

IGOR SILVA SANTOS

**ESTRESSE HÍDRICO CONTROLADO EM CULTURAS AGRÍCOLAS NO
CERRADO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Santos, Igor Silva, 1990-
S237e Estresse hídrico controlado em culturas agrícolas no
2017 Cerrado Brasileiro / Igor Silva Santos. – Viçosa, MG, 2017.
 ix, 58 f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 36-40.

1. Evapotranspiração. 2. Irrigação agrícola.
3. Abastecimento de água. 4. Plantas - Relações hídricas.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.
II. Título.

CDD 22. ed. 551.572

IGOR SILVA SANTOS

**ESTRESSE HÍDRICO CONTROLADO EM CULTURAS AGRÍCOLAS NO
CERRADO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de agosto de 2017.



Felipe Lopes da Silva



Catariny Cabral Aleman



Fernando França da Cunha
(Presidente)

*À minha família pelo imenso
apoio nessa caminhada, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me concedido condições de realizar este sonho de ser mestre. Aos meus pais e minha irmã Samanta, que sempre me apoiaram e me deram força para que esse resultado fosse alcançado.

E as pessoas que na minha vida passaram, e de alguma forma contribuíram para o meu sucesso.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de aperfeiçoamento da minha formação acadêmica.

Agradeço também ao meu orientador, professor Everardo Chartuni Mantovani por todo apoio e compreensão durante essa caminhada, bem como aos colegas do Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) que foram grandes contribuintes nessa caminhada.

BIOGRAFIA

Igor Silva Santos, filho de Rogério de Souza Santos e Silvânia Silva Xavier Santos, nasceu em Carlos Chagas, MG, em 06 de novembro de 1990. Em março de 2007, ingressou-se no curso de Técnico em Agropecuária na Universidade Federal de Viçosa, Campus de Florestal, MG, concluindo-o em dezembro de 2009. Em março de 2010, ingressou-se no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG concluindo-o em janeiro de 2015. Em março de 2015, ingressou-se no Programa de Pós-Graduação, em Nível Mestrado, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, na área de concentração de Ciência e Engenharia de Irrigação, submetendo-se à defesa de dissertação em agosto de 2017.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Geral	3
2.2. Específicos.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1. Agricultura irrigada no Brasil.....	4
3.2. Manejo de irrigação.....	6
3.3. Balanço de água no solo	8
3.4. Metodologia GESAI de estimativa de evapotranspiração da cultura (ETc)..	9
3.5. Resposta de rendimento das culturas à água	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1. Descrição geral	15
4.2. Organização do banco de dados	16
4.3. Metodologia de seleção dos dados para análise da redução de ETpc	17
4.4. Análise estatística	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
6. CONCLUSÕES	35
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
APÊNDICES.....	41
APÊNDICE A.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtividade da cultura cenoura (<i>Daucus carota</i> subsp. <i>Sativus</i>) em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).....	24
Figura 2 - Produtividade da cultura do alho (<i>Allium sativum</i>), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).	25
Figura 3 - Produtividade da cultura batata (<i>Solanum tuberosum</i>), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).	25
Figura 4 - Produtividade da cultura do milho (<i>Zea mays</i>), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).....	27
Figura 5 - Produtividade da cultura do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).	28
Figura 6 - Produtividade da cultura do trigo (<i>Triticum</i> ssp.), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).....	28
Figura 7 - Produtividade da cultura da soja (<i>Glycine max</i>), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).....	29
Figura 8 - Produtividade da cultura do café arábica (<i>Coffea arabica</i>), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).	30
Figura 9 - Produtividade da cultura do algodão (<i>Gossypium</i> L.), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).	31
Figura 10 - Produtividade da cultura da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos diretos de irrigação para algumas culturas em 2016	6
Tabela 2 - Caracterização dos estádios de desenvolvimento e respectivos valores ..	10
Tabela 3 - Dados coletados junto à IRRIGER referente a cada uma das parcelas para realização do presente estudo.....	16
Tabela 4 - Número de Parcelas analisadas por cultura.....	17
Tabela 5 - Informações da localidade, número de propriedades estudadas, somatório das áreas, duração média do ciclo, e valores médios de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução dada ETpc referente as propriedades, para as culturas da cenoura (<i>Daucus carota</i> subsp. <i>Sativus</i>), alho (<i>Allium sativum</i>) e batata (<i>Solanum tuberosum</i>), classificadas como hortaliças	20
Tabela 6 - Informações da localidade, número de propriedades estudadas, somatório das áreas, duração média do ciclo, e valores médios de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução dada ETpc referente as propriedades, para as culturas da cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>), café arábica (<i>Coffea arabica</i>) e algodão (<i>Gossypium</i> L.), classificadas como culturas perenes.....	21
Tabela 7 - Informações da localidade, número de propriedades estudadas, somatório das áreas, duração média do ciclo, e valores médios de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução dada ETpc referente as propriedades, para as culturas do feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) e soja (<i>Glycine max</i>), classificadas como grãos	22
Tabela 8 - Informações da localidade, número de propriedades estudadas, somatório das áreas, duração média do ciclo, e valores médios de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução dada ETpc referente as propriedades, para as culturas do milho (<i>Zea mays</i>) e Trigo (<i>Triticum</i> ssp.), classificadas como grãos	23

RESUMO

SANTOS, Igor Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2017.
Estresse hídrico controlado em culturas agrícolas no cerrado brasileiro.
Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.

Vários cenários apontam para redução da disponibilidade hídrica com o passar dos anos, diante disso, para se tornar sustentável, a agricultura irrigada precisará aumentar sua eficiência no uso da água e energia e a produtividade das culturas. O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da redução da evapotranspiração potencial de cultura, resposta ao solo via irrigação, das principais culturas agrícolas brasileiras irrigadas sobre a produtividade e definindo o valor máximo de redução para cada uma delas. Para tal, informações referentes as safras dos anos de 2005 a 2016 para as culturas da cenoura, alho, batata, cana-de-açúcar, feijão, milho, soja, trigo, café arábica e algodão cultivadas nos estados da BA, MG, SP, GO, DF, MT foram coletadas. As culturas estudadas foram irrigadas pelos sistemas de irrigação do tipo pivô-central e gotejamento. As estimativas de evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) e evapotranspiração da cultura (ET_c), para realização do manejo da irrigação foram realizados pela empresa IRRIGER – Manejo e Engenharia de Irrigação. As informações de ET_{pc} e ET_c para cada uma das culturas, foram correlacionadas com os dados de produtividade das mesmas, e modelos de regressão foram ajustados e partir deles, foi definido a máxima redução da ET_{pc} (%) sem impactar negativamente a produtividade. Concluiu-se que a redução máxima de ET_{pc} (%) sem afetar a produtividade é 5% para o alho e batata, 12% para o milho, 13% para o feijão, 15% para o trigo, 20% para a soja e algodão, 25% para a cana-de-açúcar e 30% para o café.

ABSTRACT

SANTOS, Igor Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2017.
Controlled water stress in agricultural cultures in Brazilian cerrado. Adviser:
Everardo Chartuni Mantovani.

Several scenarios point to a reduction in water availability over the years. In order to avoid becoming unsustainable, irrigated agriculture will need to increase its efficiency in the use of water and energy and crop productivity. The objective of the present study was to evaluate the effect of the reduction of evapotranspiration, response to soil via irrigation, of the main irrigated Brazilian agricultural crops on yield, and defining the recommended maximum value of reduction for each of them. For this purpose, information on harvests from the years 2005 to 2016 for the crops of carrots, garlic, potatoes, sugarcane, beans, corn, soybeans, wheat, Arabica coffee and cotton cultivated in the states of BA, MG, SP, GO, DF, MT were collected. The studied crops were irrigated by central-pivot irrigation and drip irrigation systems. Estimates of crop potential evapotranspiration (ET_{pc}) and crop evapotranspiration (ET_c) for irrigation management were performed by IRRIGER - Irrigation Management and Engineering. The ET_{pc} and ET_c information for each of the cultures were correlated with the yield data of the same, and regression models were adjusted and from them, and the maximum reduction of the ET_{pc} (%), was defined without negatively impacting productivity. It was concluded that the maximum reduction of ET_{pc} (%) without affecting yield is 5% for garlic and potatoes, 12% for corn, 13% for beans, 15% for wheat, 20% for soybean and cotton, 25% for sugarcane and 30% for coffee.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é de grande importância para segurança alimentar, desenvolvimento público e assentamento para as populações rurais (ELSHAIKH et al., 2018). Em regiões onde os plantios ocorrem em períodos de baixa ocorrência de precipitação ou má distribuição desta, ela é ainda mais importante. E, quando bem manejada faz com que a planta consiga expressar melhor o seu potencial produtivo, além de balancear a questão ambiental, envolvendo a sustentabilidade, quando o assunto é escassez de recursos hídricos (BERNARDO et al., 2006).

Diversos benefícios podem ser observados na prática da irrigação, sendo os principais: (i) aumento da produtividade da ordem de duas a três vezes em relação à agricultura de sequeiro; (ii) redução do custo unitário de produção; (iii) utilização do solo durante todo o ano com até três culturas/ano; (iv) utilização otimizada de máquinas, implementos e mão de obra ao longo do ano; (v) aumento na oferta de alimentos e outros produtos agrícolas com regularidade ao longo do ano (ANA, 2017; BERNARDO et al., 2006; HUSSAIN; HANJRA, 2004).

Por outro lado, a agricultura irrigada é o maior usuário consuntivo de água doce do mundo, responsável por praticamente 70% de todo o consumo (FAO, 2016). A escassez de água está aumentando em todo o mundo, resultando em uma regulamentação mais rigorosa do seu uso para a agricultura. Isso exige o desenvolvimento de práticas de irrigação mais eficientes no uso da água, mas que não comprometam a qualidade e o rendimento da cultura (ADEYEMI et al., 2017). A obtenção de uma irrigação mais eficiente depende de diversas estratégias, tais como: utilização de equipamentos de qualidade, avaliação de equipamentos e ajustes, irrigação em horários com menores perdas por evaporação e arraste pelo vento, mão de obra qualificada, ou seja, um gerenciamento completo da agricultura irrigada. Além destes, merece destaque a utilização da irrigação com déficit controlado – RDI (Regulated Deficit Irrigation).

