possui duas bandas espectrais em comprimentos de onda incluídas em sensores anteriores (TM e ETM+). A qualidade dos dados e a resolução radiométrica (12 bits) do OLI e TIRS é melhor do que os instrumentos anteriores, aproximadamente são feitas 400 cenas por dia, as quais estão disponíveis em até 24 horas depois da aquisição (ARIZA, 2013; USGS, 2013).

As imagens dos sensores OLI e TIRS constam de nove bandas espectrais com uma resolução espacial de 30 m para as bandas 1 - 7 e 9. A banda nova (azul profundo) é utilizada para estudos costeiros e de aerossóis. A nova banda 9 é utilizada na detecção de nuvens tipo cirros. A resolução espacial da banda 8 (pancromática) é de 15 m. As duas bandas térmicas 10 e 11 fornecem temperaturas mais acuradas da superfície e têm uma resolução espacial de 100

m (reamostradas para 30 m; **Tabela 3**), o tamanho aproximado de uma cena é de 170 km de norte - sul por 183 km de este - oeste (ARIZA, 2013).

**Tabela 3** - Resoluções radiometricas e espaciais dos sensores (OLI e TIRS) do Landsat 8

<b>Sensor</b>	<b>Bandas</b>	<b>Resolução</b>			
		<b>Espectral</b> <b>(μm)</b>	<b>Espacial</b> <b>(m)</b>	<b>Temporal</b> <b>(dias)</b>	<b>Radiométrica</b> <b>(bits)</b>
OLI	Banda 1 - Aerossol costeiro	0,43 - 0,45			
	Banda 2 - Azul	0,45 - 0,51			
	Banda 3 - Verde	0,53 - 0,59			
	Banda 4 - Vermelho	0,64 - 0,67			
	Banda 5 - Infravermelho próximo (NIR)	0,85 - 0,88	30		
	Banda 6 - Infravermelho médio (SWIR1)	1,57 - 1,65		16	12
	Banda 7 - Infravermelho distante (SWIR2)	2,11 - 2,29			
	Banda 8 - Pancromático	0,50 - 0,68	15		
	Banda 9 - Cirros	1,36 - 1,38	30		
TIRS	Banda 10 - Infravermelho térmico 1	10,60 - 11,19			
	Banda 11 - Infravermelho térmico 2	11,50 - 12,51	100	16	12

OLI - operational land imager, TIRS - thermal infrared sensor

Fonte: Ariza (2013), USGS e NASA (2013).

### 2.1.7 Conceitos de evapotranspiração

O termo evapotranspiração foi introduzido por Harold G. Wilm e Charles W. Thornthwaite (WILM; THORNTWHAITE, 1944). Duas publicações científicas foram as mais importantes, para a agricultura, climatologia e hidrologia, a de Charles W. Thornthwaite (THORNTWHAITE, 1948) relacionadas a pesquisas analíticas, empíricas e fundamentadas na análise dos fatos tentando explicar as variações sazonais do balanço de água no solo bem como as diferenças regionais do clima; e a de Howard L. Penman (PENMAN, 1948) baseada nos conhecimentos físicos que regem os fenômenos do transporte de vapor de água de corpos hídricos, no solo descoberto e na grama com base no balanço de energia e na aerodinâmica.

### ***2.1.7.1 Evapotranspiração real, atual ou da cultura***

A evapotranspiração real (também chamada como evapotranspiração atual ou da cultura) é definida como a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, sendo esta em termos gerais igual ou menor que a evapotranspiração potencial (chamada atualmente como evapotranspiração de referência). A partir da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é possível estimar a evapotranspiração da cultura (nas condições potenciais), que evidencia as necessidades hídricas da mesma, isenta de doenças e pragas, desenvolvendo-se num hectare ou mais, sob ótimas condições de solo, incluindo umidade e fertilidade (JENSEN, 1968; ALLEN et al., 1998; FERNANDES et al., 2010; PEREIRA et al., 2015).

### ***2.1.7.2 Evapotranspiração de referência***

O termo evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi introduzida originalmente como evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) por Charles W. Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948).

John L. Monteith na década de 1960, com base no método de Penman, propôs um novo método que estimava diretamente a evapotranspiração baseado na resistência da superfície, denominando-o de Penman-Monteith (MONTEITH, 1965).

A  $ET_0$  é definida como a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera sob condições padronizadas de superfície totalmente coberta por vegetação baixa de altura uniforme e elevado índice de área foliar de crescimento ativo na fase adulta (grama ou alfafa) e teor de água do solo próximo ou na capacidade de campo. A transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera ocorre em função apenas do balanço vertical de energia sem interferências advectivas (ALLEN et al., 1998; CARVALHO et al., 2011).

A  $ET_0$  se constitui um importante parâmetro agrometeorológico para o planejamento e manejo da irrigação. Existem diversos métodos para sua estimativa, desde os puramente empíricos até aqueles que apresentam embasamento físico consistente sobre o fenômeno (CARVALHO et al., 2011).

Para o cálculo da  $ET_0$  existem vários métodos: Penman simplificado (2006), Penman-Monteith ASCE-EWRI (2005), Penman-Monteith FAO (1998), Balanço de energia (1997), Tanque Classe A (1989), Hargreaves-Samani (1985), Kharrufa (1985), radiação solar (1984), Penman FAO-24 (1977), Linacre (1977), Hargreaves (1974), Priestley-Taylor (1972), Camargo (1971), Benavides-Lopes (1970), Jansen-Haise (1963), Hamon (1961), Romanenko

(1961), Turc (1961), Holdridge (1959), Makkink (1957), Blaney-Criddle (1950), Penman (1948), Thornthwaite (1948). Cada um deles com seus prós e contras (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007; VEGA; JARA, 2009; FERNANDES et al., 2010; CARVALHO et al., 2011; MENDONÇA; ESTEVES; SOUSA, 2013; PEREIRA et al., 2015).

Contudo, o método Penman-Monteith FAO é o mais utilizado como padrão de referência e de comparação a nível mundial (PEREIRA et al., 2015), e que já vem sendo usado há duas décadas (CARVALHO et al., 2011). Utiliza como cultura hipotética, aquela cujas características se assemelham, à evapotranspiração da grama, e mantendo os parâmetros constantes, como: altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cultura ao transporte de vapor de água igual a  $70 \text{ s m}^{-1}$ ; definido pela Equação (1) (ALLEN et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que,  $\Delta$  é a declinação da curva de saturação do vapor de água ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $R_n$  é o saldo de radiação ou radiação líquida ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $G$  é a densidade de fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ),  $\gamma$  é a constante psicométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ),  $T_a$  é a temperatura média do ar a 2 m acima da superfície ( $^\circ\text{C}$ ),  $u_2$  é a velocidade média do ar a 2 m acima da superfície ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor (kPa),  $e_a$  é a pressão atual do vapor (kPa),  $e_s - e_a$  é o déficit de pressão de vapor (kPa).

### 2.1.8 Simple algorithm for evapotranspiration retrieving - SAFER

Os métodos mais conhecidos para o computo da evapotranspiração atual em larga escala tais como o *Surface Energy Balance Algorithm for Land* - SEBAL (BASTIAANSSEN et al., 1998) e o *Mapping Evapotranspiration at high Resolution and with Internalized Calibration* - METRIC (ALLEN; TASUMI; TREZZA, 2007), estão baseados no balanço de energia através de sensoriamento remoto (SEBAL) e no uso da razão entre a evapotranspiração atual e a de referência na extração de valores de evapotranspiração atual no momento da passagem do satélite (METRIC) (TEIXEIRA et al., 2013a).

Como alternativa a estas metodologias que originalmente não foram pensadas para as condições do Brasil, surge o *Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving* - SAFER que supre as desvantagens que apresentam em alguns métodos em relação à identificação das

condições hidrológicas extremas em uma imagem, em particular na identificação do pixel quente durante o período chuvoso, embora o SEBAL tenha sido calibrado e validado para as condições semiáridas brasileiras (TEIXEIRA et al., 2009a, 2009b, 2013a). O SAFER foi ajustado para o noroeste do Estado de São Paulo e apresentou melhor desempenho que o SEBAL em condições de menor índice de área foliar e/ou parcial cobertura do solo (HERNANDEZ et al., 2014) e também foi calibrado para outras regiões (TEIXEIRA et al., 2015d).

O nome SAFER foi cunhado no ano 2012 (TEIXEIRA; HERNANDEZ; LOPES, 2012), anteriormente pode ser encontrado na literatura como Teixeira (2010) (TEIXEIRA, 2010). Está baseado na modelagem da razão  $ET_a/ET_0$ , e foi elaborado e validado com dados de quatro experimentos de campo envolvendo culturas irrigadas e vegetação natural nas condições semiáridas brasileiras (TEIXEIRA, 2010, 2012). O SAFER é utilizado para obter o fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ), e para a estimativa da resistência da superfície aos fluxos hídricos utiliza-se o *Surface Resistance Algorithm* (SUREAL) (TEIXEIRA et al., 2013b).

Estes dois modelos (SAFER e SUREAL) utilizados em conjunto permitiram obter a evapotranspiração atual em larga escala em condições semiáridas brasileiras (TEIXEIRA et al., 2013a), em Goiás (ANDRADE et al., 2014b), Mato Grosso do Sul (ANDRADE et al., 2015; TEIXEIRA et al., 2015d) e no noroeste do Estado de São Paulo (FRANCO; HERNANDEZ; TEIXEIRA, 2014; HERNANDEZ et al., 2014; COAGUILA; HERNANDEZ; TEIXEIRA, 2015), em conjunto com os produtos das plataformas Landsat 5, Landsat 7, Landsat 8, MODIS e RapidEye, e dados de estações agrometeorológicas.

O SAFER é de simples aplicação, não é necessária a classificação da vegetação, e prescinde das condições hidrológicas extremas e da necessidade de conhecimentos específicos da física da radiação, tem a vantagem de não ser obrigatório o uso da banda termal e de poder ser aplicado com dados meteorológicos provenientes de diferentes tipos de estações, possibilitando a avaliação das tendências históricas dos componentes do balanço de energia e da produtividade da água (TEIXEIRA et al., 2013a).

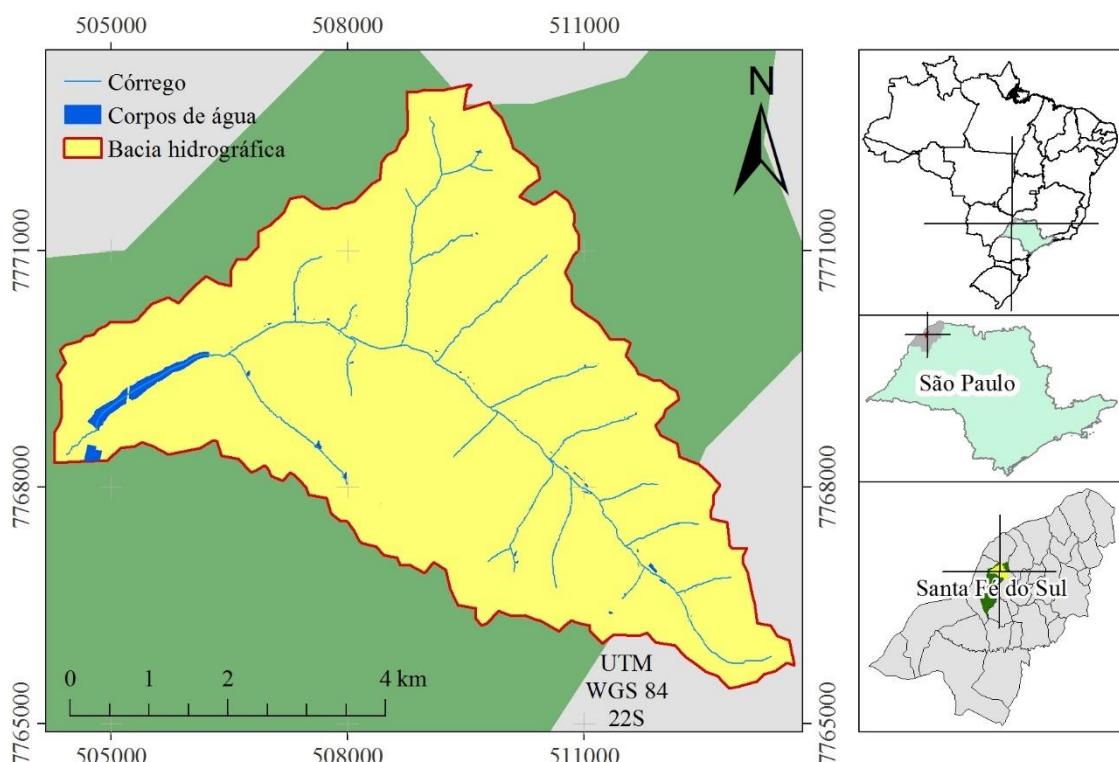
Complementarmente, através da equação de Slob para estimativa da radiação líquida (DE BRUIN, 1987; DE BRUIN; STRICKER, 2000; TEIXEIRA et al., 2008), do modelo SAFER e do SUREAL, e da estimativa do fluxo de calor do solo (G) como fração da Rn (TEIXEIRA, 2010), torna possível a quantificação do fluxo de calor sensível (H) como resíduo do balanço de energia (TEIXEIRA et al., 2014b), após a estimativa do saldo de radiação ( $R_n$ ).

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (**Figura 5**) está localizada no município de Santa Fé do Sul, no extremo Noroeste do estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas centrais  $50^{\circ}55'5''$  W e  $20^{\circ}10'9''$  S com 380 m de altitude.

**Figura 5** - Mapa da área de estudo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida



Fonte: Modificado do IBGE (2016b).

O município de Santa Fé do Sul pertence a um dos 29 municípios Paulistas consideradas como estâncias turísticas pelo Estado de São Paulo. Até 1946 a região pertencia a John Paget, sendo um latifúndio improdutivo a mais nas estatísticas do país. E em 24 de junho de 1948 os desbravadores ofereceram uma missa como marco inicial da cidade, sendo instalada em 01 de janeiro de 1954. O município tem uma população estimada em 2015 de 31.348 habitantes (29.239 habitantes no censo de 2010) apresenta uma área de 206,537 km<sup>2</sup>, com uma densidade populacional de 141,81 hab km<sup>-2</sup> (IBGE, 2016a).

### **2.2.1.1 *Clima***

O clima predominante, baseado nas condições de precipitação e temperatura segundo a classificação de Köeppen - Geiger (KOTTEK et al., 2006), é equatorial (A), pertencente à savana equatorial com inverno seco (w), codificado como Aw ou clima tropical úmido com inverno seco.

E segundo a classificação de Thornthwaite (1948), atualizado por Feddema (2005) e aplicada no estado de São Paulo (ROLIM et al., 2007), o clima da região, é do tipo megatérmico ( $C_2dA'a'$ ), subúmido chuvoso com pequeno ou nenhum excedente de água, e evapotranspiração de verão menor que 48% do total anual.

Segundo o IBGE (2016b), o clima é de tipo úmido, com três meses secos e temperatura do ar maior que 18°C em todos os meses, sazonal tropical com inverno seco (IBGE, 2016a).

Para a descrição climática (**Figura 6**) foram utilizados os dados da estação de Marinópolis da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista (<http://clima.feis.unesp.br>; **Figura 7**), localizada aproximadamente a 30 km da área de estudo.

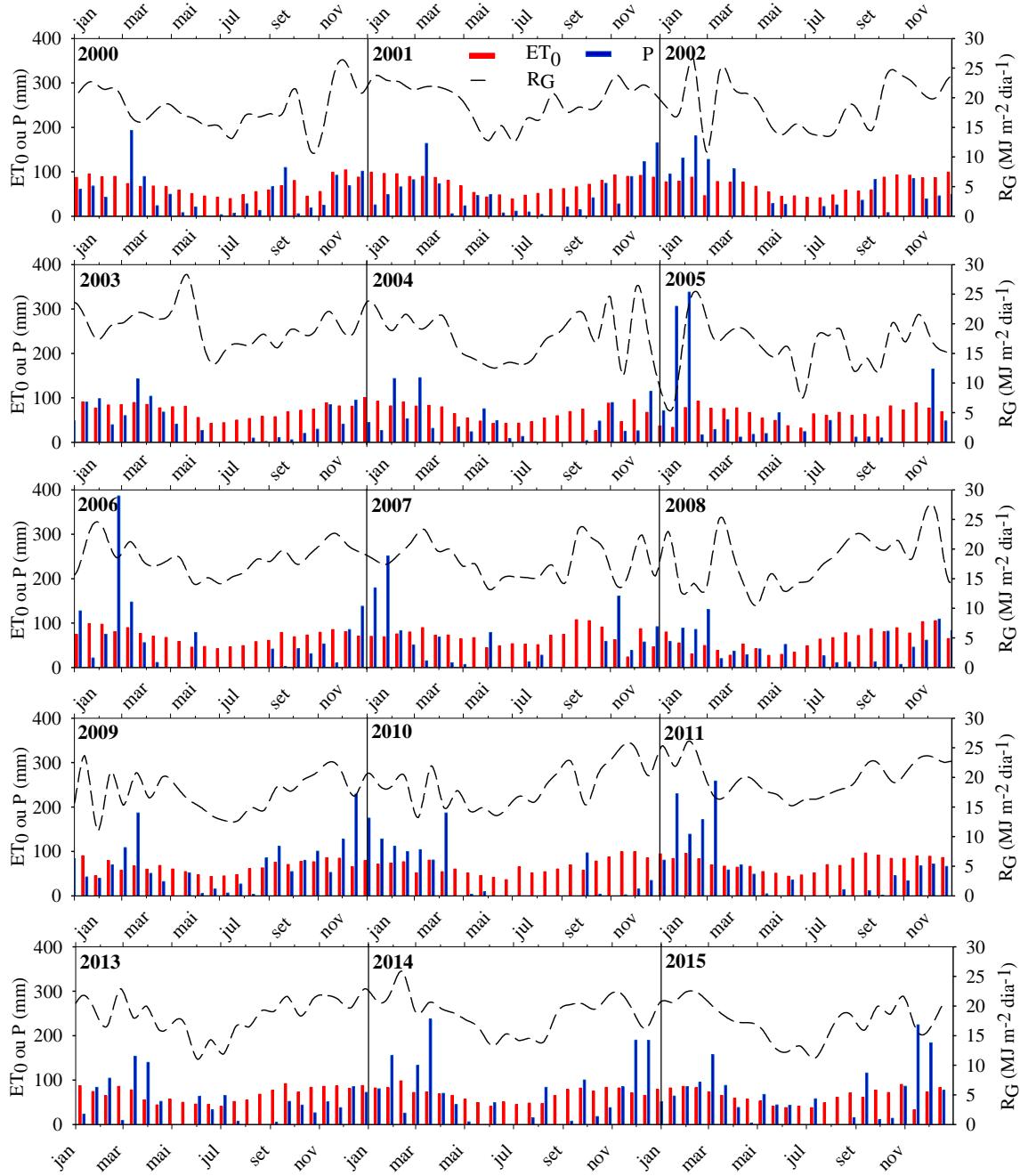
### **2.2.1.2 *Geologia***

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT (1981) e o IBGE (2016b), a bacia hidrográfica em estudo teve sua origem no mesozóico, de origem vulcânica e de composição básica do mesozóico ( $M\beta$ ) e a partir de sedimentos argilosos, arenosos e cascalhos ( $M1$ ).

### **2.2.1.3 *Potencial agrícola***

O potencial agrícola é regular com fertilidade baixa de boas características, de topografia plana e suave ondulada. Sendo as limitações a baixa disponibilidade de nutrientes e excesso de alumínio (IBGE, 2016b).

**Figura 6** - Média (cada 16 dias) da radiação solar global ( $R_G$ ) e totais de precipitação pluviométrica (P) e de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), representativas da área de estudo, durante o período 2000-2011 e 2013-2015.



Fonte: Adaptado de Universidade Estadual Paulista - UNESP (2016).

#### 2.2.1.4 Relevo

O relevo é do tipo planalto central da bacia do Paraná, de bacias e coberturas sedimentares pertencendo à bacia sedimentar do Paraná (IBGE, 2016b).

### **2.2.1.5 Vegetação**

Pertence ao tipo e classe área antropizada (ant), rodeado pela região fitoecológica de tipo savana (cerrado) (IBGE, 2016b). A bacia hidrográfica em estudo está situada no bioma de mata atlântica (IBGE, 2016a).

### **2.2.1.6 Solo**

O tipo de solo ao qual pertence a bacia em estudo é do tipo argissolo vermelho distrófico (PVd) + latossolo vermelho eutoférreco (LVef) (EMBRAPA, 2013), com carbono orgânico nas profundidades de 0-5, 5-15 e 15-30 cm de 17-27, 17-24 e 8-23 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (EMBRAPA, 2014).

## **2.2.2 Delimitação da bacia hidrográfica**

No atual estudo se seguiu a metodologia descrita por Ruiz e Torrres (2008), Rosas (2009), Organização das Nações Unidas a Alimentação e a Agricultura - FAO (2011) e Amanajás e Funi (2015) para a delimitação da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, através do programa Arcmap™ 10.0 (ArcGIS®) do ESRI utilizando o *Model Builder* no processamento dos dados obtidos do TOPODATA.

### **2.2.2.1 Modelo digital do terreno**

O modelo digital do terreno (MDT), é uma estrutura numérica de dados que representa a distribuição espacial de uma variável quantitativa e continua, como pode ser a temperatura, a altitude ou a pressão atmosférica. No caso em que a variável a representar seja a cota ou altura do terreno se denomina modelo digital de elevação (MDE) (RUIZ; TORRRES, 2008).

#### **2.2.2.1.1 Modelo digital de elevação**

O modelo digital de elevação é um modelo digital do terreno cujos dados armazenados representam valores de altitude, este modelo é simbólico, já que estabelecem relações de correspondência com o objeto real, mediante algoritmos matemáticos que são processados mediante programas de sistemas de informação geográfica. Estas estruturas de dados, não são

apenas acumulações de valores, senão que possuem estrutura interna com a qual se devem interpretar ditos dados (ROSAS, 2009).

O modelo digital de elevação utilizado no presente estudo foi o do TOPODATA, em que os dados originais do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRMT) foram interpolados para refinamento no tamanho de *pixel* de 90 m para 30 m, além de inclusão de informação nos pontos vazios (VALERIANO; ROSSETTI, 2012). Teske, Giasson e Bagatini (2014), avaliaram e compararam diferentes modelos digitais de elevação para predisser a ocorrência de unidades de mapeamento de solo, onde os modelos com menor resolução espacial (30 m, TOPODATA) foram mais acurados na correlação solo-paisagem e geraram maior quantidade de unidades de mapeamento preditas.

#### **2.2.2.2 *Direção de fluxo***

A direção de fluxo está determinada pela direção mais íngreme de descida de cada *pixel*, onde é gerado um *raster* a partir do MDE TOPODATA contendo a direção de fluxo de cada *pixel*. Cada *pixel* é cercado potencialmente por oito *pixels* vizinhos. A inclinação de cada uma destas oito direções pode ser calculada tomando-se a diferença em elevação indicada pelo valor de MDE para cada uma destas oito localidades vizinhas e do valor do pixel a ser examinado (AMANAJÁS; FUNI, 2015), determinando-se as direções dos rios.

#### **2.2.2.3 *Acumulação de fluxo***

O *raster* criado determina a acumulação de fluxo a partir da direção de fluxo criado anteriormente, o fluxo acumulado está em função do número de pixels que fluem até cada um dos pixels da matriz de saída. O pixel que está sendo processado não se considera em tal acumulação. Os pixels de saída com uma alta acumulação de fluxo identificam ou representam a rede drenagem, os pixels de saída com uma acumulação de fluxo zero são pontos topográficos altos que permitem identificar os cumes (RUIZ; TORRRES, 2008).

#### **2.2.2.4 *Stream link***

Atribui valores únicos para as seções de uma rede de matriz de drenagem linear, compreendida entre cruzamentos. Os *links* são as seções de uma rede de drenagem que conectam dois confluências consecutivas (ROSAS, 2009).

### **2.2.2.5 *Watershed***

Determina a área de contribuição em cima de um conjunto de pixels numa matriz, é a área na qual a água drena dentro dela, se concentra num coletor comum ou principal (RUIZ; TORRRES, 2008).

## **2.2.3 Determinação dos parâmetros morfométricos**

### **2.2.3.1 *Área***

É toda a área drenada pelo sistema pluvial inclusa entre seus divisores topográficos e projetada em plano horizontal (TONELLO, 2005).

### **2.2.3.2 *Perímetro***

O perímetro é o comprimento da linha imaginaria ao longo do divisor de águas (TONELLO, 2005).

### **2.2.3.3 *Coeficiente de compacidade***

O coeficiente de compacidade relaciona a forma da bacia com um círculo, constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. O valor calculado é independente da área considerada, dependendo apenas da forma da bacia (TONELLO et al., 2006) e é adimensional e calculada como a seguir (TEODORO et al., 2007):

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

em que,  $Kc$  é o coeficiente de compacidade,  $P$  é o perímetro e  $A$  é a área de drenagem.

#### **2.2.3.4 Fator de forma**

O fator de forma relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espião), podendo ser influenciada pela geologia. Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. O fator de forma pode ser descrito pela seguinte equação (TEODORO et al., 2007):

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

em que,  $Kf$  é o fator de forma (adimensional),  $A$  é a área de drenagem e  $L$  é o comprimento do eixo da bacia (comprimento do canal principal).

#### **2.2.3.5 Índice de circularidade**

O índice de circularidade é a medida que a bacia se aproxima da forma circular sendo baixa a medida que a forma se torna alongada (CARDOSO, 2006):

$$IC = \frac{12,57 A}{P^2} \quad (4)$$

em que,  $IC$  é o índice de circularidade (adimensional).

#### **2.2.3.6 Índice de sinuosidade**

Este índice expressa a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre dois pontos extremos do canal principal. Relaciona o comprimento verdadeiro do canal com a distância vetorial entre os dois extremos do canal principal (PINTO; ROSSETE, 2005):

$$Is = \frac{L}{dv} \quad (5)$$

em quem,  $Is$  é o índice de sinuosidade e  $dv$  é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal.

#### **2.2.3.7 Densidade de drenagem**

A densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica (TEODORO et al., 2007):

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (6)$$

em que,  $Dd$  é a densidade de drenagem e  $Lt$  é o comprimento total dos rios ou canais.

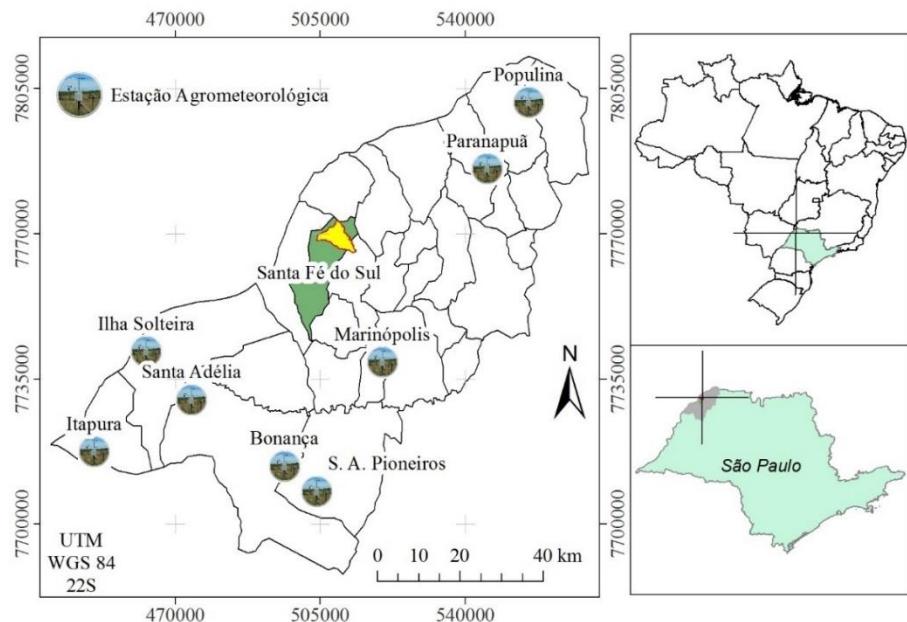
#### **2.2.3.8 Características do relevo**

A declividade relaciona-se com a velocidade em que se dá o escoamento superficial, afetando o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias. Por outro lado, a variação da altitude associa-se com a precipitação, evaporação e transpiração, consequentemente sobre o deflúvio médio. Sendo assim a amplitude altimétrica, a variação entre a altura máxima e a mínima (TEODORO et al., 2007).

### **2.2.4 Variáveis meteorológicas**

As variáveis utilizadas foram obtidas da Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista (<http://clima.feis.unesp.br>; **Figura 7**). Sendo estas a radiação solar global ( $R_g$ ; MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; transformada a W m<sup>-2</sup> para os cálculos), evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ; mm dia<sup>-1</sup>) e temperatura média diária ( $T_a$ ; °C), ditas variáveis foram espacializadas através de processos, para a criação de valores para pontos desconhecidos com base em um conjunto disperso de pontos conhecidos, processo chamado de interpolação espacial.

**Figura 7 - Rede Agrometeorológica do Noroeste Paulista**



Fonte: Adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016b).

O método de interpolação utilizado foi a ponderação pelo inverso da distância (IDW, *Inverse Distance Weighting*). Cabe ressaltar que o método de interpolação utilizado é apenas usado para a espacialização dos dados de  $R_G$ ,  $ET_0$  e  $T_a$ .

O IDW utiliza um algoritmo simples baseado em distâncias (JOHNSTON et al., 2001), onde assume que as previsões são uma combinação linear dos dados (VILLATORO; HENRÍQUEZ; SANCHO, 2008), calculando o peso dos valores de acordo à relação inversa da distância. Baseando-se na autocorrelação linear espacial dos pontos para a previsão e geração de superfícies continuas (MURILLO et al., 2012), assumindo que quanto mais próximo ao ponto de amostra estiver do pixel cujo valor será estimado, mais próximo o valor do pixel se assemelhará ao valor do ponto de amostra. Estas interpolações são fidedignas no sentido de que conservam os valores originais e não faz estimativas acima dos valores de amostra máximos ou abaixo dos mínimos (CHILDS; ESRI, 2004).

Os dados utilizados ( $ET_0$ ,  $R_G$  e  $T_a$ ) foram da série temporal 2000-2011 e 2013-2015, embora todas as oito estações automáticas começaram os registros meteorológicos em conjunto a partir de novembro de 2011. Sendo as estações agrometeorológicas mais antigas a de Ilha Solteira (agosto 1991) e a instalada em Marinópolis (agosto 1998). As outras seis estações foram instaladas a partir de dezembro de 2010 até novembro de 2011 (<http://clima.feis.unesp.br/>).

Quando houveram dados faltantes, na série temporal, se utilizou equações baseadas em regressões a partir de dados de quatro anos (2012-2015), utilizando como variável independente os dados da estação de Ilha Solteira para estimar a ET<sub>0</sub>, R<sub>G</sub> e T<sub>a</sub> de todas as outras estações (**Tabela 4**).

**Tabela 4** - Resumo das análises de regressão

Parâmetro	Estação	Equação	R <sup>2</sup>
Temperatura média T <sub>a</sub> (°C)	Populina	$T_{méd\ Po} = 1,57 + 0,93 T_{méd\ IS} - 0,12 Insol_{IS}$	0,93
	Paranapuã	$T_{méd\ Pa} = 2,49 + 0,89 T_{méd\ IS} + 0,15 ET_{0\ IS} - 0,18 Insol_{IS}$	0,92
	S. A.	$T_{méd\ SAP} = 0,86 + 0,94 T_{méd\ IS}$	0,92
	Pioneiros	$T_{méd\ Bo} = 0,52 + 0,96 T_{méd\ IS} - 0,07 Insol_{IS}$	0,96
	Bonança	$T_{méd\ SA} = 0,63 + 1,10 T_{méd\ IS} - 0,14 T_{min\ IS} - 1,10 Vento_{IS}$	0,99
	Adélia	$T_{méd\ It} = -2,75 + 1,00 T_{méd\ IS} - 0,02 UR_{max\ IS}$	0,98
Radiação solar global R <sub>G</sub> (W m <sup>-2</sup> )	Populina	$R_{G\ Po} = 7,43 + 0,57 R_{G\ IS} + 0,20 T_{max\ IS} - 0,07 UR_{max\ IS}$	0,68
	Paranapuã	$R_{G\ Pa} = 7,44 + 0,71 R_{G\ IS} - 0,06 UR_{min\ IS}$	0,77
	S. A.	$R_{G\ SAP} = -2,80 + 0,88 R_{G\ IS} - 0,09 T_{max\ IS}$	0,82
	Pioneiros	$R_{G\ Bo} = 7,44 + 0,71 R_{G\ IS} - 0,06 UR_{min\ IS}$	0,89
	Bonança	$R_{G\ SA} = 3,07 + 0,79 R_{G\ IS} + 0,11 UR_{méd\ IS} - 0,09 UR_{min\ IS}$	0,84
	Adélia	$- 0,04 UR_{max\ IS}$	
Evapotranspiração de referência ET <sub>0</sub> (mm dia <sup>-1</sup> )	Itapura	$R_{G\ It} = -1,73 + 0,91 RG_{IS} + 0,09 T_{max\ IS}$	0,88
	Populina	$ET_{0\ Po} = -0,46 + 0,72 ET_{0\ IS} - 0,06 Insol_{IS} + 0,05 T_{max\ IS}$	0,80
	Paranapuã	$ET_{0\ Pa} = 0,53 + 0,90 ET_{0\ IS} - 0,07 Insol_{IS}$	0,83
	S. A.	$ET_{0\ SAP} = -0,25 + 0,57 ET_{0\ IS} + 0,13 RG_{IS} - 0,08 Insol_{IS}$	0,87
	Pioneiros	$+ 0,02 T_{max\ IS}$	
	Bonança	$ET_{0\ Bo} = 0,46 + 0,95 ET_{0\ IS} - 0,33 Vento_{IS} - 0,05 Insol_{IS}$	0,87
Santa	Santa	$ET_{0\ SA} = 0,30 + 0,93 ET_{0\ IS} + 0,02 Insol_{IS}$	0,89
	Adélia		
Itapura	Itapura	$ET_{0\ It} = 0,26 + 1,00 ET_{0\ IS} - 0,10 Vento_{IS} + 0,04 Insol_{IS}$	0,89

Po-Populina, Pa-Paranapuã, SAP-Santa Adélia Pioneiros, Bo-Bonança, SA-Santa Adélia, It-Itapura, IS-Ilha Solteira

T<sub>méd</sub>-temperatura média do ar (°C), Insol-horas de insolação (horas), ET<sub>0</sub>-evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>), UR<sub>max</sub>-umidade relativa máxima do ar (%), T<sub>max</sub>-temperatura máxima do ar (°C), UR<sub>min</sub>-umidade relativa mínima do ar (%)

Fonte: Adaptado de Universidade Estadual Paulista - UNESP (2016).

## 2.2.5 Processamento das imagens landsat

Antes da estimativa da evapotranspiração através do algoritmo SAFER, as imagens foram processadas previamente com correções geométricas, calibrações radiométricas e atmosféricas.

### 2.2.5.1 Aquisição da base de dados

As imagens utilizadas foram obtidas do site da USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) das plataformas Landsat 5 e 8 (sensores TM, OLI e TIRS), com órbita 222 e ponto 74, para o período de 2000-2011 e 2013-2015. Imagens de nível 1 com processamento de dados LPGS e livre de nuvens foram as utilizadas para continuar com os próximos passos do processamento.

### 2.2.5.2 Correções geométricas

As correções geométricas foram realizadas baseados na metodologia de Silva et al. (2012), para produtos do Landsat 5 e adaptada para produtos do Landsat 8. Utilizando como imagem de referência as próprias imagens do Landsat 8, uma vez que estas imagens sejam do nível 1 (L1T), ou seja, disponibilizadas com ortorretificação.

Os produtos de dados L1T consistem em produtos de dados L1R (corrigidos radiometricamente) com correções geométricas sistemáticas, utilizando pontos de controle terrestre ou informação de posição integrada a bordo para fornecer uma imagem registrada a uma projeção cartográfica referenciada a WGS84, G873, ou a sua versão atual. Adicionalmente os dados também contém uma correção topográfica pelo deslocamento do terreno devido ao relevo. O resultado final é um produto geometricamente retificado livre de distorções relacionadas ao sensor (efeitos pelo ângulo de visão) e à terra (rotação, curvatura e relevo) (GARCIA et al., 2014).

Para proceder com a ortorretificação (Landsat 5), os procedimentos são a aquisição das bandas multiespectrais; correção do hemisfério das imagens (Landsat 5 e 8); e coleta de pontos de controle (SILVA et al., 2012). A partir de setembro do presente ano (2017) todas as imagens da família Landsat (sensor TM) serão reprocessadas e ortorretificadas, mudando a própria nomenclatura dos produtos de nível 1 (<http://landsat.usgs.gov/landsatcollections.php>).

### 2.2.5.2.1 Landsat 5 e 8

Para realizar a correção geométrica (Landsat 5) é necessária uma imagem previamente registrada (imagem de referência). No catálogo da USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) é possível adquirir imagens, praticamente de toda a superfície da terra, do nível 1.

As imagens do Landsat 8, utilizadas também como referência, são disponibilizadas com a zona UTM correta, porém com o hemisfério errado (norte; *north up*). As imagens do Landsat 5 e 8 foram reprojetadas para o hemisfério certo, utilizando o ArcMap™ 10.0 (ArcGIS®) do ESRI.

Uma vez obtida a imagem de referência, se procedeu ao autorregistro das imagens do Landsat 5 utilizando o ArcMap™ 10.0 (ArcGIS®) do ESRI, cuidando que o valor do erro RMS (*root mean square*) não fosse maior que 0,5 (15 m) conforme recomendado por (SILVA et al., 2012).

### 2.2.5.3 Correções radiométricas

Imediatamente após da ortorretificação das imagens Landsat 5, e correção do hemisfério dos produtos do Landsat 5 e 8 se procedeu com as correções radiométricas (Landsat 5 e 8), como recomendado por (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009; ARIZA, 2013; VANHELLEMONT; RUDDICK, 2014; TEIXEIRA et al., 2015a).

#### 2.2.5.3.1 Conversão dos valores de números digitais (DN) em radiância

##### 2.2.5.3.1.1 Landsat 5

Correções radiométricas foram realizadas, visando a conversão dos valores digitais em radiância espectral (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009), para cada banda (1-7). Por meio da Equação ( 7), em conjunto com seus respectivos valores da **Tabela 5**, sendo que a radiância é a intensidade radiante por unidade de área-fonte projetada numa direção específica, medida em watts por metro quadrado por esterradiano ( $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1}$ ).

$$L_\lambda = \left( \frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_\lambda \quad (7)$$

em que,  $L_\lambda$  é a radiância espectral no sensor ( $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ),  $LMAX_\lambda$  é a radiância espectral no sensor dimensionada para  $Q_{calmax}$  ( $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ),  $LMIN_\lambda$  é a radiância espectral no sensor dimensionada para  $Q_{calmin}$  ( $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ ),  $Q_{calmin}$  é o valor do pixel quantificado e calibrado correspondente a  $LMIN_\lambda$  (DN),  $Q_{calmax}$  é o valor do pixel quantificado e calibrado correspondente a  $LMAX_\lambda$  (DN),  $Q_{cal}$  é o produto padrão quantificado e calibrado por valores de pixel (DN, número digital de cada pixel) - refere-se a cada uma das bandas.

**Tabela 5** - Parâmetros radiométricos para o cálculo da radiância e reflectância de imagens Landsat 5

Sensor TM ( $Q_{calmin} = 1$ e $Q_{calmax} = 255$ )					
Banda	Faixa espectral $\mu\text{m}$	$LMIN_\lambda$ ----- $\text{W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ -----	$LMAX_\lambda$	$ESUN_\lambda$ $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$	$\omega_\lambda$ -
1	0,452 - 0,518	-1,52	193	1983	0,293
2	0,528 - 0,609	-2,84	365	1796	0,274
3	0,626 - 0,693	-1,17	264	1536	0,233
4	0,776 - 0,904	-1,51	221	1031	0,157
5	1,567 - 1,784	-0,37	30,2	220	0,033
6	10,45 - 12,42	1,2378	15,3032	-	-
7	2,097 - 2,349	-0,15	16,5	83,44	0,011

Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002) e Chander, Markham e Helder (2009).

### 2.2.5.3.1.2 Landsat 8

As correções radiométricas das imagens dos sensores OLI e TIRS foram realizadas seguindo a metodologia de Ariza (2013) e Vanhellemont e Ruddick (2014), para as bandas 1-7 e 10-11. Segundo se apresenta a continuação:

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \quad (8)$$

em que,  $M_L$  é o fator multiplicativo de dimensionamento específico (*gain*),  $A_L$  é o fator aditivo de dimensionamento específico (*offset*). Os valores *gain* e *offset* são fornecidos no arquivo *metadata* com processamento de dados LPGS (\*MLT.txt), como RADIANCE\_MULT\_BAND\_b e RADIANCE\_ADD\_BAND\_b, para o fator multiplicativo e aditivo, respectivamente (onde b é o número da banda).

### 2.2.5.3.2 Conversão a reflectância no Topo da Atmosfera (TOA, na sigla em inglês)

#### 2.2.5.3.2.1 Produtos do satélite landsat 5

Também chamado de albedo planetário. A reflectância foi calculada para cada banda (1-5 e 7) a partir dos valores de radiância, sendo a reflectância o processo pelo qual a radiação “resvala” num objeto como o topo de uma nuvem, um corpo de água, ou um solo exposto (GONÇALVES, 2014). Segundo Allen et al. (1998), Allen et al. (2002) e Chander, Markham e Helder (2009), a reflectância por ser calculada como se descreve a continuação:

$$\rho_\lambda = \frac{\pi L_\lambda}{ESUN_\lambda \cos\theta_s E0} \quad (9)$$

em que,  $\rho_\lambda$  é a reflectância planetária no TOA (sem unidades),  $\pi$  é constante matemática igual a  $\sim 3,14159$  (sem unidades),  $ESUN_\lambda$  é a irradiação solar média no topo da atmosfera ( $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ ; **Tabela 5**),  $\theta_s$  é o ângulo zenital solar no momento da aquisição (rad),  $E0$  é a correção da distância entre o sol e a terra (unidades astronômicas).

Onde a variação da distância terra-sol é calculada pela equação de Spencer (1971) citado por Iqbal (1983), quem fornece uma equação acurada ( $\pm 0,01\%$ ):

$$E0 = 1,000110 + 0,0342221 \cos(da) + 0,001280 \sin(da) \\ + 0,000719 \cos(2 da) + 0,000077 \sin(2 da) \quad (10)$$

em que,  $E0$  é a correção da distância entre o sol e a terra (unidades astronômicas),  $da$  é o ângulo diário (rad).

Onde o ângulo diário é definido por (DUFFIE; BECKMAN, 2013):

$$da = (DSA - 1) \frac{360}{365} \frac{\pi}{180} \quad (11)$$

em que,  $DSA$  (ou  $DOY$ ) é o dia sequencial do ano (1-365 ou 366).

Onde o dia sequencial do ano é definido por (ALLEN et al., 2002):

$$DSA = D_M + INT\left(275 \frac{M}{9}\right) + 2 INT\left(\frac{3}{M+1}\right) + INT\left(\frac{M}{100} - \frac{Mod(Y, 4)}{4} + 0,975\right) \quad (12)$$

em que,  $D_M$  é o dia do mês (1-31),  $M$  é o número do mês (1-12),  $Y$  é o número do ano (ex. 2002 ou 02),  $INT$  é a função que arredonda um número para baixo até o número inteiro mais próximo,  $Mod$  é a função que retorna o resto da divisão do quociente de  $Y/4$ .

O ângulo zenital solar no momento da aquisição é definido pela equação (DUFFIE; BECKMAN, 2013):

$$\cos\theta_s = \sin\left(\text{latitude} \frac{\pi}{180}\right) \sin(\delta) + \cos\left(\text{latitude} \frac{\pi}{180}\right) \cos(\delta) \cos(\omega) \quad (13)$$

em que, *latitude* é a latitude do pixel (graus),  $\pi/180$  é o fator de conversão de graus para radianos,  $\delta$  é o ângulo de declinação solar (rad),  $\omega$  é o ângulo horário (rad). A latitude é positiva para o hemisfério norte e negativa para o hemisfério sul.

O ângulo de declinação solar é a posição do sol ao meio dia solar (ou seja, quando o sol está sobre o meridiano local) em relação ao plano do equador, norte positivo;  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ . Sendo a equação mais acurada (erro  $< 0,035^\circ$ ) a descrita a continuação (SPENCER, 1971 citado por IQBAL, 1983):

$$\begin{aligned} \delta = & 0,006918 - 0,399912 \cos(da) + 0,070257 \sin(da) \\ & + 0,006758 \cos(2 da) + 0,000907 * \sin(2 da) \\ & - 0,002697 \cos(3 da) + 0,00148 \sin(3 da) \end{aligned} \quad (14)$$

O ângulo horário é o deslocamento angular do sol leste ou oeste do meridiano local devido à rotação da terra sobre seu eixo a  $15^\circ$  por hora (manha negativo e tarde positivo), é definido como a seguir:

$$\omega = 15 (LT - 12) \left(\frac{\pi}{180}\right) \quad (15)$$

em que,  $LT$  é a correção do meridiano para o horário local aparente (horas).

A hora local aparente é definida pela equação (ALLEN et al., 2002):

$$LT = GMT + \left( \frac{4 \text{ longitude}}{60} \right) + \left( \frac{Et}{60} \right) \quad (16)$$

em que,  $GMT$  é o tempo meio de Greenwich da passagem do satélite (horas),  $longitude$  é a longitude do pixel (graus),  $Et$  é a equação do tempo.

A rotação axial da Terra junto com a revolução da Terra na órbita elíptica em torno do Sol provoca pequenas irregularidades (máximo 16 minutos) no cálculo da posição do sol e determinação do tempo local. A correção pode ser feita através da equação do tempo (SPENCER, 1971 citado por IQBAL, 1983):

$$Et = 0,000075 + 0,001868 \cos(da) - 0,032077 \sin(da) \\ - 0,014615 \cos(2 da) - 0,04089 \sin(2 da) \quad (17)$$

#### 2.2.5.3.2.2 Produtos do satélite Landsat 8

A conversão a valores de refletância do sensor OLI (bandas 1-7), se realizou (banda a banda) conforme a metodologia de Teixeira et al. (2015a) utilizando a Equação (9), onde o  $ESUN_{\lambda}$  é o correspondente para as bandas do sensor OLI (**Tabela 6**).

**Tabela 6** - Parâmetros radiométricos para o cálculo da reflectância de imagens Landsat 8

Sensor OLI			
Banda	Faixa espectral μm	$ESUN_{\lambda}$ $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$	$\omega_{\lambda}$
B1	0,43 - 0,45	1718,8	0,10
B2	0,45 - 0,51	1810,4	0,31
B3	0,53 - 0,59	1741,7	0,30
B4	0,64 - 0,67	1558,3	0,13
B5	0,85 - 0,88	962,5	0,08
B6	1,57 - 1,65	206,3	0,05
B7	2,11 - 2,29	68,8	0,04

Fonte: Adaptado de Teixeira et al. (2015a).

#### 2.2.5.4 Albedo no topo da atmosfera

A obtenção do albedo planetário no topo da atmosfera - TOA (não ajustado para transmissividade atmosférica) foi feita pela Equação ( 18), de acordo com a metodologia de (ALLEN et al., 2002; TEIXEIRA et al., 2015a). Em conjunto com os valores  $\omega_\lambda$  da **Tabela 5** e **Tabela 6**, para os sensores TM e OLI, respectivamente.

$$\alpha_{TOA} = \sum (\omega_\lambda \rho_\lambda) \quad (18)$$

em que,  $\alpha_{TOA}$  é o albedo planetário no TOA,  $\omega_\lambda$  é o peso para cada banda (sem unidades; Tabela 5 e **Tabela 6**).

Onde  $\omega_\lambda$  é definido como (ALLEN et al., 2002):

$$\omega_\lambda = \frac{ESUN_\lambda}{\sum ESUN_\lambda} \quad (19)$$

em que,  $\sum ESUN_\lambda$  é a somatória das irradiações solares médias no topo da atmosfera ( $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ ).

#### 2.2.5.5 Temperatura no topo da atmosfera

A base fundamental do sensoriamento remoto do infravermelho termal é que toda superfície emite radiação, e sua intensidade depende da superfície estudada (GONÇALVES, 2014). Os dados da banda termal podem ser convertidos de radiância espectral no sensor a temperatura de brilho. A temperatura de brilho assume que a superfície da terra é um corpo escuro e inclui efeitos atmosféricos (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009).

A temperatura de brilho, também conhecida como temperatura no topo da atmosfera, utiliza constantes de calibração (**Tabela 7**). A equação de conversão de radiância espectral no sensor a temperatura de brilho no sensor é dada pela Equação ( 20) (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009):

$$T_{bri} = \frac{K2}{\ln \left( \frac{K1}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad (20)$$

em que,  $T_{bri}$  é a temperatura de brilho efetiva no sensor (K),  $K1$  e  $K2$  são constantes de calibração,  $\ln$  é o logaritmo natural.

**Tabela 7** - Constantes de calibração da banda termal dos sensores TM (Landsat 5) e TIRS (Landsat 8)

Sensor	Banda	K1 W m <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm <sup>-1</sup>	K2 K
TM	6	607,76	1260,56
	10	774,89	1321,08
	11	480,89	480,89

Fonte: Chander, Markham e Helder (2009) e dados da pesquisa do autor

O valor médio das bandas 10 e 11 foi considerado como a temperatura de brilho para o Landsat 8 (TEIXEIRA et al., 2015c).

### 2.2.5.6 *Correções atmosféricas*

#### 2.2.5.6.1 *Albedo e temperatura da superfície*

Os dados de  $\alpha_{TOA}$  e  $T_{bri}$  foram corregidos atmosfericamente para obtenção dos valores de albedo da superfície ( $\alpha_0$ ) e temperatura da superfície(  $T_0$ ) através de análises de regressão (TEIXEIRA et al., 2009a).

Através de regressões entre medições de albedo da superfície (provenientes de piranómetros instalados em campo) e  $\alpha_{TOA}$  (de imagens do satélite Landsat); e da temperatura de superfície aerodinâmica entre a temperatura de superfície radiométrica dos sensores Landsat (corrigida para a emissão atmosférica), foram obtidas as correções atmosféricas para o albedo e a temperatura (TEIXEIRA et al., 2009a, 2015c; TEIXEIRA, 2012). Ambas as correções, Equação ( 21) e ( 22), são utilizadas para Landsat 5 e 8 (TEIXEIRA, 2015).

$$\alpha_0 = 0,6054 \alpha_{TOA} + 0,08 \quad (21)$$

em que,  $\alpha_0$  é o albedo da superfície, 0,6054 e 0,08 são coeficientes de regressão (TEIXEIRA et al., 2009a).

$$T_0 = 1,0694 T_{bri} - 20,173 \quad (22)$$

em que,  $T_0$  é a temperatura da superfície (K), 1,0694 e -20,173 K são coeficientes de regressão (TEIXEIRA et al., 2009a).

#### **2.2.5.7 Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI**

É o índice de vegetação mais conhecido e amplamente usado, que se baseia no contraste entre a absorção máxima no vermelho devido aos pigmentos da clorofila e a reflexão máxima no infravermelho causado pela estrutura celular da folha (ROUSE et al., 1974). É calculado através da razão entre a diferença das reflectâncias planetárias (no topo da atmosfera) do infravermelho próximo e do vermelho e a soma das mesmas:

$$NDVI = \left( \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \right) \quad (23)$$

em que,  $\rho_{IVP}$  é o valor da refletância na faixa do infravermelho próximo,  $\rho_V$  é o valor da reflectância na faixa vermelha do espectro visível.

#### **2.2.5.8 Cálculo da razão $ET_a/ET_0$ através do algoritmo SAFER**

No estudo corrente foi utilizada a Equação ( 24), no cálculo da  $ET_a/ET_0$  a partir de imagens de satélite:

$$\left( \frac{ET_a}{ET_0} \right)_{SAFER} = \exp \left[ a + b \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (24)$$

em que,  $(ET_a/ET_0)_{SAFER}$  é a razão da evapotranspiração atual e a de referência (adimensional) calculada a partir do algoritmo SAFER,  $a$  e  $b$  são os coeficientes de regressão (1,8 e -0,008  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ , respectivamente) para as condições semiáridas brasileiras (TEIXEIRA, 2010) e ajustados para o Noroeste do estado de São Paulo por Hernandez et al. (2014) ( $a = 1,0$  e  $b = -0,008 ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

### 2.2.5.9 Calculo do balanço de energia, como complemento na obtenção da $ET_a$

Para calcular o balanço diário de radiação, de uma superfície de evaporação, todos os fluxos devem ser considerados na equação simplificada do balanço de energia (ALLEN et al., 1998; TEIXEIRA et al., 2013a):

$$R_n - G - \lambda E - H = 0 \quad (25)$$

em que,  $R_n$  é a radiação líquida ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\lambda E$  é o fluxo de calor latente ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $H$  é o fluxo de calor sensível ( $\text{W m}^{-2}$ ). Logo as unidades foram transformadas para  $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , por meio da constante 0,0864 (ALLEN et al., 1998).

$R_n$  ( $\text{W m}^{-2}$ ) é calculado em conjunto com dados obtidos de estações agrometeorológicas e imagens de satélite. Através da equação de Slob a radiação solar incidente ( $R_G$ ,  $\text{W m}^{-2}$ ) foi obtida de medições de piranómetros (DE BRUIN, 1987; DE BRUIN; STRICKER, 2000; TEIXEIRA et al., 2008):

$$R_n = (1 - \alpha_{0\ 24}) R_G - a_L \tau_{sw} \quad (26)$$

em que,  $\alpha_{0\ 24h}$  é o albedo da superfície de 24 horas,  $a_L$  é o coeficiente de regressão entre o saldo de radiação de ondas longas e a transmissividade atmosférica ( $\tau_{sw}$ ) de ondas curtas em escala diária.

O albedo da superfície de 24 horas foi calculado seguindo (TEIXEIRA et al., 2009a):

$$\alpha_{0\ 24h} = 1,0223 \alpha_0 + 0,0149 \quad (27)$$

em que, 1,0223 e 0,0149 são coeficientes de regressão.

Onde  $a_L$  é um coeficiente de regressão que foi espacializado de acordo com os valores da grade de interpolação da  $T_a$  (das estações agrometeorológicas) (TEIXEIRA et al., 2008):

$$a_L = a T_a - b \quad (28)$$

em que,  $a$  e  $b$  são os coeficientes de regressão 6,99 e 39,93, respectivamente (TEIXEIRA et al., 2008).

E a  $\tau_{sw}$  é calculada pela razão entre a radiação solar incidente e a radiação no topo da atmosfera (DE BRUIN, 1987) em escala diária:

$$\tau_{sw} = \frac{R_g}{R_a} \quad (29)$$

em que,  $R_a$  é a radiação no topo da atmosfera ( $\text{W m}^{-2}$ ), e calculada pela equação descrita por Allen et al. (1998):

$$R_a = 11,6 \frac{1440}{\pi} G_{sc} E0 [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (30)$$

em que,  $G_{sc}$  é a constante solar ( $0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ),  $E0$  é a distância relativa inversa terra-sol (unidades astronômicas),  $\omega_s$  é o ângulo da hora no pôr do sol (rad),  $\varphi$  é a latitude (rad),  $\delta$  é ângulo de declinação solar (rad), 11,6 é fator conversor de unidades ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  a  $\text{W m}^{-2}$ ).

Onde o  $\omega_s$  é obtido pela Equação (31) (ALLEN et al., 1998):

$$\omega_s = \arccos[-\tan(\varphi) \tan(\delta)] \quad (31)$$

O fluxo de calor no solo foi estimado através de sua relação com a radiação líquida (TEIXEIRA, 2010):

$$\frac{G}{R_n} = a \exp(b \alpha_0) \quad (32)$$

em que,  $a$  e  $b$  são coeficientes de regressão 3,98 e -31,89, respectivamente.

## 2.2.6 Evapotranspiração atual através do algoritmo SAFER

Teixeira (2010), tem demonstrado que não existem diferenças significativas entre os valores diários da razão  $ET_a/ET_0$  e valores no momento da passagem do satélite e diários. Sendo assim, a  $ET_a$  é obtida através do produto da  $ET_0$  (Rede Agrometeorológica do Noroeste

Paulista) e da razão da evapotranspiração atual e a de referência obtida a partir de imagens de satélite, obtendo os valores diários da evapotranspiração atual diária em larga escala por pixel (**Figura 8**) (TEIXEIRA et al., 2015d):

$$ET_a = ET_0 \left( \frac{ET_a}{ET_0} \right)_{SAFER} \quad (33)$$

em que,  $ET_a$  é a evapotranspiração atual ( $\text{mm dia}^{-1}$ ),  $(ET_a/ET_0)_{SAFER}$  é a razão da evapotranspiração atual e a de referência (sem unidades) calculada a partir do algoritmo SAFER.

