

APLICAÇÃO DO ALGORITMO SAFER PARA DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM CANAVIAIS IRRIGADOS POR DIFERENTES SISTEMAS

DANIELA ARAUJO DE OLIVEIRA¹; FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ²; REGIANE DE CARVALHO BISPO³ E ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA⁴

¹ Mestranda do Programa de Pós Graduação em Sistemas de Produção, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Av. Brasil Sul, 56, Centro, CEP: 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil. Email: araujo1daniela@gmail.com.

² Professor Titular, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Ilha Solteira, SP, Brasil. E-mail: fernando.braz@unesp.br.

³ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP/FCA, Botucatu, SP, Brasil. E-mail: regianecarvalhoks@gmail.com.

⁴ Professor Doutor, Recursos Hídricos/PRORH, Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. E-mail: heriberto@globomail.com.

1 RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estimar a evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar irrigada pelos sistemas pivô central e gotejo subsuperficial, assim como em áreas de sequeiro, na região Noroeste de São Paulo, por meio da aplicação do algoritmo SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) em imagens do satélite Landsat 8. Os dados considerados corresponderam a safra produtiva 2017/2018. Os valores de evapotranspiração na área irrigada por pivô central se mantiveram superiores aos da área sob gotejamento subsuperficial durante todo o ciclo, se aproximando apenas nos meses correspondentes ao período de chuvas na região. As áreas cultivadas em sequeiro apresentaram menores valores de evapotranspiração quando comparadas às áreas irrigadas, mas no período de chuvas da região os valores de evapotranspiração atual de todas as áreas analisadas se aproximaram devido a disponibilidade de água no solo.

Palavras-chave: pivô central, gotejamento subsuperficial, *Saccharum officinarum*.

**OLIVEIRA, D. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.
SAFER ALGORITHM APPLICATION FOR DETERMINATION OF THE CANE
FIELD EVAPOTRANSPIRATION IN DIFFERENT IRRIGATION SYSTEMS**

2 ABSTRACT

The present work aimed to estimate the evapotranspiration in the sugar cane crop irrigated by the central pivot and subsurface drip systems, as well as non-irrigated areas, in Northwest region of São Paulo, applying the algorithm SAFER (Simple Algorithm for Evapotranspiration Retrieving) in images from Landsat 8 satellite. The data considered correspond to the 2017/2018 harvest. The evapotranspiration values in the area irrigated by central pivot remained higher than those of the area under subsurface drip irrigation during all cycle, approximating only in

the months corresponding to the rainy season in the region. The not-irrigated areas presented lower evapotranspiration values when compared to irrigated areas, but in the region's rainy season the evapotranspiration values of all de areas analyzed approximate due to the soil water availability.

Keywords: central pivot, subsurface drip, *Saccharum officinarum*.

3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é a principal matéria-prima para a produção de bioetanol no Brasil e o estado de São Paulo é o maior produtor do país fornecendo 48% dos insumos destinados à produção de etanol em âmbito nacional (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2019). Dessa forma, devido às usinas de etanol e açúcar o cultivo da cana-de-açúcar é representativo na região Noroeste do estado de São Paulo (Hernandez et al., 2015).

O Noroeste Paulista possui as maiores taxas de evapotranspiração do estado, além de uma alta variabilidade de chuvas, provocando déficit hídrico por um período de até oito meses anualmente, tornando arriscado o desempenho da agricultura na região sem o uso de sistemas de irrigação (Hernandez et al., 2003; Santos et al., 2010). Assim, nota-se o aumento de pesquisas com o objetivo de minimizar os efeitos do déficit hídrico sobre as culturas na região visando um melhor planejamento agrícola, como Ascoli et al. (2017), Bispo et al. (2017), Avilez et al. (2018) e Silva Junior et al. (2018).