A RDI é um método de programação de irrigação que impõe déficits hídricos em estágios fenológicos específicos, que são menos sensíveis à seca, sem efeitos significativos sobre a produtividade e a qualidade dos frutos (BEHBOUDIAN; MILLS, 1997). Buscando encontrar o ponto ideal do RDI para algumas culturas de interesse econômico, vários trabalhos científicos vêm sendo realizados.

Bergamaschi et al. (2006), por exemplo, estudaram o déficit hídrico e produtividade na cultura do milho e concluíram que doses de rega de aproximadamente 60% daquela necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo aumentam a eficiência de uso da água. Gava et al. (2016) realizaram trabalho similar na cultura da soja, e encontraram que as lâminas de déficit reduziram a produtividade quando aplicadas no ciclo total. Porém, quando aplicadas somente em subperíodos, não apresentaram diferenças em relação à irrigação plena. Locatelli et al. (2014) em trabalho com os cultivares de feijão BRS Guariba e BRS Novaera, observaram que utilização de lâminas de irrigação com base em 74,3 e 94,02% da ETo para os cultivares permitiu a máxima produtividade de grãos.

Estudos como os supracitados são de grande importância, e sua continuidade é necessária quando se observa por exemplo, dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Segundo a organização, o Brasil usa 63% de seus recursos hídricos em irrigação, 18% para uso humano, 14% para uso animal e 5% para uso industrial (FAO, 2016). O crescimento populacional, que até 2050 deverá ser de mais dois bilhões de pessoas, vai exigir um aumento em 60% na produção de alimentos, sendo a maior parte produzida em área irrigada (FAO, 2015). A FAO prevê que a irrigação nos países em desenvolvimento deverá crescer em torno 20% até o ano 2030 e que a utilização de sistemas mais eficientes de produção, que conservem a umidade dos solos e melhorem a infiltração da água, devem ser promovidos pelos governos (FAO, 2015). Reforçando o tema, Mukherji et al. (2009) destacam que cerca de 80% dos produtos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial, nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados.

Sabendo que vários cenários apontam para redução da disponibilidade hídrica com o passar dos anos, paralelo a isso, a necessidade de uma agricultura irrigada mais eficiente, o presente trabalho teve como hipótese verificar se é possível reduzir a evapotranspiração potencial das culturas, a ser resposta via irrigação, sem afetar negativamente a produtividade das culturas.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar o efeito da redução da evapotranspiração potencial de cultura (ET_{pc}), resposta ao solo via irrigação, das principais culturas agrícolas brasileiras irrigadas sobre a produtividade e definindo o valor máximo de redução para cada uma delas.

2.2. Específicos

Classificar as culturas em grupos de valores de redução de ET_{pc} (%);

Identificar a cultura mais sensível e a mais resistente ao déficit hídrico com base nos valores de redução de ET_{pc} (%).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Agricultura irrigada no Brasil

Entre 1960 e 2015 a área irrigada no Brasil aumentou expressivamente, passando de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares (Mha), o que o coloca entre os 10 países com maior área equipada para irrigação do mundo, podendo expandir mais 45% até 2030, atingindo 10 Mha (ANA, 2017). Entretanto, a irrigação no nosso país é considerada pequena diante da área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica. Um estudo chamado: “Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil” realizado pela Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ, 2014) mostra que o Brasil tem um potencial de irrigar mais de 61 milhões de hectares, sendo 35 milhões de hectares em condições mais favoráveis. Por outro lado, os incrementos anuais de área irrigada têm se mantido elevados nos últimos anos, indicando que esse potencial tem sido aproveitado sobre áreas significativamente maiores a cada ano.

A história da irrigação no Brasil teve início entre o fim do século XIX e o início do século XX nas lavouras de arroz do Rio Grande do Sul, tendo se firmado como importante polo de irrigação desde então (ANA, 2017). E de acordo com a ANA, a irrigação se intensificou no Brasil a partir das décadas de 1970 e 1980, impulsionada pela expansão da agricultura para regiões de características físico-climáticas menos favoráveis (total ou sazonal) e pelos próprios benefícios observados nessa prática, tendo contado com importantes iniciativas governamentais, tais como: a criação do Grupo Executivo de Irrigação para o Desenvolvimento Agrícola-GEIDA (1968); o Programa Plurianual de Irrigação (1969); o Programa de Integração Nacional (1970); o Programa Nacional para Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis – PROVÁRZEAS (1981), o Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação – PROFIR (1982), o Programa Nacional de Irrigação – PRONI (1986) e o Programa de Irrigação do Nordeste – PROINE (1986).

Em relação ao crescimento, a irrigação brasileira tem crescido a taxas médias anuais entre 4,4% e 7,3% desde a década de 1960, quando se tinha apenas 462 mil hectares irrigados. Embora o aumento da irrigação resulte em geral em aumento do

uso da água, os investimentos neste setor resultam também em aumento substancial da produtividade e do valor da produção, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas para cultivo. Além disso, diversos alimentos são produzidos com alto percentual de irrigação, tais como tomate, arroz, pimentão, cebola, batata, alho e verduras em geral. Exigências legais e instrumentos de gestão, como a outorga de direito de uso da água, fomentam o aumento da eficiência e a consequente redução do desperdício (ANA, 2017).

Não existe um método ou sistema ideal para qualquer situação, devendo haver uma avaliação integrada de componentes socioeconômicos e ambientais, incluindo a disponibilidade e a qualidade da água. Uma vez selecionado o método e o sistema de irrigação mais adequado para determinado local, a eficiência do uso da água passa a ser função do manejo adequado da cultura, dos equipamentos e dos recursos ambientais. Os equipamentos necessitam ainda de correto dimensionamento e constante manutenção.

De acordo com o levantamento da ANA (ANA, 2017), no ano de 2006, foram identificados 4,45 milhões de irrigados no Brasil. Em que a irrigação por inundação correspondia a 25,7% da área total e os métodos por aspersão com 54,7% foram os métodos predominantes. Dentre os métodos de aspersão, o sistema de pivô central era responsável por 19,6% e os demais pelos 35,1% restante. A ANA também verificou em seu estudo o incremento de área e constatou que de 2006 até 2016, os métodos de aplicação localizada de água e o sistema de aspersão por pivô central representaram 69,4% do incremento de área irrigada no país (31,4% localizado e 38,0% pivôs). Outros métodos de aspersão responderam por 30,4% do incremento, com destaque para os carretéis enroladores (15,7%).

O sistema de pivô central merece uma atenção especial nesse contexto de área irrigada e incremento de área. Esse sistema liderou a expansão da irrigação mecanizada nos últimos anos com incremento médio de 85 mil ha ao ano nos últimos cinco anos (ANA, 2017). Desta forma, espera-se que o novo Censo Agropecuário, previsto para 2017, apresente participação ainda maior dos pivôs centrais na irrigação brasileira. Além da grande expansão desse sistema, observa-se sua intensificação em áreas tradicionalmente irrigadas, assim como sua expansão para regiões de maior déficit hídrico – ambas as situações demandando atenção dos órgãos gestores de recursos hídricos com vistas à sustentabilidade hídrica do setor.

Se tratando de sistema de irrigação, o pivô central é o sistema com maior número de outorgas com 30,1% do total dos pedidos. Dentre as principais culturas em outorgas irrigadas por sistema de pivô central, destacam-se milho (24,0% da área total), cana-de-açúcar (21,3%), feijão (20,5%), soja (14,7%), café (6,2%) e algodão (3,1%) – perfil similar ao apresentado pelo Censo Agropecuário de 2006. Apesar da concentração de 89,8% da área nestas seis culturas, cabe destacar a ocorrência de mais de 30 culturas irrigadas por pivôs centrais (ANA, 2017). Dados da empresa IRRIGER - Manejo e Engenharia de Irrigação mostram que mais de 85% dos pivôs centrais são utilizados para irrigação da utilizam soja, milho, feijão, trigo, algodão e café como culturas implantadas no sistema (MOREIRA, 2017).

A irrigação é muito importante para uma série de resultados positivos já citados, mas, por outro lado, é a prática responsável pela elevação do custo de produção de um sistema produtivo. Na Tabela 1 observa-se valores médios do custo de produção com irrigação para diversas culturas importantes (MOREIRA, 2017).

Tabela 1 - Custos diretos de irrigação para algumas culturas em 2016

Cultura	R\$/ha	% do Custo total de produção
Soja	592,00	23,3%
Milho	829,50	23,6%
Feijão	828,86	19,6%
Trigo	828,86	25,5%
Algodão	592,04	7,1%
Café	828,86	7,9%
Tomate	757,81	4,6%
Batata	805,18	1,8%

3.2. Manejo de irrigação

O uso do manejo de irrigação na agricultura irrigada, traz vários benefícios como economia de água, melhora a sanidade da lavoura, diminui a lixiviação de nutrientes, aumenta a eficiência na utilização de fertilizantes e aplicações de agroquímicos, diminui o risco de escassez de água em fases críticas da cultura como florescimento, enchimento de grãos, engrossamento de tubérculos.

Para que o manejo da irrigação propriamente dito seja executado com rigor, é preciso que haja o conhecimento da demanda hídrica diária da cultura em cada fase

fenológica, estabelecendo assim, a perda de água do solo ao longo dos dias. Existem várias formas de estimar a demanda hídrica das culturas e uma das mais utilizadas é a estimativa de evapotranspiração da cultura (ET_c). Esta metodologia atende diversas culturas em todas as fases. Essa estimativa depende das condições climáticas do local, do solo, do sistema de irrigação e da cultura implantada.

Existem diversas metodologias para se determinar a ET_c, mas o que todas elas têm em comum é o uso da evapotranspiração de referência (ET_o) e coeficiente de cultura (K_c). A ET_o foi definida primeiramente por Doorenbos e Pruitt (1977), como sendo a quantidade de água perdida por uma superfície de solo, coberta totalmente por grama, com altura uniforme de 8 a 15 cm, em crescimento ativo e sem restrições de água no solo. Foram desenvolvidos ao longo dos anos dezenas de métodos para medição e estimativa de ET_o, mas desde de 1998, o método definido como padrão e também o mais preciso é o método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Nesse método a ET_o (Equação 1) é definida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética que cobre todo o solo, em crescimento ativo, com altura média de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de 0,70 s m⁻¹ e albedo de 0,23, sem restrições hídricas e nutricionais.