A Equação (33) não funciona com corpos de água ( $NDVI < 0$ ). Assim, o algoritmo SAFER utiliza o conceito de evapotranspiração de equilíbrio (RAUPACH, 2001; TEIXEIRA et al., 2015d) sob essas condições,  $\lambda E$  foi obtido aplicando funções condicionais aos valores de NDVI, e transformando as unidades de energia em  $\text{mm dia}^{-1}$ :

$$\lambda E = \frac{\Delta (R_n - G)}{\Delta + \gamma} \quad (34)$$

Onde a declinação da curva de saturação do vapor de água é calculada a determinada temperatura como (ALLEN et al., 1998):

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp \left( \frac{17,27 T_a}{T_a + 237,3} \right) \right]}{(T_a + 237,3)^2} \quad (35)$$

Onde a constante psicométrica é definida pela equação (ALLEN et al., 1998):

$$\gamma = \frac{c_p P_{atm}}{\varepsilon \lambda} \quad (36)$$

em que,  $c_p$  é o calor específico a pressão constante ( $1,013 \times 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ),  $P_{atm}$  é a pressão atmosférica (kPa),  $\varepsilon$  é o cociente do peso molecular de vapor de água e o ar seco (0,622),  $\lambda$  é o calor latente de vaporização, 2,45 ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ).

Onde a pressão atmosférica é dada pela equação (ALLEN et al., 1998):

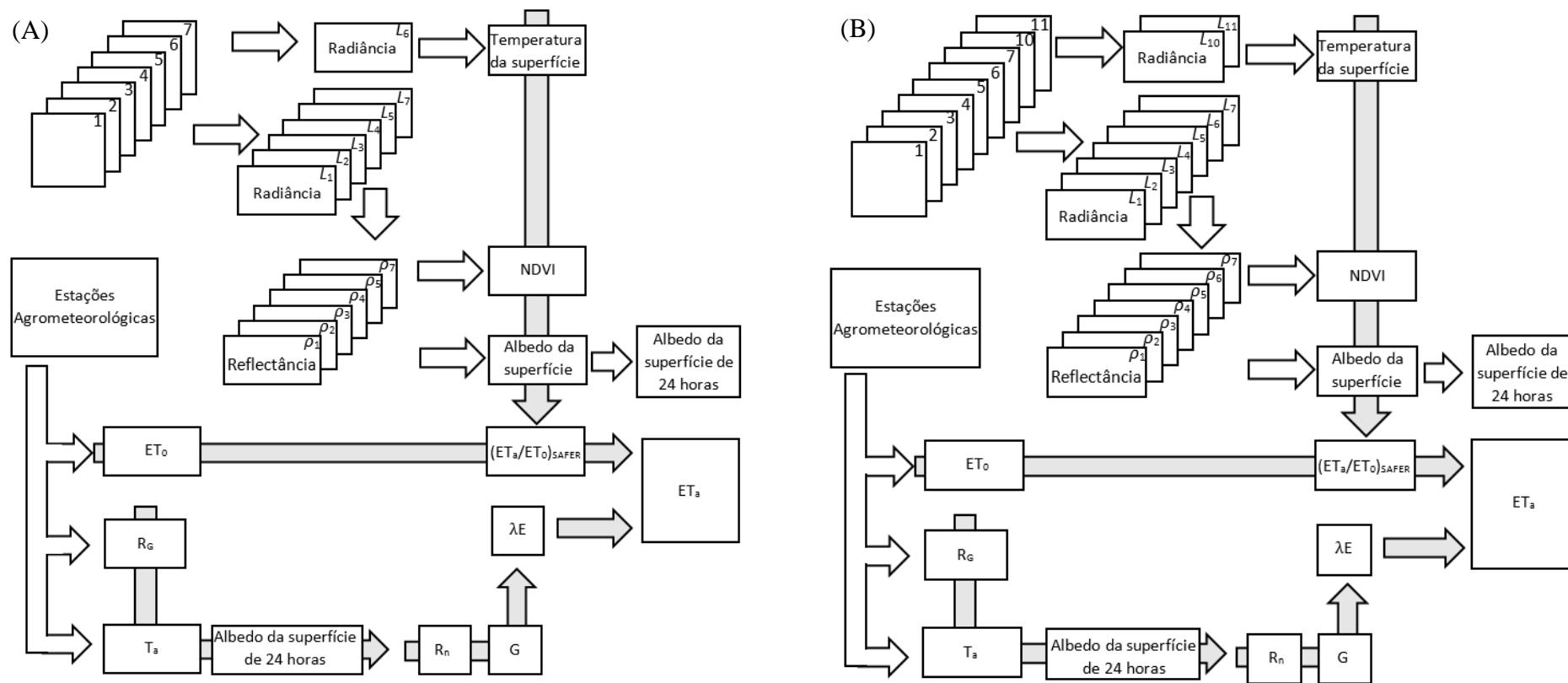
$$Patm = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26} \quad (37)$$

em que,  $z$  é a altitude (m).

### 2.2.7 Imagens faltantes

Quando na série temporal em estudo (2000-2011 e 2013-2015) houve alguma imagem faltante, na escala temporal de 16 dias, seja do sensor TM ou OLI e TIRS, utilizou-se a média das imagens disponíveis mais próximas a data faltante (interpolação) em conjunto com grades de temperatura, radiação solar global e evapotranspiração de referência espacializadas pelo IDW a partir de dados de estações agrometeorológicas das datas específicas faltantes. Para a estimativa da ET<sub>a</sub>.

**Figura 8 - Fluxograma do cálculo da evapotranspiração atual através da aplicação do *Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving* (SAFER) com imagens do Landsat 5 (A) e Landsat 8 (B)**



Fonte: Adaptado de Coaguila, Hernandez e Teixeira (2015).

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida

#### 2.3.1.1 Parâmetros morfométricos

A forma da bacia é determinada por índices que relacionam formas geométricas conhecidas, sendo que a forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua a sua saída após uma precipitação.

##### 2.3.1.1.1 Coeficiente de compacidade ( $Kc$ )

Este coeficiente relaciona o perímetro da bacia e um círculo de área igual à da bacia. A bacia do córrego Cabeceira Comprida apresentou um valor 1,57 (maior que 1), quanto maior o  $Kc$ , menos propensa à enchente é a bacia. Valor que indica que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, assim, a uma bacia alongada.

##### 2.3.1.1.2 Fator de forma ( $Kf$ )

De acordo com o fator de forma a bacia apresentou um valor de 0,23 (próximo de 0). Pode-se classificá-la como uma rede de drenagem alongada, já que valores próximos a 1,0, indicam bacias circulares. Este índice também indica a maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia, pode-se inferir que a bacia hidrográfica em estudo tem pequeno risco de inundações e cheias instantâneas.

##### 2.3.1.1.3 Índice de circularidade ( $IC$ )

O índice de circularidade da bacia hidrográfica foi maior e próximo de 0, sendo o valor obtido de 0,397, o que indica que a bacia é alongada e quando ocorrer chuvas intensas, está menos propensa a cheias que outra com mesma área, mas índice de circularidade maior.

#### **2.3.1.1.4 Índice de sinuosidade**

O valor apresentado pela bacia em estudo foi 1,26, valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo e valores superiores a 2,0 sugerem canais mais tortuosos. O canal principal da bacia hidrográfica em estudo é considerado meandrante de baixa sinuosidade.

#### **2.3.1.1.5 Padrão de drenagem**

O padrão de drenagem formada pelos cursos de água da bacia hidrográfica em estudo se caracteriza como dendrítico, com baixo grau de ramificação (**Figura 1**).

#### **2.3.1.1.6 Características do relevo**

A bacia hidrográfica em estudo tem orientação sul-sudoeste, correspondendo 15,81, 14,73, 13,70 e 13,37% da área total da bacia para as orientações oeste-noroeste, sul-sudoeste, sudoeste-oeste e sudeste-leste, respectivamente; 11,91% apresenta orientação norte-nordeste (**Tabela 8**). Com declividades média e máxima de 5,40 e 34,79%, respectivamente, sendo que 63,77% da área total da bacia tem um relevo ondulado, 19,21% com relevo suave-ondulado e 16,33% com relevo forte-ondulado (**Tabela 9**). Com altitudes mínima, média e máxima de 339, 399,5 e 460 m, respectivamente, e com amplitude altimétrica de 121,0 m.

**Tabela 8** - Distribuição das áreas em função da exposição do terreno, bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida.

Orientação (graus)	Exposição	Área (km <sup>2</sup> )	%
Flat	-	0,933	2,91
0 - 45	N - NE	3,819	11,91
45 - 90	NE - E	2,486	7,76
90 - 135	E - SE	2,982	9,30
135 - 180	SE - E	4,285	13,37
180 - 225	S - SW	4,723	14,73
225 - 270	SW - W	4,391	13,70
270 - 315	W - NW	5,068	15,81
315 - 360	NW - N	3,369	10,51
Total		32,057	100

Fonte: Adaptado de Valeriano e Rossetti (2012).

**Tabela 9** - Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida.

Declividade (%)	Relevo	Área (km <sup>2</sup> )	%
0 - 3	Plano	0,177	0,55
3 - 8	Suave-ondulado	6,159	19,21
8 - 20	Ondulado	20,443	63,77
20 - 45	Forte-ondulado	5,236	16,33
45 - 75	Montanhoso	0,043	0,13
> 75	Forte-Montanhoso	-	-
Total		32,057	100

Fonte: Adaptado de Valeriano e Rossetti (2012).

#### 2.3.1.1.7 Características da rede de drenagem

O comprimento do curso de água principal foi 11,73 km, com comprimento total dos cursos de água de 33,80 km e uma densidade de drenagem de 1,05 km km<sup>-2</sup>, valor próximo a 1, que caracteriza uma boa drenagem. E com o córrego principal de 3º ordem (**Figura 1**).

**Tabela 10** - Características morfométricas da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida

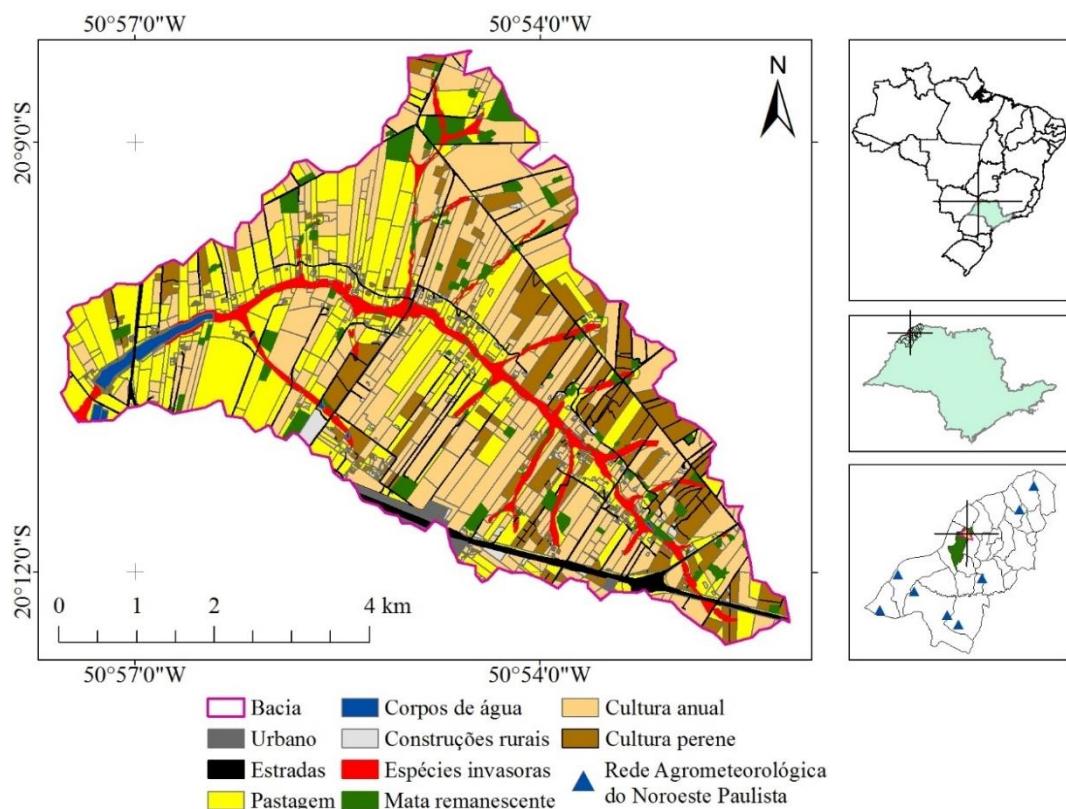
Características morfométricas	Tipo de Análise	Unidades	Bacia hidrográfica do Córrego Cabeceira Comprida
Características geométricas	Área total	km <sup>2</sup>	32,057
	Perímetro total	km	31,775
	Coeficiente de compacidade	-	1,571
	Fator de forma	-	0,233
	Índice de circularidade	-	0,397
	Índice de sinuosidade	-	1,261
	Padrão de drenagem	-	Dendrítico
Características do relevo	Orientação	-	S - SW
	Declividade mínima	%	0,00
	Declividade média	%	5,40
	Declividade máxima	%	34,79
	Altitude mínima	m	339,00
	Altitude média	m	399,50
	Altitude máxima	m	460,00
Características da rede de drenagem	Amplitude altimétrica	m	121,00
	Comprimento do curso de água principal	km	11,734
	Comprimento total dos cursos de água	km	33,798
	Densidade de drenagem	km km <sup>-2</sup>	1,054
	Ordem do córrego principal	-	3º

Fonte: Adaptado de Valeriano e Rossetti (2012).

### 2.3.1.1.8 Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida

O uso e ocupação do solo (U&O), na bacia hidrográfica em estudo (**Figura 9**), esta constituído por 39,64% de cultura anual, seguida por pastagem com 31,36%, cultura perene (14,15%), espécies invasoras (4,64%, principalmente *Typha* sp.), mata remanescente (4,46%) e 5,75% para os outros usos, como descrito na **Tabela 11**.

**Figura 9** - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida



Fonte: Dados do próprio autor, IBGE (2016b) e do TOPODATA (VALERIANO; ROSSETTI, 2012).

**Tabela 11** - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida

Uso/Ocupação	Área (ha)	Percentual (%)
Construções rurais	38,33	1,20
Corpos de água	30,77	0,96
Cultura anual	1270,88	39,64
Cultura perene	453,69	14,15
Estradas	93,73	2,92
Mata remanescente	142,96	4,46
Pastagem	1005,40	31,36
Espécies invasoras	148,81	4,64
Urbano	21,12	0,66
<b>TOTAL</b>	<b>3205,70</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dados do próprio autor

### 2.3.2 Evapotranspiração

A Figura 6 apresenta durante o ano 2000 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $18,24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de janeiro a fevereiro, e de outubro a dezembro, em geral, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou pela baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual de  $18,24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de março a começo de abril, de maio a setembro, e de final de outubro a começo de novembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul e devido a elevada cobertura de nuvens no começo da primavera.

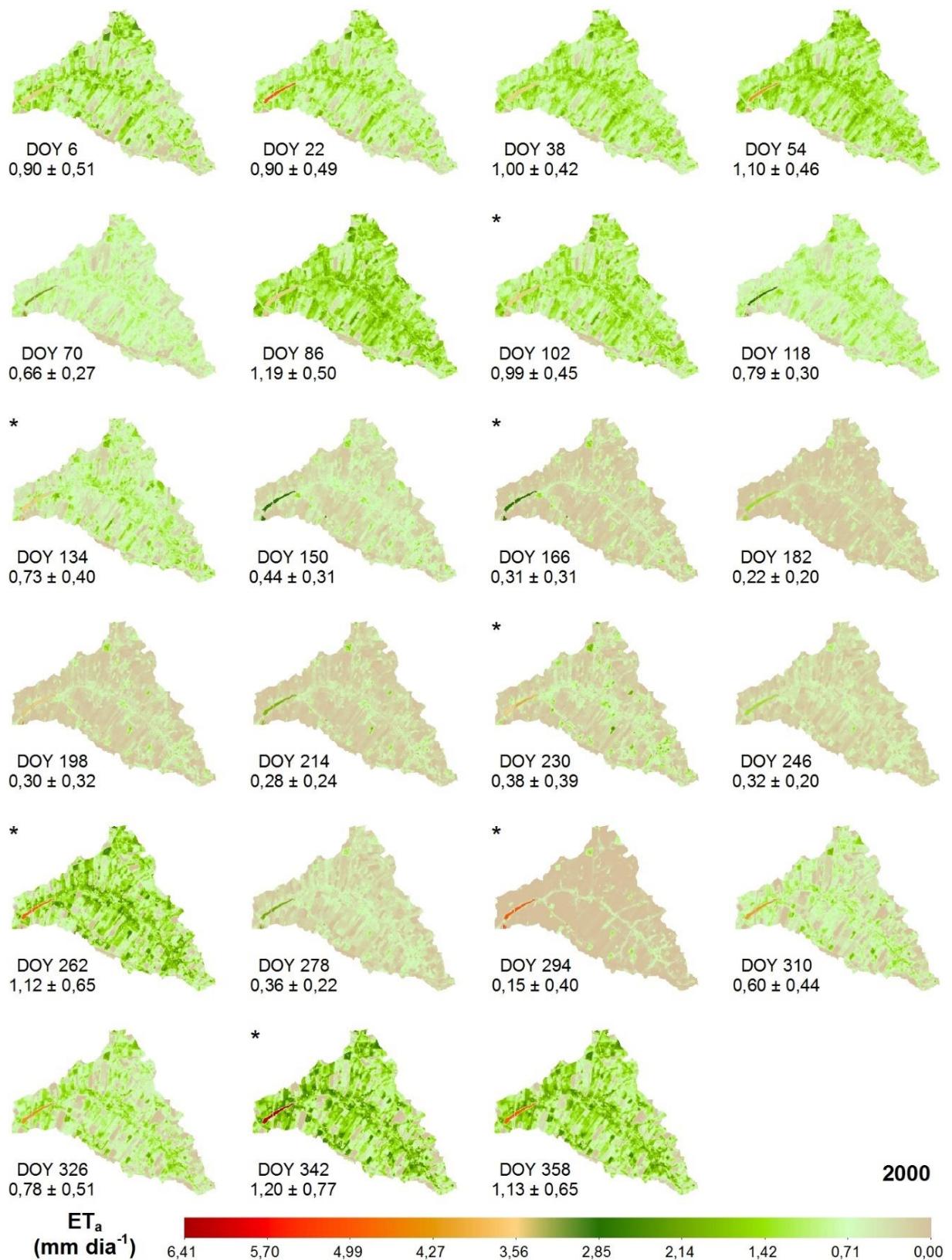
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2000, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 623,30 mm (56,96%); e durante o período mais seco (abril a novembro) foi de 470,90 mm (43,04%), destacando-se o período de menor quantidade de chuvas (junho a setembro) com apenas 227,60 mm (20,80%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual;  $68,65 \text{ mm dia}^{-1}$ ), nas estações de verão e primavera, e os menores valores (inferior à média), nas estações de outono e inverno. Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 694,40 (43,98%) e 884,50 (56,02%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico (junho a setembro) foi de 379,70 mm (22,78%).

Quando comparadas a P (1.094 mm) e a  $ET_0$  (1.578,90 mm) anuais, se obtém uma diferença de 484,70 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no verão, outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 57,90, 165,20, 86,50, 175,10 mm, respectivamente. Na época seca e chuvosa o déficit foi 413,60 e 71,10 mm, respectivamente. Sendo que nem no período chuvoso e nem no seco, a chuva foi a suficiente para atender à demanda atmosférica.

Na **Figura 10** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2000 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variaram de 0 a  $6,02 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero na bacia durante a época seca, especificamente durante o período de final de maio a começo de setembro, e durante outubro, que correspondem à época seca.

**Figura 10** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2000.  
Média ± Desvio Padrão



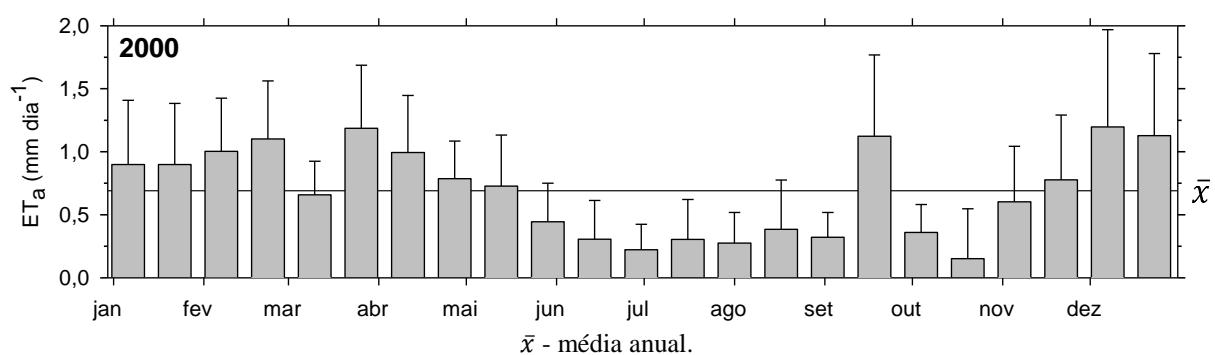
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2000 a média da ET<sub>a</sub>, em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida foi 0,69 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,15 e 1,20 mm dia<sup>-1</sup>, ambos os limites ocorreram durante a primavera. Os menores valores de ET<sub>a</sub> corresponderam ao período final da época seca e os maiores ocorreram na época chuvosa (**Figura 11 e Tabela 12**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação acumulada elevada antes da data de passagem do satélite (07 de dezembro; DSA 342) e a elevados níveis de R<sub>G</sub> acima da média. Os menores valores de ET<sub>a</sub> aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica acumulada aproximadamente apenas de duas vezes o limiar considerado como chuva significativa na agricultura (>10 mm), considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (20 outubro; DSA 294; época seca), e pelos menores níveis de R<sub>G</sub> do ano.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2000 (0,69 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 22.087 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2000. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1.094,20 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2000 (74,16 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 781,39 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia resultou em 2,14 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 11** - Valores médios de evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2000. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na Figura 12 e Tabela 12 observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2000, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo da classe, os valores máximos de

amplitude da ET<sub>a</sub> foram 4,73, 3,38, 4,50, 4,00 e 5,93 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual em cada DSA por classe foram observados mais frequentes na época chuvosa ou em DSA correspondentes à época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior R<sub>G</sub> do ano (superior à média anual; **Figura 6**), foram suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub> (**Figura 12**).

Durante o ano 2000 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 0,85 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, o menor e o maior valor foram 0,38 e 1,37 mm dia<sup>-1</sup>. O limite inferior ocorreu no começo do inverno (30 de junho; DSA 182) e o superior no final da primavera (07 de dezembro; DSA 342). Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ET<sub>a</sub> ao começo da época chuvosa (ver **Figura 6**, **Figura 12A** e Tabela 12). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, primeira metade do outono, no DSA 262 do inverno, e durante a segunda metade da primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados durante a segunda metade do outono, durante todo o inverno (exceto o DSA 262 que foi superior), durante a primeira metade da primavera, e no DSA 70 no verão (**Tabela 12**).

A média da ET<sub>a</sub> na classe da MR na bacia em estudo foi 1,13 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, variando a menor e maior entre 0,52 e 2,01 mm dia<sup>-1</sup>, ao longo do ano ambos os extremos durante a primavera, correspondendo à época seca e ao começo da época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 12B** e Tabela 12). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto o DSA 70), nos DSA 86 e 134 no outono, no DSA 262 no inverno, e durante a segunda metade da primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 70 no verão, no outono (nos DSA 102, 118, 150 e 166), no inverno (exceto o DSA 262 que foi superior), e durante a primeira metade da primavera (**Tabela 12**). Sendo que a ET<sub>a</sub> média anual representa 37,7% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,70 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,10 e 1,32 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo as ambas durante a primavera. Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> à época seca, e a maior ET<sub>a</sub> ao começo da época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 12C** e Tabela 12). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto o DSA 70 que foi inferior), na primeira metade do outono, no DSA 262 no inverno, e durante a segunda metade da primavera. E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 70 no verão, na segunda metade do outono, no inverno (exceto o DSA 262 que foi superior), e durante a primeira metade da primavera (**Tabela 12**).

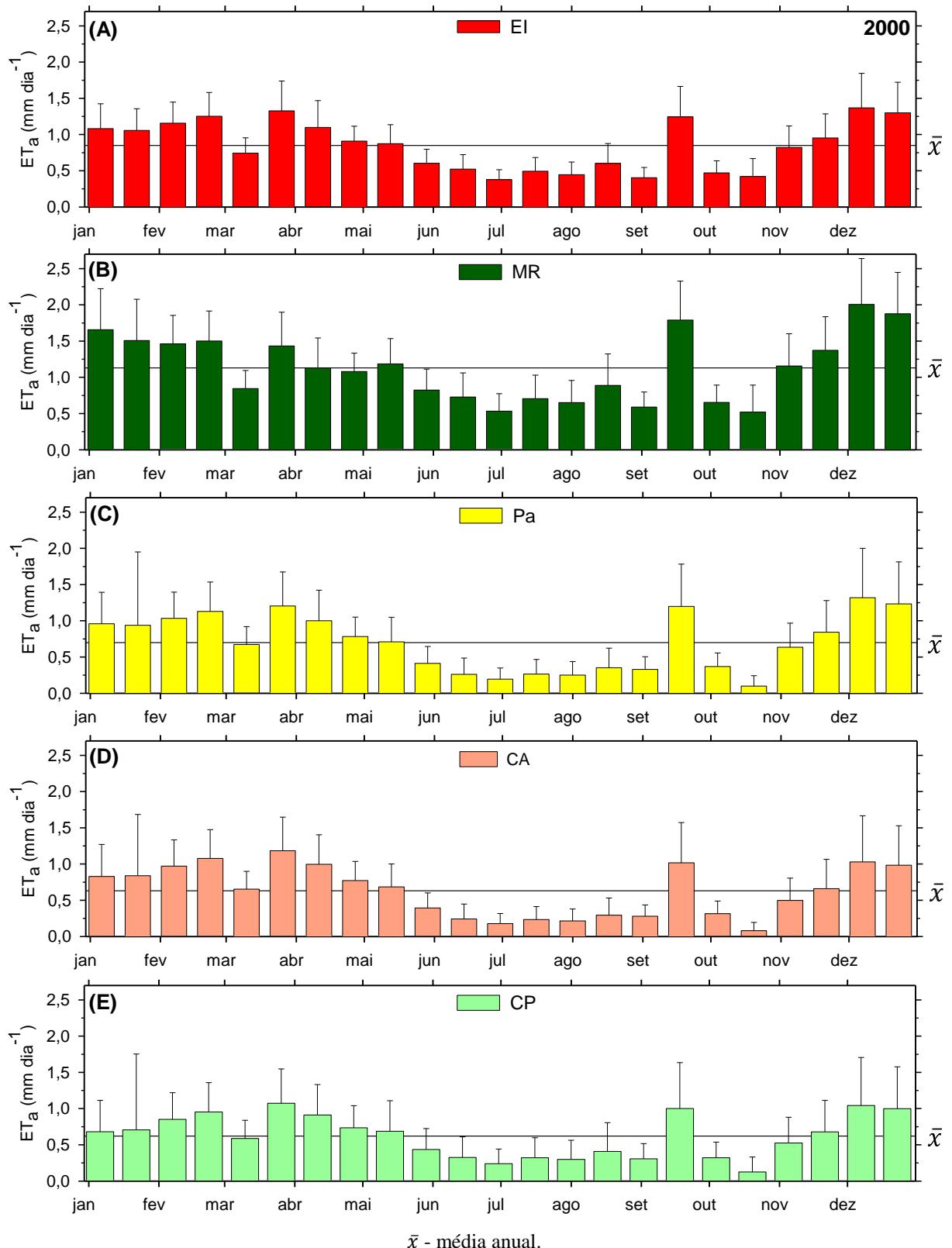
A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,63 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,08 e 1,18 mm dia<sup>-1</sup>. Ocorrendo a menor durante a primavera, e a maior no outono. Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> à época seca, e a maior ET<sub>a</sub> ao final da época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 12D** e Tabela 12). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, na primeira metade do outono, no DSA 262 no inverno, e na segunda metade da primavera. E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, no inverno (exceto o DSA 262 que foi superior), e durante a primeira metade da primavera (**Tabela 12**).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,62 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,13 e 1,07 mm dia<sup>-1</sup>. Ocorrendo a menor durante a primavera, e a maior no outono. Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> à época seca, e a maior ET<sub>a</sub> ao final da época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 12E** e Tabela 12). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto o DSA 70 que foi inferior), na primeira metade do outono, no DSA 262 no inverno, e na segunda metade da primavera. E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 70 no verão, na segunda metade do outono, no inverno (exceto o DSA 262 que foi superior), e durante a primeira metade da primavera (**Tabela 12**).

Em termos gerais, em todas as classes de ecossistemas, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante final da época seca (novembro), na época chuvosa (exceto no DSA 70), e até abril e começo de maio (época seca). Períodos quando a R<sub>G</sub>, ET<sub>0</sub> foram superiores à média anual e com P significativa.

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 203 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 26.512 habitantes estimados para 2000 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consumiu 5.461 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 23% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 12** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2000. Barras representando as médias e o desvio padrão.



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 12** - Evapotranspiração atual por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2000. Média ± Desvio Padrão

Data	DSA	Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
			EI	MR	Pa	CA	CP
06 Jan	6	0,90 ± 0,51	1,08 ± 0,34	1,66 ± 0,57	0,96 ± 0,43	0,83 ± 0,44	0,68 ± 0,43
22 Jan	22	0,90 ± 0,49	1,06 ± 0,30	1,51 ± 0,57	0,94 ± 1,01	0,84 ± 0,85	0,71 ± 1,05
07 Fev	38	1,00 ± 0,42	1,16 ± 0,29	1,46 ± 0,39	1,03 ± 0,36	0,97 ± 0,36	0,85 ± 0,37
23 Fev	54	1,10 ± 0,46	1,25 ± 0,33	1,50 ± 0,41	1,13 ± 0,41	1,08 ± 0,40	0,95 ± 0,41
10 Mar	70	0,66 ± 0,27	0,74 ± 0,21	0,85 ± 0,25	0,67 ± 0,25	0,65 ± 0,24	0,59 ± 0,25
26 Mar	86	1,19 ± 0,50	1,33 ± 0,41	1,43 ± 0,47	1,20 ± 0,47	1,18 ± 0,46	1,07 ± 0,47
11 Abr	102	0,99 ± 0,45	1,10 ± 0,37	1,13 ± 0,41	1,00 ± 0,42	1,00 ± 0,41	0,91 ± 0,42
27 Abr	118	0,79 ± 0,30	0,91 ± 0,21	1,08 ± 0,25	0,78 ± 0,27	0,77 ± 0,26	0,73 ± 0,31
13 Mai	134	0,73 ± 0,40	0,87 ± 0,26	1,19 ± 0,35	0,71 ± 0,34	0,68 ± 0,32	0,69 ± 0,42
29 Mai	150	0,44 ± 0,31	0,60 ± 0,19	0,82 ± 0,29	0,41 ± 0,23	0,39 ± 0,21	0,43 ± 0,29
14 Jun	166	0,31 ± 0,31	0,52 ± 0,20	0,73 ± 0,33	0,26 ± 0,22	0,24 ± 0,21	0,33 ± 0,28
30 Jun	182	0,22 ± 0,20	0,38 ± 0,14	0,53 ± 0,24	0,19 ± 0,15	0,18 ± 0,14	0,24 ± 0,20
16 Jul	198	0,30 ± 0,32	0,49 ± 0,19	0,71 ± 0,32	0,27 ± 0,20	0,23 ± 0,18	0,32 ± 0,28
01 Ago	214	0,28 ± 0,24	0,45 ± 0,17	0,65 ± 0,31	0,25 ± 0,19	0,22 ± 0,16	0,30 ± 0,26
17 Ago	230	0,38 ± 0,39	0,60 ± 0,27	0,89 ± 0,43	0,35 ± 0,27	0,29 ± 0,24	0,41 ± 0,40
02 Set	246	0,32 ± 0,20	0,40 ± 0,14	0,59 ± 0,21	0,33 ± 0,17	0,28 ± 0,16	0,31 ± 0,21
18 Set	262	1,12 ± 0,65	1,24 ± 0,42	1,79 ± 0,54	1,20 ± 0,58	1,02 ± 0,55	1,00 ± 0,63
04 Out	278	0,36 ± 0,22	0,47 ± 0,17	0,65 ± 0,24	0,37 ± 0,19	0,31 ± 0,18	0,32 ± 0,21
20 Out	294	0,15 ± 0,40	0,42 ± 0,25	0,52 ± 0,37	0,10 ± 0,14	0,08 ± 0,11	0,13 ± 0,21
05 Nov	310	0,60 ± 0,44	0,82 ± 0,30	1,16 ± 0,44	0,64 ± 0,33	0,50 ± 0,31	0,53 ± 0,35
21 Nov	326	0,78 ± 0,51	0,95 ± 0,33	1,37 ± 0,46	0,84 ± 0,43	0,66 ± 0,41	0,68 ± 0,44
07 Dez	342	1,20 ± 0,77	1,37 ± 0,48	2,01 ± 0,63	1,32 ± 0,68	1,03 ± 0,64	1,04 ± 0,66
23 Dez	358	1,13 ± 0,65	1,30 ± 0,42	1,88 ± 0,57	1,23 ± 0,58	0,98 ± 0,55	1,00 ± 0,58
<b>Média</b>		<b>0,69 ± 0,41</b>	<b>0,85 ± 0,28</b>	<b>1,13 ± 0,39</b>	<b>0,70 ± 0,36</b>	<b>0,63 ± 0,34</b>	<b>0,62 ± 0,40</b>

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o 2001 a concentração da maior radiação solar global (superior à média anual,  $19,41 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de janeiro a abril, final de agosto, e de final de outubro a dezembro, em geral, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou pela baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual de  $19,41 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de maio a começo de agosto e de setembro a começo de outubro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul e devido a presença de chuva significativa para a agricultura ( $>10 \text{ mm}$ ) durante começo da primavera.

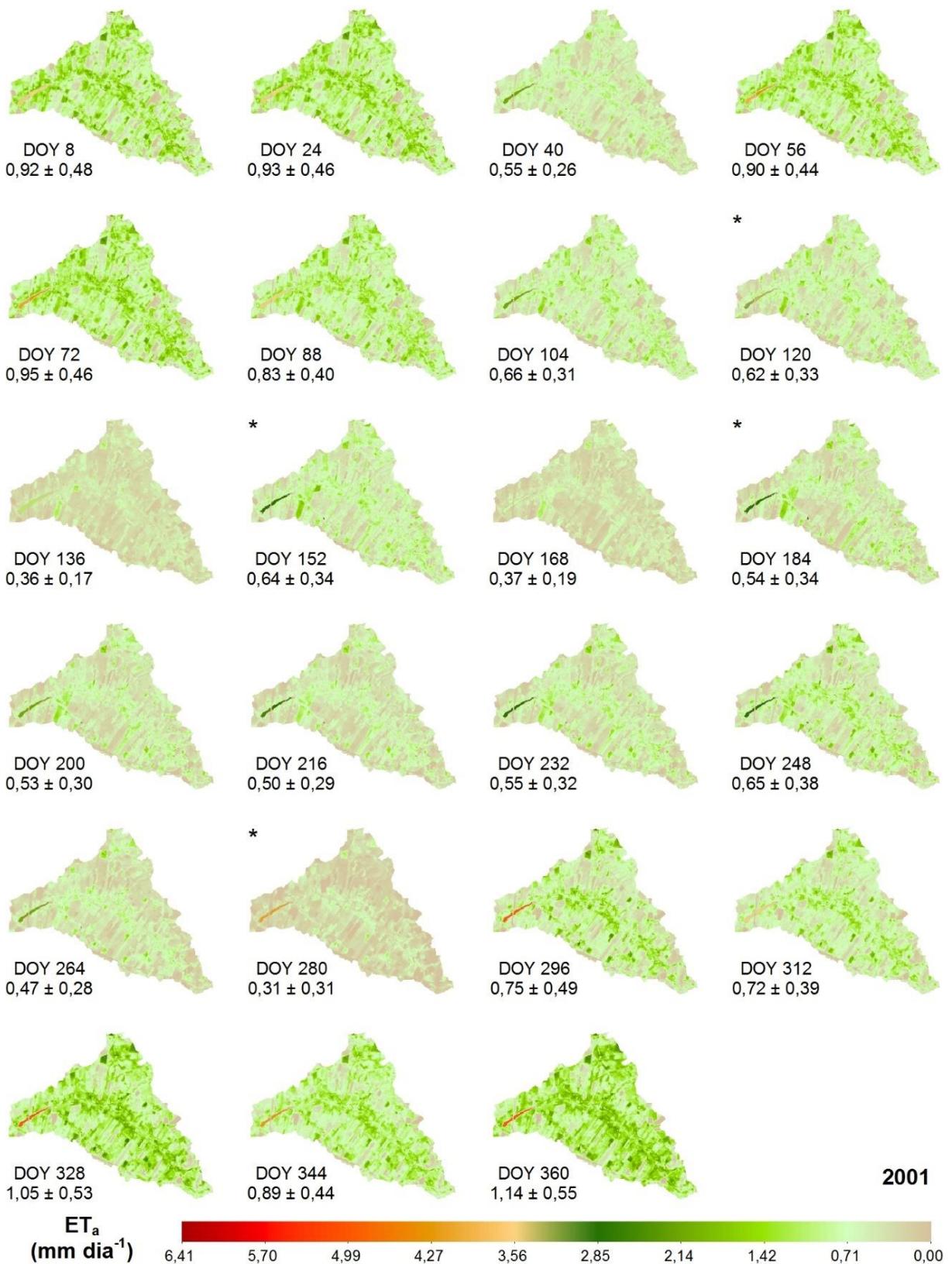
Em relação à P acumulada, durante o ano 2001, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 747,60 mm (63,75%); e durante o período mais seco (abril a novembro) foi de 425,10 mm (36,25%), destacando-se o período de menor quantidade de chuvas (junho a setembro) com apenas 116,60 mm (9,94%).

A  $ET_0$  teve os maiores valores (superior à média anual, 73,69 mm), nas estações de verão, começo de outono e primavera, e os menores valores (inferior à média), nas estações de outono e inverno (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 738,00 (43,54%) e 956,80 (56,46%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico (junho a setembro) foi 417,80 mm (24,65%).

Quando comparadas a P (1172,70 mm) e a  $ET_0$  (1694,80 mm) anuais, se obtém uma diferença de 522,10 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no verão, outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 7,40, 176,40, 266,20, 72,10 mm, respectivamente. Na época seca e chuvosa o déficit foi 531,70 e 9,60 mm, respectivamente. Sendo que no período seco a chuva não foi a suficiente para atender a demanda atmosférica.

Na **Figura 13** visualizam-se os mapas de  $ET_a$  em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2001 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de 0 a  $4,75 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente durante o período de maio, segunda metade de junho, segunda metade de setembro e primeira metade de outubro, e durante outubro (**Tabela 13**), que correspondem ao período seco, e excluindo maio e outubro, se corresponde ao período de maior déficit hídrico.

**Figura 13 - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2001.**  
Média ± Desvio Padrão



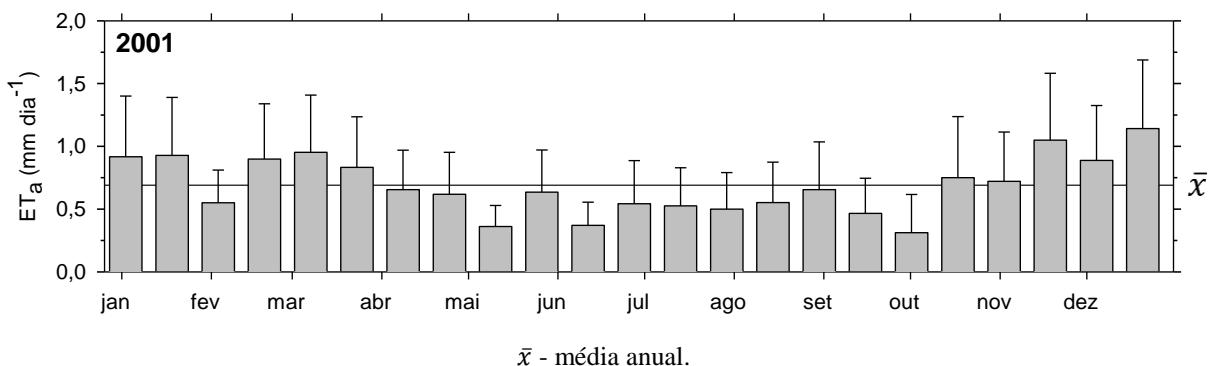
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2001 a média da  $ET_a$ , em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi  $0,69 \text{ mm dia}^{-1}$ . Em uma faixa de  $0,31$  e  $1,14 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor e a maior no início da primavera e do verão, respectivamente. Os menores valores de  $ET_a$  corresponderam ao período logo após do maior déficit hídrico do ano e os maiores ocorreram no começo da época chuvosa (**Figura 14** e **Tabela 13**). A maior  $ET_a$  foi devida à presença de significativos volumes de precipitação acumulada elevada antes da data de passagem do satélite (26 de dezembro, DSA 360) e a valores de  $R_G$  acima da média. Os menores valores de  $ET_a$  aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica acumulada aproximadamente apenas de quatro vezes o limiar considerado como chuva significativa na agricultura ( $>10 \text{ mm}$ ), considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (07 de outubro; DSA 280; época seca), e pelos menores níveis de  $R_G$  do ano.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a  $ET_a$  média do ano 2001 ( $0,69 \text{ mm dia}^{-1}$ ), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média  $22.047 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  durante o ano 2001. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1172,70 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2001 ( $74,17 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente ( $P - ET_a$ ) de 860,33 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia resultou em  $2,36 \text{ mm dia}^{-1}$ .

**Figura 14** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2001. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 15** e **Tabela 13** observa-se a  $ET_a$  do ano 2001, para os usos e ocupação (U&O) Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo da classe, os valores máximos de

amplitude da ET<sub>a</sub> foram 4,49, 2,78, 3,62, 2,74 e 4,71 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por classe foram observados mais frequentes na época chuvosa ou em DSA correspondentes à época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior R<sub>G</sub> do ano (superior à média anual; **Figura 6**), são suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub> durante os meses da época chuvosa em todos os U&O (**Figura 15**). Excepcionalmente no DSA 40 (09 de fevereiro) a ET<sub>a</sub> foi inferior à média anual de cada U&O, devido aos eventos pluviométricos desde começos de ano terem sido inferiores à média acumulada (cada 16 dias).

Durante o ano 2001 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 0,81 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,41 e 1,27 mm dia<sup>-1</sup>. O limite inferior ocorreu no final do outono e início da primavera (17 de junho e 07 de outubro; DSA 168 e 280) e o superior no início do verão (26 de dezembro; DSA 360). Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> ao período de maior déficit hídrico da época seca (DSA 168) e a época seca propriamente dita (DSA 280), e a maior ET<sub>a</sub> ao começo da época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 15A** e **Tabela 13**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 40), no DSA 88 do outono, no DSA 248 do inverno, na primavera (exceto no DSA 280). E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 40 do verão, no outono (exceto no DSA 88) e inverno (exceto no DSA 248), e no DSA 280 da primavera (**Tabela 13**).

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 1,17 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, variando a menor e maior entre 0,58 e 1,83 mm dia<sup>-1</sup>, ao longo do ano durante o outono e no verão, correspondendo-se a inferior à época seca, e a superior ao começo da época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 15B** e **Tabela 13****Tabela 12**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 40), nos DSA 88 no outono e 248 no inverno, e na primavera (exceto no DSA 280). E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 40 no verão, no outono (exceto no DSA 88), no inverno (exceto o DSA 248), e no DSA 280 na primavera (**Tabela 13**). Sendo que o total da ET<sub>a</sub> média anual representa 36,4% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,71 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,32 e 1,15 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no início da primavera e a maior no início do verão. Correspondendo-se a menor à época seca, e a maior ao começo da época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 15C** e **Tabela 13**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 40), no

DSA 88 no inverno, durante a primavera (exceto no DSA 280). E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 40 no verão, no outono (exceto no DSA 88), no inverno, e no DSA 280 na primavera (**Tabela 13**).

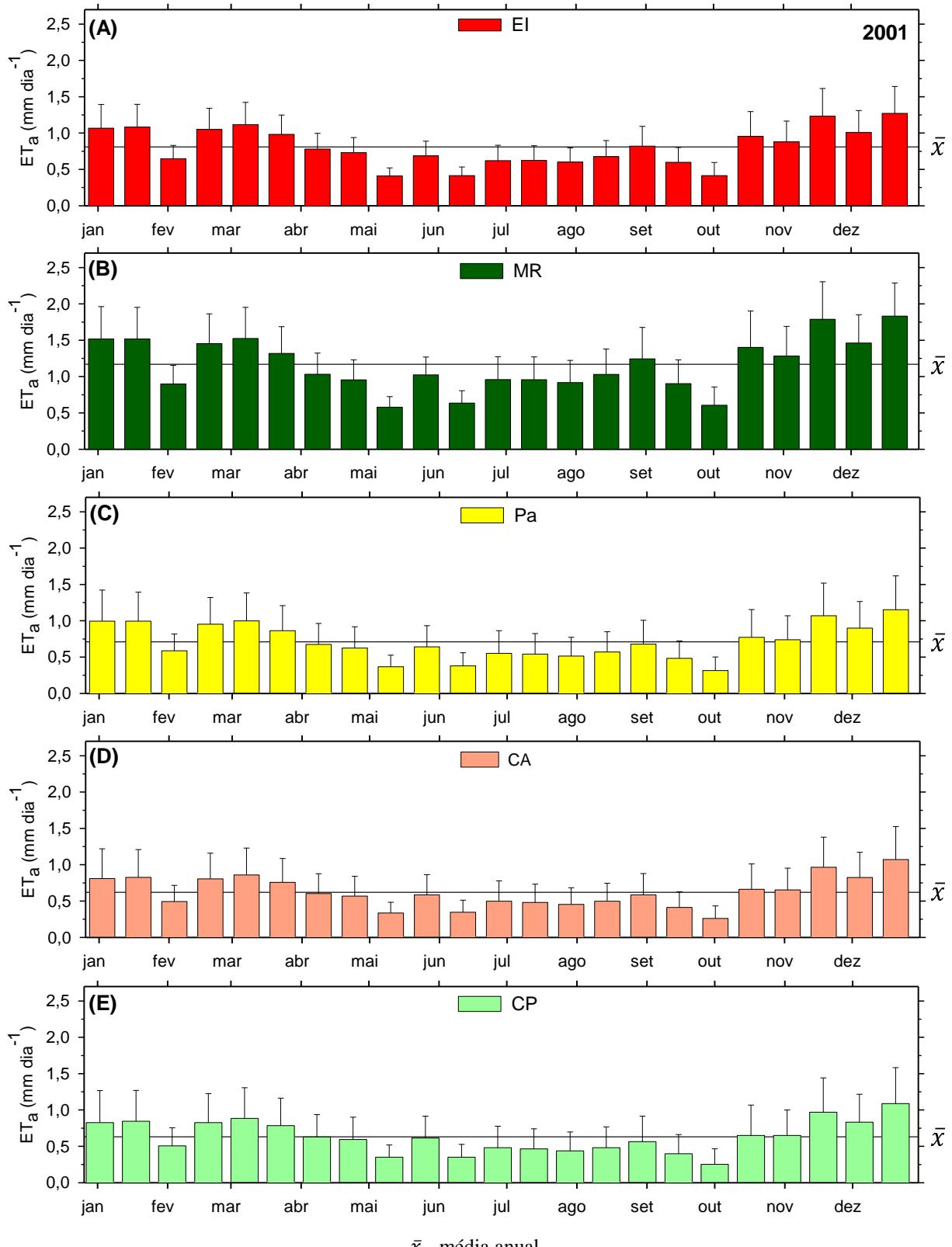
A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,62 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,26 e 1,07 mm dia<sup>-1</sup>, correndo a menor durante o início da primavera, e a maior no início do verão. Correspondendo-se a menor à época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 15D e Tabela 13**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 40), no DSA 88 do outono, e na primavera (exceto no DSA 280). E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 40 no verão, no outono (exceto no DSA 88), no inverno, e no DSA 280 na primavera (**Tabela 13**).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,63 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,25 e 1,09 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no início da primavera e a maior no início do verão. Correspondendo-se a menor à época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 15E e Tabela 13**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 40), no DSA 88 no outono, e durante a primavera (exceto no DSA 280). E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 40 no verão, durante o outono (exceto no DSA 88), no inverno, e no DSA 280 na primavera (**Tabela 13**).

Em termos gerais, em todas as classes de ecossistemas, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante final da época seca (novembro), e na época chuvosa (exceto no DSA 40).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 203 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 26.512 habitantes estimados para 2001 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consumiu 5.461 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 22% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 15** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2001. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 13** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2001. Média ± Desvio Padrão

2001		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
08 Jan	8	0,92 ± 0,48	1,07 ± 0,33	1,52 ± 0,45	0,99 ± 0,43	0,81 ± 0,41	0,83 ± 0,44
24 Jan	24	0,93 ± 0,46	1,08 ± 0,31	1,52 ± 0,44	0,99 ± 0,40	0,83 ± 0,38	0,84 ± 0,42
09 Fev	40	0,55 ± 0,26	0,65 ± 0,18	0,90 ± 0,26	0,59 ± 0,23	0,49 ± 0,22	0,51 ± 0,25
25 Fev	56	0,90 ± 0,44	1,05 ± 0,29	1,45 ± 0,41	0,95 ± 0,37	0,80 ± 0,35	0,83 ± 0,40
13 Mar	72	0,95 ± 0,46	1,12 ± 0,30	1,53 ± 0,43	1,00 ± 0,39	0,86 ± 0,37	0,89 ± 0,42
29 Mar	88	0,83 ± 0,40	0,98 ± 0,27	1,32 ± 0,37	0,86 ± 0,35	0,76 ± 0,33	0,78 ± 0,38
14 Abr	104	0,66 ± 0,31	0,78 ± 0,22	1,03 ± 0,29	0,67 ± 0,29	0,60 ± 0,27	0,63 ± 0,31
30 Abr	120	0,62 ± 0,33	0,73 ± 0,21	0,96 ± 0,27	0,62 ± 0,29	0,57 ± 0,27	0,59 ± 0,31
16 Mai	136	0,36 ± 0,17	0,41 ± 0,11	0,58 ± 0,14	0,37 ± 0,16	0,34 ± 0,15	0,35 ± 0,17
01 Jun	152	0,64 ± 0,34	0,69 ± 0,20	1,02 ± 0,24	0,64 ± 0,29	0,58 ± 0,28	0,61 ± 0,30
17 Jun	168	0,37 ± 0,19	0,41 ± 0,12	0,63 ± 0,17	0,38 ± 0,18	0,35 ± 0,17	0,35 ± 0,18
03 Jul	184	0,54 ± 0,34	0,62 ± 0,21	0,96 ± 0,31	0,55 ± 0,31	0,50 ± 0,28	0,48 ± 0,29
19 Jul	200	0,53 ± 0,30	0,62 ± 0,20	0,96 ± 0,31	0,54 ± 0,28	0,48 ± 0,25	0,47 ± 0,27
04 Ago	216	0,50 ± 0,29	0,60 ± 0,19	0,92 ± 0,30	0,51 ± 0,26	0,45 ± 0,23	0,44 ± 0,26
20 Ago	232	0,55 ± 0,32	0,68 ± 0,22	1,03 ± 0,35	0,57 ± 0,28	0,50 ± 0,25	0,48 ± 0,29
05 Set	248	0,65 ± 0,38	0,82 ± 0,27	1,24 ± 0,43	0,68 ± 0,33	0,59 ± 0,29	0,56 ± 0,35
21 Set	264	0,47 ± 0,28	0,60 ± 0,20	0,90 ± 0,33	0,48 ± 0,24	0,41 ± 0,22	0,40 ± 0,26
07 Out	280	0,31 ± 0,31	0,41 ± 0,18	0,61 ± 0,25	0,32 ± 0,19	0,26 ± 0,17	0,25 ± 0,22
23 Out	296	0,75 ± 0,49	0,96 ± 0,34	1,40 ± 0,50	0,77 ± 0,38	0,66 ± 0,35	0,65 ± 0,42
08 Nov	312	0,72 ± 0,39	0,88 ± 0,29	1,28 ± 0,41	0,74 ± 0,33	0,65 ± 0,30	0,65 ± 0,35
24 Nov	328	1,05 ± 0,53	1,23 ± 0,38	1,79 ± 0,51	1,07 ± 0,45	0,96 ± 0,41	0,97 ± 0,47
10 Dez	344	0,89 ± 0,44	1,01 ± 0,30	1,46 ± 0,39	0,90 ± 0,37	0,82 ± 0,35	0,83 ± 0,39
26 Dez	360	1,14 ± 0,55	1,27 ± 0,37	1,83 ± 0,46	1,15 ± 0,47	1,07 ± 0,45	1,09 ± 0,49
Média		0,69 ± 0,37	0,81 ± 0,25	1,17 ± 0,35	0,71 ± 0,32	0,62 ± 0,29	0,63 ± 0,33

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

**Figura 6** apresenta durante o ano 2002 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual,  $18,75 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de fevereiro, de março a começo de maio, e de outubro a dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou pela baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) no período de janeiro, final de fevereiro, e de final de maio a setembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul, e pelas condições chuvosas fazendo que radiação não alcance a superfície da terra durante o verão.

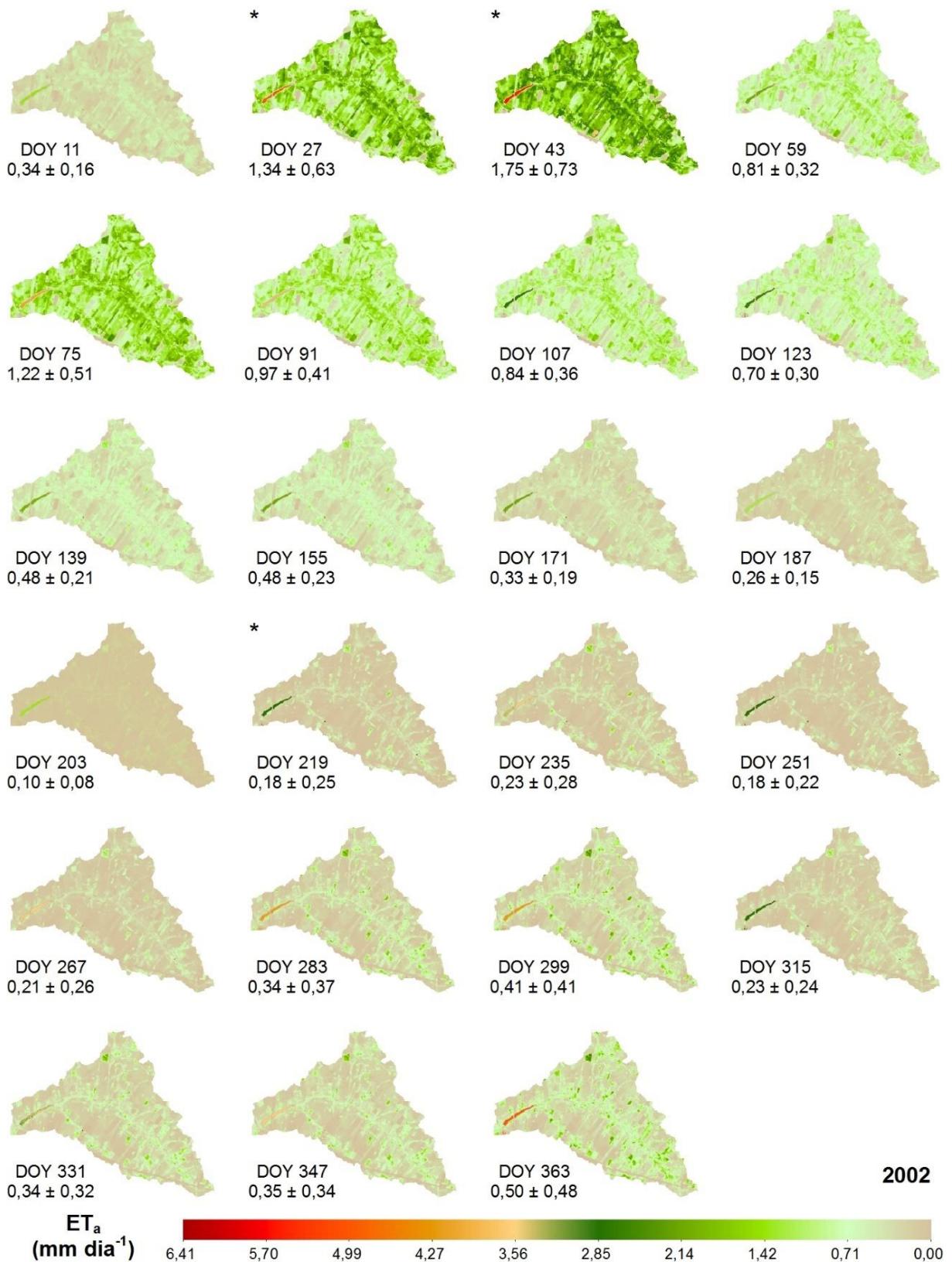
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2002, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 629,60 mm (57,71%); e durante a época seca (abril a novembro) foi de 461,40 mm (42,29%), destacando-se o período de menor quantidade de chuvas (junho a setembro) com apenas 192,90 mm (17,68%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual, 69,03 mm), durante o período de janeiro a começo de fevereiro, março a abril e de outubro a dezembro, e os menores valores (inferior à média), no período de final de fevereiro e de maio a setembro (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 708,70 (44,64%) e 1032,40 (65,02%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico (junho a setembro) foi 397,30 mm (25,02%).