O sensoriamento remoto tornou-se uma ferramenta poderosa na agricultura principalmente em relação aos aspectos das culturas e as variáveis climáticas, tal como a obtenção de medidas de evapotranspiração atual em escala regional (Zwart e Bastiaanssen, 2007). A evapotranspiração atual das culturas pode ser determinada pela aplicação de algoritmos em imagens de satélite, dentre esses algoritmos, o SAFER (Simple Algorithm For Evapotranspiration

Retrieving) (Teixeira et al., 2010) estima a evapotranspiração atual por meio da equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e tem sido utilizado em várias regiões do Brasil, inclusive no Noroeste Paulista (Teixeira et al., 2016; Teixeira et al., 2015a; Teixeira et al., 2014).

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo determinar a evapotranspiração atual da cultura da cana-de-açúcar irrigada pelos sistemas pivô central e gotejo subsuperficial e não irrigada na região Noroeste Paulista, mediante a aplicação do algoritmo SAFER em imagens do satélite Landsat 8.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo localizam-se em áreas comerciais na região Noroeste Paulista, sendo a área que possui o sistema de irrigação tipo pivô central localizada no município de Ilha Solteira e a área que dispõe do gotejamento subsuperficial (GSS) no município de Andradina, a distância entre elas é de aproximadamente 26 quilômetros. Considerando a safra produtiva da cana-de-açúcar 2017/2018, as duas fazendas comerciais possuíam cana tipo soca com uma diferença entre os cortes, a cana sob o sistema pivô central foi cortada em 15/07/2017, enquanto que a área de GSS recebeu o corte em 26/06/2017, e é importante ressaltar que a área de gotejamento estava no seu quinto corte e a área irrigada por pivô central em seu décimo segundo corte.

Foram obtidas imagens do satélite americano Landsat 8 disponibilizadas pelo

United States Geological Survey (USGS) referentes à órbita 222 e ponto 74, das datas: 31/07/2017, 01/09/2017, 17/09/2017, 04/11/2017, 08/02/2018, 13/04/2018, 29/04/2018, 15/05/2018, 23/06/2018. O algoritmo SAFER foi aplicado através do software ILWIS 3.3 Academic, utilizando as metodologias de Teixeira (2010), Teixeira et al. (2015b, 2015c) e Hernandez et al. (2014) para a modelagem da evapotranspiração atual (ETa) e relação entre a evapotranspiração atual e evapotranspiração de referência (ET/ET0) pelo SAFER. Os dados agrometeorológicos utilizados foram obtidos no Canal CLIMA

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

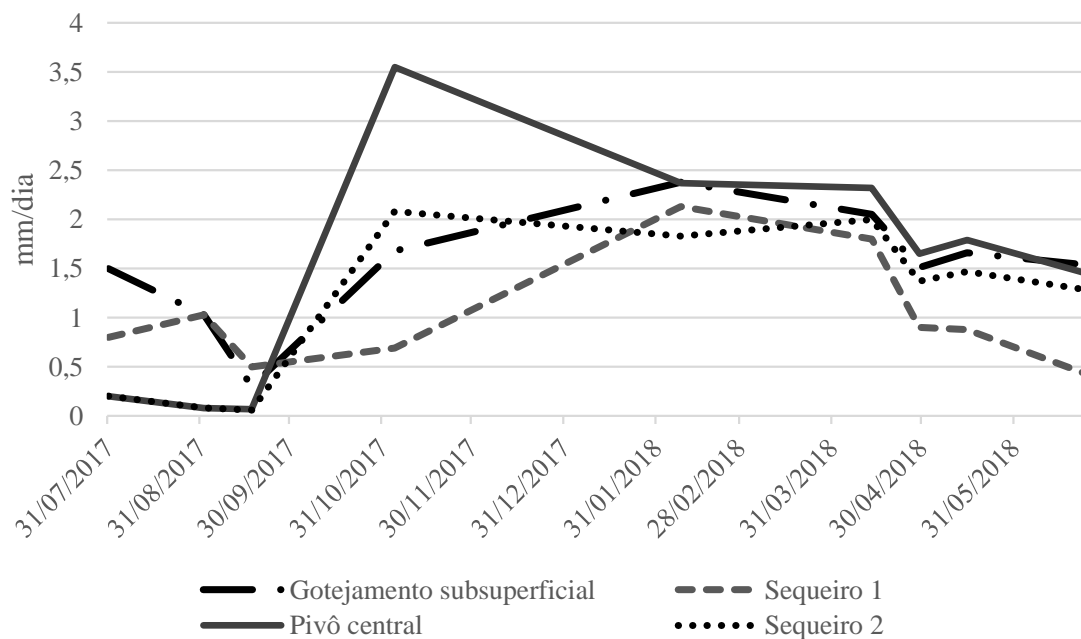
A estimativa da evapotranspiração atual da cana-de-açúcar sob os sistemas de irrigação gotejamento subsuperficial e pivô central, bem como para as áreas sem irrigação, para a safra avaliada são apresentados na Figura 1, nota-se que os valores na área irrigada pelo pivô central se