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

Em que,

ET_o - Evapotranspiração de referência determinada pelo método padrão de Penman-Monteith, mm dia⁻¹;

R_n - Saldo de radiação à superfície da cultura, MJ m⁻² dia⁻¹;

G - Densidade do fluxo de calor do solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

T - Temperatura média do ar a 2 m de altura, °C;

u₂ - Velocidade de vento média a 2 m de altura, m s⁻¹;

e_s - Pressão de vapor de saturação, kPa;

e_a - Pressão parcial de vapor, kPa;

e_s - e_a - Déficit de pressão de vapor de saturação, kPa;

Δ - Declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹; e,

γ - Coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹.

As equações padronizadas para o cálculo de todos os parâmetros da equação acima são apresentadas por Allen et al. (1998).

3.3. Balanço de água no solo

A disponibilidade total de água no solo (DTA), é uma característica do solo que corresponde a água armazenada no intervalo entre as umidades correspondente da capacidade de campo (CC) e o ponto de murchamento permanente (PMP). Podendo ser representada em altura de lâmina de água por profundidade do solo, geralmente em mm de água por cm ou em volume de água por unidade de área de solo (BERNARDO et al., 2006), sendo esta calculada de acordo a Equação 2.

$$DTA = \frac{(CC - PM)}{10} * ds \quad (2)$$

Em que,

DTA - Disponibilidade total de água no solo, mm cm⁻¹ de solo;

CC - Capacidade de campo, % em peso;

PMP - Ponto de murchamento permanente,% em peso; e,

ds - Densidade aparente do solo, g cm⁻³.

O balanço hídrico de água no solo nas áreas irrigadas é realizado utilizando o software IRRIGER[®]. Para cada cultura e cultivar foi adotado um o fator de disponibilidade de água no solo (f). Esse fator é um parâmetro que representa a porcentagem da DTA que a planta pode utilizar sem que esta sofra estresse hídrico, é também conhecido como fator de segurança. O balanço hídrico é calculado diariamente pelo software de gestão desde o plantio até a colheita de cada cultura fazendo uso destas informações.

Definido os valores de f, CC e PMP, foi calculado diariamente para cada parcela monitorada a disponibilidade real de água no solo (DRA), que nada mais é do que a fração da disponibilidade total de água no solo que a cultura poderá utilizar sem

afetar significativamente a sua produtividade, representada pela Equação 3 (BERNARDO et al., 2006).

$$DRA = DTA * f \quad (3)$$

Em que,

DRA - Disponibilidade real de água no solo, mm cm⁻¹ de solo;

DTA - Disponibilidade total de água no solo, mm cm⁻¹ de solo; e,

f - Fator de disponibilidade de água no solo, adimensional.

Utilizando o software IRRIGER®, acompanhou-se desde o plantio à colheita de cada parcela, os dados de precipitação, evapotranspiração de referência e de cultura, sendo os dados pluviométricos registrados por pluviômetros instalados nas parcelas ou pluviógrafos estrategicamente localizados nas fazendas.

3.4. Metodologia GESAI de estimativa de evapotranspiração da cultura (ETc)

O software IRRIGER® utiliza a metodologia GESAI para a determinação da ETc. O método GESAI recebe esse nome em homenagem ao Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI), do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA-UFV). Essa metodologia foi apresentada primeiramente por Mantovani e Costa (1998), sendo considerada uma modificação da equação original proposta por Doorenbos e Pruitt (1977), conforme Equação 4. Uma descrição completa dessa metodologia pode ser verificada em Mantovani et al. (2012).

$$ETc = ETo * Kc * K_L * Ks \quad (4)$$

Em que,

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm d⁻¹;

ETo - Evapotranspiração de referência determinada pelo método padrão de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), mm dia-1;

Kc - Coeficiente de cultura, adimensional;

Ks - Coeficiente de estresse hídrico (BERNARDO, 1989), adimensional; e,

K_L - Coeficiente de localização (KELLER; BLIESNER, 1990), adimensional.

O Kc, representa basicamente a relação entre a evapotranspiração potencial da cultura e a evapotranspiração de referência, e demonstra uma integração de quatro características principais que diferencia a cultura hipotética de uma cultura de campo típica. Estas características são a altura da cultura, albedo (refletância) da superfície cultura-solo, resistência do dossel e evaporação do solo (ALLEN et al., 1998). Os valores de Kc variam com o tipo de cultura, seu estágio de desenvolvimento, o comprimento do seu ciclo vegetativo e as condições climáticas locais (BERNARDO et al., 2006). Na maioria das culturas anuais, o valor de Kc aumenta a partir da emergência até um valor máximo no período em que é alcançado seu pleno desenvolvimento, diminuindo a partir daí até a maturação (DOORENBOS; KASSAN, 1979). Bernardo et al. (2006) definiram valores de Kc em função do estágio de desenvolvimento para as condições brasileiras (Tabela 2), baseando-se em informações obtidas por Allen et al. (1998).

Tabela 2 - Caracterização dos estádios de desenvolvimento e respectivos valores

Estádio de desenvolvimento	Caracterização do estágio	Kc
Inicial	Da germinação, até a cultura cobrir 10% da superfície do terreno	0,2 a 1,0
Secundário ou desenvolvimento	Do final do primeiro estágio até a cultura atingir de 70% a 80% do seu desenvolvimento vegetativo	Varia linearmente entre os valores no primeiro e terceiro estádios
Intermediário ou de produção	Do final do segundo estágio, até o início da maturação, também denominado estágio de produção	0,9 a 1,25
Final ou maturação	Do início da maturação, até colheita ou final da maturação	Varia linearmente entre os valores do terceiro estágio e final da maturação (0,3 a 1,0)

O coeficiente de umidade do solo (Ks), representa o efeito do estresse hídrico causado pela perda da umidade do solo, principalmente nas primeiras camadas.

Quando a umidade está próxima da capacidade de campo, a evapotranspiração de uma cultura é mantida na sua potencialidade e os valores de K_s se aproximam de 1 ($K_s = 1$). À medida que o solo vai perdendo umidade, os valores de ET_c real se distanciam para menos, dos valores de ET_{pc} , a partir de determinado teor de umidade do solo, fazendo com que os valores de K_s diminuam e se distanciem cada vez mais do valor 1 ($K_s < 1$). No método GESAI a metodologia proposta de determinação do K_s é a apresentada por Bernardo et al. (2006) tomando por base os resultados de Pierce, conforme Equação 5:

$$K_s = \frac{\ln (LAA + 1)}{\ln (CTA + 1)} \quad (5)$$

Em que,

K_s - Coeficiente de umidade do solo, (adimensional);

CTA - Capacidade total de água no solo, mm; e,

LAA - Lâmina atual de água no solo, mm.

O coeficiente de localização é uma coeficiente que visa corrigir a ET_c em função da redução da área molhada pelos sistemas de aplicação localizada. De acordo com Bernardo et al. (2006), nos sistemas localizados é necessário fazer uma correção na evapotranspiração da cultura, já que essa normalmente é expressa em termos de lâmina de água evaporada por dia em toda a área irrigada, e em irrigação localizada não se molha toda a área. Na metodologia GESAI, a correção da ET_c é feita utilizando a Equação 6, proposta por Keller e Bliesner (1990).

$$K_L = 0,1 \sqrt{P} \quad (6)$$

Em que,

K_L - Coeficiente de localização de irrigação, adimensional; e,

P - Porcentagem de área molhada (PAM; %) ou porcentagem de área sombreada (PAS; %). Utiliza-se no cálculo do K_L , o maior valor entre as porcentagens.

3.5. Resposta de rendimento das culturas à água

A água é um dos fatores indispensáveis para a produção agrícola, devendo-se ter a máxima atenção para com seu uso, pois a sua falta ou excesso afeta o rendimento das culturas de forma significativa, tornando-se necessário o manejo racional para maximizar a produção (MORAIS et al., 2008), por isso, o desenvolvimento da agricultura irrigada entre outros aspectos requer maior eficiência em relação à aplicação de água e nutrientes (SILVA et al., 2008). Uma das principais formas de conhecer a resposta das culturas à aplicação de água é por meio das funções de produção, definida por Mantovani et al. (1995), como a relação que caracteriza a resposta da cultura a determinados fatores, como água, fertilizante e energia, em que o conhecimento destas relações é necessário para avaliação de estratégias de irrigação. Ainda de acordo com estes autores, a relação entre irrigação e o rendimento não é linear, mas a relação entre rendimento e a evapotranspiração sim, uma vez que não necessariamente toda a água aplicada é utilizada pela cultura.

O estresse provocado pela baixa disponibilidade hídrica (seca) é um dos principais problemas da agricultura e a habilidade das plantas para resistir a tal estresse é de suma importância para o desenvolvimento do agronegócio de qualquer país (SHAO et al., 2008). Estudos de tolerância à seca envolvendo o milho podem trazer melhorias no crescimento e no rendimento da cultura em regiões com limitação hídrica (LI et al., 2009), já que o milho é conhecido pela sua alta sensibilidade a este estresse (WELCKER et al., 2007). Uma fundamental prerrogativa na produção de milho irrigado, é estimar a quantidade certa de água para que a cultura explore todo o seu potencial em uma maior eficiência no uso do recurso hídrico (GRASSINI et al., 2012).

O conceito de evapotranspiração potencial (ET_{pc}), caracteriza-se como a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera de uma determinada cultura, sob condições ótimas de disponibilidade hídrica e aspectos nutricionais e fitossanitários (BERNARDO et al., 2006). A temperatura do ar influencia os processos fisiológicos das plantas, interferindo em cada subperíodo do ciclo dos vegetais. Além disso, as plantas apresentam uma temperatura mínima abaixo da qual interrompem as suas atividades fisiológicas; uma faixa satisfatória de temperatura para o seu desenvolvimento adequado; e uma temperatura máxima efetiva acima da qual a taxa respiratória supera a produção de fotoassimilados (BARBANO et al., 2001).