Quando comparadas, no ano 2002, a P (1091,00 mm) e a  $ET_0$  (1587,70 mm) anuais, se obtém uma diferença de 496,70 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 157,10, 209,20 e 246,00 mm, respectivamente, e com 115,00 mm excedentes de P no verão. Na época seca a diferença foi 571,00 mm, com saldo positivo na época chuvosa de 74,30 mm. Sendo que o período chuvoso foi o suficiente para atender à demanda atmosférica.

Na **Figura 16** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA) do ano 2002 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de 0 a  $5,79 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente desde a segunda metade de maio até novembro; e inclusive durante a época chuvosa na primeira metade de janeiro (**Tabela 14**).

**Figura 16** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2002.  
Média ± Desvio Padrão



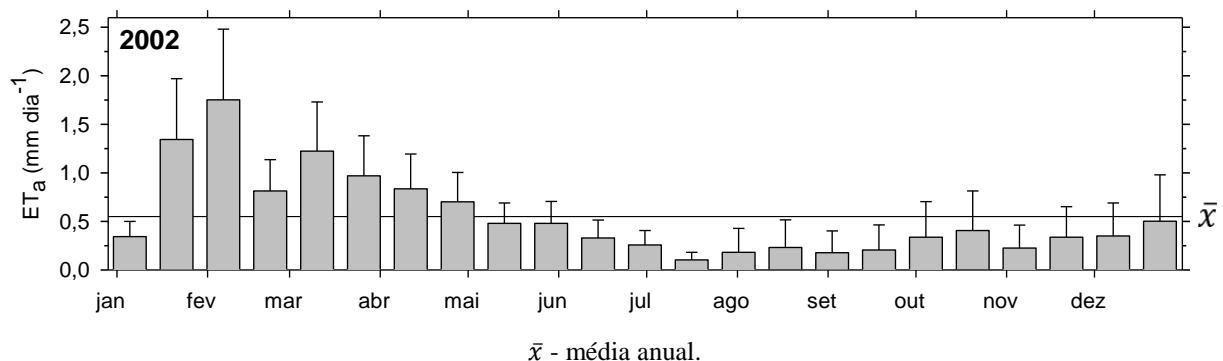
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2002 a média da ET<sub>a</sub> em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi 0,55 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,10 e 1,75 mm dia<sup>-1</sup>; ocorrendo a menor no inverno e a maior no verão. Os menores valores de ET<sub>a</sub> correspondem ao período de maior déficit hídrico e, os maiores valores à época chuvosa (**Figura 17** e **Tabela 14**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação acumulada (aproximadamente 16% do acumulado anual) antes da data de passagem do satélite (12 de fevereiro, DSA 43) e a valores de R<sub>G</sub> acima da média. Os menores valores de ET<sub>a</sub> aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica acumulada aproximadamente de duas vezes o limiar considerado como chuva significativa na agricultura (>10 mm), considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (22 de julho; DSA 203; período de maior déficit hídrico da época seca), e pelos menores níveis de R<sub>G</sub> do ano.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2002 (0,55 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 17.529 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2002. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1091,00 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2002 (74,18 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 830,06 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia resultou em 2,27 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 17** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2002. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 18** e **Tabela 14** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2002, para os usos e ocupação (U&O) Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de

amplitude da ET<sub>a</sub> foram 5,55, 3,58, 5,57, 3,93 e 5,61 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por U&O foram observados mais frequentes na época chuvosa e começo da época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior R<sub>G</sub> do ano (superior à média anual; **Figura 6**), são suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub> durante os meses da época chuvosa e começo da seca em todos os U&O **Figura 18**). Excepcionalmente no DSA 11 (11 de janeiro) a ET<sub>a</sub> foi inferior da média anual de cada U&O (exceto em *Typha* sp.).

Durante o ano 2002 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 0,66 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,15 e 1,66 mm dia<sup>-1</sup>. O limite inferior ocorreu no inverno (27 de julho; DSA 203) e o superior no verão (12 de fevereiro; DSA 43). Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> ao período de maior déficit hídrico da época seca (DSA 203), e a maior ET<sub>a</sub> à época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 18A** e **Tabela 14**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 11), durante a primeira metade do outono, no DSA 299 na primavera. E, valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 11 no verão, durante a segunda metade do outono, durante o inverno, e na primavera (exceto no DSA 299) (**Tabela 14**).

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 0,96 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, variando a menor e maior entre 0,21 e 2,45 mm dia<sup>-1</sup>, ao longo do ano ocorrendo a menor no inverno e a maior no verão, correspondendo ao período de maior déficit hídrico da época seca, e à época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 18B** e **Tabela 14** Tabela 12). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 11), durante a primeira metade do outono, e no DSA 299 na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 11 no verão, durante a segunda metade do outono, no inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 299) (**Tabela 14**). Sendo que o total da ET<sub>a</sub> média anual representa 32,1% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,54 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,10 e 1,79 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo no inverno e no verão. Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ET<sub>a</sub> à época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 18C** e **Tabela 14**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 11 e 363), e durante a primeira metade do outono. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 11 e 363 no verão, durante a segunda metade do outono, no inverno, e na primavera (**Tabela 14**).

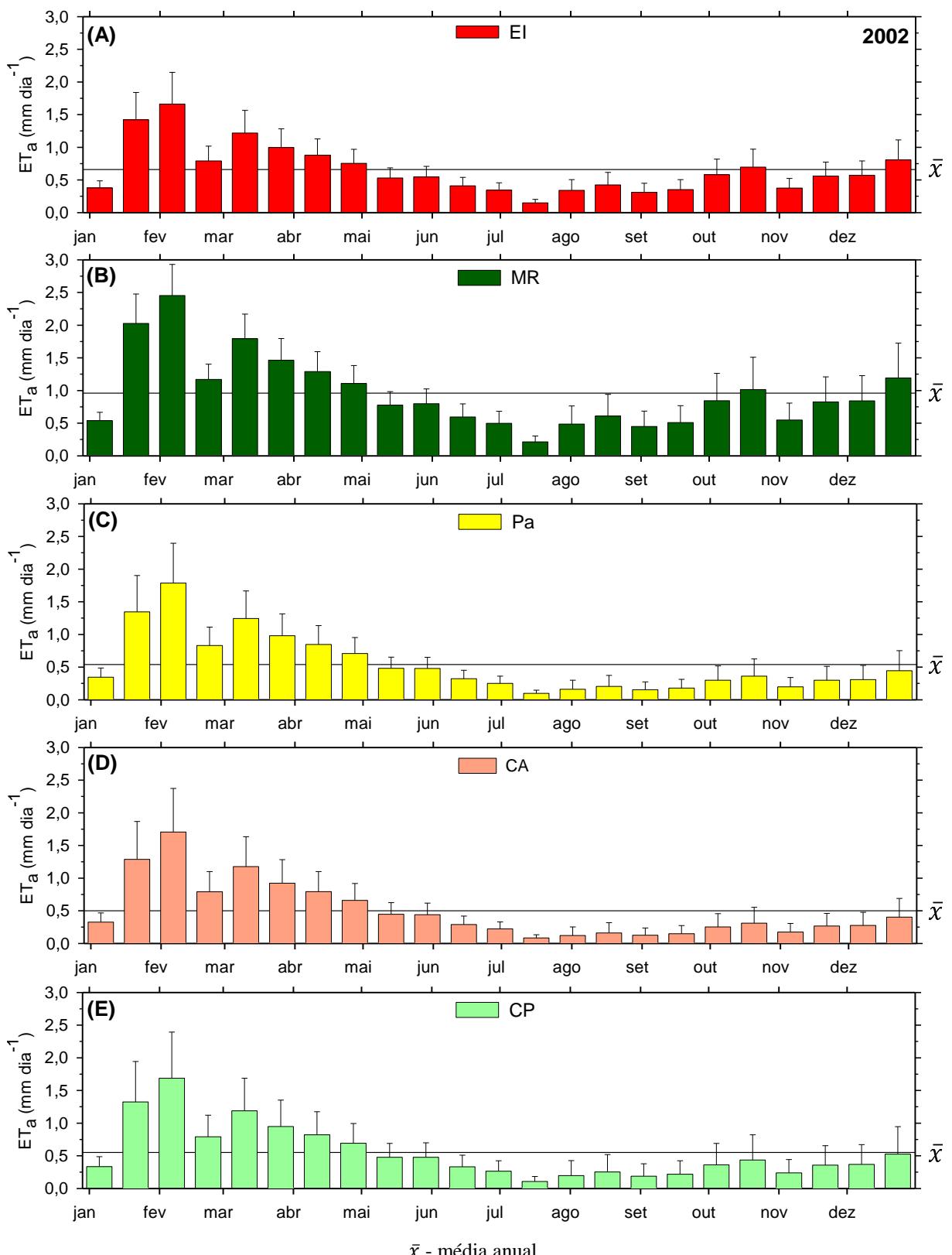
A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,50 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,08 e 1,71 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo no inverno e no verão. Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ET<sub>a</sub> à época chuvosa (**Figura 6, Figura 18D e Tabela 14**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 11 e 363), e durante a primeira metade do outono. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 11 e 363 no verão, durante a segunda metade no outono, no inverno, e na primavera (**Tabela 14**).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,55 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,11 e 1,69 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo no inverno e no verão. Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ET<sub>a</sub> à época chuvosa (**Figura 6, Figura 18E e Tabela 14**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 11 e 363), e durante a primeira metade do outono. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 11 e 363 no verão, durante a segunda metade do outono, no inverno, e na primavera (**Tabela 14**).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa até começo da época seca. Quando a R<sub>G</sub>, ET<sub>0</sub> e P foram superiores à média anual (exceto no DSA 59; 28 de fevereiro).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 203 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 26.504 habitantes estimados para 2002 (IBGE, 2016a; SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO- SNIS, 2016), a população do município consume 5.461 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 18% da população da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 18** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2002. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 14** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2002. Média ± Desvio Padrão

Data	DSA	Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
			EI	MR	Pa	CA	CP
						mm dia <sup>-1</sup>	
11 Jan	11	0,34 ± 0,16	0,38 ± 0,11	0,54 ± 0,13	0,35 ± 0,14	0,33 ± 0,14	0,33 ± 0,15
27 Jan	27	1,34 ± 0,63	1,42 ± 0,42	2,03 ± 0,45	1,34 ± 0,56	1,29 ± 0,58	1,32 ± 0,62
12 Fev	43	1,75 ± 0,73	1,66 ± 0,49	2,45 ± 0,48	1,79 ± 0,61	1,71 ± 0,67	1,69 ± 0,71
28 Fev	59	0,81 ± 0,32	0,79 ± 0,23	1,17 ± 0,23	0,83 ± 0,28	0,79 ± 0,31	0,79 ± 0,33
16 Mar	75	1,22 ± 0,51	1,22 ± 0,35	1,79 ± 0,38	1,24 ± 0,42	1,18 ± 0,46	1,19 ± 0,50
01 Abr	91	0,97 ± 0,41	1,00 ± 0,28	1,46 ± 0,33	0,98 ± 0,34	0,92 ± 0,36	0,95 ± 0,40
17 Abr	107	0,84 ± 0,36	0,88 ± 0,25	1,29 ± 0,30	0,85 ± 0,29	0,79 ± 0,31	0,82 ± 0,35
03 Mai	123	0,70 ± 0,30	0,75 ± 0,22	1,11 ± 0,28	0,71 ± 0,25	0,66 ± 0,26	0,69 ± 0,30
19 Mai	139	0,48 ± 0,21	0,53 ± 0,15	0,78 ± 0,21	0,48 ± 0,17	0,45 ± 0,18	0,48 ± 0,21
04 Jun	155	0,48 ± 0,23	0,55 ± 0,16	0,80 ± 0,23	0,48 ± 0,17	0,44 ± 0,18	0,48 ± 0,22
20 Jun	171	0,33 ± 0,19	0,41 ± 0,13	0,59 ± 0,20	0,32 ± 0,13	0,29 ± 0,13	0,33 ± 0,18
06 Jul	187	0,26 ± 0,15	0,34 ± 0,11	0,50 ± 0,19	0,25 ± 0,11	0,22 ± 0,11	0,26 ± 0,16
22 Jul	203	0,10 ± 0,08	0,15 ± 0,05	0,21 ± 0,09	0,10 ± 0,05	0,08 ± 0,05	0,11 ± 0,08
07 Ago	219	0,18 ± 0,25	0,34 ± 0,16	0,49 ± 0,28	0,16 ± 0,14	0,12 ± 0,13	0,20 ± 0,23
23 Ago	235	0,23 ± 0,28	0,42 ± 0,19	0,61 ± 0,33	0,20 ± 0,17	0,16 ± 0,16	0,25 ± 0,27
08 Set	251	0,18 ± 0,22	0,31 ± 0,14	0,45 ± 0,24	0,15 ± 0,12	0,13 ± 0,11	0,19 ± 0,19
24 Set	267	0,21 ± 0,26	0,35 ± 0,15	0,51 ± 0,26	0,18 ± 0,13	0,15 ± 0,12	0,22 ± 0,21
10 Out	283	0,34 ± 0,37	0,58 ± 0,24	0,84 ± 0,42	0,30 ± 0,22	0,25 ± 0,20	0,36 ± 0,33
26 Out	299	0,41 ± 0,41	0,70 ± 0,28	1,01 ± 0,50	0,36 ± 0,26	0,31 ± 0,24	0,44 ± 0,38
11 Nov	315	0,23 ± 0,24	0,37 ± 0,15	0,55 ± 0,26	0,20 ± 0,14	0,17 ± 0,13	0,24 ± 0,20
27 Nov	331	0,34 ± 0,32	0,56 ± 0,21	0,82 ± 0,38	0,30 ± 0,21	0,27 ± 0,20	0,36 ± 0,30
13 Dez	347	0,35 ± 0,34	0,57 ± 0,22	0,84 ± 0,39	0,31 ± 0,22	0,28 ± 0,20	0,37 ± 0,30
29 Dez	363	0,50 ± 0,48	0,81 ± 0,30	1,19 ± 0,53	0,44 ± 0,31	0,40 ± 0,29	0,53 ± 0,42
<b>Média</b>		<b>0,55 ± 0,32</b>	<b>0,66 ± 0,22</b>	<b>0,96 ± 0,31</b>	<b>0,54 ± 0,24</b>	<b>0,50 ± 0,24</b>	<b>0,55 ± 0,31</b>

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o ano 2003 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $19,30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de começo de janeiro, de fevereiro a maio, e começo de novembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) no período de final de janeiro, de junho a outubro, e de final de novembro a dezembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul e a elevada cobertura de nuvens no verão.

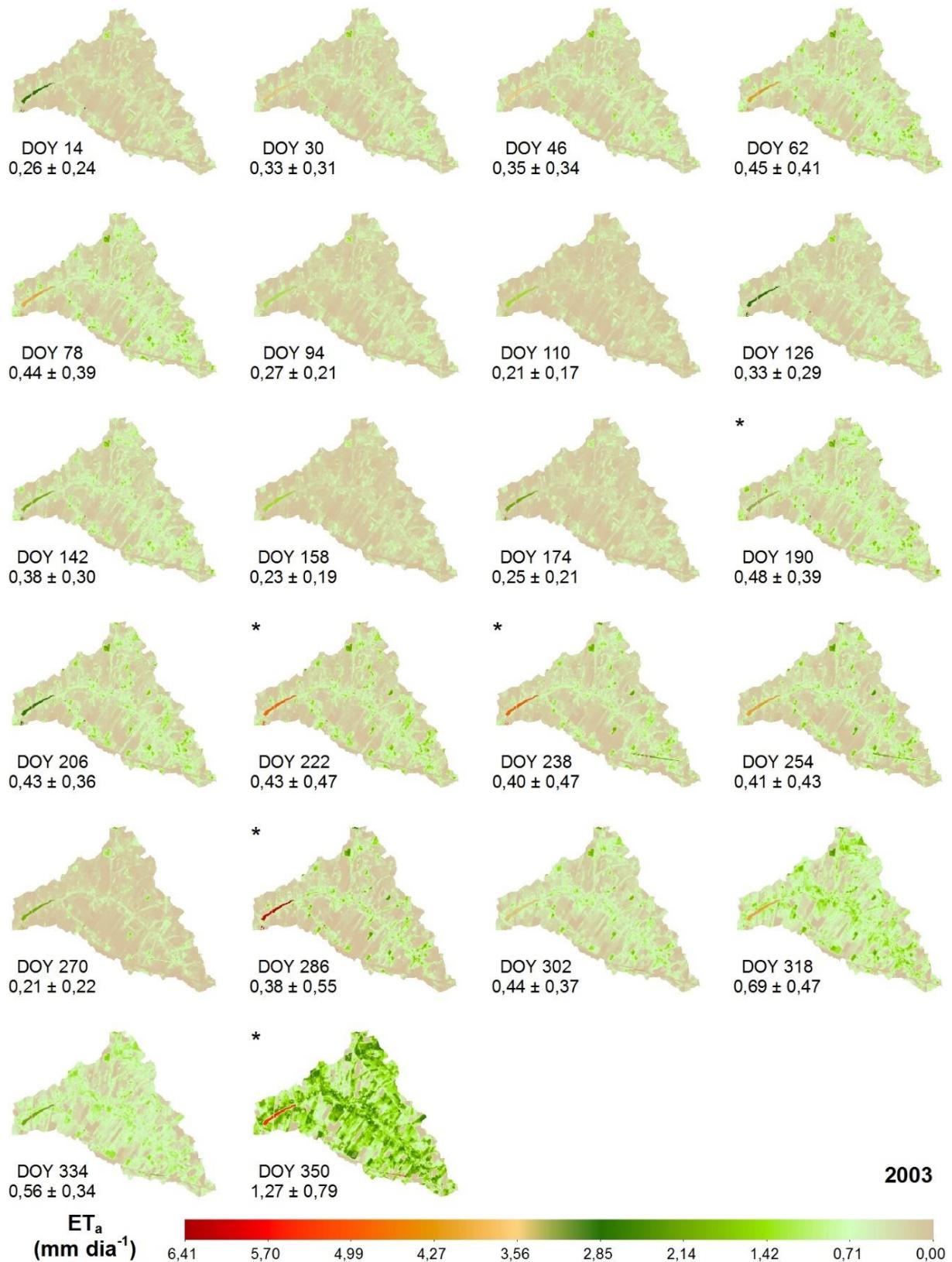
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2003, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 525,50 mm (54,25%); e durante período mais seco (abril a novembro) foi de 443,20 mm (45,75%), destacando-se o período de menor quantidade de chuvas (junho a setembro) com apenas 55,10 mm (5,69%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual, 71,73 mm), durante o período de janeiro a maio e de outubro a dezembro, e os menores valores (inferior à média), no período de junho a setembro (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 507,40 (32,15%) e 1070,70 (67,85%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico foi 429,70 mm (27,23%).

Quando comparadas a P (968,70 mm) e  $ET_0$  (1578,10 mm) anuais, se obtém uma diferença de 609,40 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 140,40, 282,10 e 191,30 mm, respectivamente, e com excedente no verão de 4,40 mm. Na época seca (abril a novembro) o déficit foi 627,50 mm, com saldo positivo na época chuvosa (dezembro a março) de 18,10 mm. Sendo que o período chuvoso foi o suficiente para atender à evapotranspiração de referência, com aproximadamente duas vezes do limiar de chuva significativa ( $>10 \text{ mm}$ ).

Na **Figura 19** visualizam-se os mapas de evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2003 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de 0 a  $5,97 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca (exceto em novembro) e inclusive durante a época chuvosa (janeiro e fevereiro) (**Tabela 15**).

**Figura 19** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2003.  
Média ± Desvio Padrão



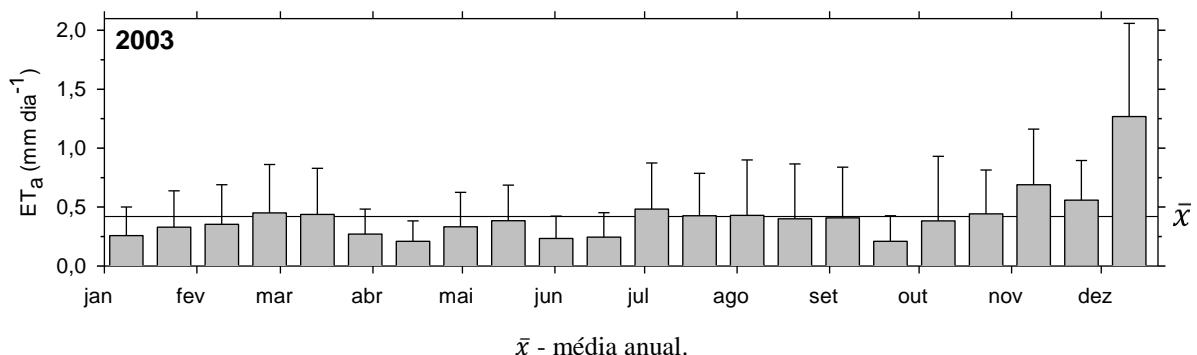
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Durante o ano 2003 a média da  $ET_a$ , na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida foi  $0,42 \text{ mm dia}^{-1}$ . Em uma faixa de  $0,21$  e  $1,27 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor no outono e começo da primavera e, a maior no final da primavera. Os menores valores corresponderam à época seca e os maiores ao começo da época chuvosa (**Figura 20 e Tabela 15**). A maior  $ET_a$  foi devida à presença de significativos volumes consecutivos de precipitação pluviométrica (aproximadamente 10% do acumulado anual) antes da data de passagem do satélite (16 de dezembro, DSA 350), embora o valor de  $R_G$  foi inferior à média. Os menores valores de  $ET_a$  aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica acumulada inferior ao limiar considerado como chuva significativa na agricultura ( $>10 \text{ mm}$ ), considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (27 de setembro; DSA 270) e também no começo da época seca (DSA 110, 20 de abril) devido a precipitações consecutivas desde começo do ano até o DSA 110, representando 62% do acumulado anual; e com valores de  $R_G$  superiores à média.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a  $ET_a$  média do ano 2003 ( $0,42 \text{ mm dia}^{-1}$ ), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média  $13.403 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  durante o ano. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (968,70 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2003 ( $74,19 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente ( $P - ET_a$ ) de 754,73 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em  $2,07 \text{ mm dia}^{-1}$ .

**Figura 20** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2003. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 21** e **Tabela 15** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2003, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 5,57, 3,74, 5,57, 5,59 e 5,83 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por U&O foram observados mais frequentes no começo da época chuvosa e final da época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com R<sub>G</sub> superior ou próximo à média anual (**Figura 6**), são suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub> durante os meses da época chuvosa e final da seca em todos os U&O (**Figura 21**). Excepcionalmente durante janeiro e fevereiro foi inferior da média anual de cada U&O (exceto em *Typha*), devido aos eventos pluviométricos constantes desde novembro do 2002, aumentando a cobertura de nuvens e diminuindo a R<sub>G</sub>.

Durante o ano 2003 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 0,64 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, o menor e maior valor foram 0,32 e 1,31 mm dia<sup>-1</sup>. O limite inferior ocorreu no inverno (DSA 110; 20 de abril) e o superior no verão (DSA 350; 16 de dezembro). Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> à época seca (DSA 110), e a maior ET<sub>a</sub> à época chuvosa (**Figura 6**, **Figura 21A** e **Tabela 14**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no final do verão (março), no inverno (exceto no DSA 174), e na primavera (exceto no DSA 270). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no início do verão (janeiro a fevereiro), durante o outono, no DSA 174 no inverno, e no DSA 270 na primavera (**Tabela 15**).

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 0,93 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, variando de menor e maior entre 0,48 e 2,16 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no começo do outono e a maior no final da primavera, correspondendo a menor e a maior ao começo e ao final da época seca (**Figura 6**, **Figura 21B** e **Tabela 15****Tabela 12**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no final do verão (março), durante o inverno (exceto no DSA 174), e durante a primavera (exceto no DSA 270). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no começo do verão (janeiro e fevereiro), durante o outono, no DSA 174 no inverno, e no DSA 270 na primavera (**Tabela 15**). Sendo que o total da ET<sub>a</sub> média anual representa 35,0% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,39 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,18 e 1,35 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor e a maior no início e final da primavera. Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ET<sub>a</sub> ao início da época chuvosa (**Figura 6**, **Figura**

**21C e Tabela 15).** Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no final do verão (março), no DSA 190 no inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 270 e 286). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no começo do verão (janeiro e fevereiro), durante o outono, no inverno (exceto no DSA 190), e nos DSA 270 e 286 na primavera (**Tabela 15**).

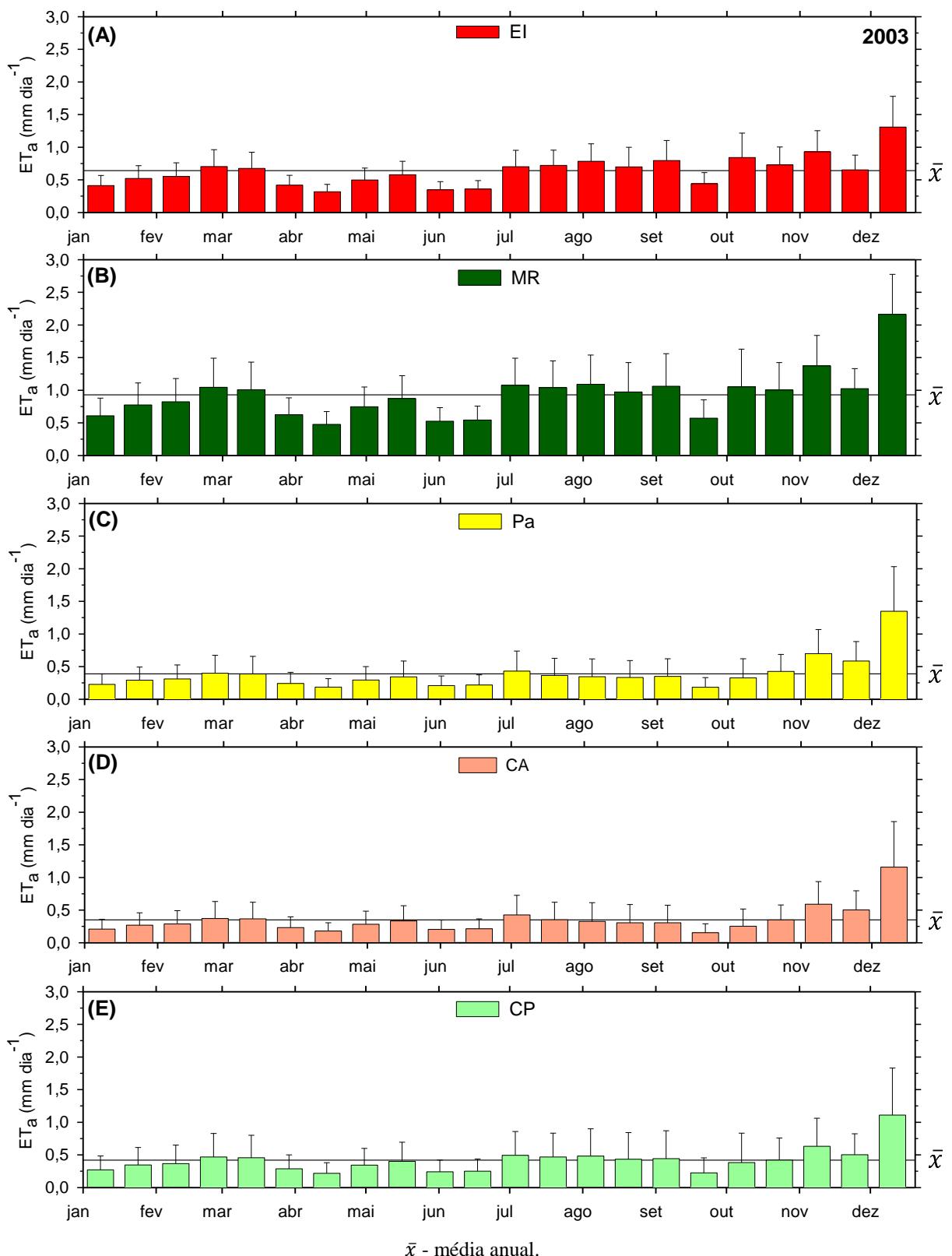
A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,35 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,15 e 1,16 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no começo da primavera, e a maior no final da primavera, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao começo da época chuvosa (**Figura 6, Figura 21D e Tabela 15**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no final do verão (março), nos DSA 190 e 206 no inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 270 e 286). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no começo do verão (janeiro e fevereiro), durante o outono, no inverno (exceto no DSA 190 e 206), e no DSA 270 e 286 na primavera (**Tabela 15**).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,42 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,22 e 1,11 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor e a maior no outono e na primavera, correspondendo a menor ao começo da época seca, e a maior ao começo da época chuvosa (**Figura 6, Figura 21E e Tabela 15**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no final do verão (março), durante o inverno (exceto no DSA 174), e durante a segunda metade da primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram no começo do verão (janeiro e fevereiro), durante outono, no DSA 174 no inverno, e durante a primeira metade da primavera (**Tabela 15**).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante final da época seca, na época chuvosa (exceto no DSA 30). Quando a R<sub>G</sub>, ET<sub>0</sub> e P foram superiores à média anual

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 203 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 26.500 habitantes estimados para 2003 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 5.461 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 18% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 21** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2003. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 15** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2003. Média ± Desvio Padrão

2003		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
14 Jan	14	0,26 ± 0,24	0,41 ± 0,15	0,61 ± 0,27	0,23 ± 0,16	0,21 ± 0,15	0,27 ± 0,21
30 Jan	30	0,33 ± 0,31	0,52 ± 0,19	0,77 ± 0,34	0,29 ± 0,20	0,27 ± 0,19	0,34 ± 0,27
15 Fev	46	0,35 ± 0,34	0,55 ± 0,21	0,82 ± 0,36	0,31 ± 0,22	0,29 ± 0,20	0,37 ± 0,28
03 Mar	62	0,45 ± 0,41	0,70 ± 0,26	1,04 ± 0,45	0,40 ± 0,28	0,37 ± 0,26	0,47 ± 0,36
19 Mar	78	0,44 ± 0,39	0,68 ± 0,25	1,01 ± 0,42	0,39 ± 0,27	0,37 ± 0,26	0,46 ± 0,34
04 Abr	94	0,27 ± 0,21	0,42 ± 0,15	0,63 ± 0,26	0,24 ± 0,17	0,23 ± 0,16	0,29 ± 0,21
20 Abr	110	0,21 ± 0,17	0,32 ± 0,11	0,48 ± 0,19	0,19 ± 0,13	0,18 ± 0,13	0,22 ± 0,16
06 Mai	126	0,33 ± 0,29	0,50 ± 0,18	0,75 ± 0,30	0,29 ± 0,21	0,28 ± 0,20	0,34 ± 0,26
22 Mai	142	0,38 ± 0,30	0,58 ± 0,21	0,87 ± 0,35	0,34 ± 0,24	0,33 ± 0,23	0,40 ± 0,29
07 Jun	158	0,23 ± 0,19	0,35 ± 0,12	0,53 ± 0,21	0,21 ± 0,15	0,20 ± 0,14	0,24 ± 0,18
23 Jun	174	0,25 ± 0,21	0,36 ± 0,13	0,54 ± 0,21	0,22 ± 0,15	0,21 ± 0,15	0,25 ± 0,19
09 Jul	190	0,48 ± 0,39	0,70 ± 0,25	1,07 ± 0,42	0,43 ± 0,31	0,43 ± 0,30	0,49 ± 0,36
25 Jul	206	0,43 ± 0,36	0,72 ± 0,23	1,04 ± 0,41	0,36 ± 0,26	0,35 ± 0,27	0,47 ± 0,36
10 Ago	222	0,43 ± 0,47	0,78 ± 0,27	1,09 ± 0,45	0,34 ± 0,27	0,33 ± 0,29	0,48 ± 0,42
26 Ago	238	0,40 ± 0,47	0,70 ± 0,30	0,97 ± 0,45	0,33 ± 0,26	0,31 ± 0,28	0,43 ± 0,41
11 Set	254	0,41 ± 0,43	0,80 ± 0,31	1,06 ± 0,50	0,35 ± 0,27	0,31 ± 0,27	0,44 ± 0,43
27 Set	270	0,21 ± 0,22	0,44 ± 0,17	0,57 ± 0,28	0,18 ± 0,15	0,15 ± 0,14	0,22 ± 0,23
13 Out	286	0,38 ± 0,55	0,84 ± 0,37	1,05 ± 0,58	0,33 ± 0,29	0,25 ± 0,26	0,38 ± 0,45
29 Out	302	0,44 ± 0,37	0,73 ± 0,27	1,00 ± 0,42	0,43 ± 0,26	0,35 ± 0,23	0,42 ± 0,34
14 Nov	318	0,69 ± 0,47	0,93 ± 0,32	1,37 ± 0,47	0,70 ± 0,37	0,59 ± 0,35	0,63 ± 0,43
30 Nov	334	0,56 ± 0,34	0,65 ± 0,22	1,02 ± 0,31	0,59 ± 0,30	0,50 ± 0,29	0,50 ± 0,32
16 Dez	350	1,27 ± 0,79	1,31 ± 0,47	2,16 ± 0,61	1,35 ± 0,68	1,16 ± 0,70	1,11 ± 0,72
Média		0,42 ± 0,36	0,64 ± 0,23	0,93 ± 0,37	0,39 ± 0,25	0,35 ± 0,25	0,42 ± 0,33

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o ano 2004 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $18,21 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de começo de janeiro a começo de abril, final de agosto a setembro, final de outubro, e começo de dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) no período de final de abril a começo de agosto, durante começo de outubro, novembro, e final de dezembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante a primavera.

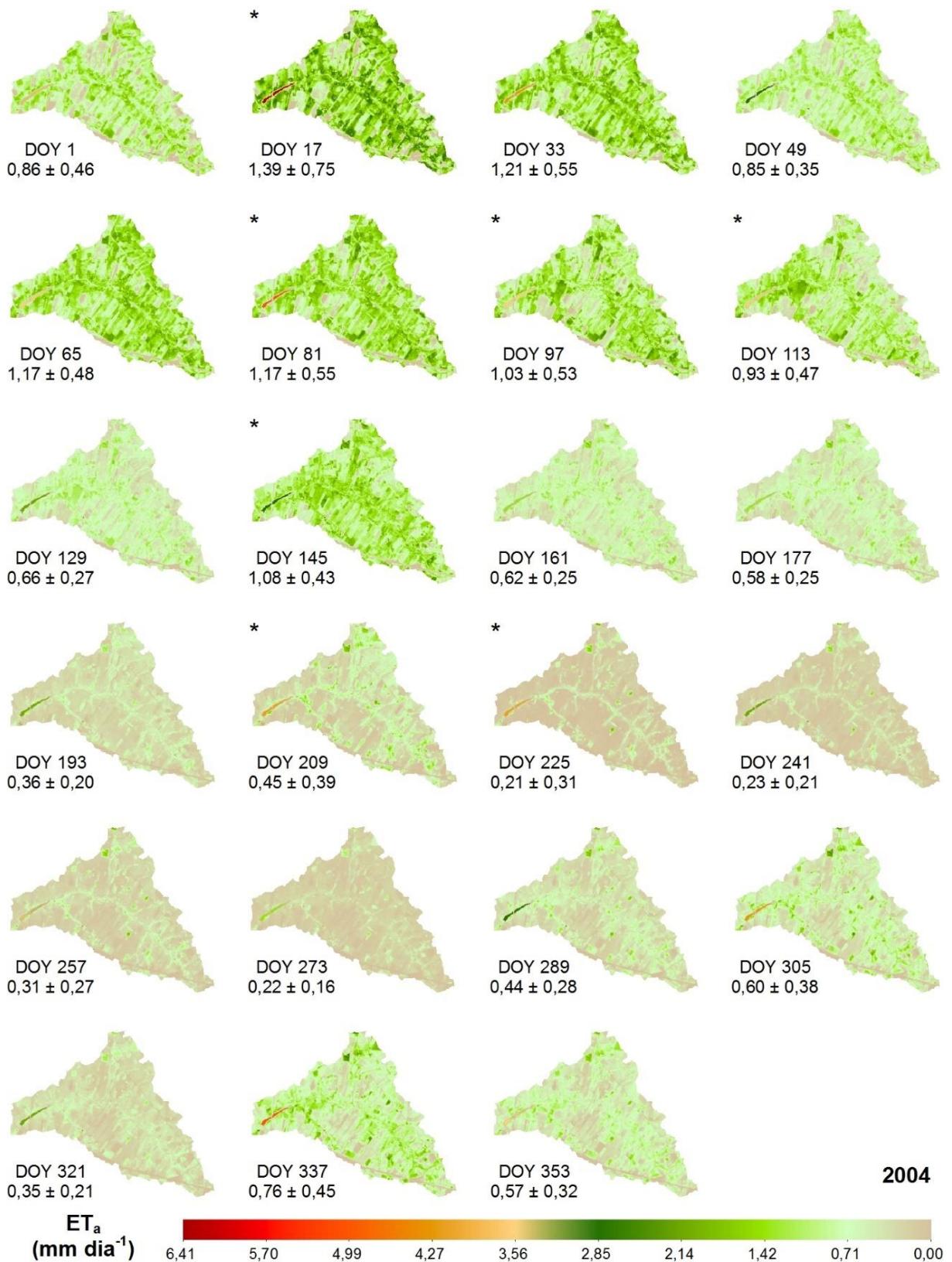
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2004, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 585,30 mm (61,13%); e durante a época seca (abril a novembro) foi de 372,10 mm (38,87%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com apenas 75,90 mm (7,93%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual, 66,62 mm), durante o período de janeiro a começo de abril, durante setembro, final de outubro, e durante dezembro, e os menores valores (inferior à média), no período de final de abril a agosto, final de outubro, e durante final de novembro (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 692,80 (45,22%) e 839,40 (54,78%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico (junho a setembro) foi 432,30 mm (28,21%).

Quando comparadas a P (957,40 mm) e a  $ET_0$  (1.532,20 mm) anuais, se obtém uma diferença de 574,80 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no verão, outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 33,60, 157,80, 291,90 e de 91,50 mm, respectivamente. Na época seca o déficit foi 467,30 mm, com saldo negativo na época chuvosa de 107,50 mm. Sendo que o período chuvoso não foi suficiente para atender à evapotranspiração de referência.

Na **Figura 22** visualizam-se os mapas de evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2004 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variaram de 0 a  $5,57 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero na bacia hidrográfica durante a época seca, especificamente durante o período de julho a novembro (**Tabela 16**), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época seca e final da mesma.

**Figura 22** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabaceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2004.  
Média ± Desvio Padrão



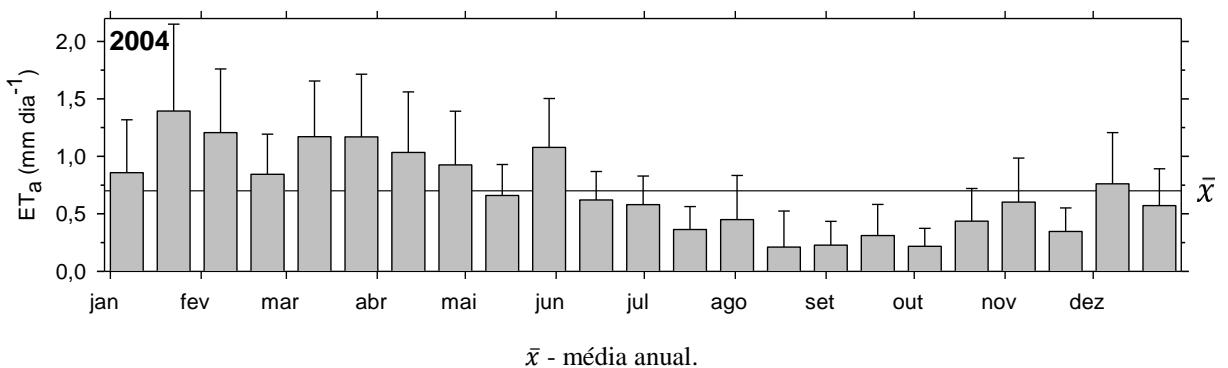
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2004 a média da ET<sub>a</sub>, em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi 0,70 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,21 e 1,39 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno e a maior no verão, correspondendo os menores valores ao período de maior déficit hídrico da época seca, e os maiores à época chuvosa (**Figura 6, Figura 23 e Tabela 16**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação acumulada elevada antes da data de passagem do satélite (DSA 17; 17 de janeiro) e a elevados níveis de R<sub>G</sub> acima da média anual. Os menores valores aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica ausente, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 225; 12 de agosto), e pelos menores níveis de R<sub>G</sub> inferior à média anual.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2004 (0,70 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 22.355 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2004. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (957,40 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2004 (74,19 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 641,51 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia resultou em 1,76 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 23** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2004. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 24** e **Tabela 16** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2004, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 5,48, 4,40, 3,49, 3,50 e 4,44 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual em cada DSA por U&O

foram observados mais frequentes na época chuvosa ou em DSA correspondentes à época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior  $R_G$  do ano (superior à média anual; **Figura 6**), foram suficientes para incrementar a  $ET_a$  durante os meses da época chuvosa em todos os U&O (**Figura 24**).

Durante o ano 2004 a média da  $ET_a$  das EI presentes na bacia em estudo foi 0,85 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,36 e 1,52 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor durante no início da primavera (DSA 273; 29 de setembro) e a maior a no verão (DSA 17; 17 de janeiro), correspondendo a menor  $ET_a$  ao final do período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior  $ET_a$  à época chuvosa (**Figura 6, Figura 24A e Tabela 16**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, primeira metade do outono e no DSA 145 (24 de maio), e no DSA 305 (31 de outubro) e 337 (02 de dezembro) na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no DSA 129 (08 de maio) e 161 (09 de junho) no outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 305 e 337) (**Tabela 16**).

A média da  $ET_a$  da MR na bacia em estudo foi 1,17 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, variando a menor e maior entre 0,49 e 2,22 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no início da primavera e a maior no verão, correspondendo a menor ao final do período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 24B e Tabela 16**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, durante a primeira metade do inverno e no DSA 145 (24 de maio), e no DSA 305 (31 de outubro) e 337 (02 de dezembro) na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no DSA 129 (08 de maio) e 161 (09 de junho) no outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 305 e 337) (**Tabela 16**). Sendo que a  $ET_a$  média anual representa 44,6% da precipitação anual.

A média da  $ET_a$  da Pa presente na bacia em estudo foi 0,69 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior  $ET_a$  foram 0,16 e 1,43 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno e a maior durante o verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 23C e Tabela 16**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, na primeira metade do outono e no DSA 145 (24 de maio), e no DSA 337 (02 de dezembro) na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no DSA 129 (08 de maio) e 161 (09 de junho) no outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 337) (**Tabela 16**).

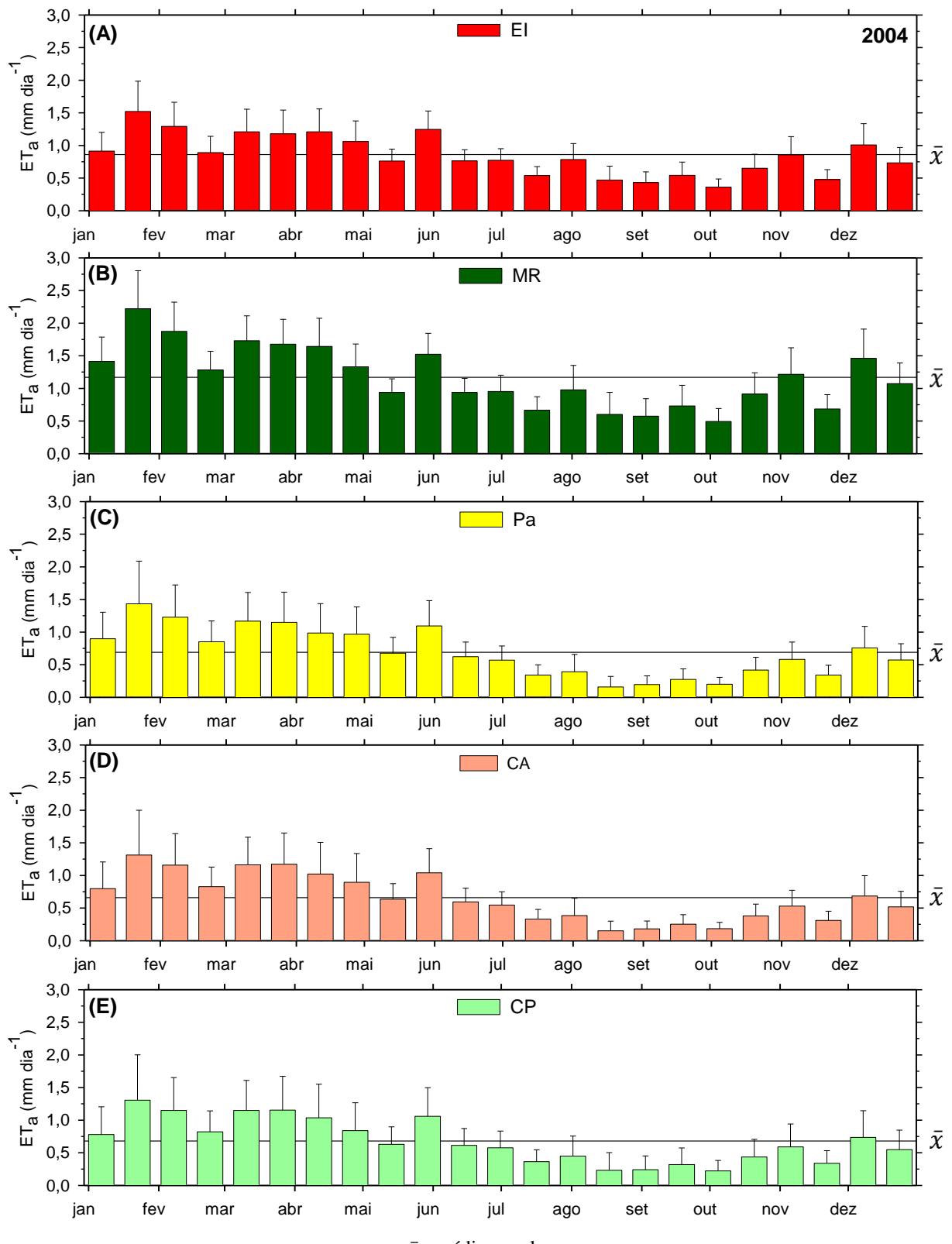
A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,66 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,15 e 1,31 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 24D e Tabela 16**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, na primeira metade do outono e no DSA 145 (24 de maio), e no DSA 337 (02 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 129 (08 de maio) e 161 (09 de junho) no outono, durante o inverno, e a primavera (exceto no DSA 337) (**Tabela 16**).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,68 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior ET<sub>a</sub> foram 0,22 e 1,31 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no início primavera e a maior no verão, correspondendo a menor ao final do período de maior déficit hídrico da época seca e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 24E e Tabela 16**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, na primeira metade do outono e no DSA 145, e no DSA 337 na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 129 e 161 no outono, durante o inverno, e a primavera (exceto no DSA 337) (**Tabela 16**).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e início da época seca (abril e maio; exceto no DOY 129).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 203 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 26.498 habitantes estimados para 2004 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 5.461 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 24% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 24** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2004. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 16** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2004. Média ± Desvio Padrão

2004		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
01 Jan	1	0,86 ± 0,46	0,91 ± 0,29	1,42 ± 0,37	0,90 ± 0,41	0,80 ± 0,41	0,78 ± 0,42
17 Jan	17	1,39 ± 0,75	1,52 ± 0,46	2,22 ± 0,58	1,43 ± 0,65	1,31 ± 0,69	1,31 ± 0,70
02 Fev	33	1,21 ± 0,55	1,29 ± 0,37	1,87 ± 0,45	1,23 ± 0,49	1,16 ± 0,48	1,15 ± 0,50
18 Fev	49	0,85 ± 0,35	0,89 ± 0,25	1,28 ± 0,29	0,85 ± 0,32	0,83 ± 0,30	0,82 ± 0,32
05 Mar	65	1,17 ± 0,48	1,21 ± 0,35	1,73 ± 0,38	1,17 ± 0,44	1,16 ± 0,42	1,15 ± 0,46
21 Mar	81	1,17 ± 0,55	1,18 ± 0,36	1,68 ± 0,38	1,15 ± 0,46	1,17 ± 0,48	1,15 ± 0,52
06 Abr	97	1,03 ± 0,53	1,21 ± 0,35	1,64 ± 0,43	0,99 ± 0,45	1,02 ± 0,49	1,04 ± 0,51
22 Abr	113	0,93 ± 0,47	1,06 ± 0,31	1,33 ± 0,35	0,97 ± 0,42	0,89 ± 0,44	0,84 ± 0,43
08 Mai	129	0,66 ± 0,27	0,76 ± 0,18	0,94 ± 0,21	0,68 ± 0,24	0,64 ± 0,24	0,63 ± 0,27
24 Mai	145	1,08 ± 0,43	1,25 ± 0,28	1,52 ± 0,32	1,09 ± 0,39	1,04 ± 0,37	1,06 ± 0,44
09 Jun	161	0,62 ± 0,25	0,76 ± 0,17	0,94 ± 0,22	0,62 ± 0,22	0,59 ± 0,21	0,61 ± 0,26
25 Jun	177	0,58 ± 0,25	0,77 ± 0,18	0,95 ± 0,25	0,57 ± 0,22	0,55 ± 0,20	0,58 ± 0,25
11 Jul	193	0,36 ± 0,20	0,54 ± 0,14	0,67 ± 0,21	0,34 ± 0,16	0,33 ± 0,15	0,36 ± 0,18
27 Jul	209	0,45 ± 0,39	0,78 ± 0,24	0,98 ± 0,37	0,39 ± 0,27	0,39 ± 0,26	0,45 ± 0,31
12 Ago	225	0,21 ± 0,31	0,47 ± 0,21	0,60 ± 0,34	0,16 ± 0,16	0,15 ± 0,15	0,23 ± 0,27
28 Ago	241	0,23 ± 0,21	0,43 ± 0,16	0,57 ± 0,27	0,20 ± 0,13	0,18 ± 0,12	0,24 ± 0,21
13 Set	257	0,31 ± 0,27	0,54 ± 0,20	0,73 ± 0,32	0,27 ± 0,16	0,25 ± 0,14	0,32 ± 0,25
29 Set	273	0,22 ± 0,16	0,36 ± 0,13	0,49 ± 0,20	0,20 ± 0,11	0,18 ± 0,10	0,22 ± 0,16
15 Out	289	0,44 ± 0,28	0,65 ± 0,21	0,91 ± 0,32	0,42 ± 0,20	0,38 ± 0,18	0,43 ± 0,27
31 Out	305	0,60 ± 0,38	0,86 ± 0,28	1,21 ± 0,41	0,58 ± 0,26	0,53 ± 0,24	0,59 ± 0,35
16 Nov	321	0,35 ± 0,21	0,48 ± 0,15	0,68 ± 0,22	0,34 ± 0,15	0,31 ± 0,14	0,34 ± 0,19
02 Dez	337	0,76 ± 0,45	1,01 ± 0,32	1,46 ± 0,45	0,76 ± 0,33	0,68 ± 0,31	0,74 ± 0,41
18 Dez	353	0,57 ± 0,32	0,73 ± 0,24	1,07 ± 0,32	0,57 ± 0,25	0,52 ± 0,24	0,55 ± 0,30
Média		0,70 ± 0,37	0,86 ± 0,25	1,17 ± 0,33	0,69 ± 0,30	0,66 ± 0,29	0,68 ± 0,35

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A Figura 6 apresenta durante o ano 2005 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual,  $16,15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de fevereiro a abril, de julho a começo de agosto, final de outubro a começo de dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante janeiro, de maio a junho, final de agosto a começo de outubro, e final de dezembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante o verão.

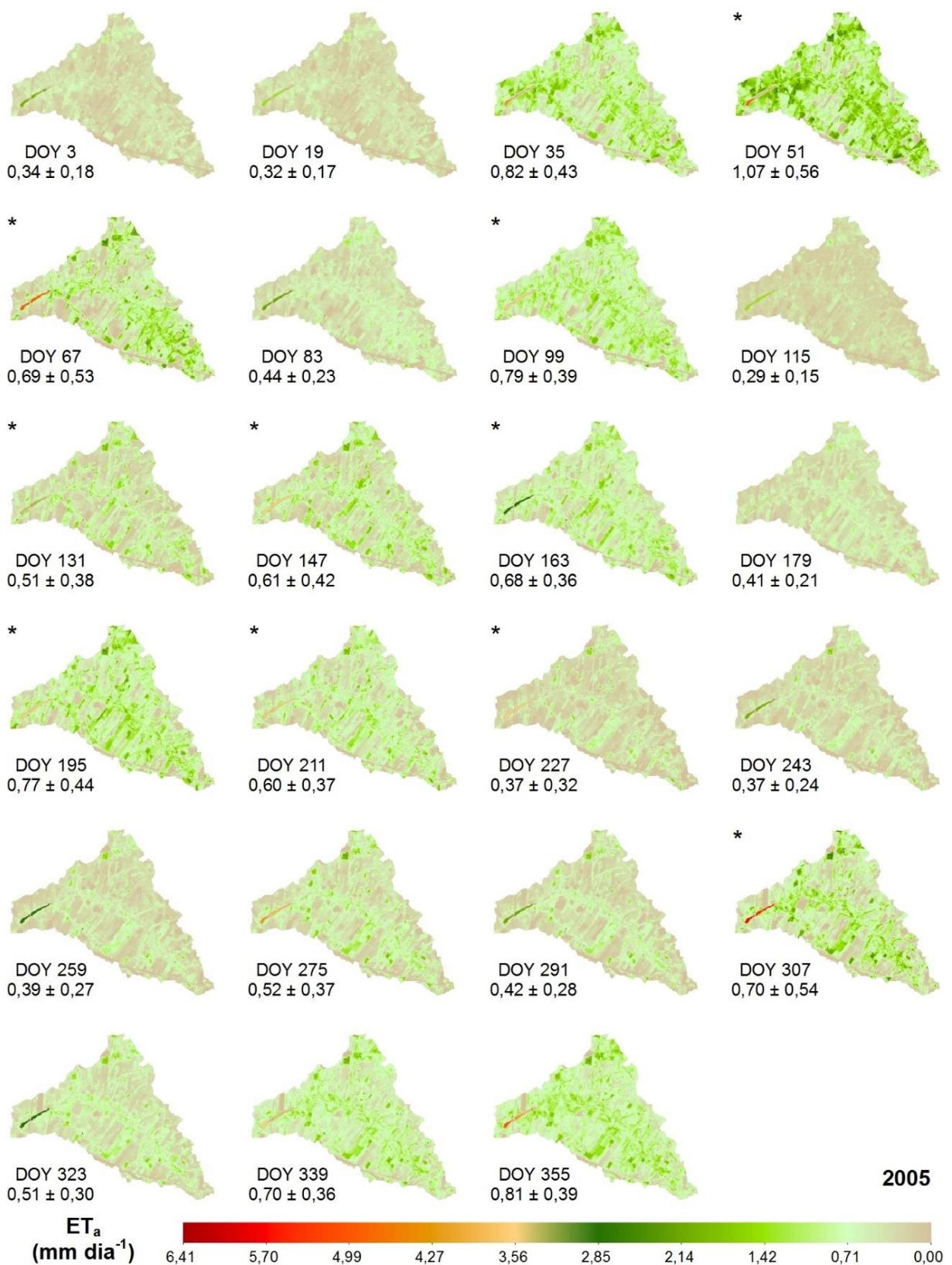
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2005, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de  $1024,80 \text{ mm}$  (82,09%); e na época seca (abril a novembro) foi  $223,60 \text{ mm}$  (17,91%), destacando-se o período de menor quantidade de chuvas (junho a setembro) com apenas  $97,30 \text{ mm}$  (7,79%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual,  $64,04 \text{ mm}$ ), durante o período de fevereiro a abril, durante começo de agosto, e de final de outubro a dezembro, e os menores valores (inferior à média), durante janeiro, de maio a julho, e de final de agosto a começo de outubro (Figura 6). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi  $539,70$  (36,64%) e  $933,20$  (63,36%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico (junho a setembro) foi  $384,30 \text{ mm}$  (26,09%).