da UNESP Ilha Solteira (Universidade Estadual Paulista, 2019).

O processamento das imagens foi realizado no software ArcGIS - Versão 10.1 (ESRI) licenciado para a Área de Hidráulica e Irrigação da UNESP Ilha Solteira. Criou-se um shapefile tipo polígono das áreas de interesse e para fins de comparação também foram criados shapes de áreas de sequeiro, chamados de Sequeiro 1 na fazenda comercial que possui o GSS, e Sequeiro 2 na fazenda com pivô central, para extração dos valores de evapotranspiração atual ao longo da safra de interesse

mantêm acima em todo o ciclo da cana-de-açúcar quando comparado aos demais. Observa-se no gráfico um pico da ETa no sistema pivô central e no Sequeiro 2 no início do mês de novembro decorrente de chuva na área durante dois dias antes da imagem de satélite correspondente que somaram cerca de 60 mm.

Figura 1. Valores de evapotranspiração atual da cultura da cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de irrigação e sequeiro.



Os valores baixos de ETa nos outros sistemas podem indicar alguma deficiência hídrica no solo, inclusive na área irrigada por gotejamento subsuperficial, visto que esse sistema proporciona menor quantidade de água na camada superficial do solo (0-20 cm) (Rocha et al., 2002). Apesar disso, os valores de ETa da área de GSS se apresentaram mais altos que os do Sequeiro 1. Farias et al. (2008) constataram que a área foliar de cana-de-açúcar cultivada em sequeiro é menor que a cultivada sob irrigação, esclarecendo os dados encontrados neste trabalho, visto que quanto maior a área foliar maior a evapotranspiração se a cultura estiver em boas condições hídricas

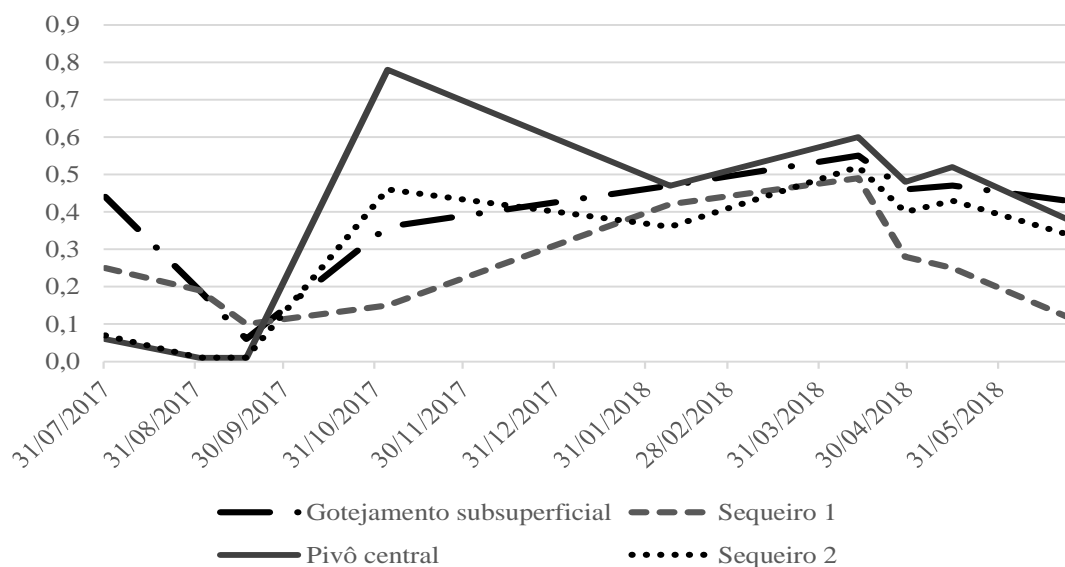
De acordo com Allen et al. (1998) a evapotranspiração atual pode igualar-se a evapotranspiração da cultura quando esta está em uma boa situação no campo, sem a presença de adversidades como pragas e doenças, excesso ou escassez de água, dentre outras. Percebe-se que os valores de evapotranspiração dos sistemas se aproximam dentre os meses de janeiro e março, momento em que há disponibilidade de água no solo devido ao período de chuvas da região (Silva Junior et al., 2018).