Segundo Nesmith e Ritchie (1992), um dos métodos utilizados para relacionar a temperatura ao desenvolvimento das plantas é o das unidades térmicas ou graus-dia, definido como a soma das temperaturas, acima de uma temperatura base, necessária para que a planta atinja um determinado estágio fenológico de desenvolvimento.

A maior restrição para nosso entendimento sobre o uso da água é a dificuldade associada com sua medida e quantificação. Medições e registros de umidade do solo, vazão, pressão do sistema, variáveis de clima são raros e providos erros potenciais. A determinação correta da quantidade de água requerida pela cultura em períodos específicos do seu desenvolvimento é difícil, se não impossível, para a maioria dos irrigantes. Sem a previsão da lâmina de irrigação definida como objetivo, é pouco provável que os agricultores apliquem a quantidade de água necessária. Dado o número e a natureza das variáveis que necessitam ser conhecidas (umidade do solo na capacidade de campo, conteúdo de água no solo em um dado momento, profundidade das raízes, vazão disponível, vazão aplicada, etc.) não é surpreendente que a eficiência de aplicação para a maioria dos irrigantes seja relativamente baixa (FRIZZONE, 2007).

O manejo racional de irrigação prevê o uso do recurso hídrico da forma mais eficiente possível, afim de elevar ao máximo a produtividade da lavoura, o uso de insumos, aspectos socioeconômicos e a lucratividade máxima da cultura para o produtor (BERNARDO et al., 2006).

Para tanto, deve-se trabalhar de forma bastante minuciosa e detalhada a utilização dos dados disponibilizados para a pesquisa e geração de informação à sociedade. Grassini (2015) cita que existem numerosos estudos publicados durante as últimas duas décadas que usam modelos de simulação para avaliar as lacunas dos rendimentos das culturas (quantificados como a diferença entre potenciais e reais rendimentos agrícolas) no entanto, existe uma vasta gama em termos de qualidade em escala espacial e temporal de dados que sustentam esses estudos, bem como suposições feitas sobre contextos diferentes de cultivo.

Considerando a grande variabilidade de informação, estudos precisos que avaliem os diferentes níveis de estresse hídrico para as diferentes fases das culturas são fundamentais para geração de novas informações científicas, bem como servir para delimitar estratégias de manejo mais eficientes a campo e um uso mais racional do recurso hídrico.

Doorenbos e Kassan (1979), estudaram a relação entre o rendimento das culturas e a utilização de água, e propuseram uma relação simples, onde a redução da evapotranspiração (ET) está relacionada com a relativa redução do rendimento das culturas. Especificamente, a resposta de rendimento da ET é expressa conforme a Equação 7.

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_x}\right) \quad (7)$$

Em que,

ET_x - Evapotranspiração máxima (mm) do cultivo em condição de conforto hídrico, ou seja, sem restrição de água;

ET_a - Evapotranspiração real, mm;

Y_x - Rendimento potencial da cultura, kg ha⁻¹;

Y_a - Rendimento real, kg ha⁻¹;e,

K_y - Fator de resposta do rendimento, tabulado por Doorenbos e Kassan (1979).

Essa equação é uma função de produção de água e pode ser aplicada a culturas agrícolas, isto é, herbáceas, árvores e videiras (DOORENBOS; KASSAN, 1979).

O fator de resposta do rendimento (K_y) resume a essência das complexas ligações entre o uso da água por uma cultura e a produção da mesma, onde estão envolvidos muitos processos biológicos, químicos e físicos. Essa interação tem uma notável validade e nos permite um procedimento viável para quantificar os efeitos do déficit hídrico sobre o rendimento das culturas (DOORENBOS; KASSAN, 1979).

Existe um grande interesse pelo desenvolvimento de pesquisas em que se utilizem as quantidades mínimas dos recursos hídricos, com o objetivo de aumento de produtividades das mais diversas culturas e uso mais eficiente da água.

Com esse objetivo, o presente trabalho utilizou um índice de estresse hídrico, no qual as produtividades se mantem elevadas, e a quantidade de água na irrigação se reduz. A este índice foi denominado Redução de ET_{pc} (%), que é a diferença entre a evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) e a evapotranspiração real da cultura (ET_c).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição geral

O trabalho foi realizado com os dados de campo coletados nas safras dos anos de 2005 a 2016 pela empresa IRRIGER – Manejo e Engenharia de Irrigação (<http://www.irriger.com.br/pt-BR>). A IRRIGER é uma empresa líder no Brasil na área de manejo de irrigação, e a mais de 10 anos possuiu parceria com diversas universidades brasileiras para fornecimento de dados, com intuito de contribuir com as pesquisas e a divulgação de tecnologias. (MANTOVANI; MOREIRA, 2010).

Os dados coletados referem-se as culturas da cenoura (*Daucus carota* subsp. *Sativus*), alho (*Allium sativum*), batata (*Solanum tuberosum*), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*), trigo (*Triticum* ssp.), café arábica (*Coffea arabica*) e algodão (*Gossypium* L.). Essas culturas foram cultivadas nos estados da Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso, o que caracteriza um cenário bastante diversificado edafoclimaticamente, possibilitando uma análise extensiva do efeito do estresse hídrico.

As 10 culturas estudadas foram agrupadas em três grandes grupos (G), quais são: (G1) hortaliças irrigadas (alho, cenoura e batata), (G2) culturas perenes (algodão, café e cana-de-açúcar) e (G3) grãos (milho, soja, feijão e trigo). O acesso aos dados coletados pela IRRIGER, foi feito por meio de reuniões periódicas ao longo do ano de 2016 e início de 2017 com consultores da empresa na região do Triângulo Mineiro (Patrocínio – MG), Centro-Oeste (Cristalina – GO) e Oeste da Bahia (Luís Eduardo Magalhães – BA). Os seguintes dados adquiridos, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados coletados junto à IRRIGER referente a cada uma das parcelas para realização do presente estudo

Dados	Descrição
Variáveis Meteorológicas ¹	Temperatura do ar máxima, média e mínima, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar global e precipitação
Evapotranspiração	Evapotranspiração de cultura, evapotranspiração potencial de cultura, porcentagem de redução de evapotranspiração
Cultura	Data de plantio e colheita, produtividade, profundidade efetiva do sistema radicular, fator de disponibilidade hídrica
Físico-hídricos do solo	Capacidade de campo ² , ponto de murcha ³ , densidade do solo ⁴
Balanço hídrico de água no solo	lâmina líquida, lâmina bruta e precipitação
Sistema de Irrigação	Tipo (pivô central ou gotejamento) e eficiência de irrigação

¹ obtidos através de estações meteorológicas automáticas (Davis - Vantage Pro 2); ² obtida *in situ* seguindo as informações de (FABIAN; OTTONI FILHO, 2000) e para outras em laboratório, por meio de Extratores de Richards (Painéis de Richards); ³ obtido por meio de Extratores de Richards; ⁴ amostras indeformadas foram coletadas por meio de um trado tipo uhland, com anel de volume conhecido. As amostras com estrutura preservada foram secas em estufa a 105 °C até peso constante, para determinação da densidade do solo (ds).

Todos estas informações foram adquiridas na forma de tabelas em formato .xls (Excel), exportadas do software IRRIGER.

4.2. Organização do banco de dados

Foi possível dentro do período considerado (2005 a 2016), obter inicialmente um total de 12.545 parcelas (Tabela 4) irrigadas, com informações relacionadas ao manejo dessa irrigação, referentes as culturas da cenoura, alho, batata, feijão, algodão, soja, milho, café e cana-de-açúcar, provenientes de 82 localidades diferentes, pertencentes aos estados já supracitados. Estes dados foram analisados criticamente quanto à consistência a partir de critérios técnico, assim, dados considerados inconsistentes e, ou, incompletos foram eliminados. Além disto, o banco de dados foi reduzido normalmente em função da grande quantidade inicial de dados, chegando-se ao banco de dados final com 311 parcelas (Tabela 4).

Tabela 4 - Número de parcelas analisadas por cultura

Cultura	Número total de parcelas	Nº de parcelas selecionadas para análise
Alho	64	14
Cenoura	132	14
Batata	769	18
Feijão	1636	31
Milho	7598	58
Trigo	276	35
Café	392	38
Cana-de-açúcar	121	24
Soja	1024	40
Algodão	533	39
Total	12.545	311

As informações das 311 parcelas supracitadas (Tabela 4) são apresentados resumidamente (dados médios da localidade para cada cultura) na seção de Resultados e Discussão (Tabelas de 5 a 8) e os dados completos na seção de Apêndices. Os principais informações contidas nas tabelas são informações de localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ET_c), evapotranspiração potencial de cultura (ET_{pc}), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ET_{pc}.

4.3. Metodologia de seleção dos dados para análise da redução de ET_{pc}

Grande parte dos dados coletados serviu de informação complementar ao estudo. As principais informações utilizadas foram os dados de produtividade (kg ha⁻¹) e redução da ET_{pc} (%). Inicialmente os dados foram separados por cultura com o objetivo de avaliar a faixa ou ponto de redução de ET_{pc} (%) em que as produtividades foram ainda elevadas. A redução de ET_{pc} foi calculada conforme Equação 8. Os dados de produtividade versus redução da ET_{pc} (%) foram plotados gerando-se uma nuvem de pontos sem comportamento padrão e com grande variabilidade. Uma análise mais acurada indicou que a variabilidade era devido a efeitos aleatórios e não controlados nas parcelas, como diferentes técnicas de manejo, diferentes genótipos da mesma cultura, diferentes adubações, pulverizações e problemas fitossanitários e diferentes potenciais produtivos entre os genótipos.

$$\text{redução ETpc (\%)} = 100 \times \frac{\sum_{\text{dial}}^n \text{ETpc} - \sum_{\text{dial}}^n \text{ETc}}{\sum_{\text{dial}}^n \text{ETpc}} = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{\text{dial}}^n \text{ks}}{n} \right) \quad (8)$$

Em que,

ETpc - Evapotranspiração potencial da cultura, mm;

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm; e,

Ks - Coeficiente de umidade do solo, adimensional.