Quando comparadas a P ( $1248,40 \text{ mm}$ ) e a  $ET_0$  ( $1472,90 \text{ mm}$ ) anuais, se obtém uma diferença de  $224,50 \text{ mm}$ . Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de  $193,10$ ,  $250,20$  e  $202,90 \text{ mm}$ , respectivamente, e com excedente de  $421,70 \text{ mm}$  no verão. Na época seca a diferença foi  $709,60 \text{ mm}$  e com saldo positivo na época chuvosa de  $485,10 \text{ mm}$ . Sendo que o período chuvoso foi suficiente para atender à demanda atmosférica.

Na Figura 25 visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2005 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de  $0$  a  $5,10 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero na época seca e excepcionalmente em janeiro (Tabela 17).

**Figura 25** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2005.  
Média ± Desvio Padrão



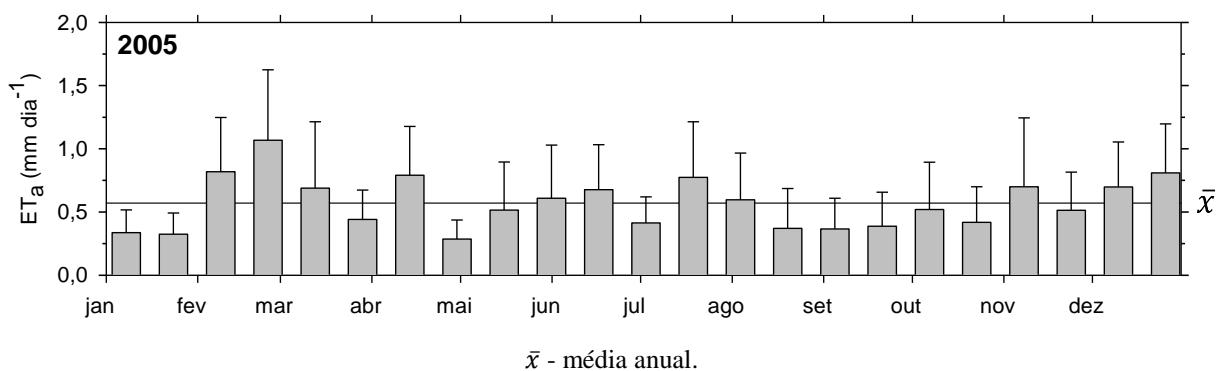
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2005 a média da ET<sub>a</sub>, em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi 0,57 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,29 e 1,07 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no outono e a maior no verão, correspondendo a menor à época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 26 e Tabela 17**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação acumulada elevada antes da data de passagem do satélite (DSA 51; 20 de fevereiro) e elevados níveis de R<sub>G</sub> acima da média. Os menores valores de ET<sub>a</sub> aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica ausente, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 115; 20 de abril), e pelos níveis de R<sub>G</sub> superiores à média anual.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2005 (0,57mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 18.283 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2005. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1.248,4 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2005 (105,22 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 641,51 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em 1,76 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 26** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2005. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 27** e **Tabela 17** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2005, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 4,81, 3,23, 3,06, 3,09 e 4,67 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual em cada DSA por U&O

foram observados mais frequentes na época chuvosa ou em DSA correspondentes à época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com maiores níveis de  $R_G$  (superior à média anual; **Figura 6**), foram suficientes para incrementar a  $ET_a$  durante os meses da época chuvosa em todos os U&O (**Figura 27**) e inclusive na época seca.

Durante o ano 2005 a média da  $ET_a$  das EI presentes na bacia em estudo foi  $0,75 \text{ mm dia}^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior valor foram  $0,38$  e  $1,20 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor no outono (DSA 115; 24 de abril) e a maior a no verão (DSA 51; 20 de fevereiro), correspondendo a menor ao começo da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 27A e Tabela 17**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 3 e 19), no outono (exceto no DSA 83 e 115), no DSA 195 no inverno, e na primavera (exceto no DSA 291 e 323). Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no DSA 3 e 19 no verão, no DSA 83 e 115 no outono, durante o inverno (exceto no DSA 195), e no DSA 291 e 323 na primavera (**Tabela 17**).

A média da  $ET_a$  da MR na bacia em estudo foi  $1,08 \text{ mm dia}^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram  $0,53$  e  $1,82 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor no outono e a maior no verão, correspondendo a menor ao começo da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 27B e Tabela 17**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 3 e 19), no outono (exceto no DSA 83 e 115), no DSA 195 no inverno, e na primavera (exceto no DSA 291 e 323). Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no DSA 3 e 19 no verão, no DSA 83 e 115 no outono, durante o inverno (exceto no DSA 195), e no DSA 191 e 323 na primavera (**Tabela 17**). Sendo que a  $ET_a$  média anual representa 31,6% da precipitação anual.

A média da  $ET_a$  da Pa presente na bacia em estudo foi  $0,56 \text{ mm dia}^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram  $0,28$  e  $1,12 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor no outono, e a maior no verão, correspondendo a menor à época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 27C e Tabela 17**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram observados, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 3 e 19), no DSA 99, 147 e 163 no outono, no DSA 195 e 211 no inverno, e na primavera (exceto no DSA 307 e 339). Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no DSA 3 e 19 no verão, no DSA 83, 115 e 131 no outono, durante o inverno (exceto no DSA 195 e 211), e durante a primavera (exceto no 307 e 339) (**Tabela 17**).

A média da  $ET_a$  da CA presente na bacia em estudo foi  $0,52 \text{ mm dia}^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram  $0,27$  e  $1,01 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor no outono,

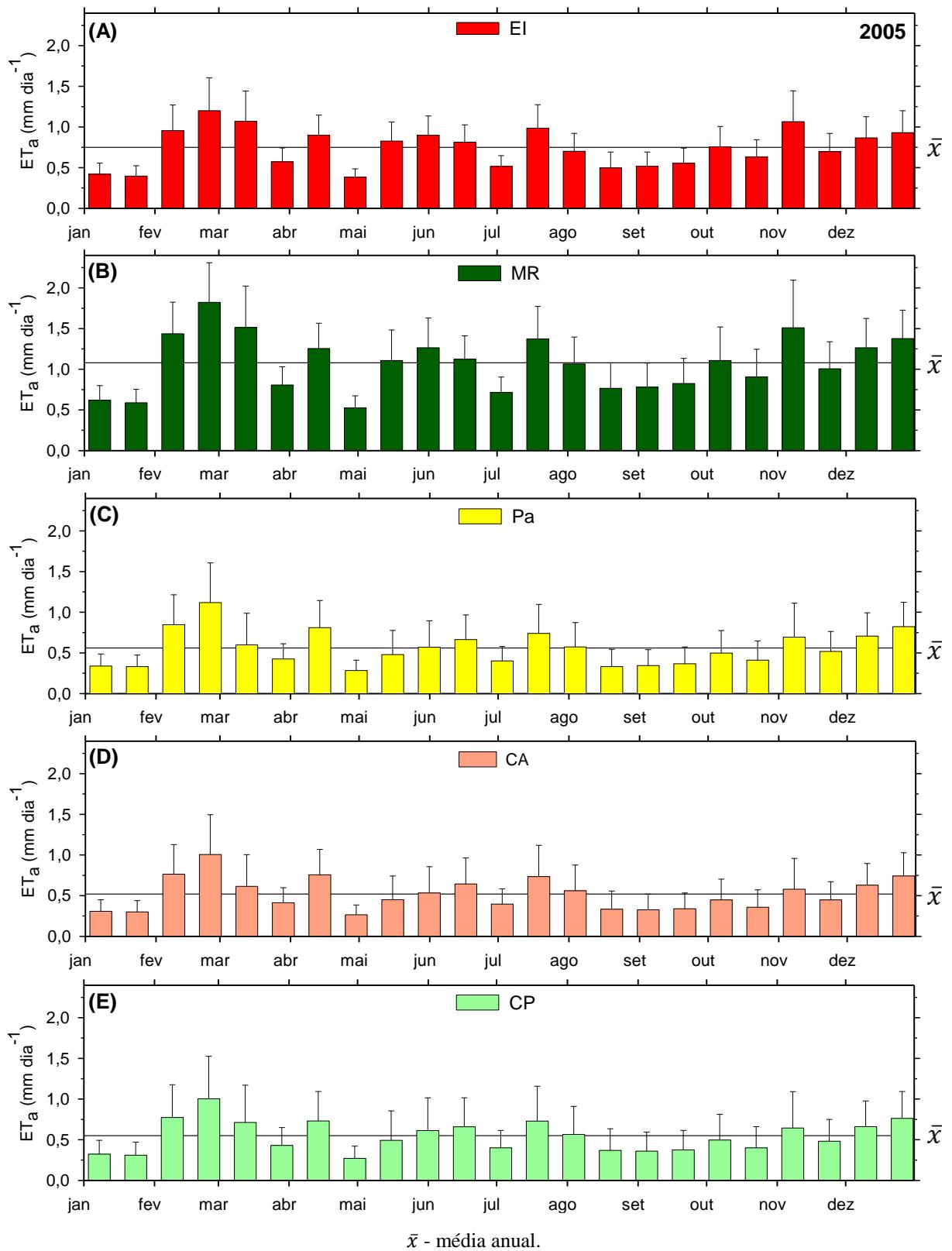
e a maior no verão, correspondendo a menor à época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 27D e Tabela 17**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram observados, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 3 e 19), no DSA 99, 147 e 163 no outono, no DSA 195 e 211 no inverno, e na primavera (exceto no DSA 307 e 339). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 3 e 19 no verão, no DSA 83, 115 e 131 no outono, durante o inverno (exceto no DSA 195 e 211), e durante a primavera (exceto no 307 e 339) (**Tabela 17**).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,55 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,27 e 1,00 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no outono, e a maior no verão, correspondendo a menor ao final da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 27E e Tabela 17**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram observados, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 3 e 19), no DSA 99, 147 e 163 no outono, no DSA 195 e 211 no inverno, e na primavera (exceto no DSA 307 e 339). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 3 e 19 no verão, no DSA 83, 115 e 131 no outono, durante o inverno (exceto no DSA 195 e 211), e durante a primavera (exceto no 307 e 339) (**Tabela 17**).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e excepcionalmente durante a época seca.

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 288 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 26.496 habitantes estimados para 2005 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 7.744 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 15% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 27** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2005. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 17** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2005. Média ± Desvio Padrão

2005		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
03 Jan	3	0,34 ± 0,18	0,42 ± 0,14	0,62 ± 0,18	0,34 ± 0,15	0,31 ± 0,14	0,32 ± 0,17
19 Jan	19	0,32 ± 0,17	0,40 ± 0,13	0,59 ± 0,17	0,33 ± 0,14	0,30 ± 0,14	0,31 ± 0,16
04 Fev	35	0,82 ± 0,43	0,96 ± 0,32	1,44 ± 0,39	0,85 ± 0,37	0,76 ± 0,36	0,77 ± 0,40
20 Fev	51	1,07 ± 0,56	1,20 ± 0,40	1,82 ± 0,48	1,12 ± 0,49	1,01 ± 0,49	1,00 ± 0,52
08 Mar	67	0,69 ± 0,53	1,07 ± 0,37	1,51 ± 0,51	0,60 ± 0,39	0,61 ± 0,39	0,71 ± 0,46
24 Mar	83	0,44 ± 0,23	0,57 ± 0,17	0,81 ± 0,22	0,43 ± 0,19	0,41 ± 0,18	0,43 ± 0,22
09 Abr	99	0,79 ± 0,39	0,90 ± 0,25	1,26 ± 0,31	0,81 ± 0,33	0,76 ± 0,31	0,73 ± 0,36
25 Abr	115	0,29 ± 0,15	0,38 ± 0,10	0,53 ± 0,15	0,28 ± 0,13	0,27 ± 0,12	0,27 ± 0,15
11 Mai	131	0,51 ± 0,38	0,83 ± 0,23	1,11 ± 0,38	0,48 ± 0,30	0,45 ± 0,29	0,49 ± 0,36
27 Mai	147	0,61 ± 0,42	0,90 ± 0,24	1,27 ± 0,36	0,57 ± 0,33	0,53 ± 0,32	0,61 ± 0,40
12 Jun	163	0,68 ± 0,36	0,81 ± 0,21	1,12 ± 0,29	0,66 ± 0,30	0,64 ± 0,32	0,66 ± 0,36
28 Jun	179	0,41 ± 0,21	0,51 ± 0,13	0,72 ± 0,19	0,40 ± 0,18	0,40 ± 0,19	0,40 ± 0,22
14 Jul	195	0,77 ± 0,44	0,99 ± 0,29	1,37 ± 0,40	0,74 ± 0,36	0,74 ± 0,38	0,73 ± 0,43
30 Jul	211	0,60 ± 0,37	0,70 ± 0,22	1,06 ± 0,33	0,57 ± 0,30	0,56 ± 0,31	0,56 ± 0,35
15 Ago	227	0,37 ± 0,32	0,50 ± 0,19	0,77 ± 0,31	0,33 ± 0,21	0,33 ± 0,22	0,37 ± 0,27
31 Ago	243	0,37 ± 0,24	0,52 ± 0,17	0,78 ± 0,30	0,34 ± 0,20	0,33 ± 0,19	0,36 ± 0,23
16 Set	259	0,39 ± 0,27	0,56 ± 0,18	0,82 ± 0,31	0,37 ± 0,21	0,34 ± 0,19	0,37 ± 0,24
02 Out	275	0,52 ± 0,37	0,76 ± 0,25	1,11 ± 0,41	0,50 ± 0,28	0,45 ± 0,26	0,50 ± 0,32
18 Out	291	0,42 ± 0,28	0,63 ± 0,21	0,91 ± 0,34	0,41 ± 0,24	0,36 ± 0,21	0,40 ± 0,26
03 Nov	307	0,70 ± 0,54	1,06 ± 0,38	1,51 ± 0,58	0,69 ± 0,42	0,58 ± 0,38	0,64 ± 0,45
19 Nov	323	0,51 ± 0,30	0,70 ± 0,22	1,01 ± 0,33	0,52 ± 0,25	0,45 ± 0,22	0,48 ± 0,27
05 Dez	339	0,70 ± 0,36	0,87 ± 0,26	1,26 ± 0,36	0,71 ± 0,29	0,63 ± 0,27	0,66 ± 0,32
21 Dez	355	0,81 ± 0,39	0,93 ± 0,27	1,38 ± 0,35	0,82 ± 0,30	0,74 ± 0,29	0,76 ± 0,33
Média		0,57 ± 0,34	0,75 ± 0,23	1,08 ± 0,33	0,56 ± 0,27	0,52 ± 0,27	0,55 ± 0,31

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o ano 2006 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $18,54 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) no período de final de janeiro a começo de fevereiro, durante começo de março, final de setembro, e de final de outubro a dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante começo de janeiro, final de fevereiro, de final de março a começo de setembro, e durante começo de outubro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante o verão e primavera.

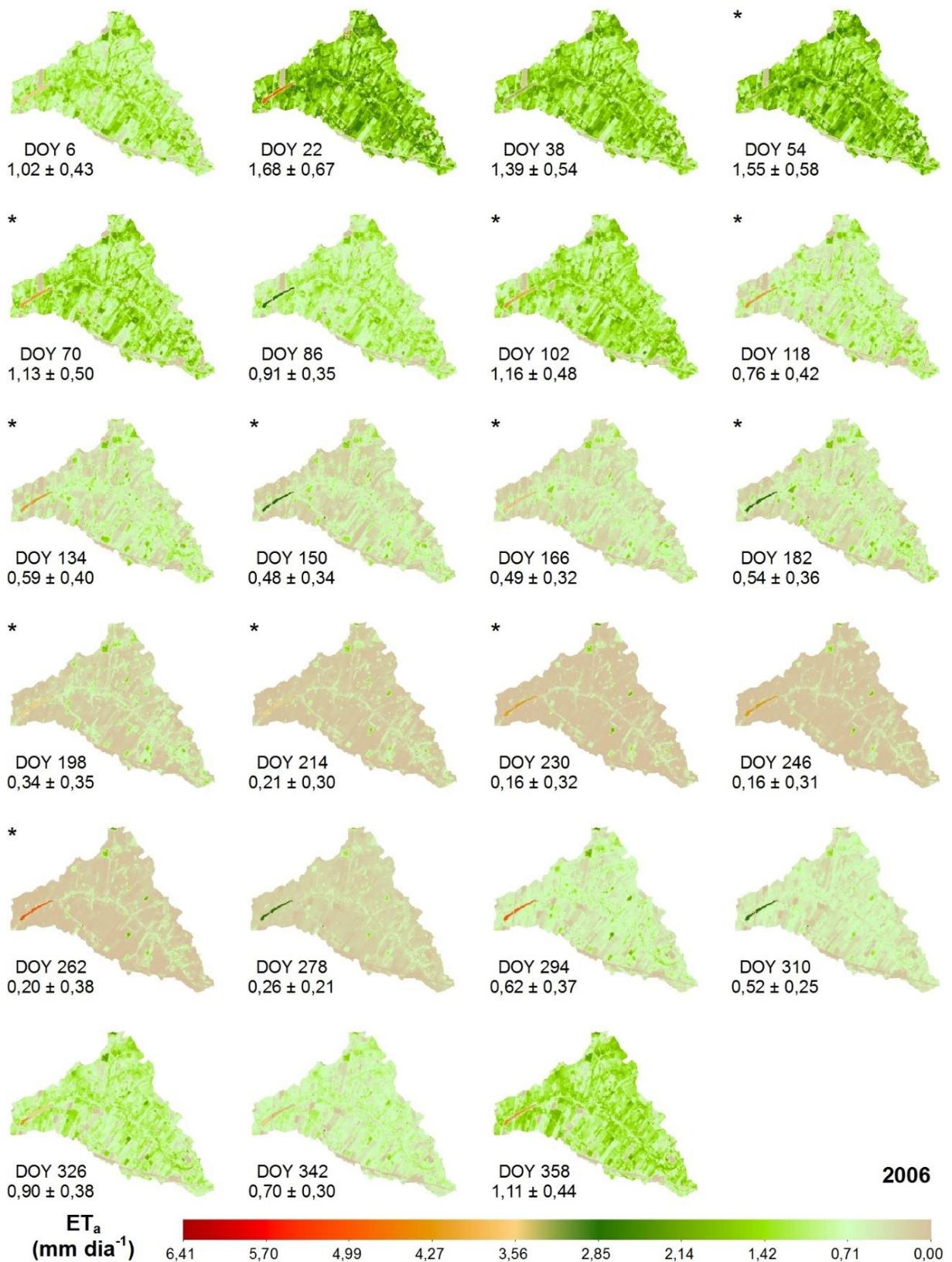
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2006, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 1037,40 mm (79,24%); e na época seca (abril a novembro) foi 271,80 mm (20,76%), destacando-se o período de menor quantidade de chuvas (junho a setembro) com apenas 44,10 mm (3,37%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual, 69,69 mm), durante o período de janeiro a começo de abril, durante final de setembro, e de final de outubro a dezembro, e os menores valores (inferior à média), durante o período de final de abril a começo de setembro, e durante começo de outubro (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 669,40 (41,76%) e 933,40 (58,24%) mm, respectivamente. E no período de maior déficit hídrico (junho a setembro) foi 384,00 mm (23,96%).

Quando comparadas a P (1309,20 mm) e a  $ET_0$  (1602,80 mm) anuais, se obtém uma diferença de 293,60 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 220,00, 292,50 e 165,20 mm, respectivamente, e com um excedente de 384,10 mm durante o verão. Na época seca o déficit foi 661,60 mm e com saldo positivo na época chuvosa de 368,00 mm. Sendo que o período chuvoso foi suficiente para atender à demanda atmosférica.

Na **Figura 28** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2006 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de 0 a  $4,74 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente durante o período de final de julho a começo de outubro (**Tabela 18**), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época seca e final da mesma.

**Figura 28** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2006.  
Média ± Desvio Padrão



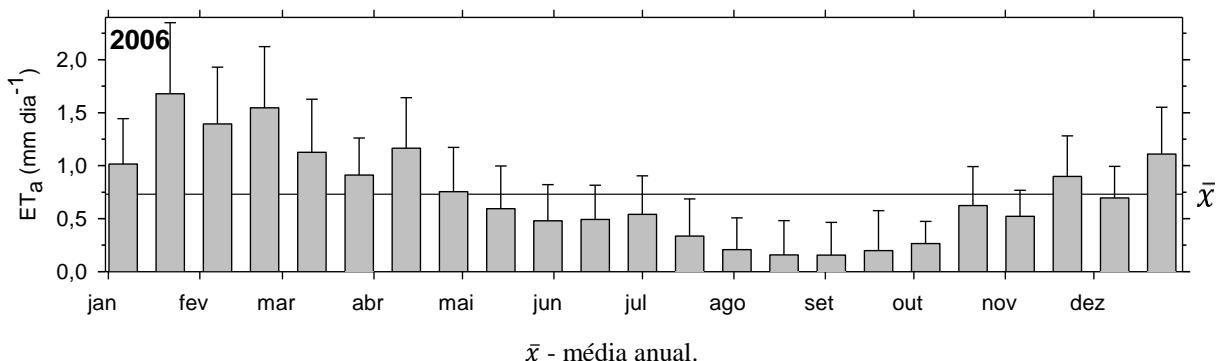
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Durante o ano 2006 a média da ET<sub>a</sub> em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida foi 0,73 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,16 e 1,68 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 29 e Tabela 18**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação pluviométrica consecutivos antes da data de passagem do satélite (DSA 22; 22 de janeiro) e a níveis de R<sub>G</sub> acima da média anual. Os menores valores de ET<sub>a</sub>, aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica ausente, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 230 e 246; 18 de agosto e 03 de setembro), e pelos níveis de R<sub>G</sub> inferiores à média anual.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2006 (0,73 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 23.510 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2006. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1309,20 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2006 (104,24 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 955,35 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em 2,62 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 29** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2006. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 30** e **Tabela 16** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2006, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 4,49, 3,94, 3,87, 3,80 e 4,68 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por

U&O foram observados principalmente na época chuvosa e início da época seca. Onde a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior  $R_G$  do ano (superior à média anual; **Figura 6**), foram suficientes para incrementar a  $ET_a$  (**Figura 30**).

Durante o ano 2006 a média da  $ET_a$  das EI presentes na bacia em estudo foi 0,82 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,34 e 1,75 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno (DSA 246, 03 de setembro) e a maior a no verão (DSA 22; 22 de janeiro), correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 30A e Tabela 18**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, na primeira metade do outono, e no DSA 326 na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 326) (**Tabela 18**).

A média da  $ET_a$  da MR na bacia em estudo foi 1,26 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,52 e 2,62 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 30B e Tabela 18**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, na primeira metade do outono, e no DSA 326 na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 326) (**Tabela 18**). Sendo que a  $ET_a$  média anual representa 35,1% da precipitação anual.

A média da  $ET_a$  da Pa presente na bacia em estudo foi 0,72 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,10 e 1,72 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 30C e Tabela 18**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, no DSA 86 e 102 no outono, e no DSA 326 na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no outono (exceto no DSA 86 e 102), durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 326) (**Tabela 18**).

A média da  $ET_a$  da CA presente na bacia em estudo foi 0,69 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,09 e 1,59 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 30D e Tabela 18**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, na primeira metade do outono, e no DSA 326 da primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram

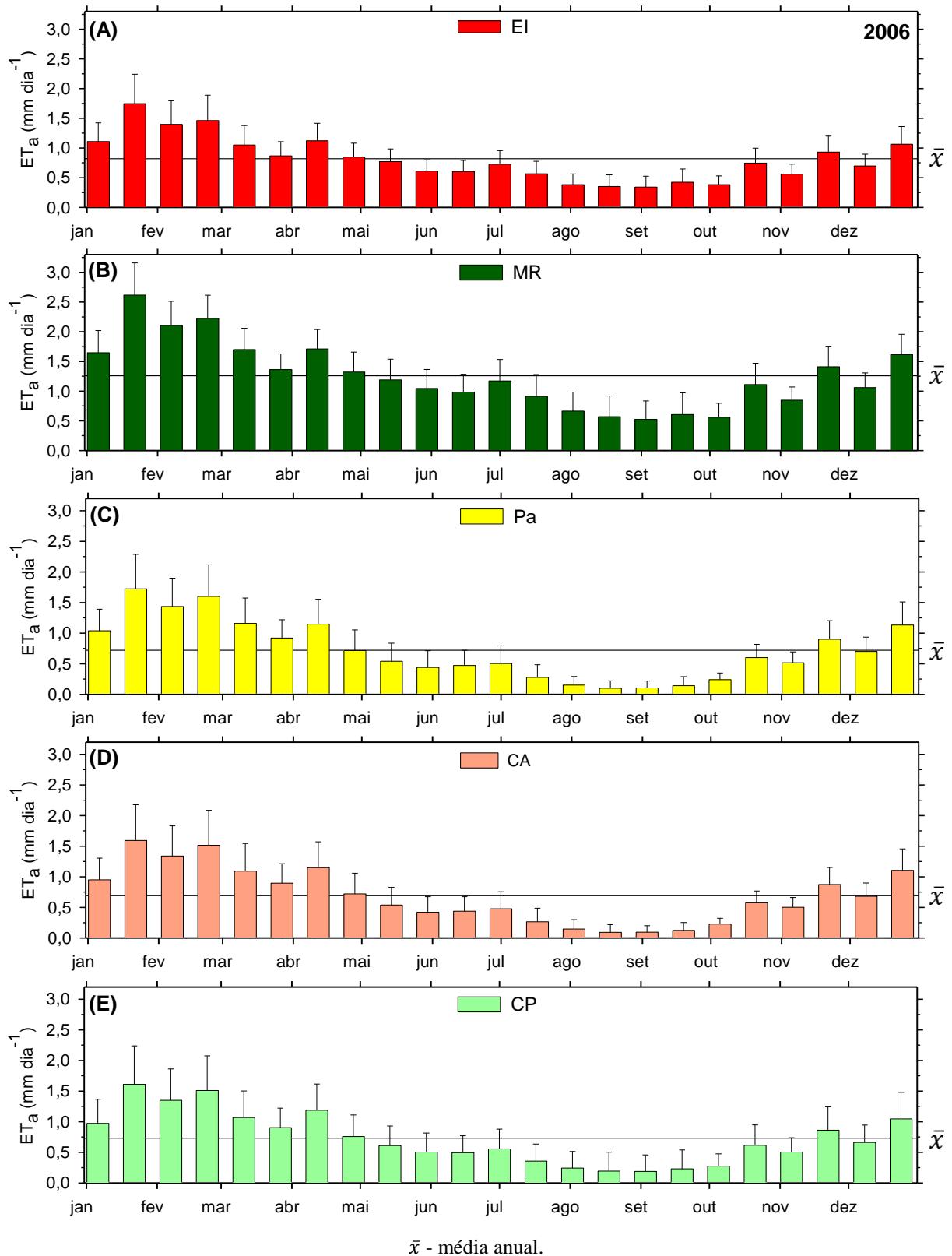
observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 326) (**Tabela 18**).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,73 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,19 e 1,61 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 30E e Tabela 18**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, na primeira metade do outono, e no DSA 326 na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 326) (**Tabela 18**).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e começo da época seca (abril).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 286 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 26.496 habitantes estimados para 2006 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 7.672 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 16% da população de Santa Fé do Sul no ano 2006.

**Figura 30** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2006. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 18** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2006. Média  $\pm$  Desvio Padrão

2006		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
06 Jan	6	1,02 $\pm$ 0,43	1,11 $\pm$ 0,32	1,65 $\pm$ 0,37	1,04 $\pm$ 0,35	0,95 $\pm$ 0,35	0,97 $\pm$ 0,39
22 Jan	22	1,68 $\pm$ 0,67	1,75 $\pm$ 0,49	2,62 $\pm$ 0,54	1,72 $\pm$ 0,56	1,59 $\pm$ 0,58	1,61 $\pm$ 0,63
07 Fev	38	1,39 $\pm$ 0,54	1,40 $\pm$ 0,40	2,11 $\pm$ 0,41	1,43 $\pm$ 0,46	1,34 $\pm$ 0,49	1,35 $\pm$ 0,51
23 Fec	54	1,55 $\pm$ 0,58	1,46 $\pm$ 0,43	2,23 $\pm$ 0,39	1,60 $\pm$ 0,51	1,51 $\pm$ 0,57	1,51 $\pm$ 0,57
11 Mar	70	1,13 $\pm$ 0,50	1,05 $\pm$ 0,33	1,70 $\pm$ 0,36	1,16 $\pm$ 0,41	1,09 $\pm$ 0,45	1,07 $\pm$ 0,43
27 Mar	86	0,91 $\pm$ 0,35	0,87 $\pm$ 0,24	1,36 $\pm$ 0,27	0,92 $\pm$ 0,30	0,90 $\pm$ 0,32	0,90 $\pm$ 0,32
12 Abr	102	1,16 $\pm$ 0,48	1,12 $\pm$ 0,30	1,71 $\pm$ 0,33	1,15 $\pm$ 0,41	1,15 $\pm$ 0,42	1,19 $\pm$ 0,43
28 Abr	118	0,76 $\pm$ 0,42	0,85 $\pm$ 0,23	1,32 $\pm$ 0,34	0,72 $\pm$ 0,34	0,72 $\pm$ 0,34	0,76 $\pm$ 0,35
14 Mai	134	0,59 $\pm$ 0,40	0,77 $\pm$ 0,21	1,19 $\pm$ 0,35	0,54 $\pm$ 0,30	0,54 $\pm$ 0,29	0,61 $\pm$ 0,32
30 Mai	150	0,48 $\pm$ 0,34	0,61 $\pm$ 0,19	1,04 $\pm$ 0,32	0,44 $\pm$ 0,27	0,42 $\pm$ 0,25	0,50 $\pm$ 0,31
15 Jun	166	0,49 $\pm$ 0,32	0,60 $\pm$ 0,19	0,98 $\pm$ 0,30	0,47 $\pm$ 0,25	0,44 $\pm$ 0,24	0,49 $\pm$ 0,27
01 Jul	182	0,54 $\pm$ 0,36	0,73 $\pm$ 0,23	1,17 $\pm$ 0,36	0,50 $\pm$ 0,29	0,48 $\pm$ 0,28	0,55 $\pm$ 0,32
17 Jul	198	0,34 $\pm$ 0,35	0,56 $\pm$ 0,21	0,91 $\pm$ 0,37	0,28 $\pm$ 0,21	0,27 $\pm$ 0,22	0,36 $\pm$ 0,28
02 Ago	214	0,21 $\pm$ 0,30	0,38 $\pm$ 0,18	0,67 $\pm$ 0,32	0,15 $\pm$ 0,14	0,15 $\pm$ 0,15	0,24 $\pm$ 0,27
18 Ago	230	0,16 $\pm$ 0,32	0,35 $\pm$ 0,20	0,57 $\pm$ 0,35	0,10 $\pm$ 0,12	0,09 $\pm$ 0,13	0,19 $\pm$ 0,31
03 Set	246	0,16 $\pm$ 0,31	0,34 $\pm$ 0,18	0,52 $\pm$ 0,31	0,10 $\pm$ 0,11	0,09 $\pm$ 0,11	0,19 $\pm$ 0,27
19 Set	262	0,20 $\pm$ 0,38	0,42 $\pm$ 0,22	0,61 $\pm$ 0,37	0,14 $\pm$ 0,15	0,12 $\pm$ 0,13	0,23 $\pm$ 0,31
05 Out	278	0,26 $\pm$ 0,21	0,38 $\pm$ 0,15	0,56 $\pm$ 0,24	0,24 $\pm$ 0,11	0,23 $\pm$ 0,09	0,28 $\pm$ 0,20
21 Out	294	0,62 $\pm$ 0,37	0,74 $\pm$ 0,25	1,11 $\pm$ 0,36	0,60 $\pm$ 0,22	0,58 $\pm$ 0,19	0,61 $\pm$ 0,33
06 Nov	310	0,52 $\pm$ 0,25	0,56 $\pm$ 0,17	0,85 $\pm$ 0,23	0,52 $\pm$ 0,18	0,50 $\pm$ 0,16	0,50 $\pm$ 0,23
23 Nov	326	0,90 $\pm$ 0,38	0,93 $\pm$ 0,27	1,41 $\pm$ 0,35	0,90 $\pm$ 0,30	0,87 $\pm$ 0,28	0,86 $\pm$ 0,38
08 Dez	342	0,70 $\pm$ 0,30	0,70 $\pm$ 0,20	1,06 $\pm$ 0,25	0,70 $\pm$ 0,23	0,68 $\pm$ 0,22	0,66 $\pm$ 0,29
24 Dez	358	1,11 $\pm$ 0,44	1,06 $\pm$ 0,30	1,62 $\pm$ 0,34	1,13 $\pm$ 0,38	1,10 $\pm$ 0,35	1,05 $\pm$ 0,43
Média		0,73 $\pm$ 0,39	0,82 $\pm$ 0,26	1,26 $\pm$ 0,34	0,72 $\pm$ 0,29	0,69 $\pm$ 0,29	0,73 $\pm$ 0,36

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o ano 2007 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $17,92 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) durante começo de janeiro, de fevereiro a começo de abril, de final de setembro a outubro, e durante começo de dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores níveis de  $R_G$  (inferior à média anual) durante final de janeiro, de maio a começo de setembro, durante novembro, e final de dezembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul, e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante o verão e primavera.

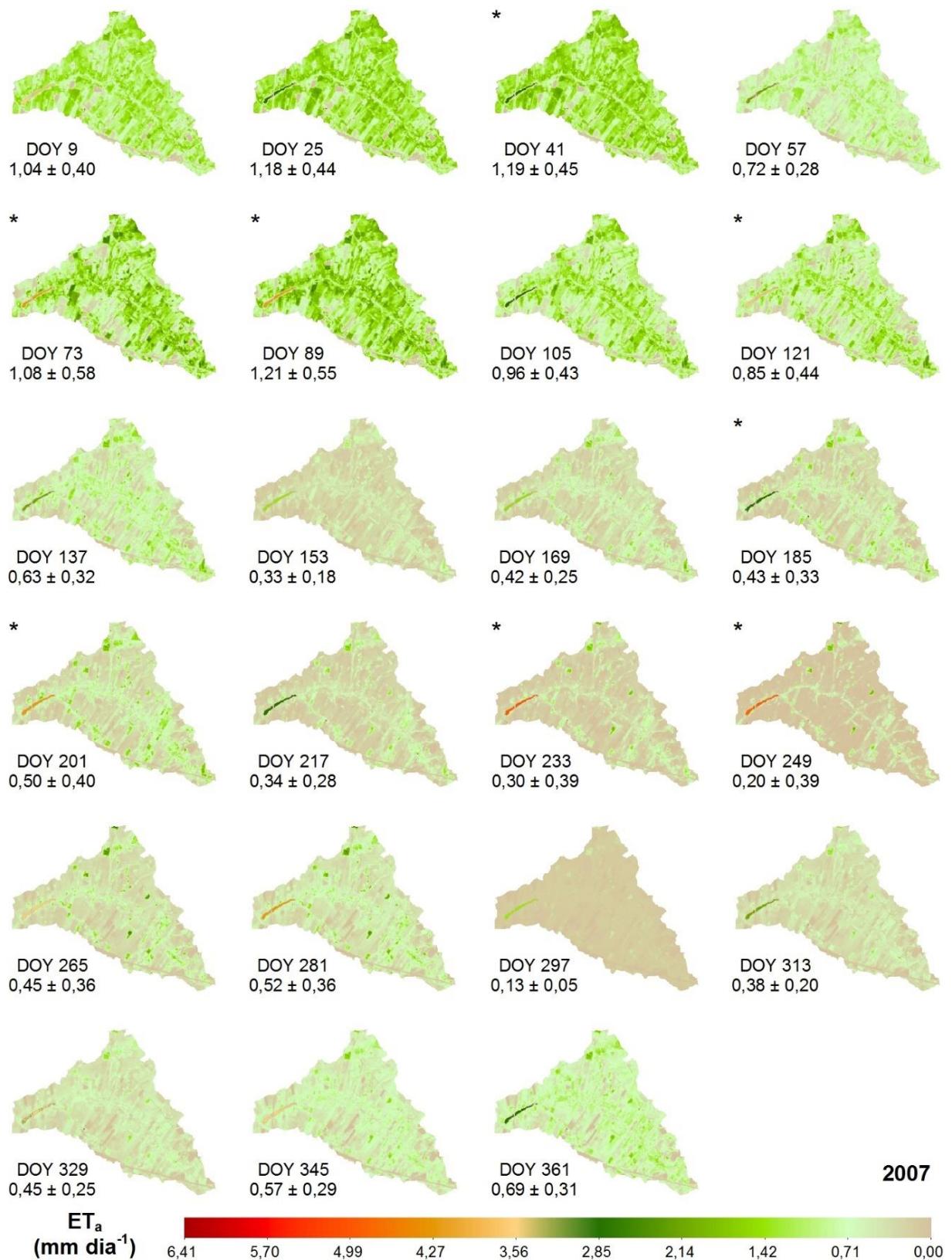
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2007, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 798,00 mm (66,90%); e na época seca (abril a novembro) foi de 394,90 mm (33,10%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com apenas 119,90 mm (10,05%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual, 68,92 mm), durante o período de janeiro a abril, de final de agosto a outubro, e durante começo de dezembro, e os menores valores (inferior à média), durante o período de maio a começo de agosto, durante novembro, e final de dezembro (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 591,50 (37,31%) e 993,70 (62,69%) mm, respectivamente. E no período de maior déficit hídrico foi 505,80 mm (31,91%).

Quando comparadas a P (1192,90 mm) e a  $ET_0$  (1585,20 mm) anuais, se obtém uma diferença de 392,30 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 205,60, 264,10 e 162,90 mm, respectivamente, e com um excedente de 240,30 mm durante o verão. Na época seca o déficit foi 598,80 mm e com saldo positivo na época chuvosa de 206,50 mm. Sendo que o período chuvoso foi suficiente para atender à demanda atmosférica na época chuvosa.

Na **Figura 31** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2007 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variaram de 0 a  $4,80 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente no período de junho a novembro (**Tabela 19**), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época seca e final da mesma.

**Figura 31** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2007.  
Média ± Desvio Padrão



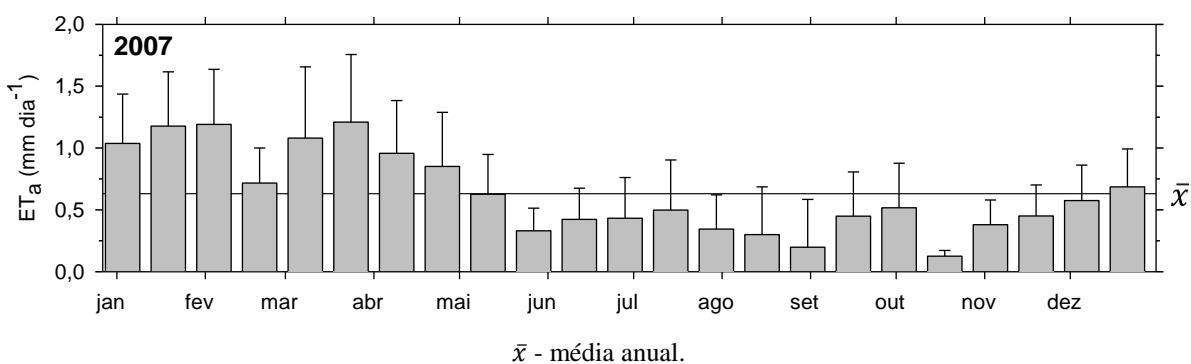
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Durante o ano 2000 a média da ET<sub>a</sub>, em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida foi 0,63 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,13 e 1,21 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor na primavera e a maior no começo do outono, correspondendo a menor à época seca, e a maior ao final da época chuvosa (**Figura 6, Figura 32 e Tabela 19**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação pluviométrica consecutivos antes da data de passagem do satélite (DSA 89; 30 de março) e a valores de R<sub>G</sub> acima da média anual. A menor ET<sub>a</sub>, aconteceu como consequência de precipitação pluviométrica ausente de aproximadamente três meses (DSA 297; 08 de outubro) e que a precipitação acumulada para o período da data da passagem do satélite não foi a suficiente para restituir a umidade no solo, inclusive com níveis de R<sub>G</sub> superior à média anual.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205,70 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2007 (0,63 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 20.280 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2007. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1.192,9 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2007 (45,04 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente de 922,85 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em 2,53 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 32** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2007. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 33** e **Tabela 19** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2007, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 4,61, 3,02, 3,98, 3,07 e 4,56 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP,

respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por U&O foram observados principalmente na época chuvosa e no começo da época seca, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior R<sub>G</sub> do ano (superior à média anual; **Figura 6**), foram suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub>.

Durante o ano 2007 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 0,72 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,16 e 1,27 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor durante na primavera e a maior a no final do verão, correspondendo a menor à época seca, e a maior ao final da época chuvosa (**Figura 6, Figura 33A e Tabela 19**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, no outono (exceto no DSA 153 e 169), e no DSA 201 (20 de julho) no inverno. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 153 (02 de junho) e 169 (18 de junho) no outono, durante o inverno (exceto no DSA 201), e durante a primavera (**Tabela 19**).

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 1,10 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,24 e 1,94 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor na primavera e a maior no final do verão, correspondendo a menor à época seca, e a maior ao final da época chuvosa (**Figura 6, Figura 33B e Tabela 19**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, no outono (exceto no DSA 153 e 169), e no DSA 201 (20 de julho) no inverno. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 153 (02 de junho) e 169 (18 de junho) no outono, durante o inverno (exceto no DSA 201), e durante a primavera (**Tabela 19**). Sendo que a ET<sub>a</sub> média anual representa 33,7% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,62 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,12 e 1,24 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor na primavera, e a maior no início do outono, correspondendo a menor à época seca, e a maior ao final da época chuvosa (**Figura 6, Figura 33C e Tabela 19**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, e na primeira metade do outono. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados durante a segunda metade do outono, durante o inverno, e a primavera (**Tabela 19**).

A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,60 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,12 e 1,19 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no final do inverno e na primavera, e a maior no verão e no começo do inverno, correspondendo a menor à época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 33D e Tabela 19**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, e na primeira

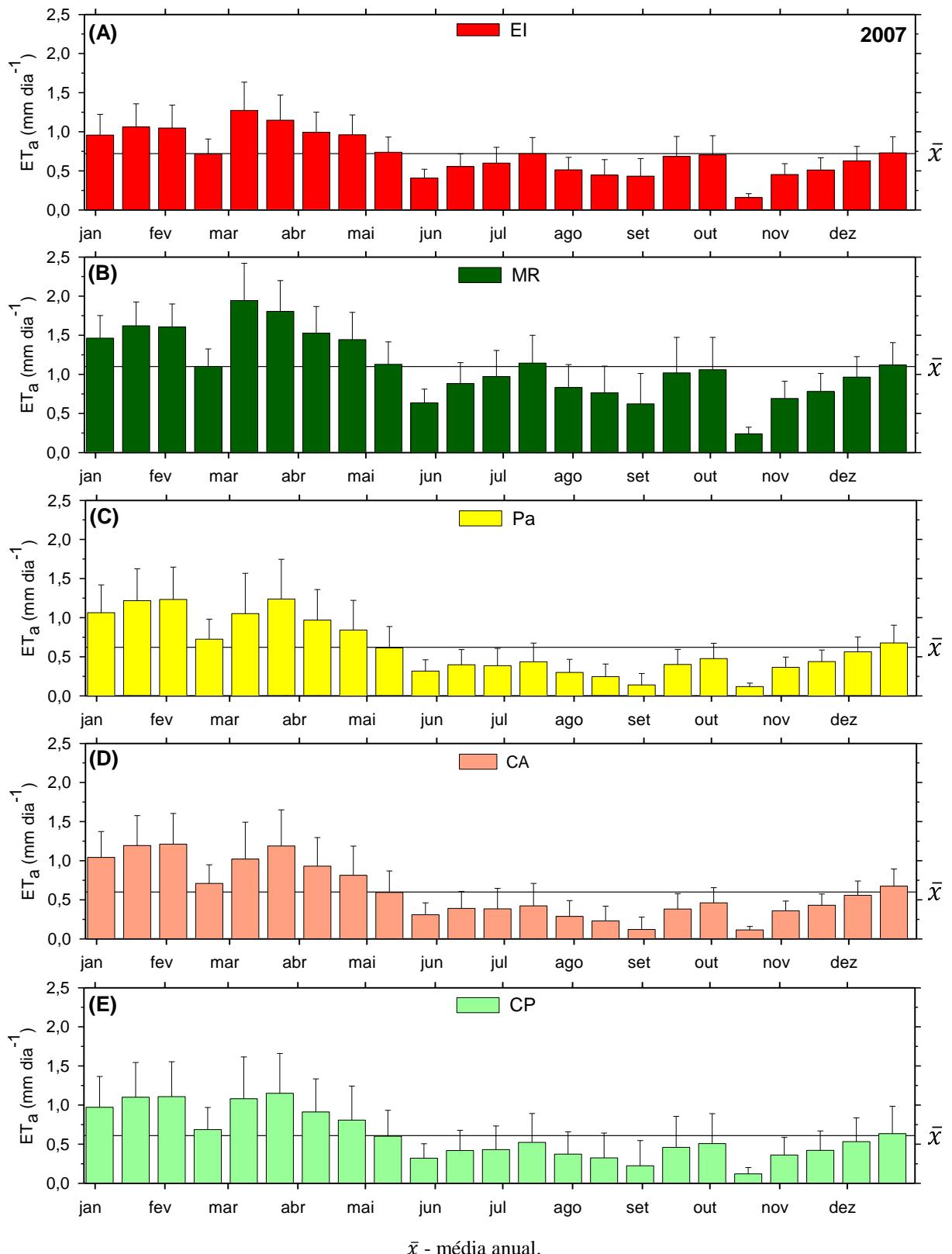
metade do outono. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados durante a segunda metade do outono, durante o inverno, e a primavera (**Tabela 19**).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,61 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,12 e 1,15 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor na primavera, e a maior no início do outono, correspondendo a menor à época seca, e a maior ao final da época chuvosa (**Figura 6, Figura 33E e Tabela 19**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, e na primeira metade do outono. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados durante a segunda metade do outono, durante o inverno, e a primavera (**Tabela 19**).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e durante a primeira metade do outono.

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 123 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 27.865 habitantes estimados para 2007 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 3.486 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 31% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 33 -** Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2007. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 19** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2007. Média ± Desvio Padrão

2007		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
09 Jan	9	1,04 ± 0,40	0,96 ± 0,27	1,46 ± 0,29	1,06 ± 0,36	1,04 ± 0,33	0,97 ± 0,40
25 Jan	25	1,18 ± 0,44	1,06 ± 0,30	1,62 ± 0,30	1,22 ± 0,41	1,19 ± 0,38	1,10 ± 0,44
10 Fev	41	1,19 ± 0,45	1,05 ± 0,29	1,61 ± 0,29	1,23 ± 0,41	1,21 ± 0,39	1,11 ± 0,45
26 Fev	57	0,72 ± 0,28	0,72 ± 0,19	1,10 ± 0,22	0,73 ± 0,25	0,71 ± 0,24	0,69 ± 0,28
14 Mar	73	1,08 ± 0,58	1,27 ± 0,36	1,94 ± 0,48	1,05 ± 0,52	1,02 ± 0,47	1,08 ± 0,54
30 Mar	89	1,21 ± 0,55	1,15 ± 0,32	1,81 ± 0,39	1,24 ± 0,51	1,19 ± 0,46	1,15 ± 0,51
15 Abr	105	0,96 ± 0,43	0,99 ± 0,26	1,53 ± 0,34	0,97 ± 0,39	0,93 ± 0,37	0,91 ± 0,42
01 Mai	121	0,85 ± 0,44	0,96 ± 0,25	1,44 ± 0,35	0,84 ± 0,38	0,81 ± 0,37	0,81 ± 0,44
17 Mai	137	0,63 ± 0,32	0,74 ± 0,19	1,13 ± 0,29	0,61 ± 0,27	0,59 ± 0,28	0,60 ± 0,33
02 Jun	153	0,33 ± 0,18	0,41 ± 0,11	0,64 ± 0,18	0,32 ± 0,14	0,31 ± 0,15	0,32 ± 0,18
18 Jun	169	0,42 ± 0,25	0,56 ± 0,16	0,88 ± 0,27	0,40 ± 0,20	0,39 ± 0,22	0,42 ± 0,26
04 Jul	185	0,43 ± 0,33	0,60 ± 0,20	0,97 ± 0,33	0,39 ± 0,22	0,38 ± 0,26	0,43 ± 0,30
20 Jul	201	0,50 ± 0,40	0,72 ± 0,21	1,14 ± 0,36	0,44 ± 0,24	0,42 ± 0,29	0,52 ± 0,37
05 Ago	217	0,34 ± 0,28	0,51 ± 0,16	0,83 ± 0,29	0,30 ± 0,17	0,29 ± 0,20	0,37 ± 0,29
21 Ago	233	0,30 ± 0,39	0,45 ± 0,20	0,76 ± 0,34	0,25 ± 0,16	0,23 ± 0,19	0,32 ± 0,32
06 Set	249	0,20 ± 0,39	0,43 ± 0,22	0,62 ± 0,39	0,14 ± 0,15	0,12 ± 0,16	0,22 ± 0,32
22 Set	265	0,45 ± 0,36	0,69 ± 0,25	1,02 ± 0,45	0,40 ± 0,19	0,38 ± 0,20	0,46 ± 0,40
08 Out	281	0,52 ± 0,36	0,71 ± 0,24	1,06 ± 0,41	0,48 ± 0,20	0,46 ± 0,19	0,51 ± 0,38
24 Out	297	0,13 ± 0,05	0,16 ± 0,05	0,24 ± 0,08	0,12 ± 0,04	0,12 ± 0,04	0,12 ± 0,08
09 Nov	313	0,38 ± 0,20	0,45 ± 0,14	0,69 ± 0,22	0,37 ± 0,13	0,36 ± 0,13	0,36 ± 0,23
25 Nov	329	0,45 ± 0,25	0,51 ± 0,16	0,78 ± 0,23	0,44 ± 0,15	0,43 ± 0,15	0,42 ± 0,25
11 Dez	345	0,57 ± 0,29	0,63 ± 0,18	0,97 ± 0,26	0,56 ± 0,19	0,56 ± 0,18	0,53 ± 0,30
27 Dez	361	0,69 ± 0,31	0,73 ± 0,21	1,12 ± 0,28	0,68 ± 0,23	0,67 ± 0,22	0,63 ± 0,35
Média		0,63 ± 0,34	0,72 ± 0,21	1,10 ± 0,31	0,62 ± 0,26	0,60 ± 0,26	0,61 ± 0,34

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o ano 2008 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $18,10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) durante começo de janeiro, de março a começo de abril, e de agosto a começo de dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante o período de final de janeiro a fevereiro, de final de abril a julho, e durante o final de dezembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul, e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos no verão.

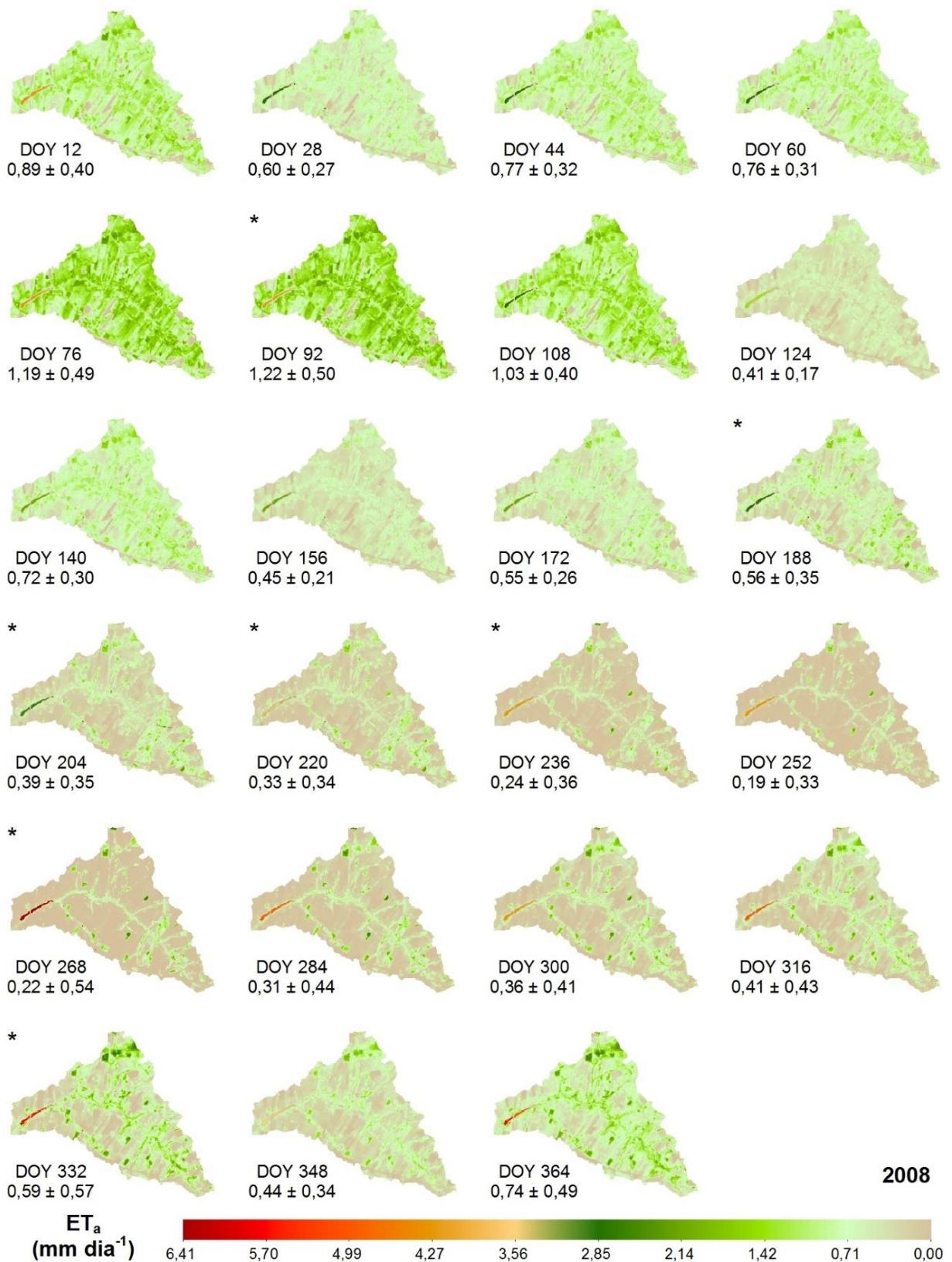
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2008, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 576,40 mm (57,90%); e durante a época seca (abril a novembro) foi 419,10 mm (42,10%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com apenas 115,10 mm (11,56%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual, 61,20 mm), durante o começo de janeiro, e de final de julho a dezembro; e os menores valores (inferior à média), durante o período de final de janeiro a começo de julho (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 424,30 (30,14%) e 983,40 (69,86%) mm, respectivamente. E no período de maior déficit hídrico foi 482,00 mm (34,24%).

Quando comparadas a P (995,50 mm) e a  $ET_0$  (1407,70 mm) anuais, se obtém uma diferença de 412,20 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 20,20, 315,00 e 225,60 mm, respectivamente, e com um excedente de 148,60 mm durante o verão. Na época seca o déficit foi 564,30 mm e com saldo positivo na época chuvosa de 152,10 mm. Sendo que o período chuvoso foi suficiente para atender à demanda atmosférica durante a época chuvosa.

Na **Figura 34** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2008 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de 0 a  $6,41 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente. Onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente durante o período de julho a novembro (**Tabela 20**), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época seca e final da mesma.

**Figura 34** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2008.  
Média ± Desvio Padrão



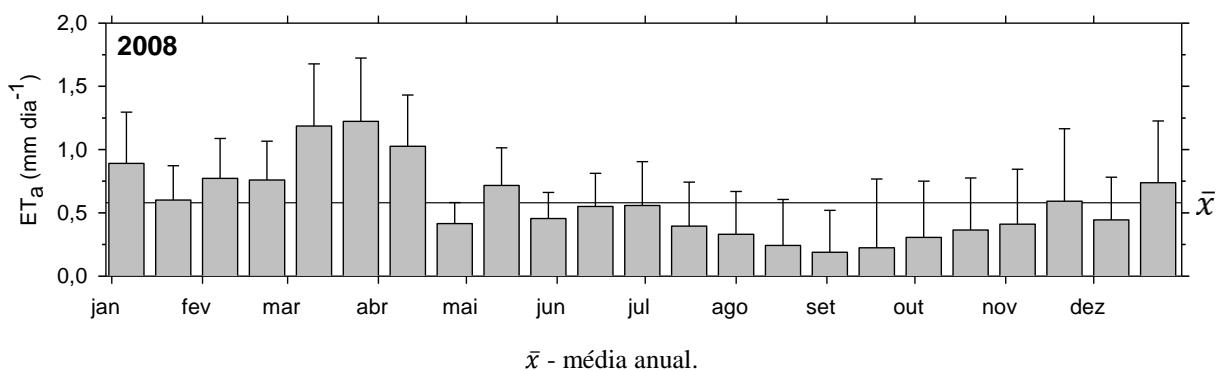
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2000 a média da ET<sub>a</sub>, em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi 0,58 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,19 e 1,22 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no final do inverno e a maior no início do outono, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época seca (**Figura 6**, **Figura 35** e **Tabela 20**). Os maiores valores de ET<sub>a</sub> foram devidas à presença de significativos volumes de precipitação pluviométrica consecutivos antes da data de passagem do satélite (DSA 92; 01 de abril) e a elevados níveis de R<sub>G</sub> acima da média anual. Os menores valores de ET<sub>a</sub>, aconteceu como consequência de precipitação pluviométrica ausente, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 252; 08 de setembro), e com R<sub>G</sub> superior à média anual.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2008 (0,58 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 18.660 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2008. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (995,50 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2008 (62,37 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente de 728,83 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em 2,00 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 35** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2008. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 36** e **Tabela 20** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2008, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 6,18, 3,28, 2,83, 2,62 e 6,37 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por

U&O foram observados mais frequentes na época chuvosa e início da época seca. Onde a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior  $R_G$  do ano (superior à média anual; **Figura 6**), foram suficientes para incrementar a  $ET_a$  (**Figura 36**).