Carvalho et al. (2009) concluiu que maiores lâminas de água aplicadas pelo sistema pivô central beneficiou a produção da cana-de-açúcar, já Dalri et al. (2008) tiveram melhores resultados em produtividade com lâminas médias aplicadas pelo sistema gotejamento superficial. Com isso é possível inferir sobre a necessidade de realizar um bom manejo de irrigação considerando o sistema que se dispõe.

Para todos os sistemas as menores medidas são observadas no início e no final do ciclo da cultura e são superiores no meio do ciclo, quando a cultura está nas fases de perfilhamento e crescimento dos colmos, dados que corroboram com Teixeira et al. (2016b) e Oliveira et al. (2019) para a cultura da cana-de-açúcar em São Paulo. Devido a diferença entre as datas de corte das lavouras de cana soca, é notável que a linha da ETa da cultura sob pivô central começou a subir um pouco antes que a da lavoura sob sistema de gotejamento subsuperficial.

A relação ET/ET₀ das áreas irrigadas e de sequeiro analisadas são apresentadas na Figura 2.

Figura 2. Valores da relação ET/ET₀ da cultura da cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de irrigação e sequeiro.



Os maiores valores foram encontrados no meio do ciclo da cana-de-açúcar e o sistema pivô central se manteve acima dos demais, comportamento semelhante ao observado para a ETa, com uma subida no período de chuvas, devido a menores taxas de evapotranspiração na região para o período. O maior valor encontrado para a área irrigada por pivô central foi 0,8 no dia 04/11/2017, e pode ser explicado pela chuva ocorrida na região próxima a esta data e pela fase fenológica que a cana-de-açúcar se encontrava. Já na área de GSS o maior valor encontrado foi de

6 CONCLUSÃO

A aplicação do algoritmo SAFER em imagens de satélite permitiu identificar variação da evapotranspiração atual entre os sistemas de irrigação pivô central e gotejo subsuperficial na cultura da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista, bem como nas áreas em cultivo de sequeiro. As áreas irrigadas possuem maiores valores de evapotranspiração atual que as de cultivo em sequeiro e no período de chuvas da

0,6, ocorrido dia 13/04/2018. Nos cultivos de sequeiro a relação ET/ET0 ficou entre 0,1 a 0,5, com os maiores valores encontrados na época de chuva.

Anualmente a região Noroeste Paulista conta com uma evapotranspiração de referência média de 1446 mm e precipitação de 1280 mm (Silva Junior et al., 2018), essa diferença torna essencial os investimentos em sistemas de irrigação para que não haja perda de produtividade das culturas na região em razão do déficit hídrico.

região os valores de evapotranspiração atual de todas as áreas analisadas se aproximaram devido a disponibilidade de água no solo.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela Bolsa de Mestrado concedida ao primeiro autor (Processo 2018/17493-3) e pelo apoio financeiro (Processo 2009/52467-4).