Considerando o exposto na metodologia padrão, utilizou-se apenas a parcela com maior produtividade para cada valor de redução de ETpc. Com isso, procura-se reduzir o efeito aleatório, relacionando apenas parcelas com tetos de produtividade para cada valor de ETpc (%). Dessa forma, considerou-se que o manejo das lavouras em todas as parcelas selecionadas foi adequado e houve o mínimo de interferência biótica ou abiótica ou efeito aleatório no mesmo. Assim foi possível separar a evapotranspiração real da cultura diariamente, em cada fase do seu ciclo, e o teto de produtividade atingido.

4.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de regressão. Para execução das análises foi utilizado o programa “SigmaPlot 11.0” (Systat Software, Inc., 2011). Foram testados os modelos das categorias “Polynomial” e “Standard Curve”. A seleção do modelo foi com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 10% de probabilidade, no coeficiente de determinação (R^2) e no fenômeno biológico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 5 a 8 trazem as informações resumidas referentes as culturas estudadas para cada uma das localidades selecionadas. Observa-se que os dados são bastante heterogêneos para algumas variáveis em função da localidade, como por exemplo a precipitação. Essa característica de heterogeneidade da precipitação ocorre devido a uma combinação de fatores, incluindo condições climáticas, mecanismos de geração de chuva, características topográficas, uso da terra e proximidade com o mar e outras superfícies de água (NASTOS et al., 2016; SIVAKUMAR; WOLDEMESKEL, 2015).

De forma semelhante, os dados de redução de ETPc apresentaram uma grande heterogeneidade, especialmente, quando se compara localidades provenientes de diferentes estados. Um ponto importante que deve ser destacado nestes dados refere-se a redução da ETPc na cultura da cana-de-açúcar. Ela é cultura que permite maior porcentagem de redução da ETPc. Isso é reflexo da alta eficiência no uso da água apresentado por essa cultura (GERBENS-LEENES et al., 2009; VRIES et al., 2010). Por isso, a cana-de-açúcar é uma das principais culturas econômicas que é cultivada principalmente onde a disponibilidade de água é uma limitação dominante para produção (ZHAO et al., 2017).

Para as demais informações uma maior homogeneidade foi observada, especialmente para os dados de duração do ciclo e evapotranspiração. Vale ressaltar que é importante se ter uma heterogeneidade entre os dados afim de possibilitar uma análise extensiva do efeito do estresse hídrico. Todas estas informações, presentes nas Tabelas 5 a 8 e que são detalhadas na seção apêndice, e serão discutidas em detalhes nas Figuras de 1 a 10.

Tabela 5 - Informações da localidade, número de propriedades estudadas, somatório das áreas, duração média do ciclo, e valores médios de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução dada ETpc referente as propriedades, para as culturas da cenoura (*Daucus carota* subsp. *Sativus*), alho (*Allium sativum*) e batata (*Solanum tuberosum*), classificadas como hortaliças

Localidade	Nº Propr.	Σ área (ha)	Ciclo	P, mm	ETc, mm	ETpc, mm	Irr, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Cenoura (<i>Daucus carota</i> subsp. <i>Sativus</i>)									
Indianópolis - MG	7	42.4	Janeiro-Julho	200.2	432.7	494.0	438.1	71925.0	12.3%
São Gotardo - MG	7	93.7	Janeiro-Maio	151.4	424.2	441.6	591.5	82946.4	3.9%
Alho (<i>Allium sativum</i>)									
Cristalina - GO	3	13.0	Abril-Agosto	51.2	321.1	351.5	459.9	14867.6	9.1%
São Gotardo - MG	11	106.0	Novembro-Abril	107.1	315.2	350.5	384.6	20049.0	10.1%
Batata (<i>Solanum tuberosum</i>)									
Casa Branca - SP	3	91.7	Março-Outubro	204.1	287.5	326.3	246.8	40437.8	12.1%
Cascavel - BA	2	35.0	Julho-Outubro	10.0	256.1	268.4	264.6	61175.5	4.6%
Coromandel - MG	2	50.8	Julho-Dezembro	277.3	474.6	567.9	358.6	45645.0	16.4%
Cristalina - GO	3	29.9	Abril-Outubro	61.3	354.1	384.9	474.9	57031.3	8.7%
Ibicoara - BA	1	25.0	Janeiro-Maio	14.9	379.1	478.3	363.6	46653.5	20.8%
Mucugê - BA	3	41.3	Novembro-Fevereiro	69.7	219.3	223.2	237.1	73391.0	1.6%
São João da Aliança - GO	3	77.6	Abril-Setembro	14.9	388.8	426.4	435.9	53766.7	8.8%
Serra do Salitre - MG	1	15.0	Agosto-Novembro	296.0	390.0	480.0	177.0	27000.0	18.8%

Tabela 6 - Informações da localidade, número de propriedades estudadas, somatório das áreas, duração média do ciclo, e valores médios de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução dada ETpc referente as propriedades, para as culturas da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), café arábica (*Coffea arabica*) e algodão (*Gossypium* L.), classificadas como culturas perenes

Localidade	Nº Propr.	Σ área (ha)	Ciclo	P, mm	ETc, mm	ETpc, mm	Irr, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)									
Colômbia - SP	2	78.8	Maio/10-Maio/11	951.8	1102.2	1859.7	601.3	129600.0	40.7%
Jataí - GO	16	642.0	Maio/11-Maio/12	2274.6	972.4	1340.2	157.5	154692.9	27.2%
Paracatu - MG	6	83.5	Julho/07-Julho/08	753.6	687.3	1116.5	194.8	147333.3	38.5%
Café arábica (<i>Coffea arabica</i>)									
Barreiras - BA	2	46.7	Julho/10-Junho/11	1328.9	855.6	1078.1	633.6	4200.0	20.6%
Buritis - MG	8	220.0	Julho/11-Junho/12	1180.0	672.1	1034.8	396.4	3983.7	35.1%
Cabeceiras - GO	13	270.0	-	1340.7	742.8	1009.8	402.4	3795.4	25.2%
Campo Alegre de Goiás - GO	6	140.1	Agot/12-Julho/13	1227.7	800.2	953.0	491.2	5164.9	15.8%
Cocos - BA	2	52.0	Julho/12-Julho/13	1235.3	996.6	1171.5	754.8	2820.0	14.9%
Jacarezinho - PR	4	38.9	Set/11-Set/12	1480.3	532.2	956.4	24.6	1345.5	44.3%
Algodão (<i>Gossypium</i> L.)									
Barreiras - BA	7	422.0	Dezembro-Agosto	450.4	367.5	504.9	152.6	4214.0	27.1%
Caiapônia - GO	6	372.9	Janeiro-Agosto	280.0	237.5	423.3	122.8	5046.8	46.3%
Itaberá - SP	4	118.4	Outubro-Junho	757.0	481.7	544.7	113.5	5480.3	11.5%
Paranapanema - SP	4	105.5	Outubro-Junho	1131.9	459.1	496.8	47.0	4800.3	7.6%
São Desidério - BA	14	1125.6	Dezembro-Agosto	568.1	384.2	474.2	187.5	4569.8	17.9%
Vazante - MG	4	256.0	Outubro-Junho	1307.5	460.6	708.5	56.0	4745.1	35.2%

Tabela 7 - Informações da localidade, número de propriedades estudadas, somatório das áreas, duração média do ciclo, e valores médios de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução dada ETpc referente as propriedades, para as culturas do feijão (*Phaseolus vulgaris*) e soja (*Glycine max*), classificadas como grãos

Localidade	Nº Propr.	Σ área (ha)	Ciclo	P, mm	ETc, mm	ETpc, mm	Irr, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)									
Água Fria de Goiás - GO	4	190.0	Junho-Outubro	44.1	392.3	493.6	492.7	3420.0	20.5%
Araguari - MG	1	40.0	Junho-Outubro	35.4	342.5	475.4	381.8	4332.0	28.0%
Cabeceiras - GO	1	30.0	Maio-Setembro	0.0	339.2	403.5	481.9	3180.0	15.9%
Cristalina - GO	1	26.2	Maio-Agosto	98.0	220.4	247.2	236.2	2419.8	0.1%
Itaberá - SP	9	443.8	Julho-Novembro	344.0	296.2	336.0	170.6	3913.4	11.8%
Paracatu - MG	3	87.0	Abril-Agosto	134.7	236.4	291.6	287.9	3260.8	16.8%
Planura - MG	1	77.0	Junho-Outubro	62.6	180.6	320.5	170.6	1422.0	43.7%
São Romão - MG	2	90.0	Junho-Outubro	45.3	285.4	358.0	315.3	3222.0	20.0%
Unaí - MG	9	566.6	Maio-Setembro	264.2	284.8	331.2	230.5	3543.1	12.4%
Soja (<i>Glycine max</i>)									
Buri - SP	5	204.6	Setembro-Fevereiro	741.7	367.1	447.0	52.6	4815.1	17.4%
Corinto - MG	3	110.0	Outubro-Fevereiro	515.4	440.9	477.9	350.3	4904.8	7.9%
Correntina - BA	3	162.0	Outubro-Fevereiro	732.5	339.6	407.8	36.6	4702.6	16.8%
Itaberá - SP	2	116.8	Outubro-Fevereiro	728.9	369.1	424.5	74.9	4920.0	12.8%
Paracatu - MG	14	687.0	Outubro-Março	661.0	409.5	483.7	146.3	4668.8	15.5%
São Desidério - BA	9	1999.2	Outubro-Março	618.8	290.5	416.6	81.4	3108.2	30.3%
São Romão - MG	1	60.0	Outubro-Fevereiro	755.1	459.1	609.1	232.5	4524.0	24.6%
Unaí - MG	2	87.0	Outubro-Fevereiro	1038.0	333.8	361.7	63.1	4149.9	2.2%

Tabela 8 - Informações da localidade, número de propriedades estudadas, somatório das áreas, duração média do ciclo, e valores médios de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução dada ETpc referente as propriedades, para as culturas do milho (*Zea mays*) e Trigo (*Triticum* ssp.), classificas como grãos