Durante o ano 2008 a média da  $ET_a$  das EI presentes na bacia em estudo foi 0,72 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,41 e 1,13 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no outono, e a maior no início do outono, correspondendo a menor à época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 36A e Tabela 20**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 28), no DSA 92 (01 de abril), 108 (17 de abril) e 140 (19 de maio) no outono, e no DSA 300 (26 de outubro), 316 (11 de novembro) e 332 (27 de novembro) na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados, no DSA 28 (28 de janeiro) no verão, no DSA 124 (03 de maio) e 156 (04 de junho) no outono, durante o inverno, e no DSA 268, 284 e 348 na primavera.

A média da  $ET_a$  da MR na bacia em estudo foi 1,13 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,60 e 1,77 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno e a maior no início do outono, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época seca (**Figura 6, Figura 36B e Tabela 20**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 28), no outono (exceto no DSA 124 e 156), e no DSA 300 (26 de outubro), 316 (11 de novembro) e 332 (27 de novembro) na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados, no DSA 28 (28 de janeiro) no verão, no DSA 124 (03 de maio) e 156 (04 de junho) no outono, durante o inverno, e no DSA 268, 284 e 348 na primavera. Sendo que a  $ET_a$  média anual representa 41,4% da precipitação anual.

A média da  $ET_a$  da Pa presente na bacia em estudo foi 0,55 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,12 e 1,25 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no final do inverno e começo da primavera, e a maior no início do outono, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época seca (**Figura 6, Figura 36C e Tabela 20**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, e no outono (exceto no DSA 124 e 156). Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados, no DSA 124 (03 de maio) e 156 (04 de junho) no outono, durante o inverno, e na primavera.

A média da  $ET_a$  da CA presente na bacia em estudo foi 0,54 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,11 e 1,25 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no início da primavera, e a maior no início do outono, correspondendo a menor ao final do período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época seca (**Figura 6, Figura 36D**

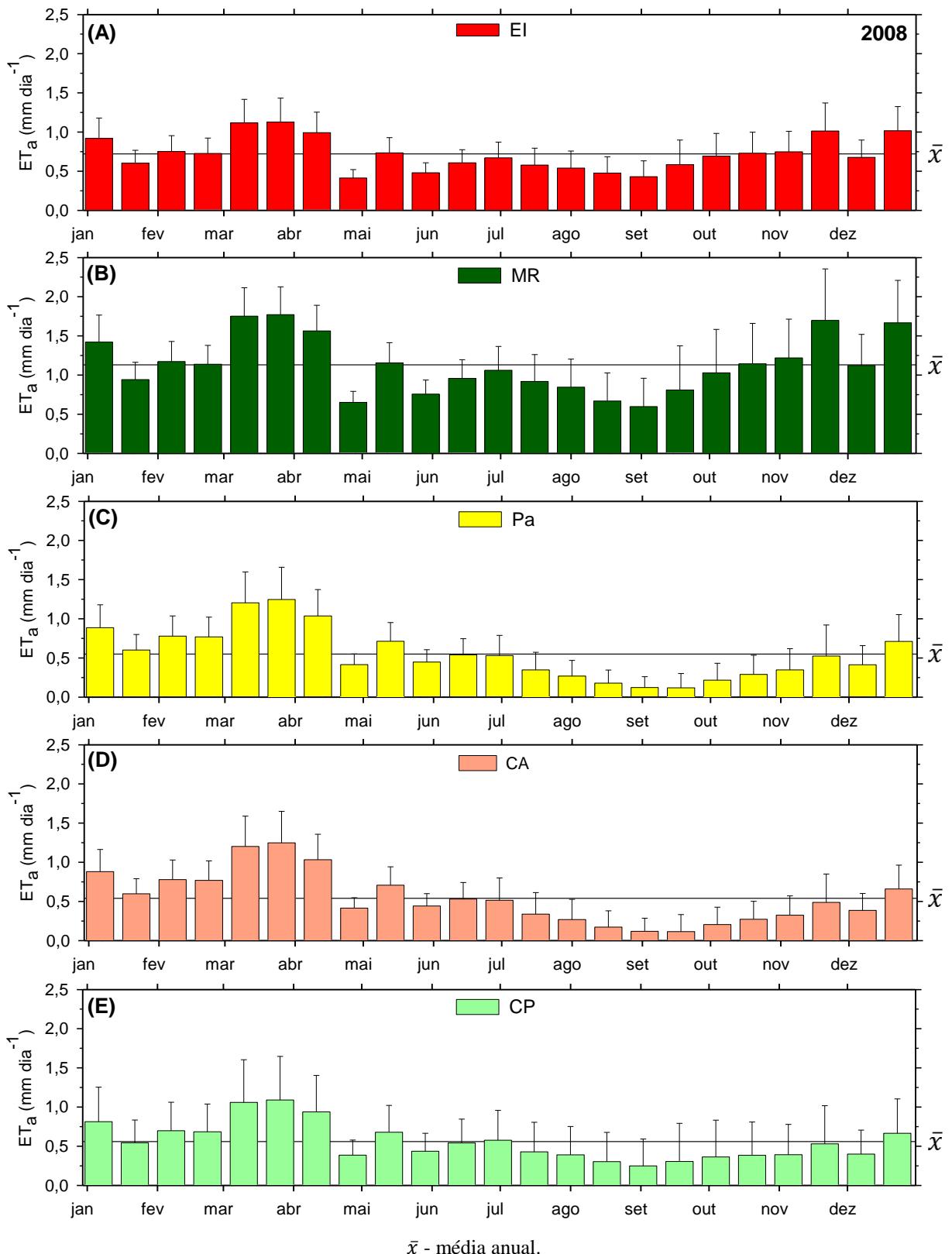
e **Tabela 20**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, e no outono (exceto no DSA 124 e 156). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados, no DSA 124 (03 de maio) e 156 (04 de junho) no outono, durante o inverno, e na primavera.

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,56 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,25 e 1,09 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no final do inverno, e a maior no início do outono, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época seca (**Figura 6, Figura 36E e Tabela 20**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 28), no outono (exceto no DSA 124 e 156), e no inverno (exceto no DSA 188). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados, no DSA 28 (28 de janeiro) no verão, no DSA 124 (03 de maio) e 156 (04 de junho) no outono, durante o inverno (exceto no DSA 188), e na primavera.

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e início da época seca (abril e maio; exceto no DSA 124).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 171 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 27.865 habitantes estimados para 2008 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 4.828 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 23% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 36** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2008. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 20** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2008. Média ± Desvio Padrão

Data	DSA	Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
			EI	MR	Pa	CA	CP
						mm dia <sup>-1</sup>	
12 Jan	12	0,89 ± 0,4	0,92 ± 0,26	1,42 ± 0,34	0,89 ± 0,29	0,88 ± 0,28	0,81 ± 0,44
28 Jan	28	0,60 ± 0,27	0,60 ± 0,16	0,94 ± 0,22	0,60 ± 0,20	0,60 ± 0,19	0,54 ± 0,29
13 Fev	44	0,77 ± 0,32	0,75 ± 0,20	1,17 ± 0,25	0,78 ± 0,26	0,78 ± 0,25	0,70 ± 0,36
29 Fev	60	0,76 ± 0,31	0,73 ± 0,20	1,14 ± 0,24	0,77 ± 0,25	0,77 ± 0,25	0,68 ± 0,35
16 Mar	76	1,19 ± 0,49	1,12 ± 0,30	1,75 ± 0,36	1,20 ± 0,40	1,20 ± 0,39	1,06 ± 0,55
01 Abr	92	1,22 ± 0,50	1,13 ± 0,31	1,77 ± 0,36	1,25 ± 0,41	1,25 ± 0,40	1,09 ± 0,56
17 Abr	108	1,03 ± 0,40	0,99 ± 0,26	1,56 ± 0,33	1,04 ± 0,34	1,03 ± 0,33	0,94 ± 0,47
03 Mai	124	0,41 ± 0,17	0,41 ± 0,11	0,65 ± 0,14	0,42 ± 0,14	0,41 ± 0,13	0,39 ± 0,19
19 Mai	140	0,72 ± 0,30	0,73 ± 0,19	1,16 ± 0,26	0,71 ± 0,24	0,71 ± 0,24	0,68 ± 0,34
04 Jun	156	0,45 ± 0,21	0,48 ± 0,13	0,76 ± 0,18	0,45 ± 0,16	0,44 ± 0,16	0,44 ± 0,23
20 Jun	172	0,55 ± 0,26	0,61 ± 0,17	0,96 ± 0,24	0,54 ± 0,21	0,53 ± 0,21	0,54 ± 0,30
06 Jul	188	0,56 ± 0,35	0,67 ± 0,20	1,06 ± 0,31	0,53 ± 0,26	0,51 ± 0,28	0,58 ± 0,38
22 Jul	204	0,39 ± 0,35	0,58 ± 0,22	0,92 ± 0,34	0,35 ± 0,22	0,34 ± 0,28	0,43 ± 0,38
07 Ago	220	0,33 ± 0,34	0,54 ± 0,22	0,85 ± 0,36	0,27 ± 0,20	0,27 ± 0,26	0,39 ± 0,36
23 Ago	236	0,24 ± 0,36	0,48 ± 0,21	0,67 ± 0,36	0,18 ± 0,17	0,17 ± 0,21	0,30 ± 0,37
08 Set	252	0,19 ± 0,33	0,43 ± 0,20	0,60 ± 0,36	0,12 ± 0,14	0,12 ± 0,17	0,25 ± 0,34
24 Set	268	0,22 ± 0,54	0,58 ± 0,31	0,81 ± 0,56	0,12 ± 0,18	0,11 ± 0,22	0,31 ± 0,49
10 Out	284	0,31 ± 0,44	0,69 ± 0,29	1,03 ± 0,55	0,22 ± 0,22	0,20 ± 0,22	0,36 ± 0,47
26 Out	300	0,36 ± 0,41	0,73 ± 0,27	1,14 ± 0,52	0,29 ± 0,24	0,27 ± 0,23	0,38 ± 0,43
11 Nov	316	0,41 ± 0,43	0,75 ± 0,26	1,22 ± 0,50	0,35 ± 0,27	0,32 ± 0,25	0,39 ± 0,39
27 Nov	332	0,59 ± 0,57	1,01 ± 0,36	1,70 ± 0,66	0,52 ± 0,40	0,49 ± 0,36	0,53 ± 0,49
13 Dez	348	0,44 ± 0,34	0,68 ± 0,22	1,12 ± 0,40	0,41 ± 0,24	0,39 ± 0,22	0,40 ± 0,31
29 Dez	364	0,74 ± 0,49	1,02 ± 0,31	1,67 ± 0,54	0,71 ± 0,34	0,66 ± 0,30	0,66 ± 0,44
<b>Média</b>		<b>0,58 ± 0,37</b>	<b>0,72 ± 0,23</b>	<b>1,13 ± 0,36</b>	<b>0,55 ± 0,25</b>	<b>0,54 ± 0,25</b>	<b>0,56 ± 0,39</b>

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o ano 2009 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $17,42 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) durante começo de janeiro, fevereiro, final de março, de final de abril a começos de maio, e de setembro a novembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante final de janeiro, começo de março, começo de abril, de final de maio a agosto, e durante dezembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul, e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante o verão.

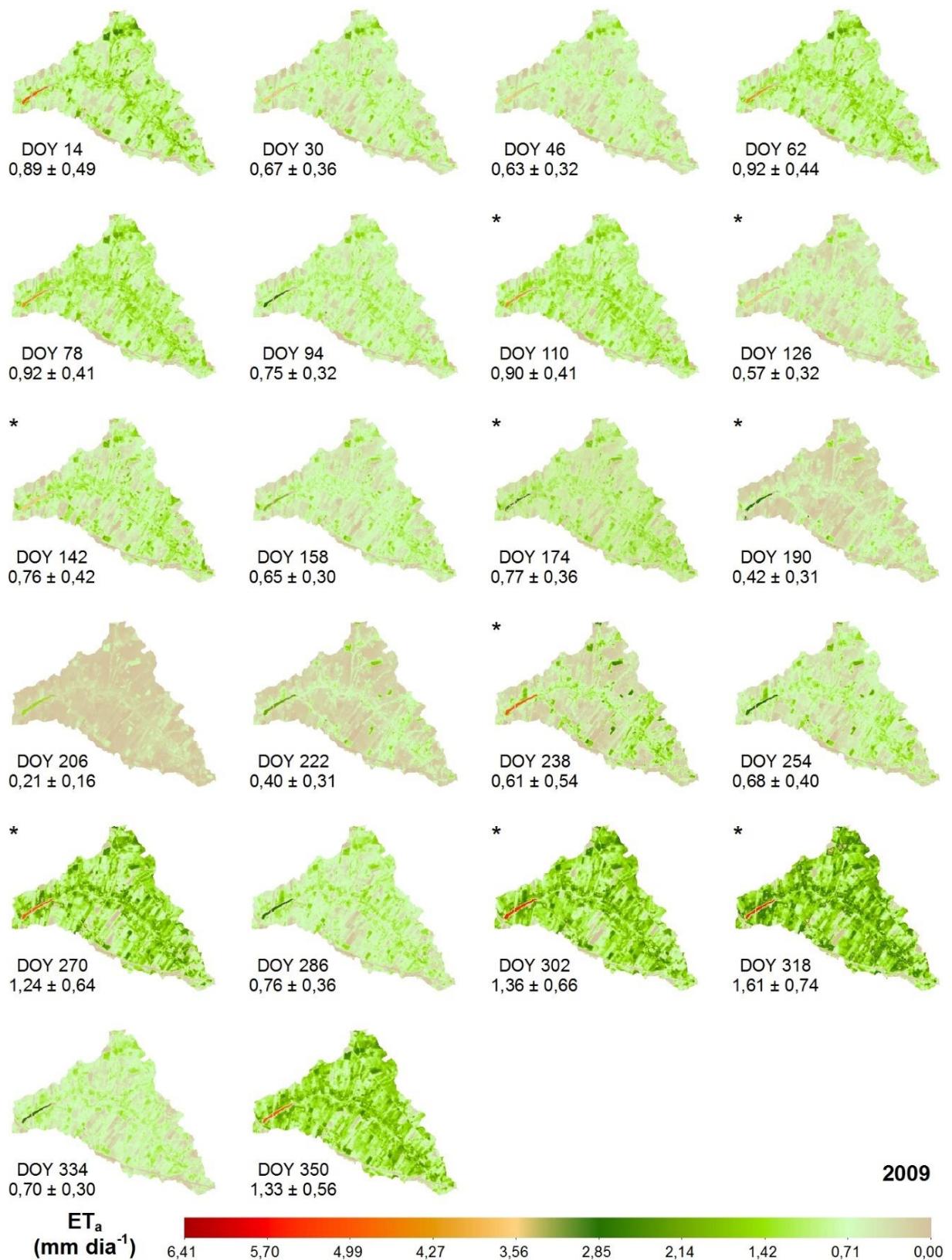
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2009, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de  $676,80 \text{ mm}$  (45,71%); e na época seca (abril a novembro) foi  $803,90 \text{ mm}$  (54,29%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com apenas  $308,50 \text{ mm}$  (20,83%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual,  $64,89 \text{ mm}$ ), durante começo de janeiro, durante fevereiro, final de março, final de abril, e de setembro a dezembro; e os menores valores (inferior à média), durante final de janeiro, começo de março, começo de abril, e de maio a agosto (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi  $404,90$  (29,36%) e  $1022,70$  (71,64%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico foi  $454,60 \text{ mm}$  (31,84%).

Quando comparadas a P ( $1480,70 \text{ mm}$ ) e a  $ET_0$  ( $1427,60 \text{ mm}$ ) anuais, se obtém uma diferença de  $53,10 \text{ mm}$ . Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de  $151,70$ ,  $87,80$  e  $184,30 \text{ mm}$ , respectivamente, e com um excedente de  $108,30 \text{ mm}$  durante o verão. Na época seca o déficit foi de  $218,80 \text{ mm}$  e com saldo positivo na época chuvosa de  $271,90 \text{ mm}$ . Sendo que o período chuvoso foi suficiente para atender à demanda atmosférica.

Na **Figura 37** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2009 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de  $0$  a  $5,37 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente durante o período de julho a agosto (Tabela 21), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época seca.

**Figura 37** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2009.  
Média ± Desvio Padrão



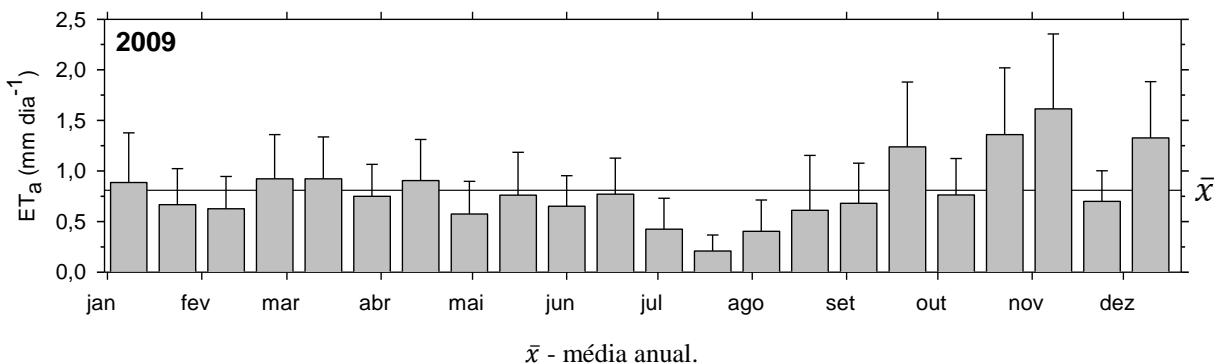
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2009 a média da ET<sub>a</sub>, em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi 0,81 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,21 e 1,61 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno e a maior na primavera, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao final da época seca (**Figura 6, Figura 38 e Tabela 21**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação acumulada elevada antes da data de passagem do satélite (DSA 318; 14 de novembro) e a elevados níveis de R<sub>G</sub> acima da média anual. Os menores valores de ET<sub>a</sub> aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica acumulada inferior à média anual do acumulado de 16 dias (DSA 206; 25 de julho), e pelos menores níveis de R<sub>G</sub>.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2009 (0,81 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 25.886 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2009. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1.480,7 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2009 (61,66 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 1129,81 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em 3,10 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 38** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2009. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 39** e **Tabela 21** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2009, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 5,37, 3,83, 4,54, 4,54 e 5,25 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por

U&O foram observados mais frequentes na época chuvosa ou em DSA correspondentes à época seca com eventos pluviométricos atípicos, onde a maior disponibilidade de água no solo junto com maiores níveis de RG foram suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub> durante os meses da época chuvosa em todos os U&O (**Figura 39**) e inclusive durante algumas datas da época seca.

Durante o ano 2009 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 0,88 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,32 e 1,49 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior na primavera, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao final da época seca (**Figura 6, Figura 39A e Tabela 21**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 30 e 46), no DSA 142 (22 de maio) no outono, no DSA 174 (23 de junho) e 238 (26 de agosto) no inverno, e na primavera (exceto no DSA 286 e 334). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados, no DSA 30 (30 de janeiro) e 46 (15 de fevereiro) no verão, no outono (exceto no DSA 142), durante o inverno (exceto no DSA 174 e 238), e no DSA 286 (13 de outubro) e 334 (30 de novembro) na primavera.

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 1,40 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,44 e 2,60 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao final da época seca (**Figura 6, Figura 39B e Tabela 21**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 30 e 46), e na primavera (exceto no DSA 286 e 334). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados, no DSA 30 (30 de janeiro) e 46 (15 de fevereiro) no verão, durante o outono, no inverno, e no DSA 286 (13 de outubro) e 334 (30 de novembro) na primavera. Sendo que a ET<sub>a</sub> média anual representa 34,5% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,82 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,18 e 1,73 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao final da época seca (**Figura 6, Figura 39C e Tabela 21**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 30 e 46), no DSA 110 (20 de abril) no outono, e na primavera (exceto no DSA 286 e 334). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados, no DSA 30 (30 de janeiro) e 46 (15 de fevereiro) no verão, durante o outono (exceto no DSA 110), no inverno, e no DSA 286 (13 de outubro) e 334 (30 de novembro) na primavera.

A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,74 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,17 e 1,51 mm dia<sup>-1</sup>, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao final da época seca (**Figura 6,**

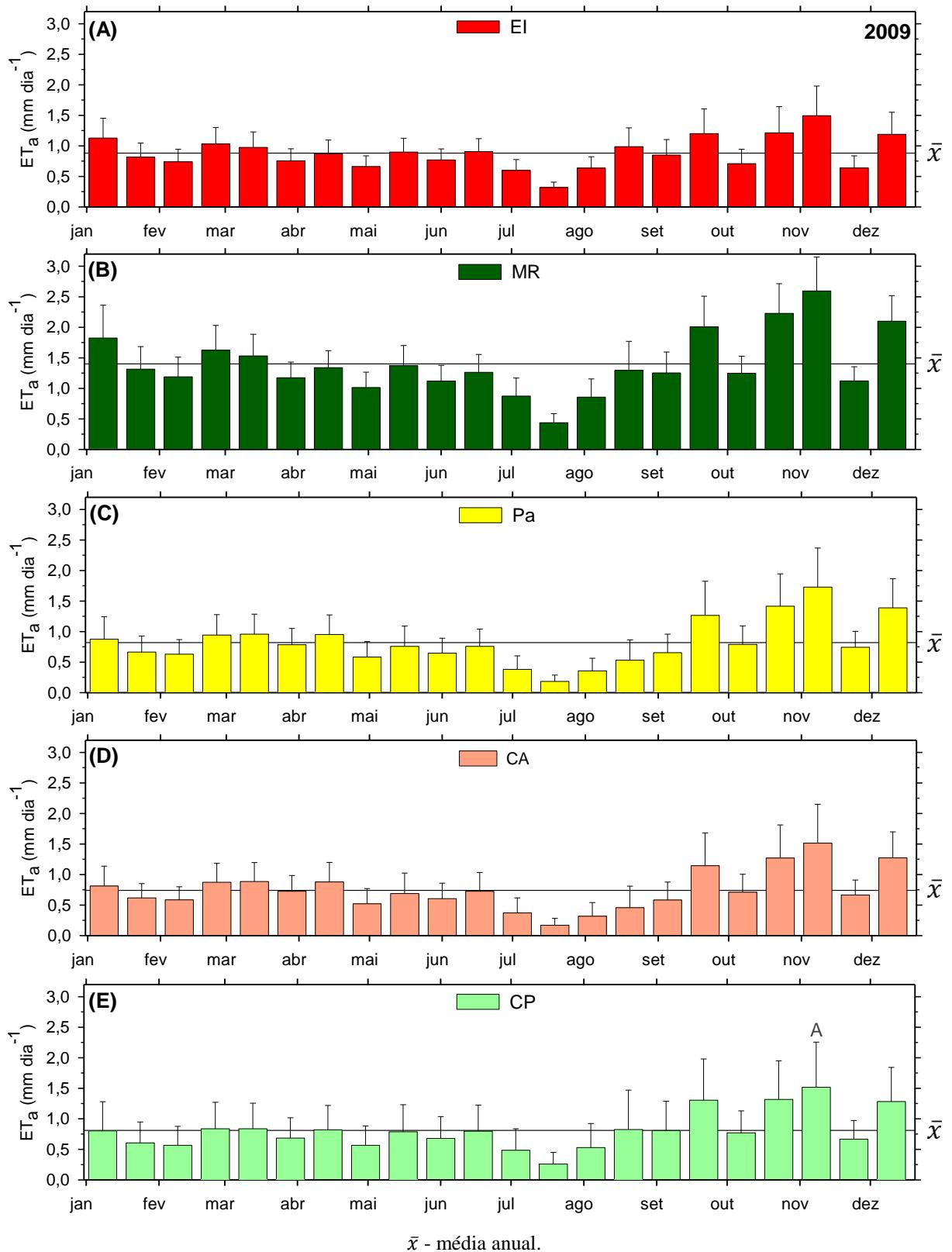
**Figura 39D e Tabela 21).** Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 30 e 46), no DSA 110 (20 de abril) no outono, e na primavera (exceto no DSA 286 e 334). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados, no DSA 30 (30 de janeiro) e 46 (15 de fevereiro) no verão, durante o outono (exceto no DSA 110), no inverno, e no DSA 286 (13 de outubro) e 334 (30 de novembro) na primavera.

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,81 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,26 e 1,52 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior no final da época seca (**Figura 6, Figura 39E e Tabela 21**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no final do verão (março), no DSA 110 (20 de abril) no outono, no DSA 238 (26 de agosto) no inverno, e na primavera (exceto no DSA 286 e 334). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados, no verão (exceto no DSA 62 e 78), durante o outono (exceto no DSA 110), no inverno (exceto no DSA 238), e no DSA 286 (13 de outubro) e 334 (30 de novembro) na primavera.

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa, início da época seca (abril; exceto no DSA 94) e desde final de setembro até novembro.

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 169 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 29.192 habitantes estimados para 2009 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 5.000 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 27% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 39** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2009. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 21** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2009. Média  $\pm$  Desvio Padrão

2009		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
14 Jan	14	0,89 $\pm$ 0,49	1,13 $\pm$ 0,32	1,82 $\pm$ 0,54	0,88 $\pm$ 0,37	0,81 $\pm$ 0,33	0,80 $\pm$ 0,48
30 Jan	30	0,67 $\pm$ 0,36	0,82 $\pm$ 0,23	1,31 $\pm$ 0,37	0,66 $\pm$ 0,26	0,62 $\pm$ 0,24	0,60 $\pm$ 0,34
15 Fev	46	0,63 $\pm$ 0,32	0,74 $\pm$ 0,20	1,19 $\pm$ 0,32	0,63 $\pm$ 0,24	0,58 $\pm$ 0,22	0,57 $\pm$ 0,31
03 Mar	62	0,92 $\pm$ 0,44	1,03 $\pm$ 0,27	1,63 $\pm$ 0,41	0,94 $\pm$ 0,34	0,87 $\pm$ 0,31	0,84 $\pm$ 0,43
19 Mar	78	0,92 $\pm$ 0,41	0,97 $\pm$ 0,25	1,53 $\pm$ 0,36	0,96 $\pm$ 0,33	0,88 $\pm$ 0,31	0,84 $\pm$ 0,42
04 Abr	94	0,75 $\pm$ 0,32	0,76 $\pm$ 0,20	1,17 $\pm$ 0,26	0,78 $\pm$ 0,27	0,73 $\pm$ 0,26	0,68 $\pm$ 0,33
20 Abr	110	0,90 $\pm$ 0,41	0,87 $\pm$ 0,22	1,34 $\pm$ 0,28	0,95 $\pm$ 0,32	0,88 $\pm$ 0,32	0,82 $\pm$ 0,40
06 Mai	126	0,57 $\pm$ 0,32	0,66 $\pm$ 0,17	1,01 $\pm$ 0,25	0,58 $\pm$ 0,25	0,52 $\pm$ 0,25	0,57 $\pm$ 0,32
22 Mai	142	0,76 $\pm$ 0,42	0,90 $\pm$ 0,23	1,37 $\pm$ 0,33	0,76 $\pm$ 0,33	0,69 $\pm$ 0,34	0,79 $\pm$ 0,44
07 Jun	158	0,65 $\pm$ 0,30	0,77 $\pm$ 0,18	1,12 $\pm$ 0,26	0,65 $\pm$ 0,24	0,61 $\pm$ 0,25	0,68 $\pm$ 0,36
23 Jun	174	0,77 $\pm$ 0,36	0,91 $\pm$ 0,21	1,26 $\pm$ 0,29	0,76 $\pm$ 0,28	0,73 $\pm$ 0,31	0,80 $\pm$ 0,43
09 Jul	190	0,42 $\pm$ 0,31	0,60 $\pm$ 0,18	0,87 $\pm$ 0,29	0,38 $\pm$ 0,22	0,37 $\pm$ 0,25	0,48 $\pm$ 0,35
25 Jul	206	0,21 $\pm$ 0,16	0,32 $\pm$ 0,09	0,44 $\pm$ 0,15	0,18 $\pm$ 0,10	0,17 $\pm$ 0,11	0,26 $\pm$ 0,19
10 Ago	222	0,40 $\pm$ 0,31	0,63 $\pm$ 0,19	0,86 $\pm$ 0,30	0,35 $\pm$ 0,21	0,32 $\pm$ 0,22	0,53 $\pm$ 0,40
26 Ago	238	0,61 $\pm$ 0,54	0,99 $\pm$ 0,31	1,30 $\pm$ 0,47	0,53 $\pm$ 0,33	0,46 $\pm$ 0,35	0,82 $\pm$ 0,65
11 Set	254	0,68 $\pm$ 0,40	0,85 $\pm$ 0,25	1,25 $\pm$ 0,34	0,65 $\pm$ 0,30	0,58 $\pm$ 0,29	0,81 $\pm$ 0,48
27 Set	270	1,24 $\pm$ 0,64	1,20 $\pm$ 0,40	2,01 $\pm$ 0,50	1,27 $\pm$ 0,56	1,14 $\pm$ 0,54	1,30 $\pm$ 0,67
13 Out	286	0,76 $\pm$ 0,36	0,71 $\pm$ 0,24	1,25 $\pm$ 0,28	0,79 $\pm$ 0,30	0,71 $\pm$ 0,29	0,77 $\pm$ 0,36
29 Out	302	1,36 $\pm$ 0,66	1,21 $\pm$ 0,43	2,23 $\pm$ 0,48	1,41 $\pm$ 0,53	1,27 $\pm$ 0,54	1,32 $\pm$ 0,63
14 Nov	318	1,61 $\pm$ 0,74	1,49 $\pm$ 0,48	2,60 $\pm$ 0,56	1,73 $\pm$ 0,64	1,51 $\pm$ 0,63	1,52 $\pm$ 0,74
30 Nov	334	0,70 $\pm$ 0,30	0,64 $\pm$ 0,20	1,12 $\pm$ 0,23	0,74 $\pm$ 0,26	0,66 $\pm$ 0,25	0,67 $\pm$ 0,30
16 Dez	350	1,33 $\pm$ 0,56	1,19 $\pm$ 0,36	2,10 $\pm$ 0,42	1,39 $\pm$ 0,48	1,27 $\pm$ 0,43	1,28 $\pm$ 0,56
Média		0,81 $\pm$ 0,41	0,88 $\pm$ 0,26	1,40 $\pm$ 0,35	0,82 $\pm$ 0,33	0,74 $\pm$ 0,32	0,81 $\pm$ 0,44

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A Figura 6 apresenta durante o ano 2010 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $18,59 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) durante começo de janeiro, durante fevereiro, final de março, de agosto a começo de setembro, e de outubro a dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante final de janeiro, começo de março, de abril a julho, e durante final de setembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul, e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante o verão e primavera.

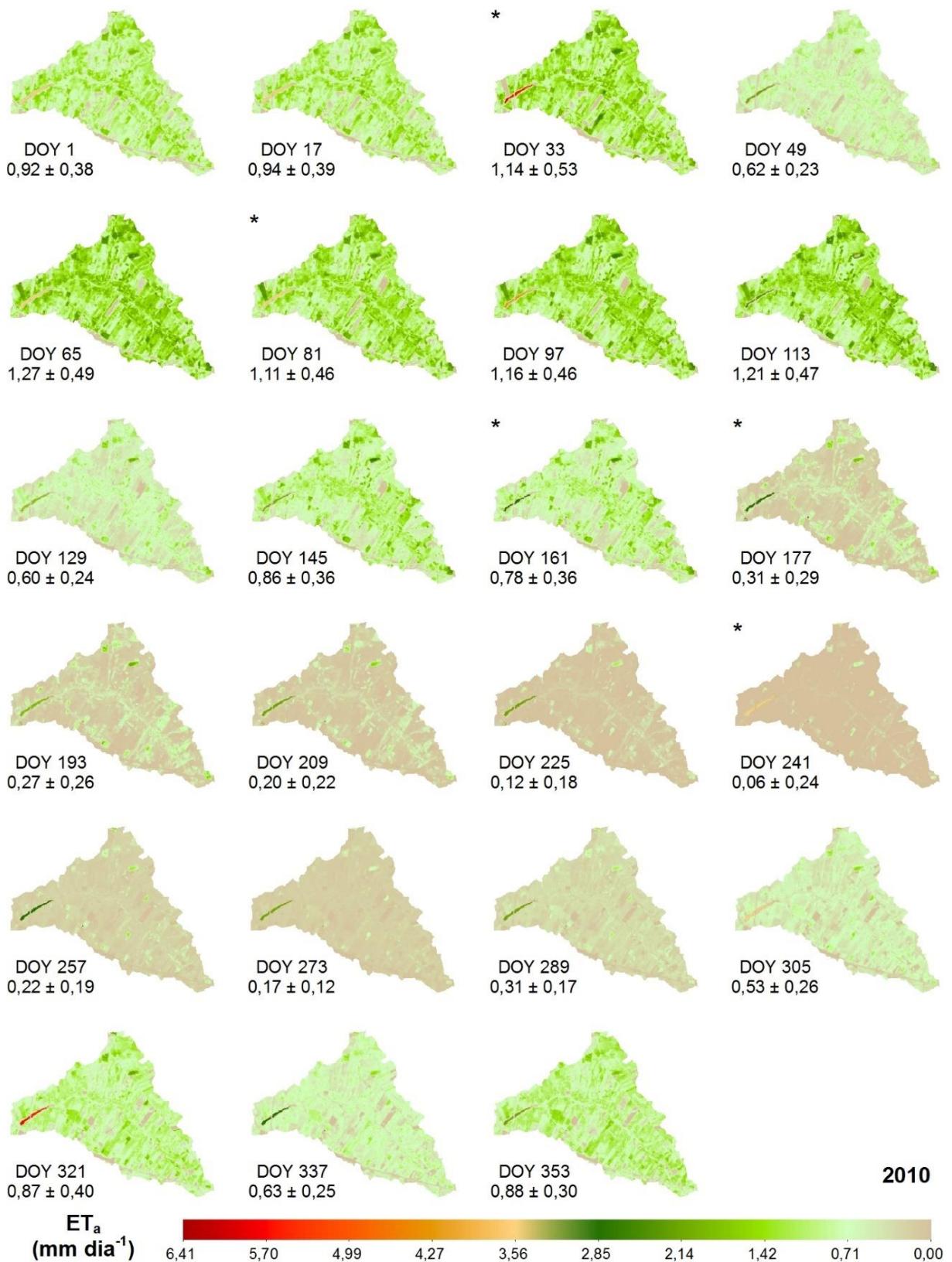
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2010, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 748,50 mm (71,19%); e na época seca (abril a novembro) foi 302,90 mm (28,81%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com apenas 96,70 mm (9,20%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual;  $66,61 \text{ mm dia}^{-1}$ ) durante o período de janeiro a fevereiro, final de março, começo setembro, e de outubro a dezembro; e os menores valores (inferior à média) durante o começo de março, de abril a agosto, e durante final de setembro (Figura 6). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 618,60 (40,38%) e 913,50(59,62%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico foi 437,10 mm (28,53%).

Quando comparadas a P (1051,40 mm) e a  $ET_0$  (1532,10 mm) anuais, se obtém uma diferença de 480,70 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 53,10, 337,80 e 354,50 mm, respectivamente, e com um excedente de 264,70 mm durante o verão. Na época seca o déficit foi 610,60 mm e com saldo positivo na época chuvosa de 129,90 mm.

Na **Figura 40** visualizam-se os mapas de evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2010 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variaram de 0 a  $5,26 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente durante o período de final de junho a outubro (Tabela 22), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época seca.

**Figura 40** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2010.  
Média ± Desvio Padrão



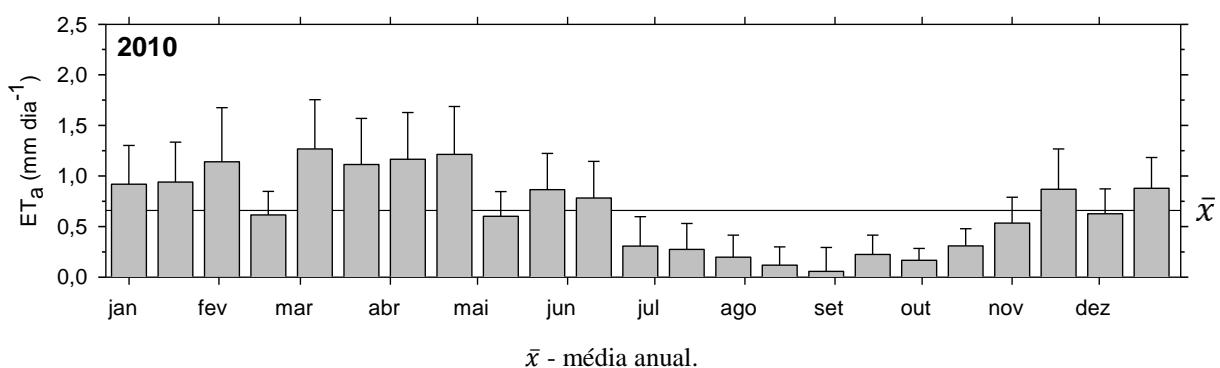
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2010 a média da  $ET_a$ , em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi  $0,66 \text{ mm dia}^{-1}$ . Em uma faixa de  $0,06$  e  $1,27 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno e a maior no final do verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao final da época chuvosa (**Figura 6, Figura 41 e Tabela 22**). Os maiores valores de  $ET_a$  foram devidos à presença de volumes significativos de precipitação acumulada elevada antes da data de passagem do satélite (DSA 65; 06 de março), embora os níveis de  $R_G$  foram inferiores à média anual. Os menores valores de  $ET_a$ , aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica ausente, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 241; 29 de agosto), embora os níveis  $R_G$  foram superiores à média anual.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a  $ET_a$  média do ano 2010 ( $0,66 \text{ mm dia}^{-1}$ ), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média  $21.164 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  durante o ano 2010. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1.051,4 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2010 ( $67,24 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente ( $P - ET_a$ ) de 749,10 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em  $2,05 \text{ mm dia}^{-1}$ .

**Figura 41** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2010. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 42** e **Tabela 22** observa-se a  $ET_a$  do ano 2010, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da  $ET_a$  foram  $2,26$ ,  $3,20$ ,  $2,85$ ,  $3,02$  e  $3,30 \text{ mm dia}^{-1}$  para EI, MR, Pa, CA e CP,

respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por U&O foram observados principalmente na época chuvosa, no começo da época, e no DSA 145, 161 e 321 com eventos pluviométricos atípicos. Onde a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior R<sub>G</sub> do ano (superior à média anual; **Figura 6**), são suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub> durante os meses da época chuvosa em todos os U&O.

Durante o ano 2010 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 0,67 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,10 e 1,30 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno (DSA 241; 29 de agosto) e a maior a no outono (DSA 113; 23 de abril), correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao começo da época seca (**Figura 6, Figura 42A e Tabela 22**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 49), no outono (exceto no DSA 129), e no DSA 321 (17 de novembro) e 353 (19 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 49 (18 de fevereiro), no DSA 129 (09 de maio) no outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 321 e 353).

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 1,09 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,17 e 2,03 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno (DSA 241; 29 de agosto) e a maior a no outono (DSA 113; 23 de abril), correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao começo da época seca (**Figura 6, Figura 42B e Tabela 22**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 49), no outono (exceto no DSA 129), e no DSA 321 (17 de novembro) e 353 (19 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 49 (18 de fevereiro), no DSA 129 (09 de maio) no outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 321 e 353). Sendo que a ET<sub>a</sub> média anual representa 37,8% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,65 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,02 e 1,29 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao final da época chuvosa (**Figura 6, Figura 42B e Tabela 22**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 49), no outono (exceto no DSA 129), e no DSA 321 (17 de novembro) e 353 (19 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 49 (18 de fevereiro), no DSA 129 (09 de maio) no outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 321 e 353).

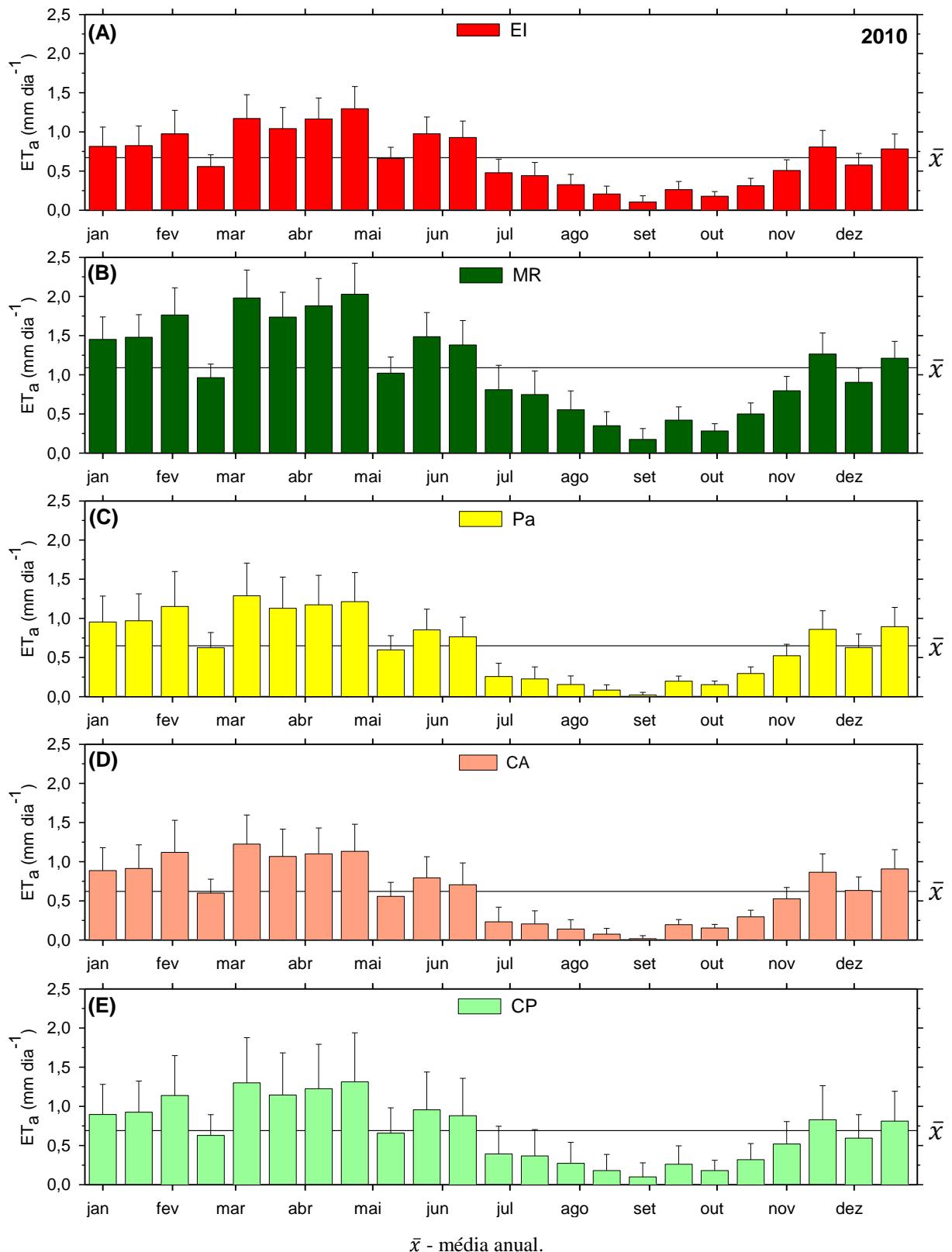
A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,62 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,02 e 1,23 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao final da época chuvosa (**Figura 6, Figura 42D e Tabela 22**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 49), no outono (exceto no DSA 129), e na segunda metade da primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 49 (18 de fevereiro), no DSA 129 (09 de maio) no outono, durante o inverno, e durante a primeira metade da primavera.

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,69 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,10 e 1,31 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no outono, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época seca (**Figura 6, Figura 42E e Tabela 22**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão (exceto no DSA 49), no outono (exceto no DSA 129), e no DSA 321 (17 de novembro) e 353 (19 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 49 (18 de fevereiro), no DSA 129 (09 de maio) no outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 321 e 353).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e início da época seca (abril até começo de junho; exceto no DOY 129).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 184 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 29.239 habitantes estimados para 2010 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 5.461 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 19% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 42 -** Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2010. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 22** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2010. Média ± Desvio Padrão

2010		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
01 Jan	1	0,92 ± 0,38	0,82 ± 0,25	1,45 ± 0,29	0,95 ± 0,33	0,89 ± 0,29	0,90 ± 0,39
17 Jan	17	0,94 ± 0,39	0,83 ± 0,25	1,48 ± 0,29	0,97 ± 0,34	0,91 ± 0,30	0,92 ± 0,40
02 Fev	33	1,14 ± 0,53	0,97 ± 0,30	1,76 ± 0,35	1,15 ± 0,45	1,12 ± 0,41	1,14 ± 0,51
18 Fev	49	0,62 ± 0,23	0,56 ± 0,15	0,96 ± 0,17	0,63 ± 0,19	0,60 ± 0,18	0,63 ± 0,27
06 Mar	65	1,27 ± 0,49	1,17 ± 0,30	1,98 ± 0,36	1,29 ± 0,42	1,23 ± 0,37	1,30 ± 0,58
22 Mar	81	1,11 ± 0,46	1,04 ± 0,27	1,74 ± 0,32	1,13 ± 0,40	1,07 ± 0,35	1,14 ± 0,54
07 Abr	97	1,16 ± 0,46	1,17 ± 0,27	1,88 ± 0,35	1,17 ± 0,38	1,10 ± 0,33	1,22 ± 0,57
23 Abr	113	1,21 ± 0,47	1,30 ± 0,28	2,03 ± 0,39	1,21 ± 0,37	1,13 ± 0,35	1,31 ± 0,63
09 Mai	129	0,60 ± 0,24	0,66 ± 0,14	1,02 ± 0,21	0,60 ± 0,18	0,56 ± 0,18	0,66 ± 0,32
25 Mai	145	0,86 ± 0,36	0,98 ± 0,21	1,49 ± 0,31	0,85 ± 0,26	0,79 ± 0,27	0,96 ± 0,48
10 Jun	161	0,78 ± 0,36	0,93 ± 0,21	1,38 ± 0,31	0,76 ± 0,25	0,71 ± 0,28	0,88 ± 0,48
22 Jun	177	0,31 ± 0,29	0,48 ± 0,17	0,81 ± 0,31	0,26 ± 0,17	0,23 ± 0,19	0,39 ± 0,35
12 Jul	193	0,27 ± 0,26	0,44 ± 0,17	0,75 ± 0,30	0,23 ± 0,15	0,21 ± 0,17	0,37 ± 0,34
28 Jul	209	0,20 ± 0,22	0,33 ± 0,13	0,55 ± 0,24	0,16 ± 0,11	0,14 ± 0,12	0,27 ± 0,27
13 Ago	225	0,12 ± 0,18	0,21 ± 0,10	0,35 ± 0,18	0,08 ± 0,07	0,07 ± 0,07	0,18 ± 0,21
29 Ago	241	0,06 ± 0,24	0,10 ± 0,08	0,17 ± 0,14	0,02 ± 0,04	0,02 ± 0,04	0,10 ± 0,18
14 Set	257	0,22 ± 0,19	0,26 ± 0,10	0,42 ± 0,17	0,20 ± 0,07	0,20 ± 0,07	0,26 ± 0,23
30 Set	273	0,17 ± 0,12	0,18 ± 0,06	0,28 ± 0,09	0,15 ± 0,05	0,15 ± 0,05	0,18 ± 0,13
16 Out	289	0,31 ± 0,17	0,31 ± 0,09	0,50 ± 0,14	0,30 ± 0,09	0,30 ± 0,08	0,32 ± 0,21
01 Nov	305	0,53 ± 0,26	0,51 ± 0,14	0,80 ± 0,18	0,52 ± 0,15	0,53 ± 0,14	0,52 ± 0,29
17 Nov	321	0,87 ± 0,40	0,81 ± 0,21	1,26 ± 0,27	0,86 ± 0,24	0,86 ± 0,24	0,83 ± 0,43
03 Dez	337	0,63 ± 0,25	0,58 ± 0,15	0,90 ± 0,18	0,63 ± 0,17	0,63 ± 0,17	0,59 ± 0,30
19 Dez	353	0,88 ± 0,30	0,78 ± 0,19	1,21 ± 0,22	0,89 ± 0,25	0,91 ± 0,25	0,81 ± 0,38
Média		0,66 ± 0,32	0,67 ± 0,18	1,09 ± 0,25	0,65 ± 0,22	0,62 ± 0,21	0,69 ± 0,37

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o ano 2011 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $19,97 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) durante o período de janeiro a fevereiro, final de setembro a começo de outubro, e de novembro a dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante o período de março a começo de setembro, e final de outubro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul, e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante o verão e primavera.

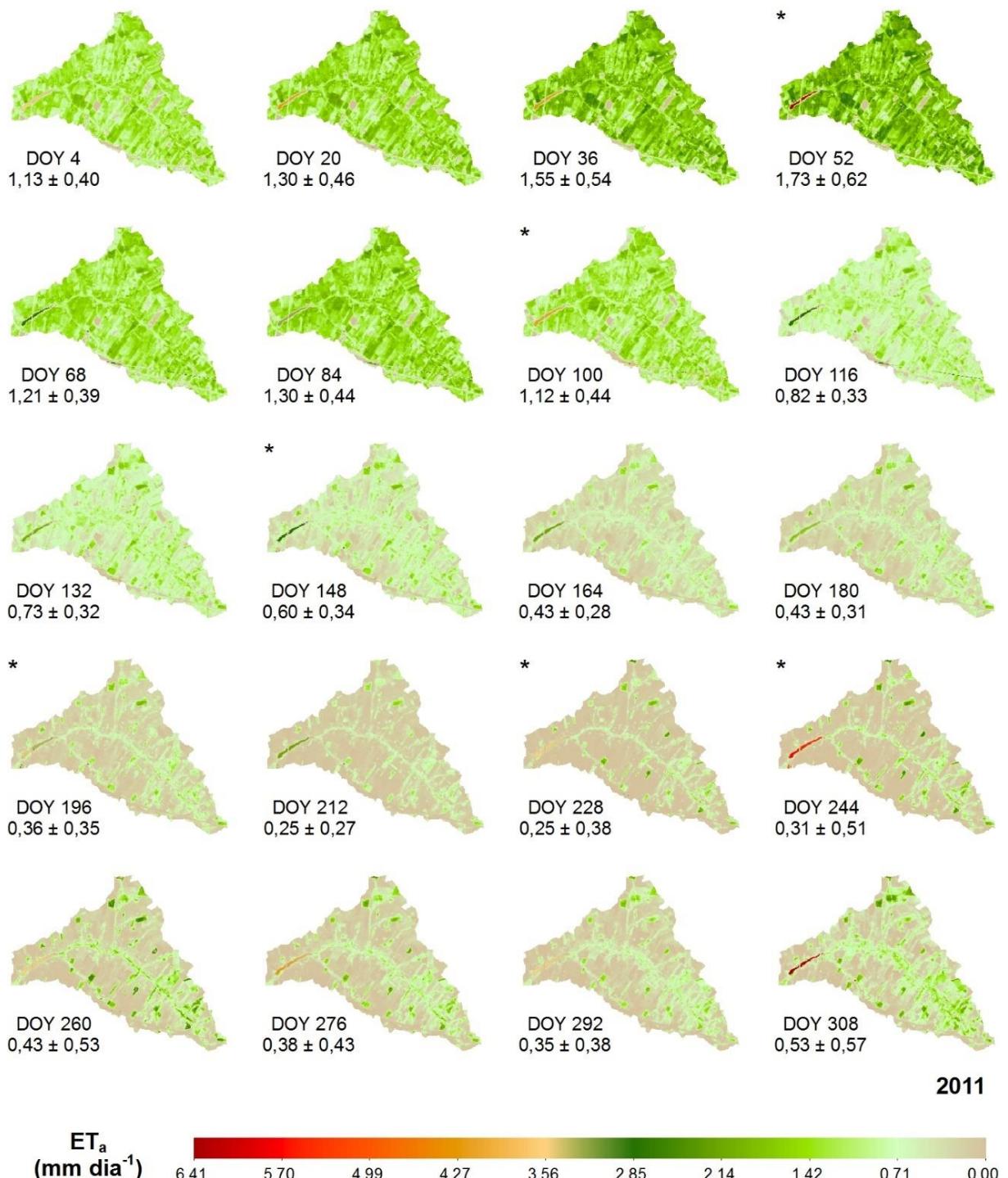
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2011, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 1075,80 mm (76,40%); e na época seca (abril a novembro) foi 332,40 mm (23,60%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com apenas 60,90 mm (4,32%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), em termos gerais, durante o ano 2011 obteve os maiores valores (superior à média anual, 74,65 mm) durante o período de janeiro a fevereiro, e de setembro a dezembro; e os menores valores (inferior à média) durante o período de março a agosto (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 669,20 (38,97%) e 1047,80 (61,03%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico foi 462,30 mm (26,92%).

Quando comparadas a P (1408,20 mm) e a  $ET_0$  (1717,00 mm) anuais, se obtém uma diferença de 308,80 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 130,00, 392,20 e 219,00 mm, respectivamente, e com um excedente de 432,40 mm durante o verão. Na época seca o déficit foi 715,40 mm e com saldo positivo na época chuvosa de 424,00 mm.

Na **Figura 43** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) do ano 2011 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de 0 a  $5,96 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente durante o período de junho a outubro (**Tabela 23**), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época seca e final da mesma.

**Figura 43** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2011.  
Média ± Desvio Padrão



\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

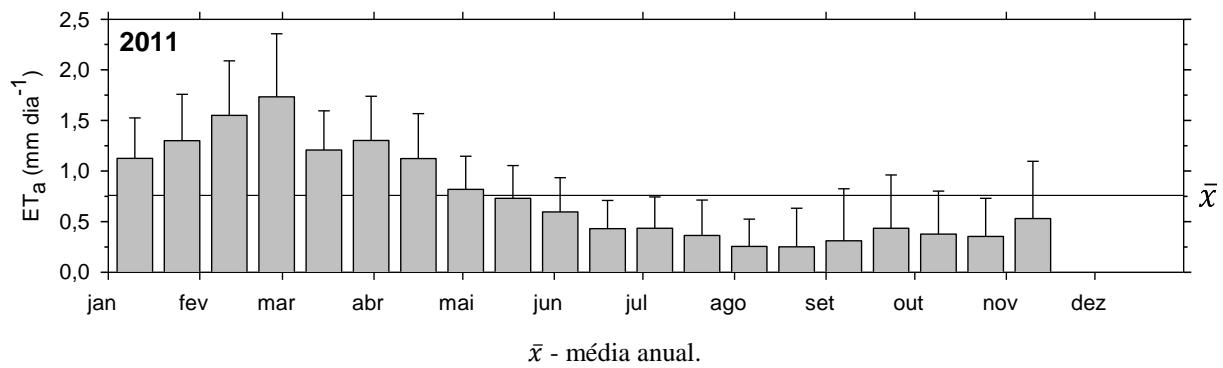
Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2011 a média da  $ET_a$ , em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi  $0,76 \text{ mm dia}^{-1}$ . Em uma faixa de  $0,25$  e  $1,73 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor no

inverno e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 44 e Tabela 23**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação pluviométrica consecutivos antes da data de passagem do satélite (DSA 52; 21 de fevereiro) e a níveis de R<sub>G</sub> acima da média anual. Os menores valores de ET<sub>a</sub> aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica ausente, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 212 e 228; 31 de julho e 16 de agosto), e pelos menores níveis de R<sub>G</sub> do ano.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2011 ( $0,076 \text{ mm dia}^{-1}$ ), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média  $24.400 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  durante o ano 2011. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1.408,2 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2011 ( $40,43 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 1.093,5 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em  $3,07 \text{ mm dia}^{-1}$ . Destacando que neste ano o Landsat 5 deixou de funcionar, e porem a última imagem disponível é a do DSA 308 (04 de novembro)

**Figura 44** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2011. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 45** e **Tabela 23** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2011, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 4,02, 3,40, 4,00, 4,01 e 4,00 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por U&O foram observados principalmente na época chuvosa e início da época seca, onde a

maior disponibilidade de água no solo junto com  $R_G$  necessária, são suficientes para incrementar a  $ET_a$ .