8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. FAO, Irrigation and Drainage Paper, 56. Rome, 1998. 300p.
- ASCOLI, A. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; SENTELHAS, P. C.; AMENDOLA, E. C.; ASCOLI, R. T. Necessidade de irrigação na cultura da cana-de-açúcar em função da época de colheita. In: IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING. **Anais...**Fortaleza - CE, 2017.
- AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. C.; GIOVANELLI, L. B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 171-188, Edição Especial 30 anos PG Irriga, 2018.
- BISPO, R. C., HERNANDEZ, F. B. T, TEIXEIRA, A. H. C. Balanço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura da cana-de-açúcar na região noroeste paulista. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 94-101, 2017.

CARVALHO, C. M.; AZEVEDO, H. M., DANTAS NETO, J.; FARIAS, C. H. A.; SILVA, C. T. S.; GOMES FILHO, R. R. Rendimento de açúcar e álcool da cana-de-açúcar submetida a diferentes níveis de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE. v.4, n.1, p.72-77, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>> Acesso em: 12 jun. 2019.

DALRI, A. B.; CRUZ, R. L.; GARCIA, C. J. B.; DUENHAS, L. H. Irrigação por gotejamento subsuperficial na produção e qualidade de cana-de-açúcar. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 1-11, 2008.

FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.356–362, 2008.

HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M.; TEIXEIRA, A. H. C. Uso do satélite Landsat 8 na determinação da produtividade da água em bacia hidrográfica com predomínio do uso agrícola da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR). **Anais...** João Pessoa - PB, Brasil: INPE, 2015. p. 3229-3236.

HERNANDEZ, F. B. T.; NEALE, C. M. U.; TEIXEIRA, A. H.; Taghvaeian, S. Determining large scale actual evapotranspiration using agro-meteorological and remote sensing data in the northwest of Sao Paulo State, Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 1038, p. 263-270, 2014.

HERNANDEZ, F. B. T.; SOUZA, S. A. V.; 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.

OLIVEIRA, D. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; BISPO, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C. Produtividade da água em cana-de-açúcar irrigada e não irrigada utilizando imagens do satélite landsat 8. In: XIX Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...** Santos - SP, INPE, 2019.

ROCHA, F. C. S.; LEÃO, M. C. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Avaliação técnica de um plantio comercial de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) microirrigado por gotejamento subsuperficial. **Irriga**, v. 7, n. 1, p. 18-28, 2002.

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.

SILVA JUNIOR, J. F.; HERNANDEZ, F. B. T.; SILVA, I. P. F.; REIS, L. S.; TEIXEIRA, A. H. C. Estabelecimento dos meses críticos para a agricultura irrigada a partir do estudo do balanço hídrico. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 12(2), p. 122-131, 2018.

TEIXEIRA, A. H. C. Determining regional actual evapotranspiration of irrigated and natural vegetation in the São Francisco river basin (Brazil) using remote sensing an Penman-Monteith equation. **Remote Sensing**, v. 2, n. 5, p. 1287-1319, 2010.

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. **Water Resources and Irrigation Management**, v.3, n.2, p.91-100, 2014.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G. HERNANDEZ, F. B. T. Determinação da evapotranspiração através de imagens de satélites de diferentes resoluções com e sem a banda termal. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais...** João Pessoa-PB, INPE, 2015a.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. F. 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. **Anais...**Toulouse, 2015b.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; HERNANDEZ, F. B. T; 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. **SPIE**, 2016a.
Disponível em:
<http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/spie_2016/Teixeira%20et%20al.,%202016.pdf>
Acesso em: 13 jun. 2019.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; RONQUIM, C. C.; VICTORIA, D. C. Sugarcane Water Productivity Assessments in the São Paulo state, Brazil. **International Journal of Remote Sensing Applications**, v. 6, Jun. 2016b.

TEIXEIRA, A. H. C.; PADOVANI, C. R.; ANDRADE, R. G.; LEIVAS, J. F.; VICTORIA, D. C.; GALDINO, S. Use of MODIS images to quantify the radiation and energy balances in the Brazilian Pantanal. **Remote Sensing**, v.7, p.14597-14619, 2015c.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Canal Clima UNESP Ilha Solteira**. Ilha Solteira - SP, 2019. Disponível em: <<http://clima.feis.unesp.br>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

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**, v. 89, p. 287-296, 2007.