Localidade	Nº Propr.	Σ área (ha)	Ciclo	P, mm	ETc, mm	ETpc, mm	Irr, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Milho (<i>Zea mays</i>)									
Água Fria de Goiás - GO	1	45.0	Dezembro-Abril	488.6	513.8	548.0	94.1	10800.0	32.2%
Barreiras - BA	4	200.0	Março-Agosto	126.9	415.5	449.4	113.6	12175.7	33.7%
Coromandel - MG	3	63.3	Dezembro-Abril	1202.2	430.1	479.5	333.6	13240.0	2.8%
Correntina - BA	2	108.6	Junho-Outubro	129.6	550.2	701.3	73.0	13447.1	5.3%
Ibiá - MG	2	39.0	Abril-Setembro	603.8	338.4	379.5	246.1	12388.2	16.3%
Indianópolis - MG	5	126.2	Fevereiro-Agosto	606.4	315.3	373.3	278.8	11457.6	18.6%
Itaberá - SP	3	129.2	Julho-Dezembro	608.7	320.4	349.9	220.2	13355.6	8.8%
Paracatu - MG	29	928.3	Novembro-Fevereiro	1558.6	308.0	339.3	236.0	8521.5	41.4%
São Desidério - BA	4	335.8	Outubro-Fevereiro	729.1	382.8	427.7	199.3	10676.3	19.2%
Trigo (<i>Triticum</i> ssp.)									
Buri - SP	2	90.0	Maio-Setembro	190.0	175.7	279.5	60.6	4823.4	37.2%
Coromandel - MG	2	94.3	Maio-Setembro	39.8	227.6	347.8	443.6	4563.0	35.4%
Cristalina - GO	5	208.2	Maio-Outubro	7.0	316.7	360.3	398.4	6257.5	11.5%
Itaberá - SP	7	214.4	Abril-Outubro	198.6	167.3	225.9	106.7	4533.1	25.9%
Paracatu - MG	6	401.0	Abril-Setembro	86.6	260.7	307.8	247.8	5958.4	18.8%
Taquarivai - SP	2	135.5	Abril-Setembro	612.3	145.2	209.0	0.0	3595.8	30.5%
Uberaba - MG	5	143.0	Abril-Outubro	15.7	218.2	233.4	271.5	7200.0	5.8%
Unaí - MG	5	260.5	Maio-Setembro	35.2	323.5	365.7	388.6	5851.2	11.9%

Na figura 1 apresenta-se a os resultados da modelagem para a cultura da cenoura. Verifica-se que não houve ajuste satisfatório para a cultura da cenoura ($R^2 = 0,03$). O não ajuste dos dados ao modelo de regressão pode estar relacionado a baixa quantidade de amostras e a grande variabilidade dos resultados. A cultura da cenoura é altamente sensível ao déficit hídrico. O desenvolvimento pleno da cultura é obtido quando a umidade do solo é mantida próxima à capacidade de campo durante todo o ciclo.

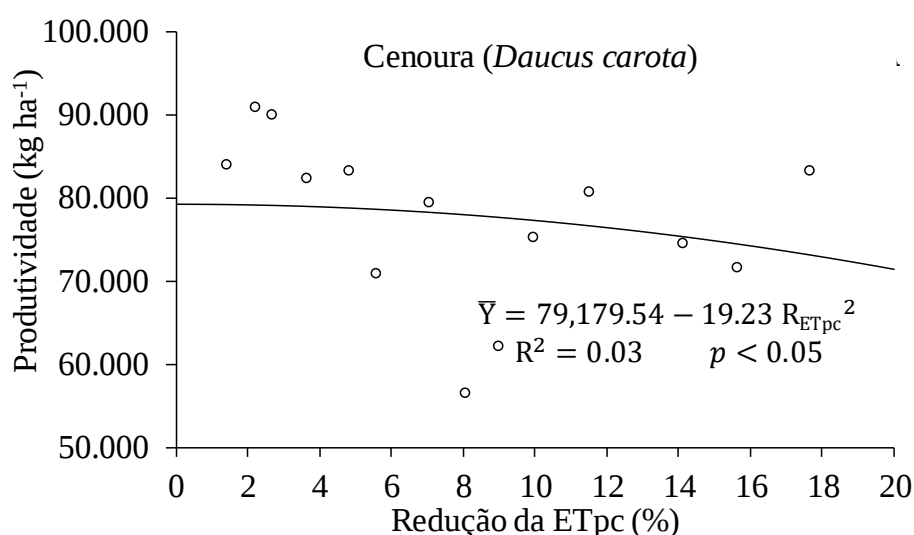


Figura 1 - Produtividade da cultura cenoura (*Daucus carota* subsp. Sativus) em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).

A necessidade de água da cultura da cenoura varia de 350 a 800 mm (SANTOS et al., 2009), dependendo das condições climáticas, duração do ciclo, cultivar e sistema de irrigação. A demanda diária de água aumenta ligeiramente com o crescimento das plantas, sendo máxima no estágio de engrossamento da raiz tuberosa. Lima Júnior et al. (2012) cultivaram cenouras Nantes e híbrido Nayarit F1 em solos que apresentaram conteúdos de água equivalentes as tensões compreendidas entre 15 e 75 kPa. Para os dois materiais testados, os autores verificaram redução da produtividade em função da redução do conteúdo de água no solo, mostrando a importância do manejo hídrico dessa cultura. Silva et al. (2011) verificaram que a aplicação de uma lâmina total de irrigação de 2.310 mm (180% da evaporação em tanque “Classe A”) proporcionou maior produtividade (67,4 Mg ha⁻¹) de raízes da cenoura, cultivar Brasília. Quando utilizadas lâminas de irrigações maiores não ocorre necessariamente maior

evapotranspiração da cultura, pois apesar do ciclo da cultura ter sido mais longo (colheita aos 110 dias), possivelmente uma fração da lâmina de irrigação percolou para horizontes mais profundos do solo.

Os resultados para cultura do alho são apresentados na Figura 2, obtendo-se um melhor ajuste com a função do segundo grau. Entretanto, quando comparado com a cenoura, a tendência de queda da produtividade em relação a redução da ET_{pc} é mais acentuada, mostrando ser mais sensível ao déficit hídrico. Os dados de consumo de água do alho no presente trabalho divergem de Marouelli e Lucini (2014). Os valores descritos são entre 400 e 850 mm e os encontrados foram entre 297 e 555 mm, sendo essa variação dependente do ciclo da variedade estudada, tipo de solo e critérios de medições adotados.

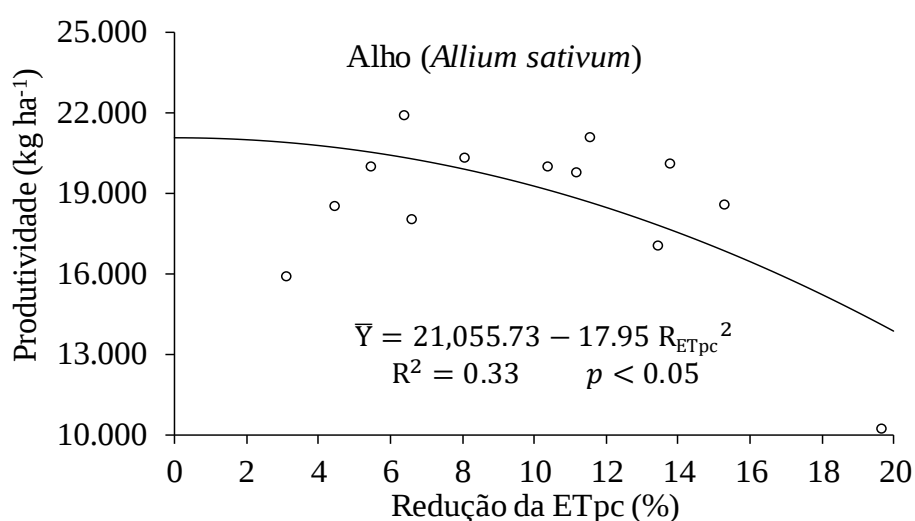


Figura 2 - Produtividade da cultura do alho (*Allium sativum*), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}).

A batata apresentou o melhor ajuste dentre as culturas estudadas (R^2 de 0,84), os resultados são apresentados na Figura 3 e observa-se grande queda de produtividade quando se tem uma redução de ET_{pc} acima de 5%. De acordo com a equação de regressão, uma redução de 10% na ET_{pc} implica na queda de 32% em produtividade de batata. Isso mostra que pequenos valores de tensão de água no solo possivelmente causam fechamento parcial dos estômatos das folhas de batateira e reduz a assimilação de CO₂ (AZAD et al., 2018).

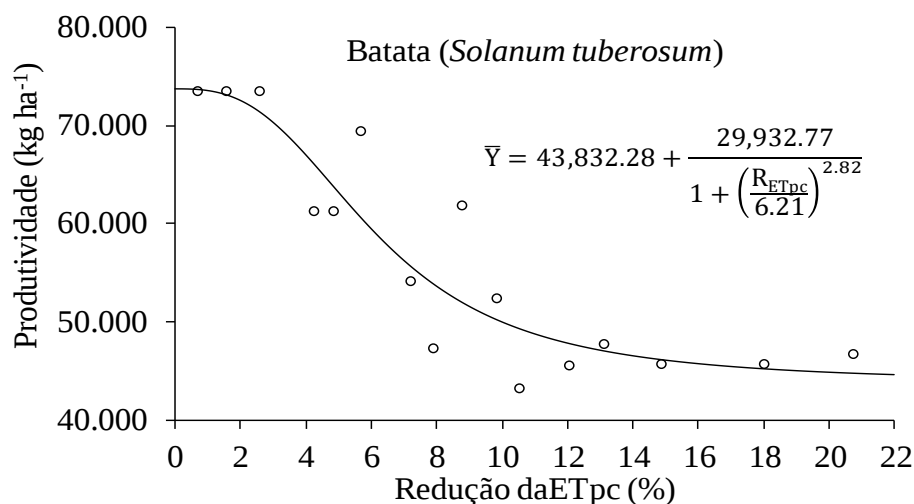


Figura 3 - Produtividade da cultura batata (*Solanum tuberosum*), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).

Dessa forma, o manejo da irrigação na cultura da batata deve ser realizado de forma que a lâmina atual de água no solo permaneça próximo a capacidade total de água no solo para evitar grandes perdas de produtividade. Por outro lado, é oportuno ressaltar que a umidade elevada do solo pode levar a hipóxia (diminuição da pressão de O₂) ou à anóxia (falta de O₂) reduzindo as atividades metabólicas das plantas, alterando seu metabolismo e causando estresse (MOREIRA et al., 2009).