Durante o ano 2011 a média da  $ET_a$  das EI presentes na bacia em estudo foi 0,87 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,48 e 1,35 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno (DSA 212; 31 de julho) e a maior no verão (DSA 36; 05 de fevereiro), correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6Figura 45A e Tabela 23**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, no DSA 84 (25 de março) e 100 (10 de abril) no outono, e no DSA 260 (17 de setembro) no inverno. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no outono (exceto no DSA 84 e 100), durante o inverno (exceto no DSA 260), e durante a primavera.

A média da  $ET_a$  da MR na bacia em estudo foi 1,32 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,70 e 2,33 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno e a maior no verão, correspondendo a menor no período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6Figura 45B e Tabela 23**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, no DSA 84 (25 de março) e 100 (10 de abril) no outono, e no DSA 308 (04 de novembro) na primavera. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados no outono (exceto no DSA 84 e 100), durante o inverno, e no DSA 276 (03 de outubro) e 292 (19 de outubro) na primavera. Sendo que a  $ET_a$  média anual representa 34,2% da precipitação anual.

A média da  $ET_a$  da Pa presente na bacia em estudo foi 0,72 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,15 e 1,78 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno, e a maior durante o verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 45C e Tabela 23**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, e na primeira metade do outono. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e no DSA 276 (03 de outubro), 292 (19 de outubro) e 308 (04 de novembro) na primavera.

A média da  $ET_a$  da CA presente na bacia em estudo foi 0,71 mm dia $^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,14 e 1,79 mm dia $^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 45D e Tabela 23**). Valores de  $ET_a$  superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, e na primeira metade do outono. Valores de  $ET_a$  inferiores à média anual foram observados na segunda metade do

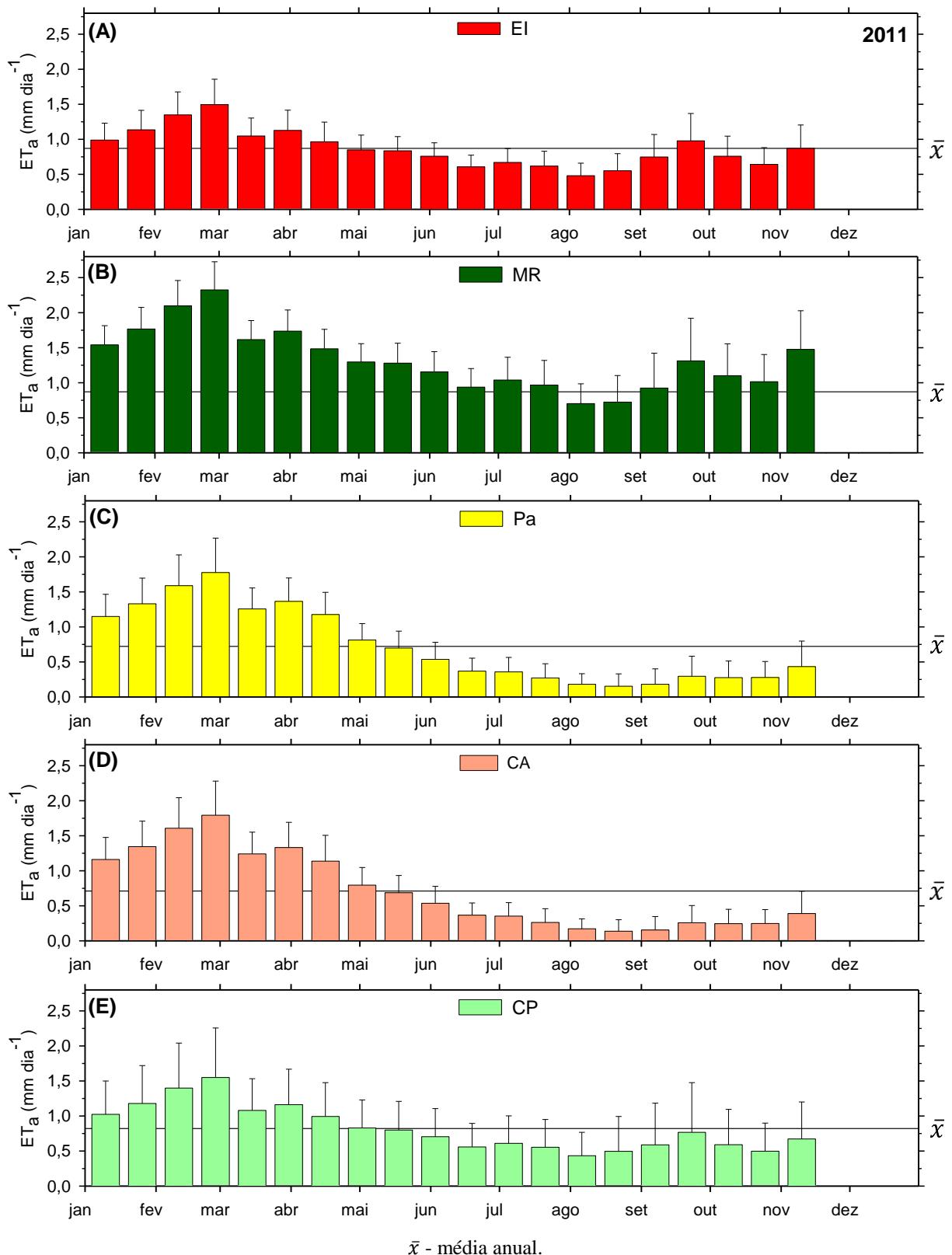
outono, durante o inverno, e no DSA 276 (03 de outubro), 292 (19 de outubro) e 308 (04 de novembro) na primavera.

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 0,82 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,43 e 1,55 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 45E e Tabela 23**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, e na primeira metade do outono. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e no DSA 276 (03 de outubro), 292 (19 de outubro) e 308 (04 de novembro) na primavera.

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e início da época seca (abril).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 111 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 29.239 habitantes estimados para 2011 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 3.283 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 40% da população de Santa Fé do Sul. Valor elevado, pela ausência de imagens a partir de novembro, valores que poderiam influencia no comportamento da média anual da ET<sub>a</sub>.

**Figura 45** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2011. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 23** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2011. Média ± Desvio Padrão

2011		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
07 Jan	4	1,13 ± 0,40	0,99 ± 0,24	1,54 ± 0,27	1,15 ± 0,32	1,16 ± 0,32	1,02 ± 0,48
20 Jan	20	1,30 ± 0,46	1,14 ± 0,28	1,77 ± 0,31	1,33 ± 0,37	1,34 ± 0,36	1,18 ± 0,54
05 Fev	36	1,55 ± 0,54	1,35 ± 0,33	2,10 ± 0,36	1,59 ± 0,44	1,61 ± 0,44	1,40 ± 0,64
21 Fev	52	1,73 ± 0,62	1,49 ± 0,36	2,33 ± 0,40	1,78 ± 0,49	1,79 ± 0,49	1,55 ± 0,71
09 Mar	68	1,21 ± 0,39	1,05 ± 0,26	1,62 ± 0,27	1,26 ± 0,30	1,24 ± 0,31	1,08 ± 0,45
25 Mar	84	1,30 ± 0,44	1,13 ± 0,29	1,74 ± 0,30	1,36 ± 0,33	1,33 ± 0,36	1,16 ± 0,51
10 Abr	100	1,12 ± 0,44	0,96 ± 0,28	1,48 ± 0,28	1,18 ± 0,32	1,14 ± 0,37	0,99 ± 0,48
26 Abr	116	0,82 ± 0,33	0,85 ± 0,21	1,30 ± 0,26	0,81 ± 0,23	0,79 ± 0,25	0,83 ± 0,40
12 Mai	132	0,73 ± 0,32	0,84 ± 0,20	1,28 ± 0,29	0,70 ± 0,24	0,69 ± 0,24	0,80 ± 0,41
28 Mai	148	0,60 ± 0,34	0,76 ± 0,19	1,15 ± 0,29	0,54 ± 0,24	0,54 ± 0,24	0,70 ± 0,40
13 Jun	164	0,43 ± 0,28	0,61 ± 0,16	0,94 ± 0,26	0,37 ± 0,19	0,37 ± 0,18	0,56 ± 0,34
29 Jun	180	0,43 ± 0,31	0,67 ± 0,20	1,04 ± 0,33	0,36 ± 0,21	0,35 ± 0,19	0,61 ± 0,39
15 Jul	196	0,36 ± 0,35	0,62 ± 0,21	0,97 ± 0,35	0,27 ± 0,20	0,26 ± 0,19	0,55 ± 0,40
31 Jul	212	0,25 ± 0,27	0,48 ± 0,18	0,70 ± 0,28	0,18 ± 0,15	0,17 ± 0,14	0,43 ± 0,34
16 Ago	228	0,25 ± 0,38	0,55 ± 0,24	0,72 ± 0,38	0,15 ± 0,18	0,14 ± 0,16	0,50 ± 0,50
01 Set	244	0,31 ± 0,51	0,75 ± 0,32	0,92 ± 0,50	0,18 ± 0,22	0,16 ± 0,19	0,59 ± 0,60
17 Set	260	0,43 ± 0,53	0,98 ± 0,39	1,31 ± 0,61	0,29 ± 0,29	0,26 ± 0,25	0,77 ± 0,71
03 Out	276	0,38 ± 0,43	0,76 ± 0,29	1,10 ± 0,45	0,28 ± 0,24	0,24 ± 0,21	0,59 ± 0,50
19 Out	292	0,35 ± 0,38	0,64 ± 0,24	1,01 ± 0,39	0,28 ± 0,23	0,25 ± 0,20	0,50 ± 0,40
04 Nov	308	0,53 ± 0,57	0,87 ± 0,33	1,48 ± 0,55	0,43 ± 0,36	0,39 ± 0,32	0,67 ± 0,53
Média		0,76 ± 0,41	0,87 ± 0,26	1,32 ± 0,36	0,72 ± 0,28	0,71 ± 0,27	0,82 ± 0,49

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A Figura 6 durante o ano 2013 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $18,43 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) durante janeiro, durante final de fevereiro, final de março, de final de agosto a setembro, e de final de outubro a dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante o período de começo de fevereiro, começo de março, e de abril a começo de agosto, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante o verão e primavera.

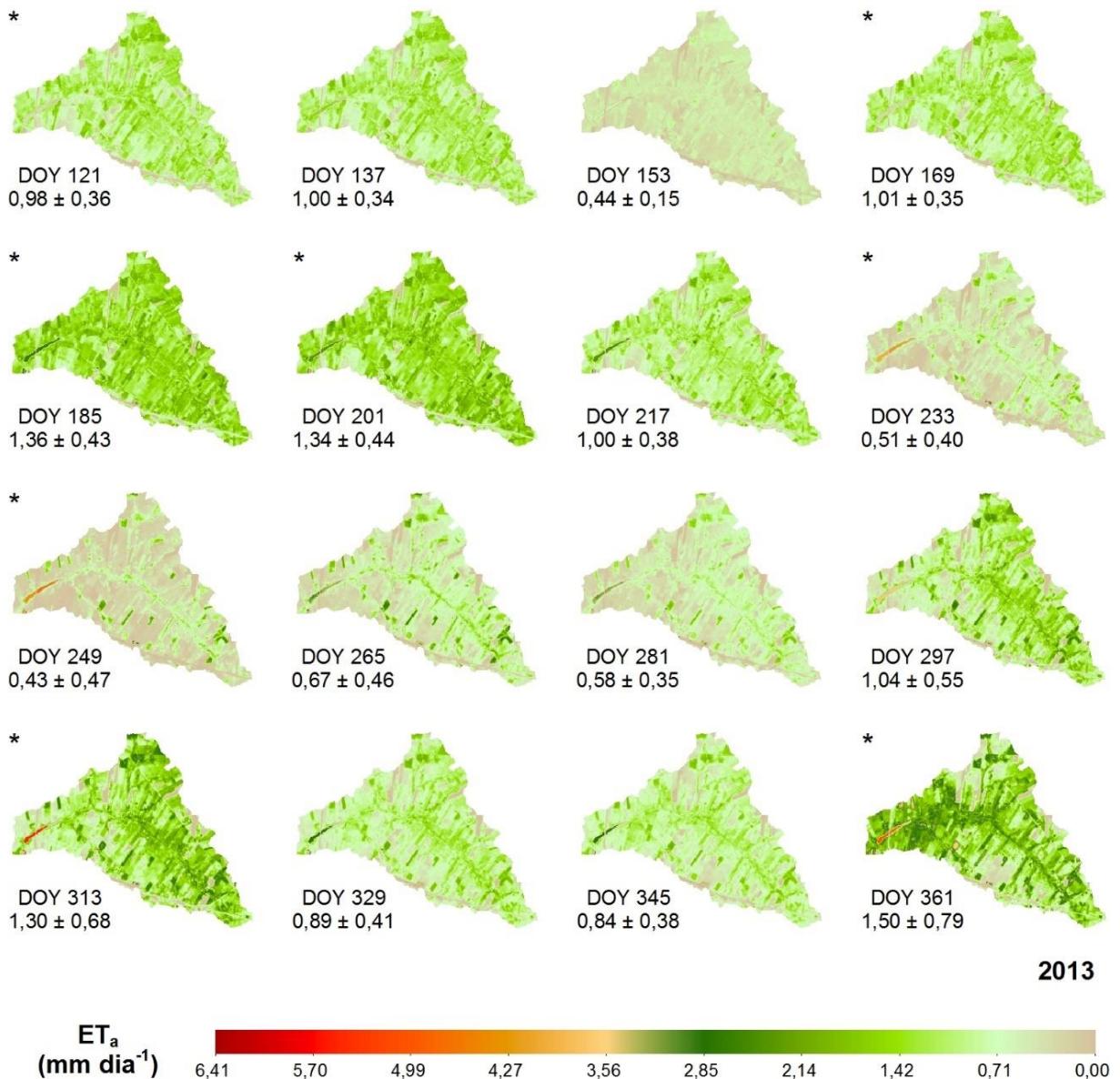
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2013, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de  $672,10 \text{ mm}$  (60,57%); e na época seca (abril a novembro) foi  $437,60 \text{ mm}$  (39,43%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com apenas  $225,90 \text{ mm}$  (20,36%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual,  $68,21 \text{ mm}$ ), durante o período de janeiro, de final de fevereiro a começo de março, e de setembro a dezembro; e os menores valores (inferior à média), durante começo de fevereiro, e de final de março a agosto (Figura 6). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi  $614,20$  (39,15%) e  $954,60$  (60,85%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico foi  $475,10 \text{ mm}$  (30,28%).

Quando comparadas a P ( $1109,70 \text{ mm}$ ) e a  $ET_0$  ( $1568,80 \text{ mm}$ ) anuais, se obtém uma diferença de  $459,10 \text{ mm}$ . Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no verão, outono, inverno e primavera, houve uma diferença de  $30,80$ ,  $9,10$ ,  $214,60$  e  $204,60 \text{ mm}$ , respectivamente. Na época seca o déficit foi  $517,00 \text{ mm}$  e com saldo positivo na época chuvosa de  $57,90 \text{ mm}$ .

Na Figura 46 visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2013 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de  $0$  a  $5,37 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero especificamente na época seca no DSA 153 (02 de junho) e 249 (06 de setembro) (Tabela 24), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época.

**Figura 46** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2013.  
Média ± Desvio Padrão



\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

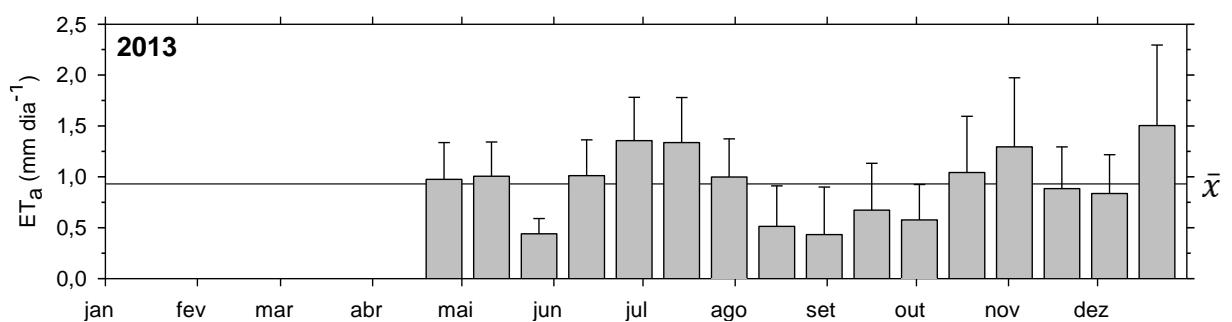
Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2013 a média da  $ET_a$ , na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi  $0,93 \text{ mm dia}^{-1}$ . Em uma faixa de  $0,43$  e  $1,50 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor no inverno e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (Figura 6, Figura 47 e Tabela 24). A maior  $ET_a$  foi devida à presença de significativos volumes de precipitação pluviométrica consecutivos antes da data de passagem do satélite (DSA 361; 27 de dezembro) e a elevados níveis de  $R_G$  acima da média anual. Os menores valores de  $ET_a$ , aconteceram como consequência de precipitação

pluviométrica ausente, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 249; 06 de setembro), embora o  $R_G$  foi superior à média anual.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a  $ET_a$  média do ano 2013 ( $0,93 \text{ mm dia}^{-1}$ ), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média  $29.812 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$  durante o ano 2013. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1109,70 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2013 ( $72,07 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve apenas um excedente ( $P - ET_a$ ) de 700,86 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em  $1,92 \text{ mm dia}^{-1}$ .

**Figura 47-** Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2013. Barras representando as médias e o desvio padrão



Barras com a mesma letra, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste post-hoc de Bonferroni.

$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 48** e **Tabela 24** observa-se a  $ET_a$  do ano 2013, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da  $ET_a$  foram  $3,78, 3,47, 3,59, 3,56$  e  $3,56 \text{ mm dia}^{-1}$  para EI, MR, Pa, CA e CP, respectivamente. No entanto, valores de  $ET_a$  superiores da média anual em cada DSA por U&O foram observados na única disponível da época chuvosa e em DSA correspondentes à época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com a suficiente  $R_G$  (**Figura 6**), foram suficientes para incrementar a  $ET_a$ .

Durante o ano 2013 a média da  $ET_a$  das EI presentes na bacia em estudo foi  $1,17 \text{ mm dia}^{-1}$ . Onde, respectivamente, a menor e maior foram  $0,82$  e  $2,12 \text{ mm dia}^{-1}$ , ocorrendo a menor durante no inverno (DSA 233; 21 de agosto) e a maior a no verão (DSA 361; 27 de

dezembro). Correspondendo-se a menor ET<sub>a</sub> ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ET<sub>a</sub> ao começo da época chuvosa (**Figura 6, Figura 48A e Tabela 24**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, na única data disponível do verão, no inverno (exceto no DSA 233 e 249), e no DSA 297 (24 de outubro) e 313 (09 de novembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no outono, no DSA 233 (21 de agosto) e 249 (06 de setembro) no inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 297 e 313).

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 1,47 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,61 e 2,44 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no outono e a maior no verão, correspondendo a menor ao início do período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 48B e Tabela 24**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, na única data disponível do verão, na primeira metade do inverno, e no DSA 297 (24 de outubro), 313 (09 de novembro) e 339 (25 de novembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no outono, na segunda metade do inverno, e no DSA 265 (22 de setembro), 281 (08 de outubro) e 345 (11 de dezembro) na primavera. Sendo que a ET<sub>a</sub> média anual representa 48,4% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,91 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,32 e 1,64 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior durante o verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 48C e Tabela 24**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, na única data disponível do verão, no outono (exceto no DSA 153), na primeira metade do inverno, e no DSA 297 (24 de outubro) e 313 (09 de novembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 153 (02 de junho) no outono, na segunda metade do inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 297 e 313).

A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,83 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,28 e 1,30 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor e a maior no inverno, correspondendo a menor e a maior ao período de maior déficit hídrico da época seca (**Figura 6, Figura 48D e Tabela 24**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, na única data disponível do verão, no outono (exceto no DSA 153), na primeira metade do inverno, e no DSA 297 (24 de outubro) e 313 (09 de novembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 153 (02 de

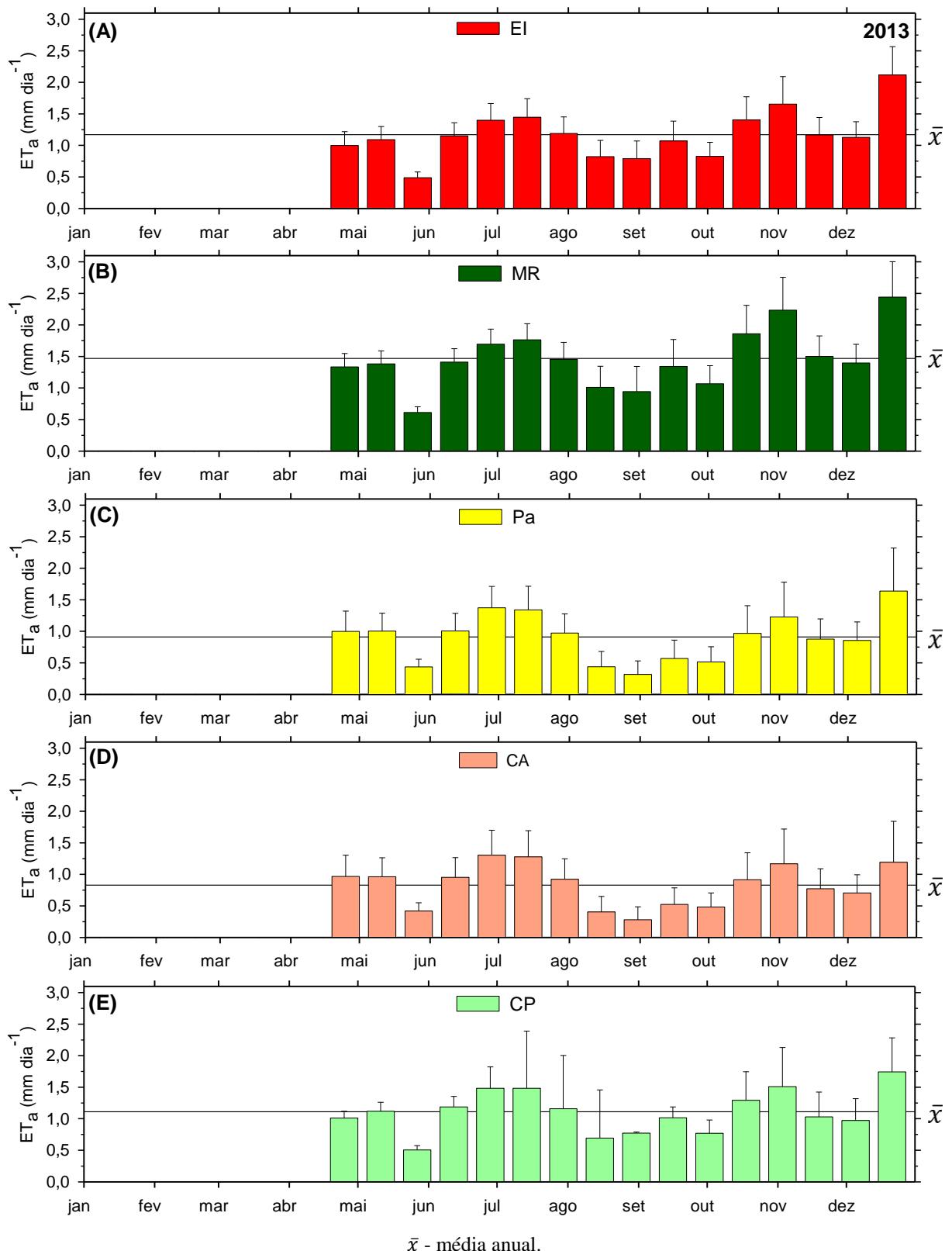
junho) no outono, na segunda metade do inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 297 e 313).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 1,11 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,50 e 1,74 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no outono, e a maior no início do verão, correspondendo a menor ao início do período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 48E e Tabela 24**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, na única data disponível do verão (DSA 361; 27 de dezembro), no DSA 137 (17 de maio) e 169 (18 de junho) no outono, na primeira metade do inverno, e no DSA 297 (24 de outubro) e 313 (09 de novembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 121 (01 de maio) e 153 (02 de junho) no outono, na segunda metade do inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 297 e 313).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e seca (maio a agosto; exceto no DSA 153).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 197 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 30.872 habitantes estimados para 2013 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 6.181 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI se corresponde aproximadamente ao consumo de 29% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 48** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2013. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 24** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2013. Média ± Desvio Padrão

Data	DSA	Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
			EI	MR	Pa	CA	CP
						mm dia <sup>-1</sup>	
01 Mai	121	0,98 ± 0,36	1,00 ± 0,22	1,33 ± 0,21	1,00 ± 0,32	0,97 ± 0,34	1,01 ± 0,11
17 Mai	137	1,00 ± 0,34	1,09 ± 0,21	1,38 ± 0,20	1,00 ± 0,28	0,96 ± 0,30	1,12 ± 0,14
02 Jun	153	0,44 ± 0,15	0,49 ± 0,09	0,61 ± 0,09	0,44 ± 0,12	0,42 ± 0,13	0,50 ± 0,07
18 Jun	169	1,01 ± 0,35	1,15 ± 0,21	1,41 ± 0,21	1,01 ± 0,28	0,95 ± 0,31	1,19 ± 0,17
04 Jul	185	1,36 ± 0,43	1,40 ± 0,26	1,70 ± 0,24	1,37 ± 0,34	1,30 ± 0,40	1,48 ± 0,34
20 Jul	201	1,34 ± 0,44	1,45 ± 0,29	1,77 ± 0,25	1,34 ± 0,37	1,28 ± 0,41	1,48 ± 0,91
05 Ago	217	1,00 ± 0,38	1,19 ± 0,26	1,45 ± 0,27	0,97 ± 0,30	0,92 ± 0,32	1,16 ± 0,84
21 Ago	233	0,51 ± 0,40	0,82 ± 0,26	1,01 ± 0,33	0,44 ± 0,24	0,41 ± 0,24	0,69 ± 0,76
06 Set	249	0,43 ± 0,47	0,79 ± 0,28	0,94 ± 0,40	0,32 ± 0,22	0,28 ± 0,21	0,77 ± 0,02
22 Set	265	0,67 ± 0,46	1,07 ± 0,31	1,34 ± 0,43	0,57 ± 0,29	0,52 ± 0,26	1,02 ± 0,17
08 Set	281	0,58 ± 0,35	0,83 ± 0,22	1,07 ± 0,29	0,51 ± 0,24	0,48 ± 0,22	0,77 ± 0,21
24 Out	297	1,04 ± 0,55	1,40 ± 0,37	1,86 ± 0,45	0,97 ± 0,44	0,92 ± 0,43	1,29 ± 0,45
09 Nov	313	1,30 ± 0,68	1,66 ± 0,44	2,23 ± 0,52	1,23 ± 0,55	1,17 ± 0,55	1,51 ± 0,62
25 Nov	329	0,89 ± 0,41	1,17 ± 0,28	1,50 ± 0,32	0,88 ± 0,32	0,77 ± 0,32	1,03 ± 0,39
11 Dez	345	0,84 ± 0,38	1,13 ± 0,25	1,40 ± 0,30	0,86 ± 0,29	0,70 ± 0,29	0,97 ± 0,35
27 Dez	361	1,50 ± 0,79	2,12 ± 0,45	2,44 ± 0,56	1,64 ± 0,68	1,19 ± 0,65	1,74 ± 0,54
Média		0,93 ± 0,43	1,17 ± 0,27	1,47 ± 0,32	0,91 ± 0,33	0,83 ± 0,34	1,11 ± 0,38

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A Figura 6 apresenta durante o ano 2014 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $18,68 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) durante o período de janeiro a abril, de final de agosto a novembro, e durante final de dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante o período de maio a começo de agosto, e durante começo de dezembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante a primavera.

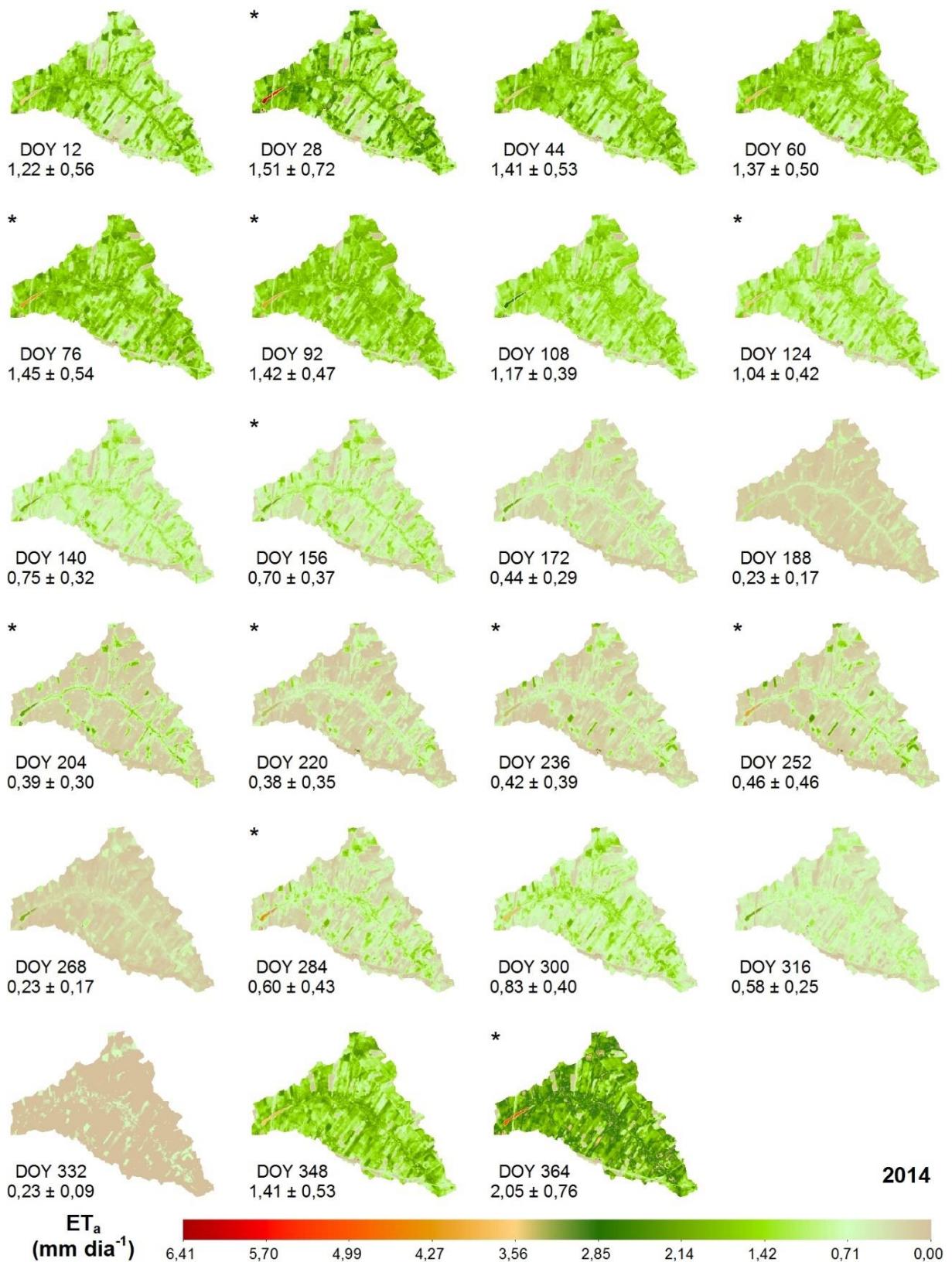
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2014, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de  $872,10 \text{ mm}$  (55,19%); e na época seca (abril a novembro) foi  $708,22 \text{ mm}$  (44,81%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com  $256,10 \text{ mm}$  (16,21%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), teve os maiores valores (superior à média anual,  $67,90 \text{ mm}$ ), durante o período de janeiro a começo de abril, de setembro a novembro, e final de dezembro; e os menores valores (inferior à média), durante o período de final de abril a agosto, e começo de dezembro (Figura 6). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi  $553,50$  (35,44%) e  $1008,30$  (64,56%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico foi  $456,00 \text{ mm}$  (29,20%).

Quando comparadas a (P) ( $1580,30 \text{ mm}$ ) e a  $ET_0$  ( $1561,80 \text{ mm}$ ) anuais, se obtém um excedente hídrico de  $18,50 \text{ mm}$ , que representa cerca de duas vezes o limiar do volume de chuva considerado significativo na agricultura ( $>10 \text{ mm}$ ). Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de  $110,00$ ,  $227,20$  e  $161,20 \text{ mm}$ , respectivamente, e com um excedente de  $194,50 \text{ mm}$  durante o verão. Na época seca o déficit foi  $300,10 \text{ mm}$  e com saldo positivo na época chuvosa de  $318,60 \text{ mm}$ .

Na **Figura 49** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2014 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de  $0$  a  $5,84 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante a época seca, especificamente durante o período de final de junho a setembro (Tabela 25), que correspondem ao período de maior déficit hídrico da época seca.

**Figura 49** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2014.  
Média ± Desvio Padrão



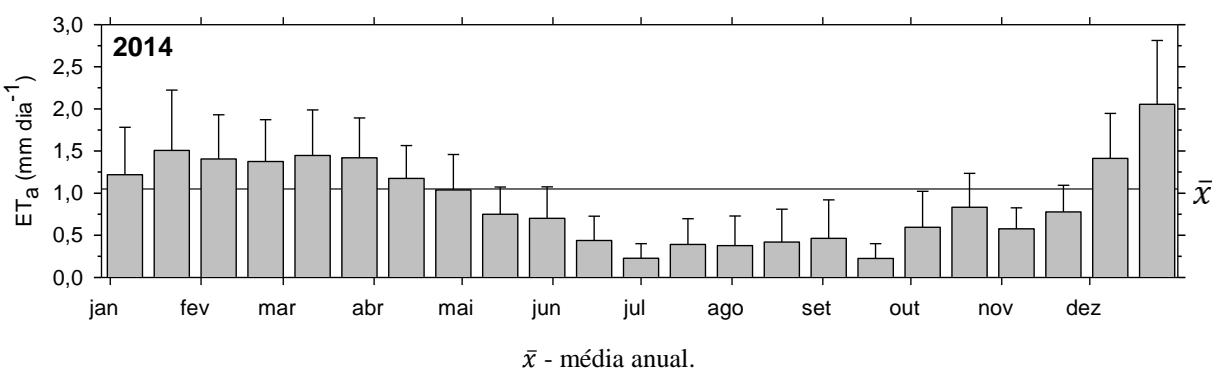
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Para o ano 2014 a média da ET<sub>a</sub>, em toda a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi 0,91 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,23 e 2,05 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno e no início da primavera, e a maior no início do verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 50 e Tabela 25**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação pluviométrica antes da data de passagem do satélite (DSA 364; 27 de dezembro) e a elevados níveis R<sub>G</sub> do ano. Os menores valores de ET<sub>a</sub>, aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica acumulada insuficiente, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 188 e 268; 04 de julho e 22 de setembro), e pelos menores níveis de R<sub>G</sub> do ano. Embora no DSA 268 foi superior.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2014 (0,91 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 29.027 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2014. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1580,30 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2014 (61,65 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 1189,97 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em 3,26 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 50** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2014. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 51** e **Tabela 25** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2014, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 4,14, 3,76, 3,58, 3,65 e 4,86 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP,

respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por U&O foram observados mais frequentes na época chuvosa, e início da época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com a maior RG do ano (superior à média anual; **Figura 6**), foram suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub> na época chuvosa e início da época seca em todos os U&O.

Durante o ano 2014 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 1,22 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,38 e 2,45 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor durante no início da primavera (DSA 268; 25 de setembro) e a maior a no verão (DSA 364; 30 de dezembro), correspondendo a menor ao final do período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 51A e Tabela 25**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, primeira metade do outono, e no DSA 348 (14 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 348).

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 1,41 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,51 e 2,81 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor inverno e a maior no início do verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 51B e Tabela 25**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, primeira metade do outono, e no DSA 348 (14 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e durante a primavera (exceto no DSA 348). Sendo que a ET<sub>a</sub> média anual representa 32,6% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 0,93 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,19 e 2,20 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no início do verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 51C e Tabela 25**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, primeira metade do outono, e no DSA 348 (14 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e primavera (exceto no DSA 348).

A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,77 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,16 e 1,89 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no início do verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da

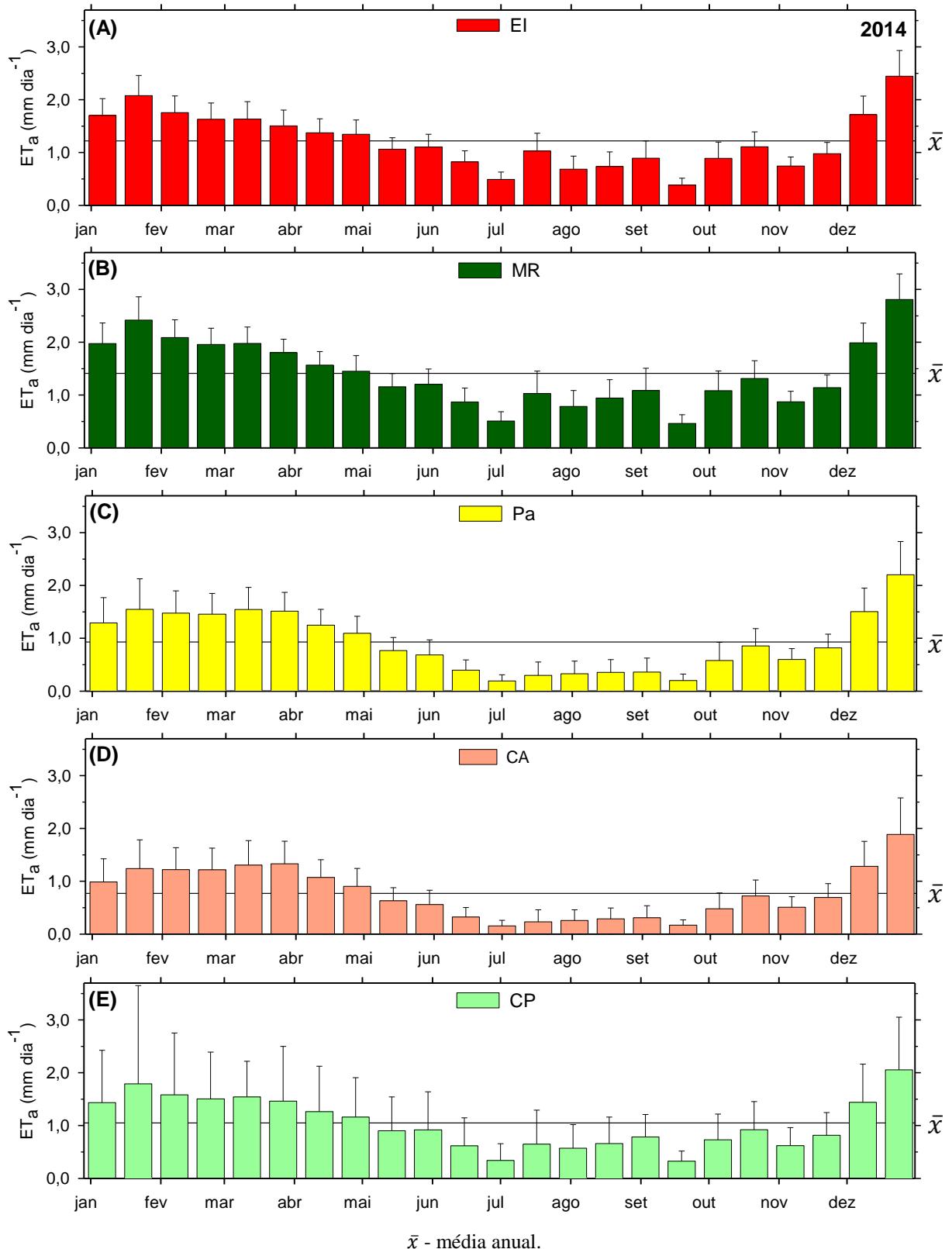
época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 51D e Tabela 25**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, primeira metade do outono, e no DSA 348 (14 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e primavera (exceto no DSA 348).

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 1,05 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,34 e 2,06 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no início do verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior ao início da época chuvosa (**Figura 6, Figura 51E e Tabela 25**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, durante o verão, primeira metade do outono, e no DSA 348 (14 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados na segunda metade do outono, durante o inverno, e primavera (exceto no DSA 348).

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa e início da época seca (abril e início de maio).

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 169 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 31.113 habitantes estimados para 2014 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 5328 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 35% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 51** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2014. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 25** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2014. Média  $\pm$  Desvio Padrão

2014		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
12 Jan	12	1,43 $\pm$ 0,99	1,70 $\pm$ 0,32	1,97 $\pm$ 0,39	1,29 $\pm$ 0,48	0,99 $\pm$ 0,44	1,43 $\pm$ 0,99
28 Jan	28	1,79 $\pm$ 1,86	2,08 $\pm$ 0,38	2,42 $\pm$ 0,44	1,55 $\pm$ 0,58	1,24 $\pm$ 0,54	1,79 $\pm$ 1,86
13 Fev	44	1,58 $\pm$ 1,17	1,76 $\pm$ 0,32	2,09 $\pm$ 0,34	1,48 $\pm$ 0,42	1,22 $\pm$ 0,42	1,58 $\pm$ 1,17
01 Mar	60	1,51 $\pm$ 0,88	1,63 $\pm$ 0,31	1,96 $\pm$ 0,31	1,46 $\pm$ 0,39	1,22 $\pm$ 0,41	1,51 $\pm$ 0,88
17 Mar	76	1,54 $\pm$ 0,68	1,63 $\pm$ 0,33	1,98 $\pm$ 0,31	1,54 $\pm$ 0,42	1,31 $\pm$ 0,46	1,54 $\pm$ 0,68
02 Abr	92	1,46 $\pm$ 1,04	1,51 $\pm$ 0,30	1,80 $\pm$ 0,25	1,51 $\pm$ 0,36	1,33 $\pm$ 0,43	1,46 $\pm$ 1,04
18 Abr	108	1,26 $\pm$ 0,86	1,37 $\pm$ 0,26	1,57 $\pm$ 0,26	1,25 $\pm$ 0,30	1,07 $\pm$ 0,34	1,26 $\pm$ 0,86
04 Mai	124	1,16 $\pm$ 0,75	1,35 $\pm$ 0,27	1,45 $\pm$ 0,30	1,10 $\pm$ 0,32	0,90 $\pm$ 0,34	1,16 $\pm$ 0,75
20 Mai	140	0,90 $\pm$ 0,64	1,06 $\pm$ 0,22	1,16 $\pm$ 0,25	0,77 $\pm$ 0,25	0,63 $\pm$ 0,25	0,90 $\pm$ 0,64
05 Jun	156	0,92 $\pm$ 0,72	1,10 $\pm$ 0,24	1,20 $\pm$ 0,29	0,68 $\pm$ 0,28	0,56 $\pm$ 0,27	0,92 $\pm$ 0,72
21 Jun	172	0,62 $\pm$ 0,53	0,82 $\pm$ 0,21	0,87 $\pm$ 0,26	0,40 $\pm$ 0,19	0,32 $\pm$ 0,18	0,62 $\pm$ 0,53
07 Jul	188	0,34 $\pm$ 0,32	0,49 $\pm$ 0,14	0,51 $\pm$ 0,18	0,19 $\pm$ 0,12	0,16 $\pm$ 0,11	0,34 $\pm$ 0,32
23 Jul	204	0,65 $\pm$ 0,64	1,03 $\pm$ 0,34	1,03 $\pm$ 0,42	0,30 $\pm$ 0,25	0,23 $\pm$ 0,23	0,65 $\pm$ 0,64
08 Ago	220	0,57 $\pm$ 0,45	0,69 $\pm$ 0,25	0,79 $\pm$ 0,30	0,33 $\pm$ 0,24	0,26 $\pm$ 0,20	0,57 $\pm$ 0,45
24 Ago	236	0,66 $\pm$ 0,50	0,74 $\pm$ 0,28	0,94 $\pm$ 0,35	0,35 $\pm$ 0,24	0,29 $\pm$ 0,20	0,66 $\pm$ 0,50
09 Set	252	0,78 $\pm$ 0,42	0,89 $\pm$ 0,33	1,09 $\pm$ 0,42	0,36 $\pm$ 0,27	0,31 $\pm$ 0,23	0,78 $\pm$ 0,42
25 Set	268	0,33 $\pm$ 0,19	0,38 $\pm$ 0,13	0,46 $\pm$ 0,17	0,20 $\pm$ 0,12	0,17 $\pm$ 0,10	0,33 $\pm$ 0,19
11 Out	284	0,73 $\pm$ 0,49	0,89 $\pm$ 0,31	1,08 $\pm$ 0,37	0,58 $\pm$ 0,34	0,48 $\pm$ 0,30	0,73 $\pm$ 0,49
27 Out	300	0,92 $\pm$ 0,53	1,11 $\pm$ 0,28	1,31 $\pm$ 0,34	0,86 $\pm$ 0,33	0,72 $\pm$ 0,30	0,92 $\pm$ 0,53
12 Nov	316	0,62 $\pm$ 0,34	0,74 $\pm$ 0,17	0,87 $\pm$ 0,20	0,60 $\pm$ 0,20	0,51 $\pm$ 0,20	0,62 $\pm$ 0,34
28 Nov	332	0,82 $\pm$ 0,43	0,98 $\pm$ 0,21	1,14 $\pm$ 0,24	0,82 $\pm$ 0,26	0,69 $\pm$ 0,26	0,82 $\pm$ 0,43
14 Dez	348	1,44 $\pm$ 0,72	1,72 $\pm$ 0,35	1,99 $\pm$ 0,37	1,51 $\pm$ 0,44	1,28 $\pm$ 0,47	1,44 $\pm$ 0,72
30 Dez	364	2,06 $\pm$ 1,00	2,45 $\pm$ 0,49	2,81 $\pm$ 0,48	2,20 $\pm$ 0,63	1,89 $\pm$ 0,69	2,06 $\pm$ 1,00
Média		1,05 $\pm$ 0,70	1,22 $\pm$ 0,28	1,41 $\pm$ 0,31	0,93 $\pm$ 0,32	0,77 $\pm$ 0,32	1,05 $\pm$ 0,70

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

A **Figura 6** apresenta durante o ano 2015 a concentração da maior radiação solar global ( $R_G$ ; superior à média anual de  $17,41 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) durante o período de janeiro a março, durante agosto, de final de setembro a outubro, e durante o final de dezembro, devido ao sol estar perto do zênite, e/ou à baixa cobertura de nuvens. E com os menores valores de  $R_G$  (inferior à média anual) durante o período de abril a julho, durante o começo de setembro, e de final de novembro a começo de dezembro, pelas condições próprias do inverno no Hemisfério Sul, e devido a elevada cobertura de nuvens em alguns períodos durante a primavera.

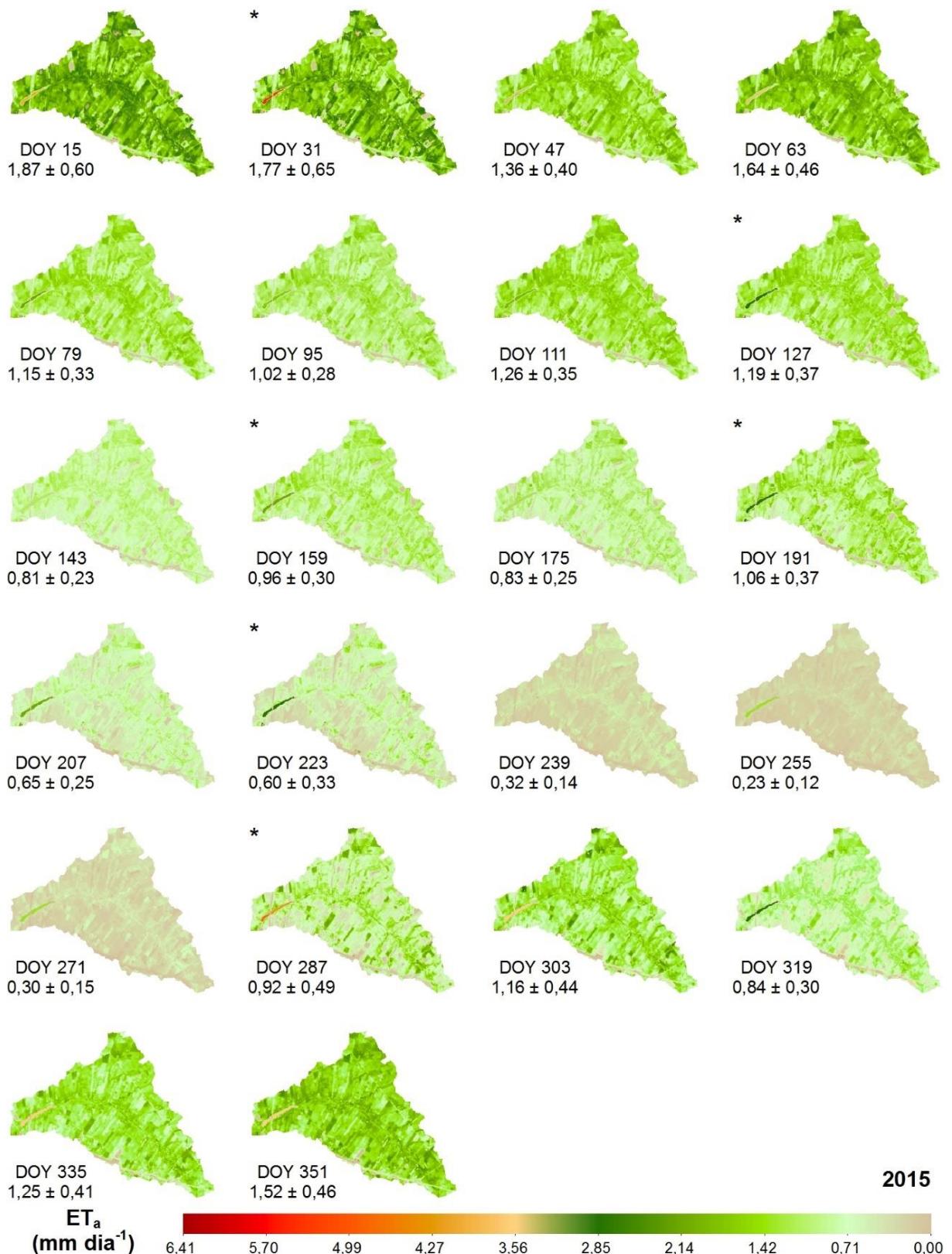
Em relação à precipitação pluviométrica (P) acumulada, durante o ano 2015, na época chuvosa (dezembro, janeiro, fevereiro e março) foi de 750,70 mm (51,00%); e na época seca (abril a novembro) foi 721,20 mm (49,00%), destacando-se o período de maior déficit hídrico (junho a setembro) com 243,90 mm (16,57%).

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) teve os maiores valores (superior à média anual, 63,06 mm), durante o período de janeiro a março, final de agosto, de final de setembro a outubro, e durante setembro; e os menores valores (inferior à média), durante o período de abril a começo de abril a começo de agosto, durante começo de setembro, e durante novembro (**Figura 6**). Na época chuvosa e seca a  $ET_0$  acumulada foi 545,50 (39,32%) e 841,80 (60,68%) mm, respectivamente, e no período de maior déficit hídrico foi 436,30 mm (31,45%).

Quando comparadas a P (1471,90 mm) e a  $ET_0$  (1387,30 mm) acumuladas, se obtém uma diferença de 84,60 mm. Se comparadas a P e  $ET_0$ , por estações do ano, no outono, inverno e primavera, houve uma diferença de 29,30, 131,50 e 167,90 mm, respectivamente, e com um excedente de 77,50 mm durante o verão. Na época seca (abril a novembro) o déficit foi 120,60 mm e com saldo positivo na época chuvosa de 205,20 mm.

Na **Figura 52** visualizam-se os mapas da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) em termos de dia sequencial do ano (DSA), do ano 2015 para a área delimitada pela bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida. Nota-se que, dependendo da cobertura vegetal, os valores de  $ET_a$  variam de 0 a  $5,12 \text{ mm dia}^{-1}$ . No entanto, valores acima da média de cada DSA foram encontrados principalmente ao longo do córrego (mata ciliar e espécies invasoras) e em áreas com mata remanescente, onde a disponibilidade de água é continua durante todo o ano. Entretanto, destacam-se valores médios de  $ET_a$  próximos a zero durante o período de maior déficit hídrico da época seca, especificamente durante o período final de agosto a setembro (**Tabela 26**).

**Figura 52** - Distribuição espacial da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) diária na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2015.  
Média ± Desvio Padrão



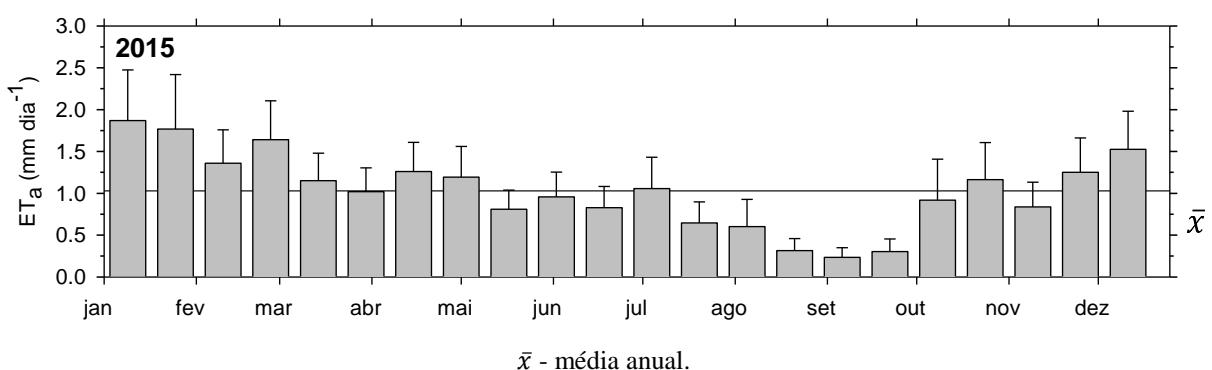
\*Imagens obtidas segundo a metodologia do item: 2.2.7 Imagens faltantes, DOY - dia sequencial do ano

Fonte: Dados do próprio autor

Durante o ano 2015 a média da ET<sub>a</sub>, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, foi 1,03 mm dia<sup>-1</sup>. Em uma faixa de 0,23 e 1,87 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no final do inverno e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 53 e Tabela 26**). A maior ET<sub>a</sub> foi devida à presença de significativos volumes de precipitação pluviométrica consecutivos antes da data de passagem do satélite (DSA 15; 15 de janeiro) e a elevados níveis de R<sub>G</sub> acima da média anual. Os menores valores de ET<sub>a</sub>, aconteceram como consequência de precipitação pluviométrica acumulada, considerando o período de 16 dias antes da passagem do satélite (DSA 255; 12 de setembro), e pelos menores níveis de R<sub>G</sub> do ano.

Considerando a área da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (3.205 ha) e a ET<sub>a</sub> média do ano 2015 (1,03 mm dia<sup>-1</sup>), a bacia em estudo evapotranspirou aproximadamente em média 33.088 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> durante o ano 2015. E, levando em conta a área da bacia em estudo, a precipitação pluviométrica anual acumulada (1471,90 mm) e o consumo da população do município de Santa Fé do Sul para o ano 2015 (62,72 m<sup>3</sup> hab<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve um excedente (P - ET<sub>a</sub>) de 1033,83 mm, sem considerar os processos de infiltração. Excedente que se escalado para um dia, resultou em 2,83 mm dia<sup>-1</sup>.

**Figura 53** - Evapotranspiração atual (ET<sub>a</sub>) da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2015. Barras representando as médias e o desvio padrão



Fonte: Dados do próprio autor

Na **Figura 54** e **Tabela 26** observa-se a ET<sub>a</sub> do ano 2015, para os usos e ocupação (U&O), Espécies Invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Culturas Anuais (CA) e Culturas Perenes (CP). Nota-se que, dependendo do U&O, os valores máximos de amplitude da ET<sub>a</sub> foram 4,26, 3,75, 5,06, 3,78 e 5,08 mm dia<sup>-1</sup> para EI, MR, Pa, CA e CP,

respectivamente. No entanto, valores de ET<sub>a</sub> superiores da média anual em cada DSA por U&O foram observados principalmente na época chuvosa ou em DSA correspondentes à época seca com eventos pluviométricos atípicos, quando a maior disponibilidade de água no solo junto com os maiores níveis de RG (**Figura 6**) do ano, foram suficientes para incrementar a ET<sub>a</sub>.