Para as hortaliças irrigadas aqui representadas, é possível observar que valores de redução de evapotranspiração potencial acima de 5% já comprometem significativamente e até drasticamente as suas produtividades potenciais. Hortaliças irrigadas, sendo culturas de altíssimo valor agregado e com alto custo produtivo (variando até R\$100.000,00 por hectare, como na cultura do alho irrigado), não toleram estresse hídrico ao longo do ciclo. A umidade no solo deve-se manter próxima a capacidade de campo não se distanciando muito disto, salva exceções quando ações preventivas ou corretivas relacionadas a questões fitossanitárias se tornam prioridades na lavoura e ou estratégias de manejo como indução da bulbificação no alho.

A cultura do milho apresentou um ajuste intermediário e os resultados são apresentados na Figura 4. A redução de até 12% não pode ser considerada como impactante sobre a produtividade. Para o produtor rural irrigante, principalmente em momento de escassez hídrica, altos custos com a irrigação e baixo valor de venda do produto, a possibilidade de redução de até 12% no uso da água poderá levar a um saldo

muito mais positivo no final no cultivo. Segundo Kasele et al. (1994), o milho é relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porém apresenta extrema sensibilidade nas fases de florescimento e de enchimento dos grãos, o que pode acarretar decréscimo no rendimento.

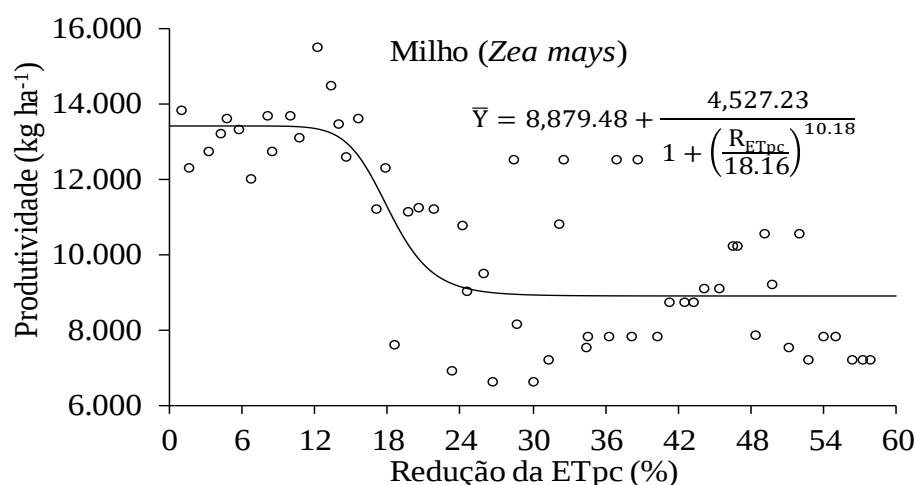


Figura 4 - Produtividade da cultura do milho (*Zea mays*), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).

Para as culturas do feijão (Figura 5) e trigo (Figura 6), duas culturas de grãos em que ocorre concentração de plantio no período de fevereiro a agosto, observou-se curvas muito bem definidas. Apesar da cultura do feijão não apresentar um bom ajuste ($R^2 = 0,21$), para o trigo o ajuste foi muito bom ($R^2 = 0,75$). Por meio das equações de regressão, valores de 13 e 15% de redução da ETpc para feijão e trigo, respectivamente, podem ser considerados limites para uma boa produção.

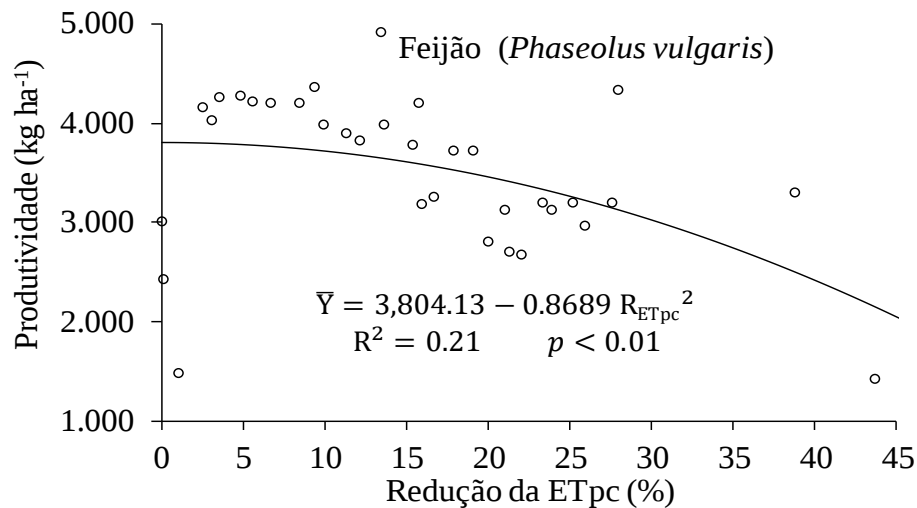


Figura 5 - Produtividade da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).

A queda da produtividade do feijão em relação a redução da ETpc (%), pode ser explicada porque a deficiência hídrica reduz o potencial hídrico das plantas, diminuindo a condutância e a transpiração foliar. Como consequência, há aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução na produtividade da cultura. Segundo Locatelli et al. (2014), a produtividade de grãos do feijão é influenciada pelo regime hídrico, que pode afetar o crescimento do sistema radicular, a absorção e translocação de nutrientes.

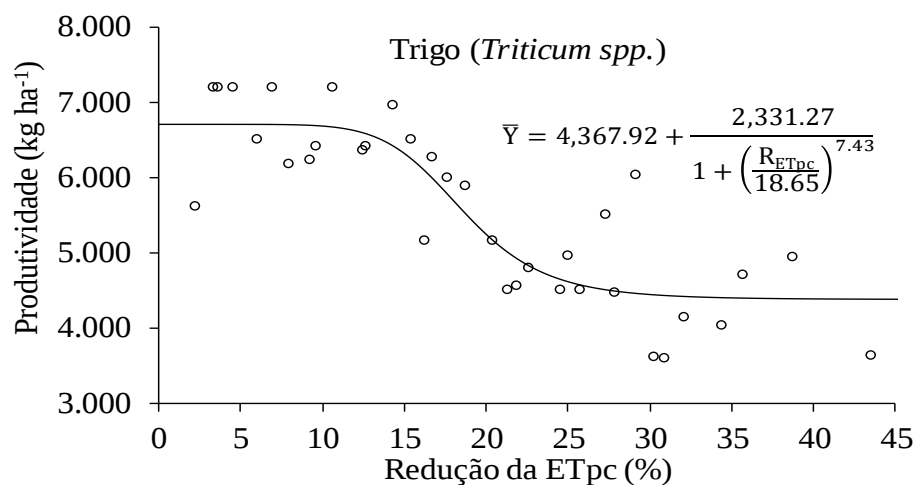


Figura 6 - Produtividade da cultura do trigo (*Triticum spp.*), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).

O trigo apresenta excelente constituição genética e adaptabilidade devido a sua elevada interação genótipo x ambiente, no entanto, o estresse hídrico é um dos fatores que mais limita o desenvolvimento e produtividade dessa cultura no Cerrado. De acordo com Frizzzone et al. (1996), o déficit hídrico no trigo provoca chochamento da espiga o que afeta a produção, em decorrência da baixa assimilação do boro em condições de déficit hídrico.

Na Figura 7 apresenta-se os resultados para cultura da soja, verificando-se um excelente ajuste ($R^2 = 0,81$). Sendo uma cultura de grãos tropical, a soja é uma das mais tolerantes ao estresse hídrico.

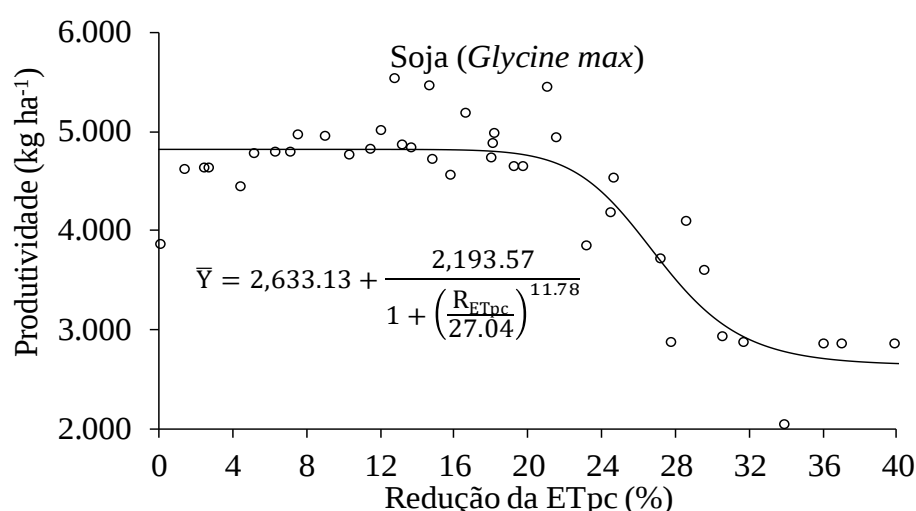


Figura 7 - Produtividade da cultura da soja (*Glycine max*), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ETpc).

Observa-se uma curva muito bem definida, sendo o valor de 20% o limite para se trabalhar com estresse hídrico para cultura, sem afetar a sua produção. Entretanto, Gava et al. (2016) verificaram que a produtividade é afetada pela ocorrência do déficit hídrico no período fenológico que compreende entre a completa formação de vagens e a formação da produção. A ocorrência de déficit hídrico moderado e severo nas fases de desenvolvimento vegetativo e floração ao início da frutificação, respectivamente, prejudicaram o crescimento das plantas, mas não afetaram a produtividade.

Para a cultura do café a modelagem dos resultados na Figura 8 indicam um ajuste dos dados mediano ($R^2 = 0,48$). Arruda e Grande (2003), com base em 16 anos de experimento com café, relatam que há evidências de que com o aumento da idade

da cultura do café, existe aumento na sensibilidade ao estresse hídrico. Esta sensibilidade pode ter corroborado no aumento da variabilidade dos dados na presente pesquisa. Mesmo assim, observa-se no comportamento da curva, que até valores de 30% de redução de ET_{pc} podem ser utilizados, sem acarretar perdas significativas de produção no café.