Durante o ano 2015 a média da ET<sub>a</sub> das EI presentes na bacia em estudo foi 1,23 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,33 e 2,25 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor durante no inverno (DSA 255; 12 de setembro) e a maior a no verão (DSA 15; 15 de janeiro), correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 54A e Tabela 26**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, no DSA 79 (20 de março), 111 (21 de abril) e 127 (07 de maio) no outono, no DSA 191 (10 de julho) no inverno, e na primavera (exceto no DSA 271 e 319). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 95 (05 de abril) e 143 (23 de maio) e 159 (08 de junho) no outono, durante o inverno (exceto no DSA 191), e no DSA 271 (28 de setembro) e 319 (15 de novembro) na primavera.

A média da ET<sub>a</sub> da MR na bacia em estudo foi 1,40 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,37 e 2,56 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 54B e Tabela 26**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, no DSA 79 (20 de março), 111 (21 de abril) e 127 (07 de maio) no outono, e na primavera (exceto no DSA 271 e 319). Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 95 (05 de abril) e 143 (23 de maio) e 159 (08 de junho) no outono, durante o inverno, e no DSA 271 (28 de setembro) e 319 (15 de novembro) na primavera. Sendo que a ET<sub>a</sub> média anual representa 34,7% da precipitação anual.

A média da ET<sub>a</sub> da Pa presente na bacia em estudo foi 1,05 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,23 e 1,94 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior durante o verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 54C e Tabela 26**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, no outono (exceto no DSA 143 e 159), no DSA 191 (10 de julho) no inverno, e no DSA 303 (30 de outubro), 335 (01 de dezembro) e 351 (17 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 143 (23 de maio) e 159 (08 de junho) no outono, no inverno (exceto no DSA 191), e no DSA 271 (28 de setembro), 287 (14 de outubro) e 319 (15 de novembro) na primavera.

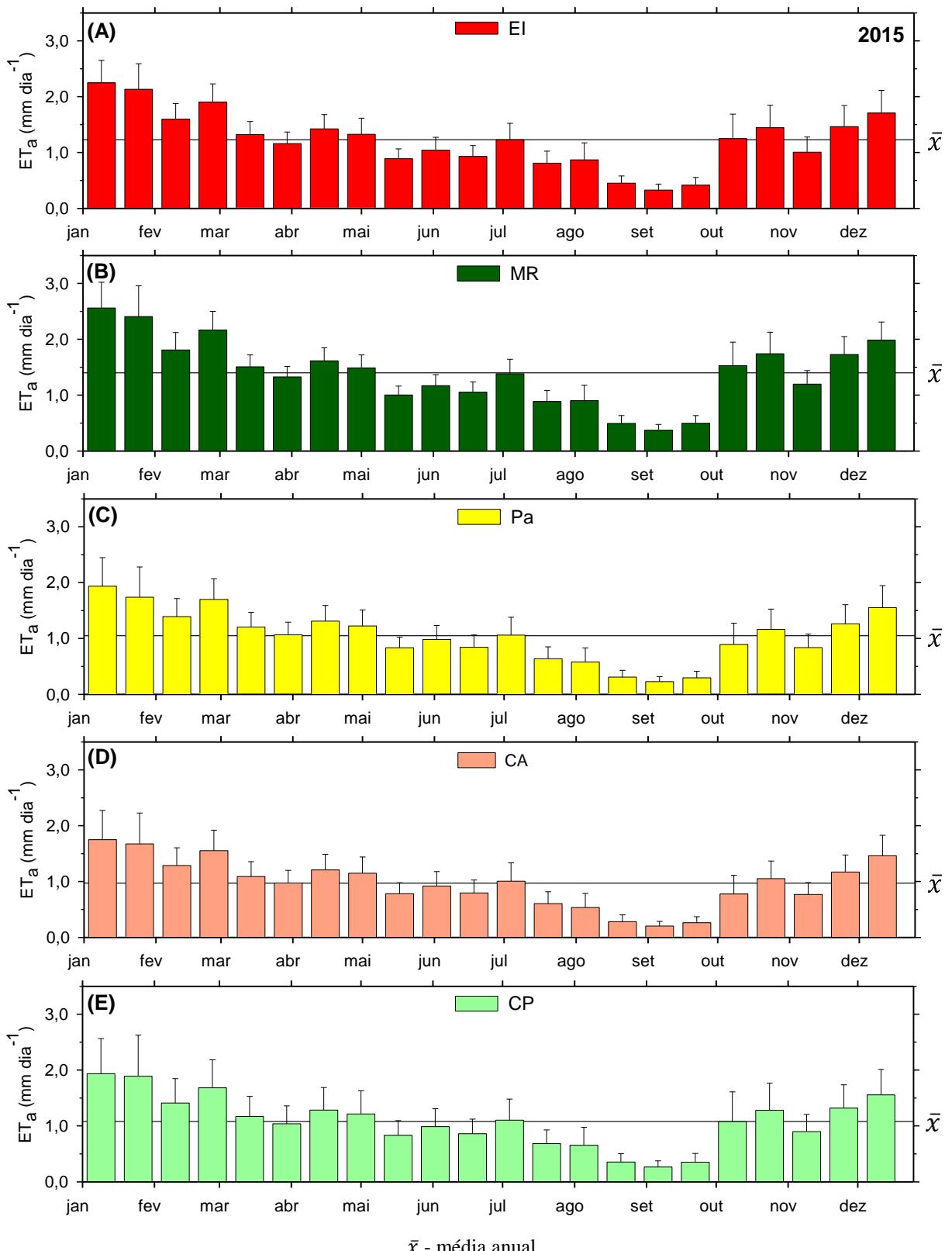
A média da ET<sub>a</sub> da CA presente na bacia em estudo foi 0,97 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,20 e 1,75 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 54D e Tabela 26**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, no outono (exceto no DSA 143 e 159), no DSA 191 (10 de julho) no inverno, e no DSA 303 (30 de outubro), 335 (01 de dezembro) e 351 (17 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 143 (23 de maio) e 159 (08 de junho) no outono, no inverno (exceto no DSA 191), e no DSA 271 (28 de setembro), 287 (14 de outubro) e 319 (15 de novembro) na primavera.

A média da ET<sub>a</sub> da CP presente na bacia em estudo foi 1,08 mm dia<sup>-1</sup>. Onde, respectivamente, a menor e maior foram 0,27 e 1,94 mm dia<sup>-1</sup>, ocorrendo a menor no inverno, e a maior no verão, correspondendo a menor ao período de maior déficit hídrico da época seca, e a maior à época chuvosa (**Figura 6, Figura 54E e Tabela 26**). Valores de ET<sub>a</sub> superiores à média anual foram obtidos, em termos gerais, no verão, no DSA 79 (20 de março), 111 (21 de abril) e 127 (07 de maio) no outono, no DSA 191 (10 de julho) no inverno, e no DSA 303 (30 de outubro), 335 (01 de dezembro) e 351 (17 de dezembro) na primavera. Valores de ET<sub>a</sub> inferiores à média anual foram observados no DSA 95 (05 de abril), 143 (23 de maio) e 159 (08 de junho) no outono, no inverno (exceto no DSA 191), e no DSA 271 (28 de setembro), 287 (14 de outubro) e 319 (15 de novembro) na primavera.

Em termos gerais, em todos os U&O, os valores de ET<sub>a</sub> superiores a suas correspondentes médias anuais, foram registradas durante a época chuvosa, início da época seca (abril e início de maio), e final da mesma.

Considerando o consumo aproximado de água no município de Santa Fé do Sul de 172 L hab<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e os 31.348 habitantes estimados para 2015 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016), a população do município consome 5.461 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>. Neste ano, a água utilizada pelas EI equivale aproximadamente ao consumo de 34% da população de Santa Fé do Sul.

**Figura 54** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo, (A) Espécies invasoras - EI, (B) Mata Remanescente - MR, (C) Pastagem - Pa, (D) Cultura Anual - CA e (E) Cultura Perene - CP, na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida durante o ano 2015. Barras representando as médias e o desvio padrão



$\bar{x}$  - média anual.

Fonte: Dados do próprio autor

**Tabela 26** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) por uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, Santa Fé do Sul - SP, durante o ano 2015. Média ± Desvio Padrão

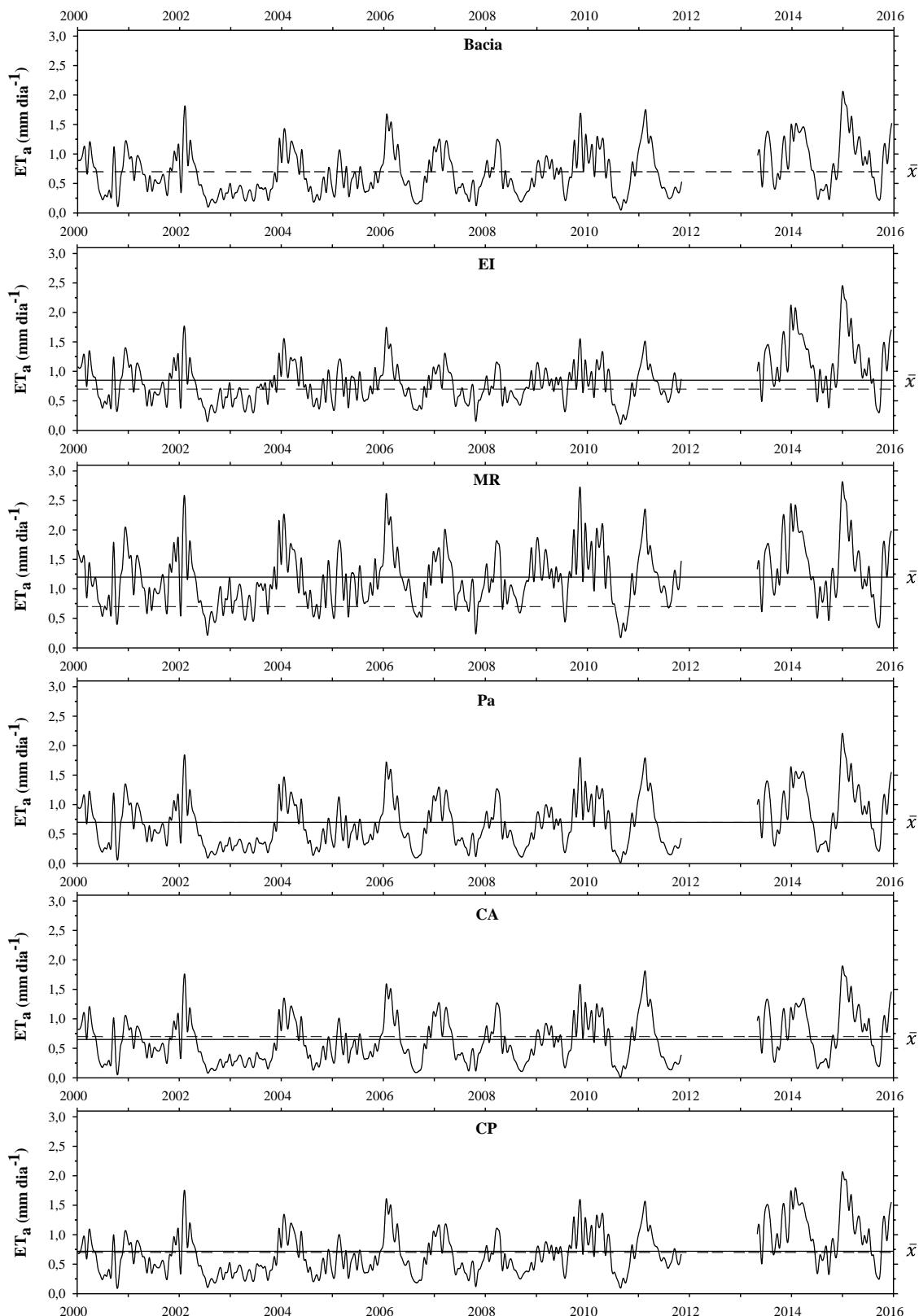
2015		Bacia mm dia <sup>-1</sup>	Uso e ocupação do solo				
Data	DSA		EI	MR	Pa	CA	CP
15 Jan	15	1,87 ± 0,60	2,25 ± 0,40	2,56 ± 0,46	1,94 ± 0,51	1,75 ± 0,52	1,94 ± 0,63
31 Jan	31	1,77 ± 0,65	2,13 ± 0,46	2,41 ± 0,55	1,74 ± 0,54	1,68 ± 0,55	1,89 ± 0,73
16 Fev	47	1,36 ± 0,40	1,60 ± 0,28	1,81 ± 0,31	1,39 ± 0,32	1,29 ± 0,32	1,41 ± 0,44
04 Mar	63	1,64 ± 0,46	1,90 ± 0,33	2,17 ± 0,33	1,70 ± 0,37	1,55 ± 0,37	1,68 ± 0,50
20 Mar	79	1,15 ± 0,33	1,32 ± 0,24	1,51 ± 0,21	1,20 ± 0,26	1,09 ± 0,26	1,17 ± 0,36
05 Abr	95	1,02 ± 0,28	1,16 ± 0,21	1,33 ± 0,19	1,07 ± 0,23	0,97 ± 0,23	1,04 ± 0,32
21 Abr	111	1,26 ± 0,35	1,42 ± 0,26	1,62 ± 0,23	1,31 ± 0,28	1,21 ± 0,28	1,28 ± 0,40
07 Mai	127	1,19 ± 0,37	1,33 ± 0,29	1,49 ± 0,23	1,22 ± 0,29	1,15 ± 0,29	1,21 ± 0,42
23 Mai	143	0,81 ± 0,23	0,89 ± 0,17	1,00 ± 0,16	0,83 ± 0,19	0,78 ± 0,20	0,83 ± 0,26
08 Jun	159	0,96 ± 0,30	1,04 ± 0,23	1,17 ± 0,20	0,98 ± 0,25	0,92 ± 0,26	0,99 ± 0,32
24 Jun	175	0,83 ± 0,25	0,93 ± 0,20	1,05 ± 0,18	0,84 ± 0,22	0,80 ± 0,23	0,86 ± 0,26
10 Jul	191	1,06 ± 0,37	1,23 ± 0,29	1,38 ± 0,26	1,06 ± 0,32	1,01 ± 0,33	1,10 ± 0,38
26 Jul	207	0,65 ± 0,25	0,81 ± 0,22	0,89 ± 0,20	0,64 ± 0,21	0,60 ± 0,21	0,68 ± 0,24
11 Ago	223	0,60 ± 0,33	0,87 ± 0,30	0,90 ± 0,28	0,58 ± 0,25	0,54 ± 0,25	0,65 ± 0,32
27 Ago	239	0,32 ± 0,14	0,45 ± 0,13	0,49 ± 0,14	0,31 ± 0,12	0,28 ± 0,12	0,36 ± 0,15
12 Set	255	0,23 ± 0,12	0,33 ± 0,11	0,37 ± 0,10	0,23 ± 0,09	0,20 ± 0,08	0,27 ± 0,11
28 Set	271	0,30 ± 0,15	0,42 ± 0,14	0,50 ± 0,14	0,29 ± 0,12	0,26 ± 0,11	0,35 ± 0,16
14 Out	287	0,92 ± 0,49	1,25 ± 0,44	1,53 ± 0,42	0,89 ± 0,38	0,78 ± 0,33	1,08 ± 0,53
30 Out	303	1,16 ± 0,44	1,45 ± 0,40	1,74 ± 0,39	1,16 ± 0,36	1,05 ± 0,32	1,28 ± 0,48
15 Nov	319	0,84 ± 0,30	1,01 ± 0,27	1,20 ± 0,24	0,84 ± 0,24	0,77 ± 0,21	0,90 ± 0,31
01 Dez	335	1,25 ± 0,41	1,46 ± 0,38	1,73 ± 0,32	1,26 ± 0,34	1,17 ± 0,30	1,32 ± 0,42
17 Dez	351	1,52 ± 0,46	1,71 ± 0,41	1,99 ± 0,32	1,55 ± 0,39	1,46 ± 0,37	1,55 ± 0,46
Média		1,03 ± 0,35	1,23 ± 0,28	1,40 ± 0,27	1,05 ± 0,29	0,97 ± 0,28	1,08 ± 0,37

DSA - dia sequencial do ano, EI - espécies invasoras, MR - mata remanescente, Pa - pastagem, CA - cultura

anual, CP - cultura perene

Fonte: Dados do próprio autor

**Figura 55** - Evapotranspiração atual ( $ET_a$ ) dos usos e ocupação do solo: Espécies invasoras (EI), Mata Remanescente (MR), Pastagem (Pa), Cultura Anual (CA) e Cultura Perene (CP) na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida no período de 2000 - 2011 e 2013 - 2015



$\bar{x}$  - média. Linha tracejada corresponde à média da bacia e a Linha continua a cada uso e ocupação do solo

Fonte: Dados do próprio autor

## 2.4 DISCUSSÃO

### 2.4.1 Morfometria da bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida foi classificada como uma unidade pequena pela sua área de drenagem e perímetro (Tabela 10), possibilitando o controle dos fatores hidrológicos que ali interferem (TONELLO et al., 2006; TEODORO et al., 2007).

Pela área da bacia do córrego Cabeceira Comprida (**Tabela 10**), esta deveria ser denominada como microbacia e também por ser uma área formada por canais de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordem como observado na **Figura 1** (SANTANA, 2004; CALIJURI; BUBEL, 2006). Sendo as microbacias áreas frágeis e frequentemente ameaçadas por perturbações, nas quais as escalas espacial, temporal e observacional são fundamentais (TEODORO et al., 2007).

A forma da bacia é determinada por índices que relacionam com formas geométricas conhecidas e é importante na determinação do tempo de concentração (tempo necessário para que toda a bacia contribua para sua saída após uma precipitação) (TONELLO et al., 2006). A bacia hidrográfica em estudo tem um maior tempo de concentração de água da chuva pelo fato de o coeficiente de compacidade ser 1,571 e de seu fator de forma exibir um valor baixo (0,233), indicando que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo a uma bacia alongada, podendo ser comprovado pelo índice de circularidade, cujo valor é de 0,397. Com um índice de sinuosidade de 1,261 indicando que o canal principal tende a ser transicional entre sinuoso e retilíneo ou meandrante de baixa sinuosidade (ANTONELI; THOMAZ, 2007; SANTOS; MORAIS, 2012). Pelo fato da bacia ser alongada possui menor concentração do deflúvio (VILLELA; MATTOS, 1975), apresentando assim menor risco de enchentes nas condições normais de precipitação.

O comprimento total dos cursos de água é de 33,80 km, distribuídos por 21 canais que apresentam uma densidade de drenagem total de 1,054 km km<sup>-2</sup>, segundo Villela e Mattos (1975) esta densidade pode variar de 0,5 em bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais em bacias bem drenadas, indicando que a bacia em estudo tem baixa capacidade de drenagem. Esta baixa densidade indica uma escassa disponibilidade hídrica superficial (ANTONELI; THOMAZ, 2007) e estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação (TONELLO et al., 2006).

Para auxiliar esta escassa disponibilidade hídrica, toma-se como exemplo a bacia do Rio Preto onde a agricultura irrigada tem tido sucesso pela construção de pequenas barragens

de terra (RODRIGUES et al., 2007), já que pequenos reservatórios proporcionam água para diferentes usos, reduzem a vulnerabilidade à seca da população instalada numa bacia melhorando seus meios de subsistência, reduzem os fluxos significativos a jusante por armazenamento temporário de água em excesso e ajudam a recarregar os aquíferos subterrâneos aumentando o fluxo de base (POOLMAN, 2005; ADWUBI et al., 2009; RODRIGUES; LIEBE, 2013). Estes tipos de construções tornam-se medidas adequadas a serem implementadas na bacia em estudo, onde se caracteriza a ausência de vegetação natural responsável pela recarga do lençol freático e na ausência desta, a construção de pequenas barragens é uma alternativa viável até a recomposição das Áreas de Proteção Permanente.

O sistema de drenagem, de acordo com a hierarquia de Strahler (STRAHLER, 1957), apresentou grau de ramificação de terceira ordem, sendo ordem inferior ou igual a 4 comum em pequenas bacias hidrográficas (TEODORO et al., 2007) e reflete os efeitos diretos do uso do solo; quanto mais ramificada for a rede, mais eficiente será o sistema de drenagem (TONELLO et al., 2006).

A altitude média da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida é de 399,5 m (**Tabela 10**) e esta é importante para caracterizar a influência da quantidade de radiação que a bacia recebe e, consequentemente na evapotranspiração e precipitação (CASTRO; LOPES, 2001). Quanto maior a altitude, menor a quantidade de energia solar que o ambiente recebe, além do balanço de energia, a temperatura também varia em função da altitude; grandes variações na altitude ocasionam diferenças significativas na temperatura, causando variações na evapotranspiração (TONELLO et al., 2006).

A declividade média encontrada na bacia foi de 5,4%, sendo esse valor condizente com o relevo suave-ondulado da região. Na **Tabela 9**, observa-se que a grande parte do relevo da bacia correspondeu ao ondulado (8 - 20 %), representando 63,77% da área total. A declividade média de uma bacia hidrográfica é relevante no planejamento e possui importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo. A ausência de cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas, conduzirá à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em enchentes mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação. Assim, a magnitude dos picos de enchentes ou a menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade à erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento superficial, que está fortemente relacionado com o relevo (TONELLO et al., 2006; ANTONELI; THOMAZ, 2007).

A exposição da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida não tem uma orientação do terreno predominante, sendo que aproximadamente 16% da área total da bacia

apresenta orientação do terreno para a direção oeste - noroeste. A orientação corresponde a exposição da bacia aos raios solares. As bacias com orientação norte recebem maior quantidade de calor do que as de orientação sul. Nas bacias de orientação norte se esperam maiores taxas de evapotranspiração, sendo que as nascentes de orientações sul e leste são conservadoras de umidade, e as de orientação norte e oeste são dispersoras (TONELLO et al., 2006).

#### **2.4.2 A bacia do córrego Cabeceira Comprida como produtora de água**

A realidade explícita no mundo atual demonstra o descaso com que a globalização e os sistemas econômicos mundiais têm tratado o ambiente, de tal maneira que o mesmo se apresenta como “eterno” (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002). A natureza deve ser considerada como fator condicionante às atividades antrópicas, onde se deve buscar uma máxima eficiência em sua utilização e um mínimo de perdas em seu manuseio. No Brasil, desde os anos 60, os processos de industrialização e urbanização apresentam-se acelerados e não planejados, na maioria dos casos. No estado de São Paulo, o processo de crescimento acelerado e desgovernado contribuiu para o agravamento dos problemas ambientais (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002), este manejo inadequado dos recursos naturais tem como consequência a crescente degradação desse meio (BERNARDI et al., 2013), como acontece na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida em Santa Fé do Sul - SP (**Figura 9**), onde nem as nascentes, nem os mananciais e nem a zona riparia estão protegidas.

A bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida armazena o excedente de água, produzida pela própria bacia e pelas suas 21 nascentes, em duas represas com capacidade de armazenamento médio aproximado de 534.738 m<sup>3</sup>. Água que deveria garantir o adequado suprimento hídrico para a agropecuária presente, para o abastecimento da cidade de Santa Fé do Sul e ainda ser a suficiente como para gerar excedentes para a diluição do efluente gerado pelo sistema de tratamento de esgoto. Mas como apenas 5 das 21 nascentes estão protegidas, em anos com eventos extremos de estiagem (Figura 6) o abastecimento de água na bacia vê-se comprometido, pese o país contar com 12 a 16% das reservas de água doce do mundo, esse recurso natural é mal distribuído e sujeito ao risco da escassez (TEIXEIRA, 2011), como aconteceu na severa estiagem de 2004 e de 2013-2014. Anos nos quais tiveram que se tomar ações de caráter emergencial como perfurar poços e racionamento de água (G1, 2014). A gestão das bacias carece de aperfeiçoamento, dado que as políticas públicas têm se revelado insuficientes para garantir sua sustentabilidade (TEIXEIRA, 2011), em que pese o fato de em

média, com uma chuva total anual de 1271 mm, são recebidos na bacia 40,75 milhões de m<sup>3</sup> em um ano, *grosso modo*, -sem decompor a vazão no tempo, necessária pelos escoamentos de superfície e de base-, garantiria uma vazão média de 1,0 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> -já descontada a evapotranspiração média de 0,7 mm dia<sup>-1</sup>- e o acesso diário médio à aproximadamente 656 mil pessoas. Aproximadamente 20 vezes a população de Santa Fé do Sul, não deveria faltar agua, mas as deficientes práticas de manejo da bacia e os problemas de desmatamento acumulados ao longo do tempo, degradaram a bacia ao ponto de nem sequer ser capaz de abastecer água para uma população 20 vezes inferior a capacidade que ela pode sustentar.

A bacia em estudo sofre as consequências do desmatamento (NOGUEIRA, 2010) e da carência ou não existência de matas ciliares (TOSTI; CARVALHO; LIMA, 2014), o que origina erosão, embora as características morfométricas da bacia em tese, minimizem o deslocamento do solo (**Tabela 10**), perda da qualidade da água, como aconteceu no segundo semestre do 2014 onde uma água “escura” saiu pelas torneiras dos moradores do Município de Santa Fé do Sul (COAGUILA; HERNANDEZ; TEIXEIRA, 2015) pelo aumento da concentração de ferro. Fato é que, na prática, a presença de *Typha* em área superior à Áreas de Preservação Permanente (APP) inicialmente prevista a partir do leito original evidencia a alteração da calha do leito, com o alargamento da margem e diminuição de profundidade, como consequência do transporte de sedimentos e assoreamento do córrego.

O volume de água excedente da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (armazenado em suas duas represas) abasteceria à população de Santa Fé do Sul do ano 2015 (IBGE, 2016a; SNIS, 2016) apenas durante 90 dias, obrigando à uma mínima vazão de entrada constante para que o sistema seja viável. Considerando que a região do Noroeste Paulista tem oito meses de estiagem (abril a novembro) e ainda durante a época seca se apresentam quatro meses (junho a setembro) com o maior déficit hídrico (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010), situação que vê-se agravada pela falta de Áreas de Preservação Permanente. Ações de manejo na bacia hidrográfica em estudo são necessárias senão se quer repetir os eventos de 2004 e 2013-2014.

Diversos diplomas legais contemplam a obrigatoriedade de que seja mantida e, quando necessário restaurada, a vegetação natural que deve recobrir as Áreas de Preservação Permanente e a Reserva Legal. Considerando a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida a largura mínima da APP ao longo de qualquer curso de água, em cada margem e projeção horizontal, deveria ser de 30 m e ainda num raio mínimo de 50 m nas nascentes (GALVÃO; PORFIRIO-DA-SILVA, 2005). Cenário que não representa a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida onde, em geral, os cursos de água não apresentam APP e

apenas 24% das nascentes estão dentro dos requerimentos mínimos de largura das Áreas de Preservação Permanente.

O manejo adequado da bacia do córrego Cabeceira Comprida deve estar orientado a produzir bens e serviços, sem destruir ou afetar adversamente o solo e a água (BROOKS et al., 1991). O uso dos recursos naturais da bacia deve estar baseado em que existe uma inter-relação delicada entre o uso da terra, o solo e a água; e que existe uma interligação entre as cabeceiras, a média bacia, a baixa bacia e o estuário. O uso destes recursos, deve ser planejado com base nos limites naturais das bacias hidrográficas e não nos limites políticos (LIMA, 2008).

Práticas de manejo integrado são necessárias na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida e vão além da aplicação de técnicas de manejo e conservação de solos em nível de propriedades rurais isoladas, pois integram medidas de saneamento básico e saúde pública; proteção de nascentes; critérios para delimitação de reservas florestais/ecológicas; recuperação de áreas degradadas e proposição de alternativas produtivas em consonância com as aptidões agroclimáticas da bacia hidrográfica (SOUZA; FERNANDES, 2000).

A Agência Nacional de Águas (ANA) desenvolveu um programa voltado à conservação de mananciais estratégicos, onde os benefícios ambientais proporcionados por produtores participantes são, depois de devidamente certificados, compensados financeiramente, de forma proporcional ao abatimento da sedimentação na bacia. Este programa, intitulado “Produtor de Água”, foi desenvolvido seguindo as tendências de programas agroambientais (CHAVES et al., 2004b) e tem como objetivo principal a redução da erosão e assoreamento dos mananciais nas áreas rurais (ANA, 2003). Como exemplo, na bacia do ribeirão Pipiripau (Distrito Federal), se o programa fosse implementado e, supondo que todos os produtores participassem do mesmo, o abatimento médio da sedimentação na bacia seria de 73%, triplicando-se a vida útil do reservatório existente, se economizaria 74% dos custos de tratamento de água reduzindo assim em 73% a carga de poluentes (mercúrio e pesticidas), redução significativa dos riscos de interrupção de água (CHAVES et al., 2004a). Benefícios sumamente necessários na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, onde sua distribuição climática durante as estações do outono e inverno não são favoráveis (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010).

Como exemplos de sucesso podemos citar a cidade de Extrema - MG, onde o conceito do Programa Produtor de Água foi implementado com o nome Projeto Conservador das Águas em 2005, com a participação da Prefeitura Municipal de Extrema, o Instituto Estadual

de Florestas do Estado de Minas Gerais (IEF-MG), a Agência Nacional de Águas e a *The Nature Conservancy*. Cujos objetivos foram aumentar a cobertura vegetal, implantar corredores ecológicos, reduzir a poluição difusa rural entre outros. O sucesso do projeto foi devido à firme disposição da Prefeitura Municipal de Extrema que promulgou a primeira lei municipal do Brasil que prevê o pagamento aos produtores rurais pelos serviços ambientais por eles prestados (R\$ 152 ha ano<sup>-1</sup>, no 2007) (PEREIRA et al., 2010b; KFOURI; FAVERO, 2011). O maior benefício foi a soberania hídrica do município, quando atravessou a pior seca já registrada na história sem nenhum problema para a população de Extrema (PORTAL BRASIL, 2017).

E também, a cidade de Nova Iorque onde a água do sistema potável provém de três bacias Croton, Delaware e Catskill (as duas últimas subministram 90% da água). Este sistema de bacias interligadas começou em Croton (1842), logo em 1907 se estendeu à distante bacia Catskill e em 1938 à mais distante Delaware. Nos anos noventa uma estratégia de gestão de bacias foi impulsionada pela norma de Tratamento de Água Superficial da Agencia para a Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos. Dita norma exige que se filtre a água de fontes superficiais em todos os sistemas municipais de água. As implicações financeiras foram enormes na construção de um sistema de filtração para os sistemas Catskill/Delaware (US\$ 6 mil milhões mais de US\$ 200 - 300 milhões anuais para custos operacionais). Frente aos exorbitantes custos de filtração de água o Departamento de Proteção do Meio Ambiente intento impor, em 1990, novas regulações no uso do solo nas bacias Castskill/Delaware que foram rejeitadas pelas comunidades. Após vários anos de negociações, em 1997 surgiu a nova estratégia de gestão de bacias, este novo plano comprometeu à cidade de Nova Iorque com uma estratégia de gestão de bacias a longo prazo que permite dar autonomia aos agricultores através de recursos econômicos para melhorar a qualidade da oferta da água, onde os agricultores gerenciaram seus próprios resíduos a fim de aliviar a poluição (ROSA; KANDEL; DIMAS, 2003; LIN, 2014).

Perante as experiências implementadas com sucesso, como supracitado, é de suma importância a adoção de medidas urgentes para a sustentabilidade da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, fornecendo serviços ambientais os quais estão diretamente ligados à saúde ambiental, por sua vez diretamente proporcional à saúde e ao bem-estar das populações (FAVARO; ROSSIN, 2014). Recentemente, foi encontrada uma relação direta entre a diversidade de árvores e o benefício econômico que aportam, aproximadamente cinco vezes mais do que custa conservá-las, sendo rentável conservar estes repositórios de biodiversidade (LIANG et al., 2016), ou seja, o benefício de adotar medidas de gerenciamento

sustentável na bacia do córrego Cabeceira Comprida, manter as matas ciliares e recuperá-las, é altamente rentável.

A ideia de pagamento por serviços ambientais, no caso, a recomposição ciliar na APP e demais ações que minimizam processos erosivos não é nova (ISAKSON, 2002), mas para a sua implantação, mais que recursos financeiros, há a necessidade de conscientização da sua importância para que haja engajamento ou adesão às boas práticas preconizadas que resultarão na preservação dos recursos hídricos, ainda que o tema tem sido objeto de muitas matérias em diferentes mídias (APPLETON, 2012; CUAUHTÉMOC LEÓN et al., 2012) e campanhas educativas como proposto pelo programa Produtor de Água (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS- ANA -, 2003). Ainda com o passivo ambiental muito grande e perda de qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos, é importante ressaltar a ligação entre os serviços ambientais e a saúde ambiental (FAVARO; ROSSIN, 2014).

A gestão de bacias hidrográficas vem se aprofundando, pois ela é considerada a unidade para o planejamento e conservação do ambiente natural e urbano (BERNARDI et al., 2013). No exutório da bacia estão representados todos os processos (urbanos, agrícolas, industriais ou de preservação) que fazem parte do seu sistema, o que ali ocorre é consequência das formas de ocupação do território e da utilização das águas que para ali convergem (PORTO; PORTO, 2008). A mais grave agressão ambiental perpetrada na bacia em estudo foi a remoção da cobertura vegetal original (**Figura 9**), sendo que o Estado de São Paulo até o início do século XX, era coberto por mais de 80% de florestas e que com o avanço da agricultura houve desmatamento (NOGUEIRA, 2010). Com base nestas observações, a recomposição da vegetação ao menos nas cumeeiras, vertentes de maior declividade e margens dos cursos de água seria uma medida urgente no sentido de proteger as nascentes e mananciais. A adoção de técnicas agrícolas mais adequadas às características morfoclimáticas da região (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010) seria desejável, reduzindo assim a erosão (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002).

Em consequência, o adequado manejo da bacia hidrográfica está nas mãos dos tomadores de decisões, embora os governos municipais apresentaram-se incapazes de acompanhar o crescimento acelerado (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002), fato este observado na bacia do córrego Cabeceira Comprida (**Figura 9**) mesmo já tendo a experiência da falta por água em 2004, nenhuma ação evidente ou efetiva foi feita pelo poder público, tampouco a mobilização dos produtores inseridos na bacia, para que a incontestável situação de degradação do manancial pudesse ser minimizada.

Portanto, é necessário o planejamento sustentável da bacia, antes mesmo de se avaliar os diferentes usos da água pelas plantas ou de caracterizar as condições geográficas naturais e as ações antrópicas atuais. Devendo-se priorizar as zonas ripárias, que mantem as características naturais dos corpos de água (SILVA, 2003), uma alteração destas zonas desestabiliza o delicado equilíbrio ambiental, como observado na bacia do córrego Cabeceira Comprida (**Tabela 11**) com apenas 4% de Mata Remanescente. Tornando-se de suma importância a reabilitação da zona ripária, já que esta é capaz de estabilizar taludes e encostas, manter a morfologia do córrego e dar proteção a inundações, reter sedimentos e nutrientes, mitigar a temperatura da água e do solo, fornecer alimento e habitat para criaturas aquáticas, dar manutenção aos corredores ecológicos, para paisagem e recreação, fixar gás carbônico e até interceptar escombros rochosos (SILVA, 2003). Além disso, Para não alterar o ciclo da água é necessário conservar os mananciais e a vegetação, principalmente no entorno de rios e em topo de morros, que são importantes para a manutenção da dinâmica da bacia estas áreas são designadas Áreas de Proteção Permanente (APPs), sendo protegidas por lei no Brasil (MACHADO et al., 2011). Porém, a bacia e ações nela contidas devem ser pensadas em conjunto, e assim, práticas como terraços ou curvas de nível, cultivo mínimo, ou plantio direto devem ser consideradas.

Sendo a largura ideal para as funções da zona riparia de 10 - 15 m para estabilidade de taludes, de 15 - 30 m para habitat de peixes, + 30 m para remoção de nutrientes, de 30 - 45 m para controle de sedimentos, + de 60 m para controle de enchentes e + de 90 m para habitat da vida silvestre (CRJC, 2016). Realidade que deveria ser concretizada na bacia do córrego Cabeceira Comprida, onde a zona riparia não pode cumprir suas funções naturais por carecer de faixa vegetativa ao longo de todo o córrego e na maioria das suas nascentes (**Figura 9**; **Tabela 11**).

#### **2.4.3 Evapotranspiração atual da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida**

A variabilidade espacial e temporal da evapotranspiração atual ( $ET_a$ ; **Figura 55**) deve-se principalmente à influência das variáveis meteorológicas, precipitação pluviométrica (P) e radiação solar global ( $R_G$ ), que interagiram na bacia em estudo (**Figura 6**) e aos processos decorrentes das mesmas. Confirmando o reportado por Scott et al. (2000), que a  $R_G$  e a P são controladores da  $ET_a$ . Sendo também, que a disponibilidade de água no solo influencia na quantidade de energia utilizada para a evapotranspiração (ANDRADE et al., 2015), e a que a reposição da água no solo, após o período de estiagem, acontece em dezembro, sendo

necessários 28 dias para restituir a água no solo (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010). Cabe destacar que a bacia em estudo se encontra numa área antropizada de Mata Atlântica (NOGUEIRA, 2010; IBGE, 2016b). Onde o estado de São Paulo até o início do século XX, era coberto por mais de 80% de florestas e que com o avanço da agricultura houve o desmatamento, restando florestas apenas na Serra do Mar. Além disso, a erosão do solo provocou intenso assoreamento nos rios. Pode-se dizer, que se vive a época das matas secundárias. Tornando-se de suma importância a recuperação das matas ciliares ou de encostas para preservação, conservação de fauna, combate a erosão (NOGUEIRA, 2010) e aproveitamento dos serviços ecossistêmicos fornecidos pela vegetação (AMACHER; OLLIKAINEN; UUSIVUORI, 2014), como interceptação foliar da precipitação e recarga do lençol freático (KRISHNASWAMY et al., 2013), ciclagem de nutrientes (GONZÁLEZ et al., 2014) dentre muitos outros benefícios para o ecossistema local.

A média anual da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve uma variação que foi desde  $0,42 \text{ mm dia}^{-1}$  no ano 2003 a  $1,03 \text{ mm dia}^{-1}$  no ano 2015, com uma média para o período de estudo (2000-2011 e 2013-2015) de  $0,70 \text{ mm dia}^{-1}$ . Na literatura valores próximos aos descritos foram encontrados na bacia do córrego da Mula que abrange a bacia em estudo, Coaguila, Hernandez e Teixeira (2015), reportaram  $\text{ET}_a$  de 0,39 e  $1,35 \text{ mm dia}^{-1}$  na época seca e úmida, respectivamente, no ano 2013; e  $0,40 \text{ mm dia}^{-1}$  na época seca do ano 2014. Enquanto, Franco, Hernandez e Teixeira (2014), analisaram imagens da época seca de 14 anos, numa bacia do rio Tietê no Noroeste Paulista, sendo os valores descritos de 0 a  $4,32 \text{ mm dia}^{-1}$ , e com médias desde  $0,77$  a  $2,03 \text{ mm dia}^{-1}$ , valores elevados que são explicados pelos pivôs centrais e pelo significativo corpo de água presente na área de estudo. Teixeira et al. (2015c), durante o 2012 no Pantanal - MS, obtiveram  $\text{ET}_a$  média anual de  $1,43 \text{ mm dia}^{-1}$ , devido as próprias condições do ecossistema, como observado pelos autores na fração evaporativa média de 0,54. Entre tanto, Teixeira et al. (2015a) na região semiárida do Brasil, sob irrigação, durante o ano 2013 e 2014, reportaram  $\text{ET}_a$  de 0 a  $7,00 \text{ mm dia}^{-1}$ , com médias de 1,30 a  $3,30 \text{ mm dia}^{-1}$  para a área de estudo, enquanto a média, no 2014, das culturas irrigadas foi  $2,8 \text{ mm dia}^{-1}$  e  $2,00 \text{ mm dia}^{-1}$  da vegetação natural. Coaguila et al. (2016), no ano 2014 na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, encontraram os menores valores médios de  $\text{ET}_a$  ( $0,38 \text{ mm dia}^{-1}$ ) no inverno e os maiores valores de  $\text{ET}_a$  ( $2,05 \text{ mm dia}^{-1}$ ) no verão. Teixeira et al. (2016), obtiveram uma média da  $\text{ET}_a$  de  $1,4 \text{ mm dia}^{-1}$ , para o município de Santa Fé do Sul no período de maio de 2013 a outubro de 2014. Franco et al. (2016), em três bacias do rio Tietê no Noroeste Paulista, obtiveram uma média de  $1,18 \text{ mm dia}^{-1}$ .

#### **2.4.3.1 *Balanço entre ganhos e perdas***

Houve variação anual do comportamento climático na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida (**Figura 6**), mantendo-se a influência da época seca e chuvosa, com algumas alterações inerentes a cada ano, corroborando com o comportamento típico da região descrito por Hernandez et al. (2003) e Santos; Hernandez e Rossetti (2010), que caracterizam a região com até oito meses de déficit hídrico (abril-novembro) e com quatro meses de excedente hídrico (dezembro e de janeiro-março), destacando os meses de maior déficit hídrico (junho-setembro). Lembrando que aproximadamente de 30 a 70% da precipitação recebida pela superfície deve ser retornada à atmosfera via evapotranspiração (BAUMGARTNER; REICHEL; LEE, 1975; FUJIEDA et al., 1997), a bacia em estudo retorna em média 37%, relacionando-se este retorno aos processos atmosféricos, hidrológicos e ecológicos (PIELKE et al., 1998).

Contrastando com climas mediterrâneos, onde a diferença entre os acumulados de evapotranspiração e precipitação é de 200 mm (TREPEKLI; LOUPA; RAPSOMANIKIS, 2016) a bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida teve uma diferença de quase duas vezes aos valores encontrados neste tipo de climas (363 mm), onde a escassez de água é uma característica natural deste tipo de ambiente.

#### **2.4.3.2 *Comportamento da ET<sub>a</sub> durante o ano***

Os dados de ET<sub>a</sub> obtidos na área de estudo, ao serem comparados, obteve-se algumas diferenças entre cada data comparada separadamente por ano. Devido aos eventos de precipitação pluviométrica que aconteceram antes da data da passagem do satélite (acima ou abaixo da média acumulada de 16 dias), que forneceu a quantidade de água requerida para os processos evapotranspirativos, e à RG durante o período de estudo de cada passagem do satélite (Figura 6). Já que é necessário que exista um estoque de agua no solo requerida pelos processos evapotranspirativos (TEIXEIRA et al., 2015b) em conjunto com uma quantidade suficiente de radiação solar global incidente (ANDRADE et al., 2015). Sendo estas duas variáveis independentes (P e RG), controladoras da ET<sub>a</sub> (SCOTT et al., 2000).

Vários estudos tem demonstrado que a evapotranspiração é controlada por variáveis climáticas como a radiação solar, temperatura do ar, conteúdo de água no solo, déficit de pressão de vapor, e por fatores biológicos como o desenvolvimento e emergência foliar

(MONTEITH, 1965; PRIESTLEY; TAYLOR, 1972; STOY et al., 2006; HU et al., 2009; ZHA et al., 2010; WAGLE et al., 2016, 2017).

Na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida se alcança o maior pico de evapotranspiração durante o verão, e as menores taxas evapotranspiratórias se apresentam durante a época seca, em particular durante o inverno (**Figura 55**), como descrito por Santos, Hernandez e Rossetti (2010).

#### **2.4.3.3 Comportamento da ET<sub>a</sub> em cada uso e ocupação do solo**

Como descrito anteriormente, a ET<sub>a</sub> é favorecida por elevados valores de R<sub>G</sub> e P, os quais ajudam a vegetação na transferência de água à atmosfera (TEIXEIRA et al., 2015b). Como foi observado na bacia em estudo durante a época chuvosa (**Figura 6**).

Os valores elevados de ET<sub>a</sub> no começo da época seca foi devida à precipitação pluviométrica antecedente que conserva ainda a vegetação úmida e verde (TEIXEIRA et al., 2015b), e os valores elevados de ET<sub>a</sub> da época seca devido a precipitações atípicas, e os de final da época seca devido a que a restituição de água no solo ocorre até final de dezembro, quando a água fica facilmente disponível às plantas para realizarem suas atividades metabólicas e fisiológicas (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010).

Como sugerem os resultados de ET<sub>a</sub> elevados (valores superiores à média anual), durante o início da época seca, até a vegetação consumir toda a água facilmente disponível, aproximadamente até a primeira metade de maio. Iniciando-se assim a época seca propriamente dita com R<sub>G</sub> baixo (inferior à média anual) e com praticamente nenhuma precipitação considerada significativa para a agricultura (exceto em setembro, com ocorrências de chuvas atípicas). Setembro é considerado dentro do período de maior déficit hídrico e com R<sub>G</sub> inferior à média anual, se conseguiu alcançar ET<sub>a</sub> elevada (superior à média anual). Tornando-se assim a precipitação mais importante que a R<sub>G</sub>. Devido a que o solo seco (déficit hídrico) afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas e relaciona-se estritamente à distribuição irregular da precipitação (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010), tal déficit hídrico influencia na quantidade de energia que é partionada, diminuindo a quantidade de energia para o fluxo de calor latente (evapotranspiração) aumentando a partição de energia destinada ao fluxo de calor sensível (ANDRADE et al., 2015). Embora, na escala temporal climática exista um padrão de comportamento da precipitação pluviométrica, quando observada desde uma escala anual, estes eventos tendem mais à estocasticidade.

Destaca-se o papel importante da P e da R<sub>G</sub> no fornecimento de água facilmente disponível no solo e de energia para os processos evapotranspirativos (SANTOS; HERNANDEZ; ROSSETTI, 2010; ANDRADE et al., 2015), estas variáveis meteorológicas complementam a explicação do comportamento temporal (DSA) e por U&O da ET<sub>a</sub> na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida.

No U&O correspondente às EI (**Figura 12A**), em geral, nestas espécies (macrófitas aquáticas) a disponibilidade de água não é um problema (SIMÃO, 2016), por estarem instaladas no córrego ou próximo dele. Razão pela qual as semelhanças ou diferenças entre DSA não podem ser explicadas diretamente pela precipitação pluviométrica (**Figura 6**). E, se de maneira indireta, pelo fato desta variável meteorológica ter influência no transporte de nutrientes para a água e no pH, que tem influência na maioria dos padrões de floração e frutificação (ESTEVES, 1998; CAMPOS et al., 2012). Assim como a produção primária, crescimento e estabelecimento que são influenciadas pelos parâmetros químicos da água (SIMÃO, 2016). As semelhanças (ou diferenças) coincidem com valores acima ou abaixo da média da temperatura (segundo a época do ano), já que o fotoperíodo e a temperatura são muito importantes, funcionando como gatilho para as fenofases de plantas aquáticas (SIMÃO, 2016).

Na literatura se reporta a evapotranspiração de *Typha* a partir de décimos de milímetros no inverno a 3-4 mm dia<sup>-1</sup> no verão (GOULDEN; LITVAK; MILLER, 2007), de 3,5 a 3,6 mm dia<sup>-1</sup> (ABTEW, 1996), 3,9 mm dia<sup>-1</sup> (ABTEW; OBEYSEKERA, 1995), de 0,4 a 1,3 mm dia<sup>-1</sup> (PRICE, 1994), 1,3 mm dia<sup>-1</sup> (PRATT et al., 1987, 1988), de 1,2 a 3,0 mm dia<sup>-1</sup> (KROLIKOWSKA, 1978), de 1,9 a 4,7 mm dia<sup>-1</sup> (BERNATOWICZ; LESZCZYNSKI; TYCZYNSKA, 1976). Todas as diferenças significativas na evapotranspiração acontecem pelas variações no microclima, regime hídrico e pelas próprias características intrínsecas da espécie (DUBBE; GARVER; PRATT, 1988; ALENCAR, 1994). Sendo as condições microclimatológicas de grande importância (BERNATOWICZ; LESZCZYNSKI; TYCZYNSKA, 1976).

*Typha* sp. é uma espécie emergente, que sombreia o meio e impede o desenvolvimento de outros vegetais e libera o oxigênio gerado na fotossíntese para fora da água (BIANCHINI JUNIOR, 2003). A colonização por macrófitas aquáticas aumenta as perdas de água, devido à evapotranspiração, sendo ainda mais acentuada quando *Typha latifolia* é a colonizadora (ROSA et al., 2009). Inclusive, podem formar ilhas flutuantes no período chuvoso (MARCONDES; MUSTAFÁ; TANAKA, 2003). A sua presença, indica em geral, que a qualidade da água não é boa e que os usos podem estar comprometidos (PEDRALLI, 2003).

Além disso, estas espécies ajustam-se as alterações naturais decorrentes de ciclos hidrológicos e às mudanças de origem antrópica, sobrevivendo ao fogo e tendendo a dominantes (POTT; POTT, 2003). Provocando desequilíbrio, tornando-se infestantes em açudes e várzeas úmidas, impedindo seu aproveitamento adequado e proporcionando excelentes condições para a reprodução de mosquitos (BIANCO; PITELLI; PITELLI, 2003). Martins et al. (2003), propõem que o levantamento de infestação de plantas aquáticas, permite a análise do grau de infestação e distribuição. E, a partir desses dados, devem ser tomadas medidas de monitoramento ou até métodos mais radicais de controle. Podendo utilizar as folhas de *Typha* spp. como opção forrageira à nutrição de ruminantes devido ao seu valor nutricional (NASCIMENTO et al., 2014). Na bacia do rio Paraná, que abrange nossa área de estudo, a frequência de ocorrência de *T. latifolia* foi aproximadamente 50%, nos 18 reservatórios estudados, pertencentes a cinco bacias hidrográficas do estado de São Paulo (MARTINS et al., 2008).

Em relação à fenologia, a produção de botões e flores ocorre durante todo o ano e é mais acentuada no período chuvoso, a frutificação no término do período seco e no período chuvoso. O ambiente aquático ainda é pouco estudado, assim como os fatores que influenciam a fenologia são pouco conhecidos (SIMÃO, 2016).

No U&O correspondente a MR apresentou em média no período de estudo 1,20 mm dia<sup>-1</sup>, com a maior média anual no 2013 (1,47 mm dia<sup>-1</sup>) e enquanto o menor valor foi registrado no ano 2003 (0,93 mm dia<sup>-1</sup>); os valores de ET<sub>a</sub> próximos, na escala anual, estão relacionados às condições meteorológicas da região (R<sub>G</sub>, P e temperatura) (**Figura 6**), onde a disponibilidade de água no solo é regulada pela precipitação, e a energia necessária para os processos evapotranspirativos pela radiação incidente na área de estudo. Os padrões fenológicos não são apenas afetados pelo clima (PESSOA, 2011), podem ser afetados pelas características intrínsecas às espécies e pelos fatores ecológicos (ALENCAR, 1994; RAMIREZ et al., 2012).

Na literatura se descreve a evapotranspiração da Mata Atlântica da Serra da Mantiqueira - MG com uma média anual de 3,3 mm dia<sup>-1</sup>, representando em média a 48% da precipitação total (ÁVILA, 2011) e variou de 1,0 a 8,6 mm dia<sup>-1</sup>, representando em média 89% da precipitação total (PEREIRA et al., 2010a). Na Mata Atlântica de São Paulo e Cunha - SP, foram obtidos valores de evapotranspiração de 2,0 a 2,8 mm dia<sup>-1</sup>, representando 44,8% e 78,6% da precipitação total, respectivamente (CICCO, 2009). Em Serra do Mar - SP a evapotranspiração média anual foi 1,9 mm dia<sup>-1</sup>, representando 39,1% da precipitação total (DONATO et al., 2008). Num remanescente de Mata Atlântica no litoral de Espírito Santo a

evapotranspiração média anual foi  $3,7 \text{ mm dia}^{-1}$ , mantendo a razão entre a evapotranspiração e precipitação praticamente unitária (ALMEIDA; SOARES, 2003). Na Mata Atlântica de Serra do Mar - SP, as médias de evapotranspiração anual foram de  $1,5$  a  $1,9 \text{ mm dia}^{-1}$ , representando 30% da precipitação total (FUJIEDA et al., 1997).

A Mata Atlântica consiste de um ecossistema ameaçado de extinção no Brasil. Sua distribuição no território brasileiro praticamente se restringe a remanescentes em áreas de montanhas e cabeceiras de bacias hidrográficas (ÁVILA, 2011). Durante períodos nos quais o regime pluvial está próximo ou é superior às condições normais, a Mata Atlântica desempenha papel fundamental na produção de água, atenuando o escoamento superficial direto e promovendo melhores condições hidrológicas do solo para infiltração (ÁVILA, 2011). A profundidade radicular das espécies da Mata Atlântica pode atingir cinco metros ou mais. Deste modo, a capacidade de retenção de água na floresta nativa é superior a 400 mm (ALMEIDA; SOARES, 2003).

Em geral, os padrões fenológicos da Mata Atlântica estão adaptados às condições climáticas da região onde as espécies se desenvolvem. Coincidindo a floração com o início do período chuvoso, onde a maior disponibilidade de água no solo, faz viável a reprodução e manutenção da riqueza de espécies. Enquanto, a frutificação acontece no final da época seca e início da chuvosa, garantindo dessa maneira, às espécies arbóreas, o abastecimento necessário, no que se refere a umidade no solo (MANTOVANI et al., 2003; CARDOSO, 2006; COUTO-SANTOS, 2007; PEREIRA et al., 2008; PESSOA, 2011; FREIRE et al., 2013).

Ressaltando um estudo de pouco de mais de 700.000 parcelas, com 30 milhões de árvores de 8.737 espécies em 44 países de todo o mundo, onde foi encontrada uma relação direta entre a diversidade de árvores e o benefício econômico que aportam, aproximadamente cinco vezes mais do que custa conservá-las, sendo rentável conservar estes repositórios de biodiversidade. E, o efeito da redução da riqueza de espécies supõe maiores perdas de produtividade em termos absolutos (LIANG et al., 2016).

No U&O correspondente a Pa apresentou em média no período de estudo  $0,70 \text{ mm dia}^{-1}$ , com a maior média anual no 2015 ( $1,05 \text{ mm dia}^{-1}$ ) e enquanto o menor valor foi registrado no ano 2003 ( $0,39 \text{ mm dia}^{-1}$ ); os valores de ET<sub>a</sub> próximos na escala anual, aconteceram na época seca, onde o comportamento do R<sub>G</sub> foi inferior à média anual e com precipitação pluviométrica acumulada acima da média; antes da data da passagem do satélite (**Figura 6**).

O comportamento da Pa ajusta-se ao regime climático da região, onde a precipitação está fortemente relacionada ao fornecimento de água no solo, tornando-se a ET<sub>a</sub> dependente da umidade do solo. E, pela influência do período seco, a vegetação apresenta-se com o dossel menos verde (ANDRADE et al., 2015). Este dossel, está condicionado ao pastejo, tornando a área da pastagem altamente heterogênea, no que diz respeito a ET<sub>a</sub>. Devido a que geralmente as áreas destinadas a pastejo devem receber animais aproximadamente cada 60 dias ou assim que a planta atinja 75% da altura superior indicada para o manejo da pastagem (EMPRESA BRASILRIA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA, 2016).

Na estimativa da ET<sub>a</sub> Bayma-Silva et al. (2016), utilizando o SAFER em imagens do Landsat 8, em Pirassununga - SP encontrou valores de 0,95 a 1,55 mm dia<sup>-1</sup> para sistema de pastejo rotacionado e contínuo, respectivamente em área de pastagem. Em Santa Maria - RS, utilizando métodos micrometeorológicos, a ET<sub>a</sub> foi 2,7 mm dia<sup>-1</sup> (RUBERT et al., 2016). Utilizando o SAFER, em pastagens de Aiquidauana - MS a evapotranspiração variou de 1,3 a 1,9 mm dia<sup>-1</sup> (ANDRADE et al., 2015). Na área de pastagem de São João - PE a evapotranspiração média foi 3,7 mm dia<sup>-1</sup>, utilizando métodos micrometeorológicos (AMAZONAS et al., 2014). Na bacia hidrográfica do Alto Tocantins - GO, utilizando o SAFER, a evapotranspiração de pastagem com degradação moderada foi 1,36 mm dia<sup>-1</sup>, e a de pastagem com forte degradação foi 1,05 mm dia<sup>-1</sup> (ANDRADE et al., 2014a), sendo que a variabilidade da pastagem degradada foi de 0,4 a 2,3 mm dia<sup>-1</sup> (ANDRADE et al., 2014b). Numa área irrigada sob o sistema de pastejo rotacionado em Campos dos Goytacazes - RJ, a evapotranspiração foi 3,87 mm dia<sup>-1</sup>, utilizando métodos micrometeorológicos (MUNIZ et al., 2014). Numa área de pastagem em Campo Grande - MS, utilizando SEBAL, a evapotranspiração foi de 0,51 a 2,5 mm dia<sup>-1</sup> (ANDRADE et al., 2009). Em pastagem irrigado em Piracicaba - SP a evapotranspiração foi 4,24 mm dia<sup>-1</sup>, utilizando métodos micrometeorológicos (SILVA; FOLEGATTI; NOVA, 2005). Na época chuvosa, com precipitações diárias ao redor de 100 mm, e com IAF entre 0,4 a 1,1, na Região do Cerrado em Planaltina - GO, a evapotranspiração média foi 5,19 mm dia<sup>-1</sup>, utilizando métodos micrometeorológicos (MEIRELLES; FARIAS; FRANCO, 2003).

No U&O correspondente a CA apresentou em média no período de estudo 0,65 mm dia<sup>-1</sup>, com a maior média anual no 2015 (0,97 mm dia<sup>-1</sup>) e enquanto o menor valor foi registrado no ano 2003 (0,35 mm dia<sup>-1</sup>); os valores de ET<sub>a</sub> próximos, em geral, aconteceram no período chuvoso e no seco, onde a maior influência foi dada pela precipitação acumulada (superior à média anual) anterior à data da aquisição da imagem e em geral com R<sub>G</sub> superior à média anual. Na Grécia em algodão irrigado, a evapotranspiração foi de 3,7 a 4,9 mm dia<sup>-1</sup>,

utilizando a metodologia Penman-Monteith FAO (KOTSOPOULOS et al., 2003). Em Arizona a evapotranspiração do algodão com sistema de gotejamento sub-superficial foi 2,0 a 2,7 mm dia<sup>-1</sup> (HUNSAKER et al., 1994). Utilizando a metodologia Penman-Monteith FAO, no oeste da Turquia sob área irrigada a evapotranspiração do algodão foi de 3,0 a 5,8 mm dia<sup>-1</sup> (ALLEN, 2000). Na Geórgia em algodão irrigado a evapotranspiração foi de 2,94 a 6,6 mm dia<sup>-1</sup> (CARREKER, 1963). Teixeira et al. (2014c), em Mato Grosso obteve valores de 0,3 a 3,0 mm dia<sup>-1</sup> para as culturas agrícolas, com uma média de 1,3 mm dia<sup>-1</sup>.

No U&O correspondente a CP apresentou em média no período de estudo 0,72 mm dia<sup>-1</sup>, com a maior média anual no 2013 (1,11 mm dia<sup>-1</sup>) e enquanto o menor valor foi registrado no ano 2003 (0,42 mm dia<sup>-1</sup>); os valores de ET<sub>a</sub> próximos aconteceram no período chuvoso e no seco, destacando os eventos de precipitação superiores à média anual e excepcionalmente quando a precipitação foi inferior à média.

As plantações de eucalipto, como encontrado na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida, exercem controle estomático eficiente em condições de baixa disponibilidade de água (ALMEIDA; SOARES, 2003), a profundidade radicular pode atingir cinco metros ou mais, no eucalipto (final de rotação de 7 anos) a profundidade das raízes chega a 2,5 m. As plantações de eucalipto se comparam à Mata Atlântica quanto à evapotranspiração e ao uso da água do solo. Se consideramos o ciclo de crescimento das plantações de eucalipto como um todo (cerca de 7 anos), o eucalipto pode consumir menos água que a mata nativa (ALMEIDA; SOARES, 2003).

### 3 CONCLUSÕES

A análise da morfometria da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida evidencia condições adequadas para a oferta de água na bacia ao longo do ano, mas seu atual estado de degradação representado pela ausência de matas ciliares, baixa conservação do solo, assoreamento, e presença de espécie invasora *Typha* sp. alteraram as condições naturais das funções de armazenamento e regulação do fluxo de água.

A quantificação da ET<sub>a</sub> durante o período de 2000 - 2011 e 2013 - 2015 na bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida proporcionou melhor entendimento da dinâmica da água evapotranspirada ao longo dos anos na escala de bacia, fortemente influenciada pelo comportamento climático da região, sendo importante para a avaliação dos impactos associados ao uso e ocupação do solo e a disponibilidade efetiva de água para os diferentes usos.

As espécies invasoras consomem (evapotranspiraram) o equivalente a aproximadamente 25% do consumo da população de Santa Fé do Sul, contribuindo para a situação de fragilidade da bacia na sua função econômica e ambiental - especialmente nas condições de déficit hídrico - representada pela oferta de água à população e a diluição do esgoto lançado no córrego, exigindo medidas urgentes de gerenciamento sustentável (serviços ambientais) para minimizar a possibilidade de novos racionamentos de água face ao déficit de água na bacia.

Entre as medidas recomendadas para que haja segurança hídrica a partir da bacia hidrográfica do córrego Cabeceira Comprida estão ações que adotam os princípios e filosofia contidos no projeto Produtor de Água da ANA - reconstituindo as Áreas de Preservação Permanente -, medidas de conservação do solo e construção de barragens de terra, ou ainda, como medida extrema a restituição do leito natural através de drenagem adjacente, com substituição nas áreas ripárias ocupadas por *Typha* sp. e recomposição ciliar nesta área comprovadamente degradada.

Os sistemas de informação geográfica em conjunto com o sensoriamento remoto e o monitoramento climático são desejáveis ferramentas para planejamento e manejo de bacias hidrográficas, permitindo monitorar as áreas espacial e temporalmente, para estimar o estado atual da bacia e o consumo de água pela vegetação.

## REFERÊNCIAS

- ABTEW, W. Evapotranspiration measurements and modelling for three wetland systems in South Florida. **Journal of the American Water Resources Association**, Herndon, v. 32, n. 3, p. 465-473, jun. 1996.
- ABTEW, W.; OBEYSEKERA, J. Lysimeter Study of Evapotranspiration of Cattails and Comparison of Three Estimation Methods. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 1, p. 121-129, 1995.
- ADWUBI, A.; AMEGASHIE, B. K.; AGYARE, W. A.; TAMENE, L.; ODAI, S. N.; QUANSAH, C.; VLEK, P. Assessing sediment inputs to small reservoirs in Upper East Region, Ghana. **Lakes & Reservoirs: Research & Management**, Malden, v. 14, n. 4, p. 279-287, dez. 2009.
- ALEN CAR, J. da C. Fenologia de cinco espécies arbóreas tropicais de Sapotaceae correlacionada a variáveis climáticas na reserva Ducke, Manaus, AM. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 24, n. 3/4, p. 161-182, 1994.
- ALLEN, R. . Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, n. 1-2, p. 27-41, mar. 2000.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. v. 1, 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56)
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) - Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 133, n. 4, p. 380-394, ago. 2007.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSSEN, W. **Surface Energy Balance Algorithms for Land- SEBAL**: advanced training and users manual. Idaho: Idaho Implementation, 2002. v. 1, 98
- ALMEIDA, A. C. de; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de Eucalyptus grandis e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.
- AMACHER, G. S.; OLLIKAINEN, M.; UUSIVUORI, J. Forests and ecosystem services: Outlines for new policy options. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 47, p. 1-3, out. 2014.
- AMANAJÁS, V.; FUNI, C. **Governo do estado do amapá coordenadoria de geoprocessamento e tecnologia de informação ambiental- CGTIA**. Macapá: Governo do estado do Amapá, 2015. v. 1, 22 p.
- AMAZONAS, I. B. A.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; LIMA, J. R. S.; MONTEMNEGRO, S. M. G. L. Avaliação da evapotranspiração de pastagem pelo método do domo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 7, n. 4, p. 716-723, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2014. Brasília: ANA, 2014. v. 1, 103 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Manual operativo do programa produtor de**

**água.** Brasília: ANA, 2003. v. 1, 65 p.

ANDERSON, M. C.; NORMAN, J. M.; MECIKALSKI, J. R.; OTKIN, J. A.; KUSTAS, W. P. A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental United States based on thermal remote sensing: 1. Model formulation. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 112, n. D10, p. 17, 24 maio 2007.

ANDRADE, R. G.; BATISTELLA, M.; AMARAL, T. B.; MENEZES, S. J. M. da C. de. Análise preliminar da variabilidade da evapotranspiração de pastagens com o uso de imagens orbitais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 7., 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009. p. 1-5

ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; NOGUEIRA, S. F.; BAYMA, G.; VICTORIA, D. D. C.; GOMES, A. F. Estimativa da evapotranspiração e da biomassa de pastagens utilizando o algoritmo SAFER e imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa:SBSR-INPE, 2015. p. 3664-3670

ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. de C.; SANO, E. E.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Evapotranspiração em pastagens com indicativos de degradação na bacia hidrográfica do Alto Tocantins. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., 2014, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Instituto INOVAGRI, 2014a. p. 3052-3059

ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. de C.; SANO, E. E.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. de C.; NOGUEIRA, S. F. Pasture evapotranspiration as indicators of degradation in the Brazilian Savanna: a case study for Alto Tocantins watershed. (C. M. U. Neale, A. Maltese, Eds.) In: SPIE, 16., 2014, Amsterdam. **Anais...** Amsterdam: SPIE, 2014b. v. 9239, p. 1-7

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista - Guamiranga-PR. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, 2007.

APPLETON, A. **How New York city kept its drinking water pure - and saved billions of dollars.** [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: <<http://www.onthecommons.org/magazine/how-new-york-city-kept-its-drinking-water-pure-and-saved-billions-dollars>>. Acesso em: 3 jan. 2017.

ARIZA, A. **Descripción y corrección de productos landsat 8 - LDCM (Landsat Data Continuity Mission).** Bogota: IGAC, 2013. v. 1, 46 p.

ARRUDA, G. Bacias hidrográficas, história ambiental e temporalidades. **Revista de História Regional**, Ponta Grossa, v. 20, n. 2, p. 209-231, 2015.

ASCE-EWRI. **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. asce-ewri standardization of reference evapo-transpiration task committe rep.** Reston: ASCE-EWR, 2005. v. 1, 59 p.

ÁVILA, L. F. **Balanço hídrico em um remanescente de mata atlântica da serra da mantiqueira, MG.** 2011. 179 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas)- Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil, 2011.

BARRELLA, W. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO, H. F. (Ed.). - **Matas ciliares: conservação e recuperação.** 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 187-207.

BASTIAANSSEN, W. G. SEBAL - based sensible and latent heat fluxes in the irrigated

- Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 229, p. 87-100, mar. 2000.
- BASTIAANSSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 212-213, n. 1-4, p. 198-212, dez. 1998.
- BAUMGARTNER, A.; REICHEL, E.; LEE, R. **The world water balance: mean annual global, continental and maritime precipitation, evaporation and run-off**. New York: Elsevier Scientific, 1975. v. 1, 179 p.
- BAYMA-SILVA, G.; DE CASTRO TEIXEIRA, A. H.; DE CASTRO VICTORIA, D.; FURLAN NOGUEIRA, S.; FREITAS LEIVAS, J.; COAGUILA, D. N.; RODRIGUES HERLING, V. Energy balance model applied to pasture experimental areas in São Paulo State, Brazil. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 18., 2016, Edinburgh. **Anais...** Edinburgh: SPIE, 2016. p. 1-10.
- BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Ciência Naturais e Tecnológicas**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2013.
- BERNATOWICZ, S.; LESZCZYNSKI, S.; TYCZYNSKA, S. The influence of transpiration by emergent plants on the water balance in lakes. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 2, p. 275-288, jan. 1976.
- BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. v. 1, 360 p.
- BEZERRA, M. V. C. **Determinação do coeficiente de cultivo e da biomassa do algodoeiro irrigado por meio de imagens TM - Landsat 5**. 2009. 91 f. Tese (Doutorado em Meteorologia)- Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil, 2009.
- BEZERRA, M. V. C.; DA SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G.; BORGES, V. P.; DE OLIVEIRA, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais. **Revista Ciencia Agronomica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 64-71, 2012
- BIANCHINI JUNIOR, I. Modelos de crescimento e decomposição de macrófitas aquáticas. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003. cap. 4.p. 85-126.
- BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; PITELLI, A. M. C. M. Estimativa da área foliar de *Typha latifolia* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 257-261, ago. 2003.
- BOVE, C. P. **Typhaceae in lista de espécies da flora do Brasil**: Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://reflora.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB15033>>. Acesso em: 16 abr. 2016.
- BOYD, C. E. Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters. **Economic Botany**, Bronx, v. 24, n. 1, p. 95-103, jan. 1970.
- BRASIL. Lei Federal n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismo de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasilia, 1981.

BRASIL. Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.

BRASIL. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**-DOU n. 53, 18 mar. 2005, p. 58-63.

BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? **Water Science and Technology**, Oxford, v. 35, n. 5, p. 11-17, 1997.

BROOKS, K. N.; FFOLLIOT, P. F.; GREGERSEN, H. M.; THAMES, J. L. **Hydrology and the management of watersheds**. Iowa: Iowa StateUniversity, 1991. v. 1, 391 p.

BUTLER, J. A.; MOUCHOT, M. C.; BARALE, V.; LEBLANC, C. **Aplicación de la tecnología de percepción remota a las pesquerías marinas: manual introductorio**. 2. ed. Roma: FAO, 1990. v. 1, 212 p. (Documento Técnico de Pesca, 295).

CALIJURI, M. C.; BUBEL, A. P. M. Conceituação de microbacias. In: LIMA, W.; ZAKIA, M. J. B. (Ed.). **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RiMA, 2006. p. 45-59.

CAMPOS, C. F. de; SOUZA, G. S. F. de; MARTINS, D.; PEREIRA, M. R. R.; BAGATTA, M. V. B. Controle de plantas daninhas aquáticas rain influence after imazamox spraying on aquatic weed. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 413-419, 2012.

CAPRA, F. **Alfabetização ecológica**. São Paulo: Cultrix, 2007. 312 p.

CARDOSO, F. C. G. **Fenologia de árvores da floresta atlântica no litoral do paraná: comparações entre categorias sucessionais**. 2006. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas)- Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CARREKER, J. R. The relation of solar radiation to evapotranspiration from cotton. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 68, n. 16, p. 4731-4741, 15 ago. 1963.

CARVALHO, L. G. de; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul. 2011.

CASTRO, P.; LOPES, J. D. S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa: CPT, 2001. v. 1, 84 p.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised landsat-5 tm radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 41, n. 11, p. 2674-2677, nov. 2003.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARSİ, J. A. Revised landsat-5 thematic mapper radiometric calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, New York, v. 4, n. 3, p. 490-494, jul. 2007.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

- CHAVES, H. M. L.; BRAGA, B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. dos. Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do programa do produtor de água (ANA): II. aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 15-21, 2004a.
- CHAVES, H. M. L.; BRAGA, B.; DOMINGUES, A. F.; DOS SANTOS, D. G. Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do programa do produtor de água (ANA): I. teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 5-14, 2004b.
- CHILD, C.; ESRI. **Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst**. Middleton: ESRI, 2004, 35 p.
- CHRISTOFOLIETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. v. 1, 188 p.
- CICCO, V. de. **Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na mata atlântica**: São Paulo, SP e Cunha, SP. 2009. 138 f. Tese (Doutorado em Geografia Física)- Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- CLARKE, R.; KING, J. **O atlas da água**. São Paulo: Publifolha, 2006. v. 1, 128 p.
- COAGUILA, D.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. de C. Estacionalidade da evapotranspiração e produtividade da água na microbacia do córrego da Mula em Santa Fé do Sul - SP. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 4, p. 232-238, 30 set. 2015.
- COAGUILA, D. N.; HERNANDEZ, F. B. T.; DE C. TEIXEIRA, A. H.; NEALE, C. M.; FRANCO, R. A. M.; LEIVAS, J. F. Annual variability of water productivity components in the watershed of Cabeceira Comprida stream, Santa Fé do Sul, Brazil. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 18., 2016, Edinburgh. **Anais...** Edinburgh: SPIE, 2016. p. 1-10
- COUTO-SANTOS, F. R. do. **Fenologia e espécies arbóreas do dossel e sub-dossel em um fragmento de Mata Atlântica semi-decidua em Caratinga, Gerais, Brasil**. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- CONNECTICUT RIVER JOINT COMMISSIONS- CRJC. **River banks and buffers: introduction to riparian buffers**. [S.l.]: Connecticut, 2016. Disponível em: <<http://www.crjc.org/pubs/riparian-buffers/>>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- LEÓN, C.; BAUCHE, P.; GRAF, S.; CORTINA, S.; FRAUSTO, J. M.. Replicating policy that works: payment for Environmental Services in Mexico. **The Solutions Journal**, [200-]. Disponível em: <<https://www.thesolutionsjournal.com/article/replicating-policy-that-works-payment-for-environmental-services-in-mexico/>>. Acesso em: 3 jan. 2017.
- DE BRUIN, H. A. R. Evaporation and weather. In: HOOGHART, J. C. (Ed.). **Proceedings and information**: TNO committee on hydrological sciences. Ede: CHO, 1987. p. 5-31.
- DE BRUIN, H. A. R.; STRICKER, J. N. M. Evaporation of grass under non-restricted soil moisture conditions. **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, v. 45, n. 3, p. 391-406, jun. 2000.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA- DNAEE. **Normas**

- e recomendações hidrológicas:** fluvimetria. Brasilia: Ministério de Minas e Energia, 1972. v. 1, 94 p.
- DONATO, C. F.; RANZINI, M.; CICCO, V. de; ARCOVA, F. C. S.; SOUZA, L. F. S. de. Balanço de massa em microbacia experimental com Mata Atlântica, na Serra do Mar, Cunha, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2008.
- DONOHUE, R. J.; RODERICK, M. L.; MCVICAR, T. R. On the Importance of Including Vegetation Dynamics in Budyko's Hydrological Model. **Hydrology and Earth System Sciences**, Munich, v. 11, n. 2, p. 983-995, 13 mar. 2007.
- DUBBE, D. R. R.; GARVER, E. G. G.; PRATT, D. C. C. Production of cattail (*Typha spp.*) biomass in Minnesota, USA. **Biomass**, London, v. 17, n. 2, p. 79-104, jan. 1988.
- DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. 4. ed. Danvers: Wiley, 2013. v. 1, 910 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PEQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Noticias: geotecnologia**. [S.l.]: EMBRAPA, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2062813/solo-brasileiro-agora-tem-mapeamento-digital>>. Acesso em: 2 mar. 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PEQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Etapas para formar bem uma pastagem**: portal embrapa. [S.l.]: EMBRAPA, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/8353124/etapas-para-formar-bem-uma-pastagem>>. Acesso em: 17 out. 2016.
- EMBRAPA, E. B. D. P. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasilia: EMBRAPA, 2013. v. 1, 353 p.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. v. 1, 602 p.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA- FAO. **Arcview watershed delineator**. Roma: FAO, 2011. v. 1, 29 p.
- FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. v. 1, 90 p.
- FAVARO, A. K. M. do I.; ROSSIN, A. C. Pagamento por serviços ambientais contribuindo para a saúde ambiental, uma análise em nível local. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 216-226, mar. 2014.
- FEDDEMA, J. J. A revised thornthwaite-type global climate classification. **Physical Geography**, Abingdon, v. 26, n. 6, p. 442-466, 2005.
- FERNALD, M. L.; KINSEY, A. C.; ROLLINS, M. C. **Edible wild plants of eastern north america**. New York: Harper and Row, 1958. v. 1, 480 p.
- FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. de; AMORIM, A. de O. **Evapotranspiração**: uma revisão sobre os métodos empíricos. Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. v. 1, 44 p.
- FLETCHER, H.; ELMENDORF, H. **Phreatophytes**: a serious problem in the west. Beltsville: U.S. Department of Agriculture-Yearbook of agriculture, 1995. p. 423-429.
- FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.;

- COAGUILA, D. N.; NEALE, C. M. Water productivity mapping using Landsat 8 satellite together with weather stations. (C. M. U. Neale, A. Maltese, Eds.) In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 18., 2016, Edinburgh. **Anais...** Edinburgh: SPIE, 2016. p. 1-12
- FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; TEIXEIRA, A. H. de C. Water productivity of different land uses in watersheds assessed from satellite imagery landsat 5 thematic mapper. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 16., 2014, Amsterdam. **Anais...** Amsterdam: SPIE, 2014. p. 1-7
- FREIRE, J. M.; AZEVEDO, M. C. De; CUNHA, C. F. Da; SILVA, T. F. Da; RESENDE, A. S. De. Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em área fragmentada de Mata Atlântica em Itaborai, RJ. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 243-252, 2013.
- FUJIEDA, M.; KUDOH, T.; DE CICCO, V.; DE CALVARCHO, J. L. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 196, n. 1-4, p. 26-46, 1997.
- G1 - RIO PRETO E ARAÇATUBA. **Estiagem faz Santa Fé do Sul iniciar racionamento na distribuição de água:** notícias em Rio Preto e Araçatuba. [S.l.]: G1, 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2014/08/estiagem-faz-santa-fe-do-sul-iniciar-racionamento-na-distribuicao-de-agua.html>>. Acesso em: 20 dez. 2016.
- GALATOWITSCH, S. M.; ANDERSON, N. O.; ASCHER, P. D. Invasiveness in wetland plants in temperate North America. **Wetlands**, Minnesota, v. 19, n. 4, p. 733-755, 1999.
- GALVÃO, A. P. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. **Restauração florestal:** fundamentos e estudos de caso. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. v. 1, 139 p.
- GARCIA, W.; MARCHAND, G.; LLACTAYO, W.; SALCEDO, K.; VICTORIA, E.; ZAMBRANO, A. **Protocolo:** ortorectificación de imágenes satelitales landsat. Lima: Ministerio del Ambiente, 2014. v. 1, 32 p.
- GONÇALVES, D. F. **Avaliação temporal e espacial do balanço de radiação, de energia e da evapotranspiração no Noroeste Paulista, face a mudança no uso do solo.** 2014. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2014.
- GONZÁLEZ, G.; LODGE, D. J.; RICHARDSON, B. A.; RICHARDSON, M. J. A canopy trimming experiment in Puerto Rico: the response of litter decomposition and nutrient release to canopy opening and debris deposition in a subtropical wet forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 332, p. 32-46, 2014.
- GOULDEN, M. L.; LITVAK, M.; MILLER, S. D. Factors that control typha marsh evapotranspiration. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 97-106, fev. 2007.
- GRACE, J. B.; HARRISON, J. S. The biology of Canadian weeds. 73. *Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L. and *Typha x glauca* Godr. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 66, n. 2, p. 361-379, 1986.
- GREEN, K. Landsat in context : the land remote sensing business model. **Photogrammetric**

- Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 72, n. 10, p. 1147-1153, 2006.
- GROVER, V. I. General overview. In: GROVER, V. I. (Ed.). **Water global common and global problems**. USA: Science Publisher, 2006. p. 3-16.
- GUPTA, A. K. **Typha domingensis the IUCN red list of threatened species 2013:** e.T164208A75415148. Cambridge: IUCN, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T164208A75415148.en>>. Acesso em: 9 set. 2013.
- HALLOCK, R. J. **The ecology of a dominant emergent (*typha latifolia*) in a reservoir.** 1973. 64 f. Tese (Doutorado em Biologia)- Departamento de Ciências Biológicas, Universidade de Arizona, Tucson, 1973.
- HERNANDEZ, F. B. T.; NEALE, C. M. U.; TEIXEIRA, A. H. de C.; TAGHVAEIAN, S. Determining large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the northwest of São Paulo state, Brazil. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 1038, p. 263-270, jun. 2014.
- HERNANDEZ, F. B. T.; SOUZA, S. A. V. de; ZOCOLER, J. L.; FRIZZONE, J. A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 21-30, 2003.
- HOULAHAN, J. E.; FINDLAY, C. S. Effect of invasive plant species on temperate wetland plant diversity. **Conservation Biology**, Boston, v. 18, n. 4, p. 1132-1138, ago. 2004.
- HU, Z.; YU, G.; ZHOU, Y.; SUN, X.; LI, Y.; SHI, P.; WANG, Y.; SONG, X.; ZHENG, Z.; ZHANG, L.; LI, S. Partitioning of evapotranspiration and its controls in four grassland ecosystems: application of a two-source model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, n. 9, p. 1410-1420, set. 2009.
- HUDDLESTON, G. M.; GILLESPIE, W. B.; RODGERS, J. H. Using constructed wetlands to treat biochemical oxygen demand and ammonia associated with a refinery effluent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 45, n. 2, p. 188-193, fev. 2000.
- HUNSAKER, D.; HENDREY, G.; KIMBALL, B.; LEWIN, K.; MAUNEY, J.; NAGY, J. Cotton evapotranspiration under field conditions with CO<sub>2</sub> enrichment and variable soil moisture regimes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 70, n. 1-4, p. 247-258, set. 1994.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Cidades@**. [S.I.]: IBGE, 2015. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/493>>. Acesso em: 30 mar. 2015a.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Downloads**. [S.I.]: IBGE, 2016. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 1 fev. 2016b.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS- IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. v. 1, 126 p.
- IQBAL, M. Sun-earth astronomical relationships. In: IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. Vancouver: Elsevier, 1983. p. 1-28.
- ISAKSON, R. S. **Payments for environmental services in the catskills:** a socio-economic analysis of the agricultural strategy in new york city's watershed management plan. New York: Prisma, 2002. v. 1, 90 p.

- JACOB, D. L.; OTTE, M. L. Influence of *typha latifolia* and fertilization on metal mobility in two different Pb-Zn mine tailings types. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 333, n. 1-3, p. 9-24, 15 out. 2004.
- JENSEN, M. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.). **Water deficits and plant growth: development, control, and measurement**. New York: Academic, 1968. p. 1-22.
- JOHNSTON, K.; VER HOEF, J. M.; KRIVORUCHKO, K.; LUCAS, N. **Using arcgis geostatistical analyst**. California: ESRI, 2001. v. 1, 300 p.
- KFOURI, A.; FAVERO, F. **Projeto conservador das águas passo a passo: uma descrição didática sobre o desenvolvimento da primeira experiência de pagamento por uma prefeitura municipal no brasil**. Brasília: The Nature Conservancy do Brasil, 2011. v. 1, 60 p.
- KIENAST-BROWN, S.; BOETTINGER, J. L. Land-cover classification from landsat imagery for mapping dynamic wet and saline soils. In: LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B.; VOLTZ, M. (Ed.). **Developments in soil science: sevelopments in soil science**. Utah: Elsevier, 2006. p. 235-612.
- KOTSOPoulos, S.; KALFOUNTZOS, D.; ALEXIOU, I.; ZERVA, G.; KARAMALIGAS, C.; VYRLAS, P. Actual evapotranspiration and soil moisture studies in irrigated cotton. **European Water**, Huntingdon, v. 3-4, p. 25-31, 2003.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World map of the köppen-geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.
- KRISHNASWAMY, J.; BONELL, M.; VENKATESH, B.; PURANDARA, B. K.; RAKESH, K. N.; LELE, S.; KIRAN, M. C.; REDDY, V.; BADIGER, S. The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: Support for the infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 498, p. 191-209, ago. 2013.
- KROLIKOWSKA, J. The transpiration of helophytes. **Ekologia Polska**, Warszawa, v. 26, n. 2, p. 193-212, 1978.
- LANSDOWN, R. V. ***Typha latifolia* the IUCN red list of threatened species 2014:** e.T164165A63310798. Cambridge:IUCN, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-2.RLTS.T164165A63310798.en>>. Acesso em: 9 set. 2016.
- LAUER, D. T.; MORAIN, S.; SALOMONSON, V. V. The landsat program : its origins , evolution , and impacts. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 63, n. 7, p. 831-838, 1997.
- LI, H.; ZHENG, L.; LEI, Y.; LI, C.; LIU, Z.; ZHANG, S. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in North China Plain using remote sensing technology. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 11, p. 1271-1278, nov. 2008.
- LIANG, J.; CROWTHER, T. W.; PICARD, N.; WISER, S.; ZHOU, M.; ALBERTI, G.; SCHULZE, E.-D.; MCGUIRE, A. D.; BOZZATO, F.; PRETZSCH, H.; DE-MIGUEL, S.; PAQUETTE, A.; HERAULT, B.; SCHERER-LORENZEN, M.; BARRETT, C. B.; GLICK, H. B.; HENGEVELD, G. M.; NABUURS, G.-J.; PFAUTSCH, S.; VIANA, H.; VIBRANS,

A. C.; AMMER, C.; SCHALL, P.; VERBYLA, D.; TCHEBAKOVA, N.; FISCHER, M.; WATSON, J. V.; CHEN, H. Y. H.; LEI, X.; SCHELHAAS, M.-J.; LU, H.; GIANELLE, D.; PARFENOVA, E. I.; SALAS, C.; LEE, E.; LEE, B.; KIM, H. S.; BRUELHEIDE, H.; COOMES, D. A.; PIOTTO, D.; SUNDERLAND, T.; SCHMID, B.; GOURLET-FLEURY, S.; SONKE, B.; TAVANI, R.; ZHU, J.; BRANDL, S.; VAYREDA, J.; KITAHARA, F.; SEARLE, E. B.; NELDNER, V. J.; NGUGI, M. R.; BARALOTO, C.; FRIZZERA, L.; BA AZY, R.; OLEKSYN, J.; ZAWI A-NIED WIECKI, T.; BOURIAUD, O.; BUSSOTTI, F.; FINER, L.; JAROSZEWICZ, B.; JUCKER, T.; VALLADARES, F.; JAGODZINSKI, A. M.; PERI, P. L.; GONMADJE, C.; MARTHY, W.; OBRIEN, T.; MARTIN, E. H.; MARSHALL, A. R.; ROVERO, F.; BITARIHO, R.; NIKLAUS, P. A.; ALVAREZ-LOAYZA, P.; CHAMUYA, N.; VALENCIA, R.; MORTIER, F.; WORTEL, V.; ENGONE-OBIANG, N. L.; FERREIRA, L. V.; ODEKE, D. E.; VASQUEZ, R. M.; LEWIS, S. L.; REICH, P. B. Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests. **Science, Washington**, v. 354, n. 6309, p. aaf8957-aaf8957, 14 out. 2016.

LIMA, W. de P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2008. v. 1, 246 p.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 2000. p. 33-43.

LIN, F. A Comparative study on payment schemes for watershed services in New York City and Beijing. **Consilience: The Journal of Sustainable Development**, New York, v. 11, n. 1, p. 27-40, 2014.

LINNAEUS, C. V. **Species plantarum**. Estocolmo: Impensis Laurentii Salvii, 1753. v. 1, 1200 p.

LINZ, G. M.; HOMAN, H. J. Use of glyphosate for managing invasive cattail (*Typha spp.*) to disperse blackbird (Icteridae) roosts. **Crop Protection**, Guildford, v. 30, n. 2, p. 98-104, fev. 2011.

MACHADO, A. T. da M.; VIEIRA, D. C.; PROCÓPIO, J. de C.; POLIGNANO, M. V. (Ed). **Bacia hidrográfica como instrumento pedagógico para a transversalidade**. Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2011. v. 1, 96 p.

MACHATE, T.; HEUERMANN, E.; SCHRAMM, K.; KETTRUP, A. Purification of fuel and nitrate contaminated ground water using a free water surface constructed wetland plant. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 28, n. 5, p. 1665-1673, 1999.

MANTOVANI, M.; RUSCHEL, A. R.; REIS, M. S. Dos; PUCHALSKI, Â.; NODARI, R. O. Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 451-458, 2003.

MARCONDES, D. A. S.; MUSTAFÁ, A. L.; TANAKA, R. H. Estudos para manejo integrado de plantas aquáticas no reservatório de Jupiá. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). **Ecologia e Manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003. cap. 15, p. 299-317.

MARTINS, D.; COSTA, N. V.; TERRA, M. A.; MARCHI, S. R. Caracterização da comunidade de plantas aquáticas de dezoito reservatórios pertencentes a cinco bacias hidrográficas do Estado de São Paulo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 17-32, mar. 2008.

- MARTINS, D.; VELINI, E. D.; PITELI, R. A.; TOMAZELLA, M. S.; NEGRISOLI, E. Ocorrência de plantas aquáticas nos reservatórios da light-RJ. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, p. 105-108, 2003.
- MAYS, P. A.; EDWARDS, G. S. Comparison of heavy metal accumulation in a natural wetland and constructed wetlands receiving acid mine drainage. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 16, n. 4, p. 487-500, 2001.
- MAZZOLA, M.; ROSTON, D. M.; VALENTIMR, M. A. A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 276-283, 2005.
- MCNAUGHTON, S. J. Ecotype function in the typha community-type. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 36, n. 4, p. 297-325, fev. 1966.
- MEIRELLES, M. L.; FARIAS, S. E. M. de; FRANCO, A. C. **Balanço de energia de uma pastagem cultivada no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. v. 1, 14 p.
- MENDONÇA, J. C.; ESTEVES, B. dos S.; SOUSA, E. F. de. Reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) in North Fluminense, Rio de Janeiro, Brazil: a review of methodologies of the calibration for different periods of analysis. In: ALEXANDRIS, S. G. (Ed.). **Evapotranspiration: an overview**. Croácia: InTech, 2013. p. 259-276.
- METCALF & EDDY INCORPORATED. **Ingeniería de aguas residuales**: tratamiento, vertido y reutilización. 3. ed. Madrid: McGraw-Hill, 1958. v. 1, 1485 p.
- MISSOURI BOTANICAL GARDEN. **Tropicos**: botanical information system. [S.l.]: Missouri, 2015. Disponível em: <[www.tropicos.org](http://www.tropicos.org)>. Acesso em: 2 ago. 2015.
- MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. In: The state and movement of water in living organisms. In: PROCEEDINGS SYMPOSIA OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY, 19., 1964, Swansea, 1964. **Anais...** Cambridge: Academic press for the society of Experimental Biology, 1965. p. 205-234
- MOROZOV, N. V; TORPISHCHEVA, A. V. Microorganisms that oxidize petroleum and petroleum products in the presence of higher aquatic plants. **Hydrobiological Journal**, New York, v. 9, n. 4, p. 54-59, 1973.
- MORTON, J. F. Cattails (*Typha* spp.): weed problem or potential crop? **Economic Botany**, Bronx, v. 29, n. 1, p. 7-29, 1975.
- MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. Remote sensing and modeling of global evapotranspiration. In: CHANG, N.-B.; HONG, Y. (Ed.). **Multiscale hydrologic remote sensing**. Florida: CRC, 2012. p. 443-480.
- MUENSCHER, W. C. **Weed**. New York: Macmillan, 1955. v. 1, 579 p.
- MUNIZ, R. A.; SOUSA, E. F. de; MENDONÇA, J. C.; ESTEVES, B. dos S.; LOUSADA, L. de L. Balanço de energia e evapotranspiração do capim Mombaça sob sistema de pastejo rotacionado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 47-54, mar. 2014.
- MURILLO, D.; ORTEGA, I.; CARRILLO, J. D.; PARDO, A.; RENDÓN, J. Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. **Ingenierías USBMed**, Medellín, v. 3, n. 1, p. 62-68, 2012.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **Landsat Science.** [S.I.]: NASA, 2016. Disponível em: < <http://landsat.gsfc.nasa.gov> >. Acesso em: 13 ago. 2016.

NASCIMENTO, J. M. L. do; QUEIROZ, M. A. A.; GOMIDE, C. A.; LACERDA, R. S.; DO AMARAL, A. A.; FERRARI, J. L. Potencial nutricional de plantas de *Typha domingensis* Pers. como opção forrageira. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, Recife, v. 9, n. 2, p. 290-294, 2014.

NICHOLS, D. S.; HIGGINS, D. a. Long-term wastewater treatment effectiveness of a northern wisconsin peatland. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 29, n. 5, p. 1703-1714, 2000.

NOGUEIRA, J. C. B. **Reflorestamento misto com essências nativas:** a mata ciliar. São Paulo: Instituto Florestal, 2010. v. 1, 148 p.

NOVOTNY, V.; OLEM, H. **Water quality:** prevention, identification and management of diffuse pollution. New York: Van Nostrand Reinhold, 1994. v. 1, 1054 p.

OLSON, A.; PAUL, J.; FREELAND, J. R. Habitat preferences of cattail species and hybrids (*Typha* spp.) in eastern Canada. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 91, n. 2, p. 67-70, ago. 2009.

OTIS, C. H. The Transpiration of emersed water plants: its measurement and its relationships. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 58, n. 6, p. 457-494, dez. 1914.

OTTO, S.; GROFFMAN, P. M.; FINDLAY, S. E. G.; ARREOLA, A. Invasive plant species and microbial processes in a tidal freshwater marsh. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 28, n. 4, p. 1252-1257, 1999.

PAMMEL, L. H. **A manual of poisonous plants :** chiefly of eastern north america, with brief notes on economic and medicinal plants, and numerous illustrations. Iowa: Torch, 1911. v. 1, 176 p.

PAULIUKONIS, N.; SCHNEIDER, R. Temporal patterns in evapotranspiration from lysimeters with three common wetland plant species in the eastern United States. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 71, p. 35-46, 2001.

PEDRALLI, G. Macrófitas aquáticas como bioindicadoras da qualidade da água: alternativas para usos múltiplos de reservatórios. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). **Ecologia e Manejo de macrófitas aquáticas**. Maringá: EDUEM, 2003. cap. 8, p. 171-188.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, Cambridge, v. 193, n. 1032, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, D. dos R.; MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da; YANAGI, S. de N. M. Evapotranspiration and estimation of aerodynamic and stomatal conductance in a fragment of Atlantic Forest in mantiqueira range region, MG. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 32-40, mar. 2010a.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 147, p. 4-20, jan. 2015.

PEREIRA, P. H.; CORTEZ, B. A.; TRINDADE, T.; MAZOCHEI, M. N. **Conservador das**

- água 5 anos.** Extrema: Dep. Meio Ambiente Extrema - MG, 2010b. v. 1, 126 p.
- PEREIRA, T. S.; COSTA, M. L. M. N.; MORAES, L. F. D.; LUCHIARI, C. Fenologia de espécies arbóreas em Floresta Atlântica da Reserva Biológica de Poço das Antas, Rio de Janeiro, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 329-339, 2008.
- PESSOA, L. M. **Fenologia e chuva de sementes em um fragmento urbano de floresta atlântica em pernambuco.** 2011. 83 f. Tese (Doutorado em Botânica)- Programa de Pós-graduação em Botânica, Universidad Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2011.
- PEZZOLESI, T. P.; ZARTMAN, R. E.; FISH, E. B.; HICKEY, M. G. Nutrients in a playa wetland receiving wastewater. **Journal of Environment Quality**, Madison, v. 27, n. 1, p. 67, 1998.
- PIELKE, R. A.; AVISSAR, R.; RAUPACH, M.; DOLMAN, A. J.; ZENG, X.; DENNING, A. S. Interactions between the atmosphere and terrestrial ecosystems: influence on weather and climate. **Global Change Biology**, Oxford, v. 4, n. 5, p. 461-475, 1998.
- PILON-SMITS, E. A. H.; DE SOUZA, M. P.; HONG, G.; AMINI, A.; BRAVO, R. C.; PAYABYAB, S. T.; TERRY, N. Selenium volatilization and accumulation by twenty aquatic plant species. **Journal of Environment Quality**, Madison, v. 28, n. 3, p. 1011, 1999.
- PINTO, O. B. J.; ROSSETTE, A. N. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cachoeira , MT-Brasil. **Geoambiente**, Goiás, v. 4, p. 38-53, 2005.
- POOLMAN, M. I. **Developing small reservoirs:** a participatory approach can help. 2005. 116 f. Dissertação (Mestrado em Technology, Policy and Management)- Technical University Delft - Delft, The Netherlands, 2005.
- POOPENOE, H. **Making aquatic weeds useful:** some perspectives for developing countries. Washington: National Academy of Sciences, 1976. v. 1, 175 p.
- PORTAL BRASIL. **Conservador das águas de extrema (MG) é referência nacional.** [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/03/conservador-das-aguas-de-extrema-mg-e-referencia-nacional>>. Acesso em: 2 jan. 2017.
- PORTO, M. F. a.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.
- POTT, V. J.; POTT, A. Dinâmica da vegetação aquática do Pantanal. In: THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. (Ed.). **Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas.** Maringá: EDUEM, 2003. cap. 6, p. 145-162.
- PRATT, D. C.; DUBBE, D. R.; GARVER, E. G.; JOHNSON, W. D. **Cattail (*typha spp.*) biomass production:** stand management and sustainable yields. Springfield: Department of Commerce, 1988. v. 1, 49 p.
- PRATT, D. C.; JOHNSON, W. L.; DUBBE, D. R.; GARVER, D. R. **Typha spp. bio-mass production:** evaluation of management practices. Springfield: Department of Energy, 1987. 49 p.
- PRICE, J. S. Evapotranspiration from a lakeshore Typha marsh on Lake Ontario. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 48, n. 3-4, p. 261-272, jun. 1994.
- PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 100, n. 2, p. 81-92, fev. 1972.

- RAMEY, V. *Typha - not just another weed*. **Aquaphyte**, Florida, v. 1, n. 1, p. 1-2, 1981.
- RAMIREZ, D. A.; BALAGUER, L.; MANCILLA, R.; GONZALEZ, V.; COAGUILA, D.; TALAVERA, C.; VILLEGRAS, L.; ORTEGA, A.; JIMENEZ, P.; MORENO, J. M. Leaf-trait responses to irrigation of the endemic fog-oasis tree myrcianthes ferreyrae: can a fog specialist benefit from regular watering? **Tree Physiology**, Oxford, v. 32, n. 1, p. 65-73, 1 jan. 2012.
- RAUPACH, M. R. Combination theory and equilibrium evaporation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berks, v. 127, n. 574, p. 1149-1181, abr. 2001.
- ROCHA, J. S. M. da. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 1997. v. 1, 446 p.
- RODRIGUES, L. N.; LIEBE, J. Small reservoirs depth-area-volume relationships in Savannah Regions of Brazil and Ghana. **Water Resources and Irrigation Management**, Bahia, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2013.
- RODRIGUES, L. N.; SANO, E. E.; DE, J. A.; MEDRADO, E.; CERRADOS, D. S. E. Distribuição espacial e área máxima do espelho d'água de pequenas barragens de terra na Bacia do Rio Preto. **Espaço & Geografia**, Brasilia, v. 10, n. 2, p. 379-400, 2007.
- ROLIM, G. D. E. S.; CAMARGO, M. B. P. de; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. de. Classificação climática de köppen e de thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.
- ROSA, C. S.; ANTUNES, R. D.; PITELLI, R. A.; PITELLI, R. L. C. M. Avaliação comparativa das perdas de água por evapotranspiração em mesocosmos colonizados por diferentes macrófitas aquáticas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 441-445, 2009.
- ROSA, H.; KANDEL, S.; DIMAS, L. **Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales: lecciones de las américa y temas críticos para fortalecer estrategias comunitarias**. San Salvador: Prisma, 2003. v. 1, 78 p.
- ROSAS, L. **Manual de procedimientos de delimitación de unidades hidrográficas. caso: ecuador**. Quito: UICN Sur, 2009. v. 1, 33 p.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation**. Texas: Texas A & M University, 1974. v. 1, 137 p.
- RUBERT, G. C. D.; ROBERTI, D. R.; DIAZ, M. B.; MORAES, O. L. L. de. Estimativa da evapotranspiração em área de pastagem em Santa Maria - RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, p. 300, 20 jul. 2016. Edição especial.
- RUIZ, R.; TORRES, H. **Manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas. caso: américa del sur**. Lima: UICN Sur, 2008. v. 1, 39 p.
- SANTANA, D. P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. v. 1, 65 p.
- SANTOS, D. A. R.; MORAIS, F. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão - TO. **Revista Geonorte**, Amazonas, v. 3, n. 4, p. 617-629, 2012.
- SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como

ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 142-149, 2010.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. **Conceitos de bacias hidrográficas : teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. v. 1, 293 p.

SCOTT, D. F.; PRINSLOO, F. W.; MOSES, G.; MEHLOMAKULU, M.; SIMMERS, A. D. A. **A re-analysis of the south african catchment afforestation experimental data. wrc report 810/1/00**. South Africa: Water Research Commission, 2000. v. 1, 138 p. WRC Report ed. Pretoria.

SENAJ, G. B.; BUDDE, M.; VERDIN, J. P.; MELESSE, A. M. A coupled remote sensing and simplified surface energy balance approach to estimate actual evapotranspiration from irrigated fields. **Sensors**, Switzerland, v. 7, n. 6, p. 979-1000, 2007.

SHIH, J. G.; FINKELSTEIN, S. A. Range dynamics and invasive tendencies in *typha latifolia* and *typha angustifolia* in eastern North America derived from herbarium and pollen records. **Wetlands**, Dordrecht, v. 28, n. 1, p. 1-16, 2008.

SHORT, N. M.; LOWAN, P. D.; FREDEN, S. C.; FINCH, W. A. **Mission to earth: landsat views the world**. Washington: NASA Science and Technical Information Office, 1976. v. 1, 459 p. (NASA Special Publication, 360).

SILVA, G. B. S. da; LOEBMANN, D. G. dos S. W.; FOLHARINI, S. de O.; NOGUEIRA, S. F.; VICENTE, L. E.; ANDRADE, R. G.; FURTADO, A. L. dos S. **Procedimentos para correção geométrica de imagens de satélite**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012. v. 18, 18 p. (Circular Técnica).

SILVA, L. D. B. da; FOLEGATTI, M. V.; NOVA, N. A. V. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, dez. 2005.

SILVA, R. V. da. Estimativa de largura de faixa vegetativa para zonas ripárias: uma revisão. In: SEMINÁRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL: ZONAS RIPÁRIAS, 1., 2003, Alfredo Wagner. **Anais...** Alfredo Wagner: Santa Catarina , 2003.

SIMÃO, C. H. **Fenologia reprodutiva de macrófitas aquáticas no ecótono cerrado: Pantanal**. 2016. 55 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal)- Fundação, Universidade Mato Grosso do Sul, Campo Grande 2016.

**SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO- SNIS. Ministério das cidades.** [S.l.]: SNIS, 2016. Disponível em: <<http://app.cidados.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

SNYDER, R. L.; BOYD, C. E. Evapotranspiration by *eichhornia crassipes* (Mart.) solms and *typha latifolia* L. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 217-227, mar. 1987.

SOTO, F.; GARCIA, M.; DELUIS, E.; BECARES, E. Role of in bacterial and nutrient removal from wastewater. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 40, n. 3, p. 241-247, 1999.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 15-20, 2000.

- STOY, P. C.; KATUL, G. G.; SIQUEIRA, M. B. S.; JUANG, J.-Y.; NOVICK, K. A.; MCCARTHY, H. R.; CHRISTOPHER OISHI, A.; UEBELHERR, J. M.; KIM, H.-S.; OREN, R. Separating the effects of climate and vegetation on evapotranspiration along a successional chronosequence in the southeastern US. **Global Change Biology**, Oxford, v. 12, n. 11, p. 2115-2135, nov. 2006.
- STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions, American Geophysical Union**, Washington, v. 38, n. 6, p. 913, 1957.
- SU, H.; MCCABE, M. F.; WOOD, E. F.; SU, Z.; PRUEGER, J. H. Modeling Evapotranspiration during SMACEX: comparing two approaches for local- and regional-scale prediction. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 6, n. 6, p. 1-13, 2009.
- SU, Z. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. **Hydrology and Earth System Sciences**, Göttingen, v. 6, n. 1, p. 85-100, 2002.
- TANG, C. F.; LIU, Y. G.; ZENG, G. M.; LI, X.; XU, W. H.; LI, C. F.; YUAN, X. Z. Effects of exogenous spermidine on antioxidant system responses of *typha latifolia* L. Under Cd<sup>2+</sup> Stress. **Journal of Integrative Plant Biology**, United Kingdom, v. 47, n. 4, p. 428-434, 2005.
- TEIXEIRA, A. H. C.; HERNANDEZ, F. B. T.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; BOLFE, E. L. Irrigation performance assessments for corn crop with landsat images in the São Paulo State, Brazil. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 2., 2014, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Instituto INOVAGRI, 2014a. p. 739-748.
- TEIXEIRA, A. H. de C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated crops and natural vegetation in the São Francisco River Basin (Brazil) using remote sensing and penman-monteith equation. **Remote Sensing**, Basel, v. 2, n. 5, p. 1287-1319, 6 maio 2010.
- TEIXEIRA, A. H. de C. Modelling evapotranspiration by remote sensing parameters and agro-meteorological stations. In: REMOTE SENSING AND HYDROLOGY, 352., 2012, Wyoming. **Anais...** Wyoming: IAHS, 2012. p. 154-157
- TEIXEIRA, A. H. de C. Determinação do balanço de energia com imagens landsat 8 no perímetro de irrigação Nilo Coelho. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO, 2., 2015, Ceará. **Anais...** Ceará: SBRNS, 2015. p. 1-6
- TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part A: calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 462-476, 2009a.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil. Part B: Application to the regional scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 477-490, 2009b.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; MOURA, M. S. B.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 362, n. 1-2, p. 110-127, nov. 2008.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; HERNANDEZ, F. B. T.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; BOLFE, E. L. Energy balance with landsat images in irrigated central pivots with corn crop in the São Paulo State, Brazil. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE,

ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 16., 2014, Amsterdam. **Anais...** Amsterdam: SPIE, 2014b, p. 1-10

TEIXEIRA, A. H. de C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L. H. **Modelagem espacotemporal dos componentes dos balanços de energia e de água no semiárido brasileiro.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013a. v. 1, 32 p.

TEIXEIRA, A. H. de C.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L.; SCHERER-WARREN, M.; BASSOI, L. H. A comparative study of techniques for modeling the spatiotemporal distribution of heat and moisture fluxes at different agroecosystems in Brazil. In: PETROPOULOS, G. P. (Ed.). **Remote sensing of energy fluxes and soil moisture content.** Boca Raton: CRC , 2013b. p. 165-188.

TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; HERNANDEZ, F. B. T. Water productivity assessments with landsat 8 images in the Nilo Coelho irrigation scheme. **Irriga,** Botucatu, , p. 1-10, 2015a. Edição Especial.

TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; HERNANDEZ, F. B. T.; MOMESSO, F. R. A. Modelling radiation and energy balances with landsat 8 images under different thermohydrological conditions in the Brazilian semi-arid region. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 17., 2015, Toulouse. **Anais...** Toulouse: SPIE, 2015b, p. 2-14.

TEIXEIRA, A. H. de C.; LEIVAS, J. F.; T. HERNANDEZ, F. B.; FRANCO, R. A. M.; NUÑEZ, D. N. C. Evapotranspiration, biomass production and water productivity acquired from Landsat 8 images in the northwestern side of the São Paulo state, Brazil. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 18., 2016, Edinburgh. **Anais...** Edinburgh: SPIE, 2016, p. 1-11.

TEIXEIRA, A. H. de C.; PADOVANI, C. R.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. de C.; GALDINO, S. Use of MODIS images to quantify the radiation and energy balances in the Brazilian Pantanal. **Remote Sensing,** Basel, v. 7, n. 11, p. 14597-14619, 2015c.

TEIXEIRA, A. H. de C.; VICTORIA, D. C.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; BOLFE, E. L.; CRUZ, C. R. Coupling MODIS images and agrometeorological data for agricultural water productivity analyses in the Mato Grosso State, Brazil. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 16., 2014c, Amsterdam. **Anais...** Amsterdam:SPIE, 2014c. p. 1-14.

TEIXEIRA, A.; HERNANDEZ, F.; LOPES, H. Application of landsat images for quantifying the energy balance under conditions of land use changes in the semi-arid region of Brazil. In: REMOTE SENSING FOR AGRICULTURE, ECOSYSTEMS, AND HYDROLOGY, 14., Edinburgh. **Anais...** Edinburgh: SPIE, 2012, p. 1-9.

TEIXEIRA, C. G. **Pagamento por serviços ambientais de proteção às nascentes como forma de sustentabilidade e preservação ambiental.** 2011. 197 f. Dissertação (Mestrado em Direito Socioambiental)- Escola de Direito, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2011.

TEODORO, V. L.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara,** Araraquara, v. 20, p. 137-156, 2007.

- TESKE, R.; GIASSON, E.; BAGATINI, T. Comparação do uso de modelos digitais de elevação em mapeamento digital de solos em Dois Irmãos, RS, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1367-1376, out. 2014.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55, jan. 1948.
- TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestal)- Campus Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L. De; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.
- TOSTI, R. da S.; CARVALHO, S. L. de; LIMA, E. A. C. F. Condições ambientais de algumas propriedades agrícolas de Santa Fé do Sul - SP e região. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 10, n. 12, p. 184-196, 2014.
- TREPEKLI, A.; LOUPA, G.; RAPSOMANIKIS, S. Seasonal evapotranspiration, energy fluxes and turbulence variance characteristics of a Mediterranean coastal grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 226-227, p. 13-27, out. 2016.
- TREZZA, R. Estimation of crop water use from satellite-based surface energy balance models for water management in irrigation districts in venezuela, south america. In: AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, 25., 2005, Napoli. **Anais...** Napoli: AIP, 2005. p. 1-2
- TURNER, N. J. A gift for the taking: the untapped potential of some food plants of North American Native Peoples. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 59, n. 11, p. 2331-2357, 1981.
- UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP. **Clima**: Ilha Solteira, Itapura, Santa Adélia, Bonança, Santa Adelia Pioneiros, Marinópolis, Paranapanuã e Populina, 2016. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br/>>. Acesso em: 06 jan. 2016.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY- USGS. **Landsat data continuity mission**. Washington: NASA, 2013. v. 1, 16 p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY- USGS. **Landsat 8 (18) data users handbook - lsds-1574**. Sioux Falls: EROS, 2016. v. 2, 98 p.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY- USGS. **LDCM cal/val algorithm description document**. Florida: NASA, 2013. v. 3, 753 p.
- VALERIANO, M. de M.; ROSSETTI, D. de F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, Oxford, v. 32, p. 300-309, mar. 2012.
- VANHELLEMONT, Q.; RUDDICK, K. Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with Landsat 8. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 145, p. 105-115, 2014.
- VEGA, E. C.; JARA, J. C. Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (Costa y región Andina) del Ecuador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 390-403, 2009.
- VILLATORO, M.; HENRÍQUEZ, C.; SANCHO, F. Comparación de los interpoladores idw y kriging en la variación espacial de pH, CA, CICE y P del suelo. **Agronomía Costarricense**,

San José, v. 32, n. 1, p. 95-105, 2008.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGRAW- Hill do Brasil, 1975. v. 1, 245 p

VÖRÖSMARTY, C. J.; FEDERER, C. A.; SCHLOSS, A. L. Potential evaporation functions compared on US watersheds: possible implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 207, n. 3-4, p. 147-169, jun. 1998.

WAGLE, P.; GOWDA, P. H.; XIAO, X.; KC, A. Parameterizing ecosystem light use efficiency and water use efficiency to estimate maize gross primary production and evapotranspiration using MODIS EVI. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 222, p. 87-97, maio 2016.

WAGLE, P.; XIAO, X.; GOWDA, P.; BASARA, J.; BRUNSELL, N.; STEINER, J.; K.C. A. Analysis and estimation of tallgrass prairie evapotranspiration in the central United States. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 232, p. 35-47, jan. 2017.

WILLIAMS, D. L.; GOWARD, S.; ARVIDSON, T. Landsat. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 72, n. 10, p. 1171-1178, 1 out. 2006.

WILM, H. G.; THORNTHWAITE, C. W. Report of the committee on transpiration and evaporation, 1943-44. **Transactions, American Geophysical Union**, Washington, v. 25, n. 5, p. 683-693, 1944.

WOODCOCK, C. E.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; BELWARD, A.; BINDSCHADLER, R.; COHEN, W.; GAO, F.; GOWARD, S. N.; HELDER, D.; HELMER, E.; NEMANI, R.; OREOPOULOS, L.; SCHOTT, J.; THENKABAIL, P.; VERMOTE, E.; VOGELMANN, J.; WULDER, M.; WYNNE, R. Free access to landsat imagery. **Science**, New York, v. 320, n. 879, p. 1011, 2008.

XAVIER-DA-SILVA, J. Metodologia de geoprocessamento. **Revista de Pós-Graduação em Geografia-UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 25-34, 1997.

XAVIER-DA-SILVA, J. O que é geoprocessamento? **Revista do Crea-RJ**, Rio de Janeiro, p. 42-44, 2009.

YEO, R. R. Life history of common cattail. **Weeds**, Ithaca, v. 12, n. 4, p. 284-288, 1964.

ZACCAGNINI, M. E.; WILSON, M. G.; OSZUST, J. D. **Manual de buenas prácticas para la conservación del suelo, la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos**. Buenos Aires: PNUD, 2014. v. 1, 95 p.

ZHA, T.; BARR, A. G.; VAN DER KAMP, G.; BLACK, T. A.; MCCaughey, J. H.; FLANAGAN, L. B. Interannual variation of evapotranspiration from forest and grassland ecosystems in western Canada in relation to drought. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 150, n. 11, p. 1476-1484, 15 out. 2010.

ZHANG, Z.; ZHANG, H.; CHANG, Y.; CHEN, Z. Review of radiometric calibration methods of Landsat series optical remote sensors. **Journal of Remote Sensing**, Beijing, v. 19, n. 5, p. 719, 2015.

ZHUANG, X. **Typha angustifolia the IUCN red list of threatened species 2011: e.T164199A5772487**. Cambridge: IUCN, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T164199A5772487.en>>. Acesso em: 9

set. 2015.

ZWART, S. J.; BASTIAANSSEN, W. G. M. SEBAL for detecting spatial variation of water productivity and scope for improvement in eight irrigated wheat systems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 89, n. 3, p. 287-296, maio 2007.