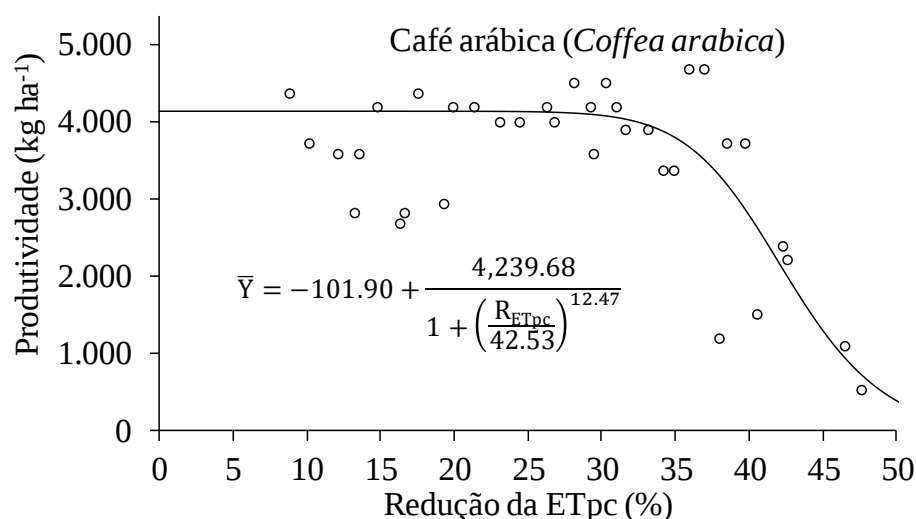


Figura 8 - Produtividade da cultura do café arábica (*Coffea arabica*), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}).

Este alto valor de redução da ET_{pc} possivelmente se deve a necessidade de estresse hídrico na fase de floração da cultura do café (VICENTE et al., 2015), que quando bem manejado implica em plantas florescendo na mesma época e grãos com maturação uniforme na época da colheita, que proporcionam melhor qualidade do produto. Vicente et al. (2015) concluíram que a produtividade da cultura do café foi dependente da lâmina de água aplicada recomendada pelo software de gestão de irrigação IRRIPLUS®, sendo que a maior produtividade foi alcançada com a lâmina de 96% da ET_c. A lâmina que proporcionou a máxima porcentagem de frutos cereja foi de 105% da ET_c. A lâmina que proporcionou a maior eficiência no uso da água foi de 75% da ET_c.

Para a cultura do algodão os resultados apresentados na Figura 9 não indicam um bom ajuste ($R^2 = 0,22$) possivelmente devido à grande variabilidade dos dados. Como valor específico, temos o parâmetro de 20% sendo o limite máximo para a prática da irrigação com déficit, sem que haja perdas na produtividade da cultura. A

deficiência hídrica, especialmente na fase reprodutiva, reduz a produtividade, por induzir a queda de botões florais, flores e maçãs. Ocorre menor crescimento vegetativo, especialmente em altura, concorrendo para menor número de ramos produtivos (BATISTA et al., 2010).

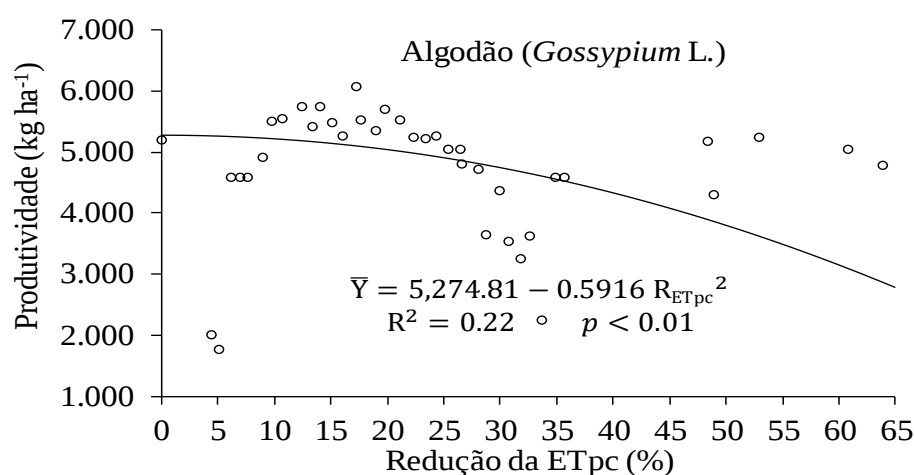


Figura 9 - Produtividade da cultura do algodão (*Gossypium* L.), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}).

Em relação ao grupo dos grãos irrigados, que são culturas de médio valor de mercado e que sofrem muita variação tanto de custo de produção (variando entre R\$1.500,00 a R\$5.000,00 por hectare) como preço pago pelo mercado no momento da venda. Para o milho, por exemplo, em 2016 observa-se vendas com valores de R\$55,00 pela saca de 60 kg, sendo que na mesma época em 2017, os valores foram de R\$18,00/saca. Para o feijão os preços atingiram valores máximos de R\$ 500,00/saca 60 kg, que caíram em 2017 para R\$125,00/saca.

Desta forma, o produtor deve administrar a quantidade de água a ser aplicada, aplicando lâminas de irrigação compatíveis com a expectativa de preços no mercado, não arriscando no uso da irrigação plena em períodos de menores preços, para não onerar o seu custo de produção. Por outro lado, é importante considerar que lâminas de irrigação menores e de menor custo a partir de um certo limite não pode economizar demais na irrigação e reduzir sua produtividade. Em média estes limites de reduções não devem ultrapassar 15% para as culturas de milho, feijão e trigo (Figuras 4, 5 e 6) e 20% para cultura da soja (Figura 7).

Os resultados para cultura cana-de-açúcar são apresentados na Figura 10 e, como a cultura do café, também suporta déficit hídrico sem que ocorra grandes perdas na produção. E isto é visto comumente nos campos de produção, onde os produtores utilizam-se da prática de irrigação com déficit e/ou também conhecida como “irrigação de socorro”.

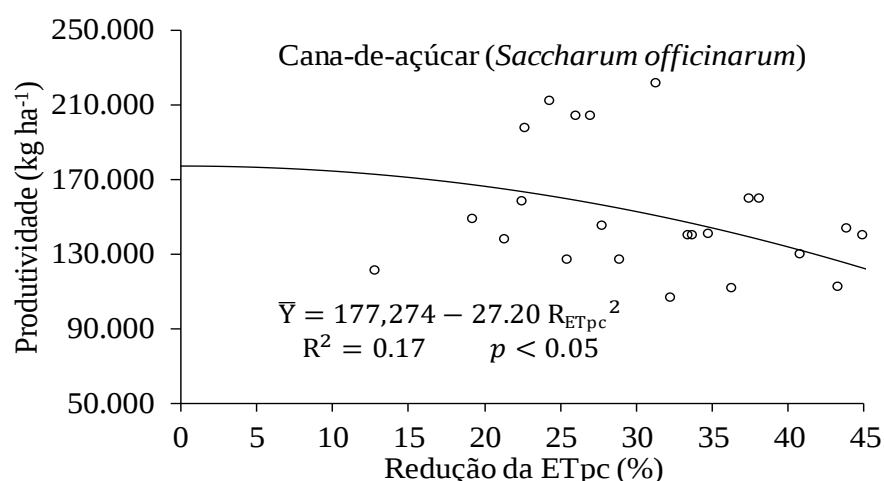


Figura 10 - Produtividade da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), em função da redução da evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}).

Um aspecto muito importante na irrigação da cana-de-açúcar é o teor de sólidos solúveis totais (°Brix). Há uma tendência de redução no grau Brix quando se aumenta a quantidade irrigada e diminui-se a redução da ET_{pc} (%). Isso se deve à maior diluição dos sólidos solúveis (açúcares) no caldo em função da maior quantidade de água disponível no solo e, conseqüentemente, nos colmos, proporcionada pelas lâminas de maior reposição hídrica da ET_c, corroborando com Scarpari e Beauclair (2008), que observaram em áreas que apresentam maior disponibilidade hídrica os valores de °Brix são menores por causa da diluição dos açúcares.

Para as culturas perenes valores de redução de ET_{pc} até 20% para o café (Figura 8) e algodão (Figura 9) e 25% para a cana-de-açúcar (Figura 10) não comprometem significativamente as suas produtividades. Estas culturas toleram altos valores de déficit hídrico ao longo do ciclo e que com isso, é possível irrigar menos sem acarretar perdas de produção.

Dentre as técnicas de manejo recomendado e aplicado pelas empresas de assistência técnica na área de gestão da irrigação estão a aplicação do estresse hídrico no início da fase de desenvolvimento das culturas como no feijão e no alho por exemplo que servem para indução de crescimento radicular. Isso faz com que o valor de redução nessa época aumente, pois realmente há a aplicação do estresse hídrico nessa fase. Por outro lado, alguns dias antes da fase de florescimento da cultura do feijão e milho por exemplo, as irrigações são mais frequentes e com lâminas que mantêm a umidade do solo próximas à capacidade de campo, que permitem no início da fase de florescimento uma maior indução floral, favorecendo maior produção de espigas, vagens e frutos por planta na área cultivada. Essa técnica já consolidada à campo, também altera o valor de redução da ET_{pc} (%), diminuindo-o pois, a umidade do solo fica sempre perto da capacidade de campo explorando o potencial produtivo da cultura.

É oportuno ressaltar que é necessário um estudo mais aprofundado de cada cultura, em relação a cada fase do ciclo da cultura e seu valor exato de redução de ET_{pc} (%). Assim, em cada fase de cada cultura, informações sobre a utilização de técnicas de estresse hídrico sem afetar as produtividades potenciais das culturas serão conhecidos. Isto acarretaria em economia de energia, menor desgaste de equipamento, otimização da mão-de-obra, melhor fitossanidade da lavoura, menor ocorrência de lixiviação de insumos e produtos químicos e principalmente, o uso cada vez mais eficaz do recurso hídrico.

Os resultados apresentados para as 10 culturas trabalhadas representam importante avanço no conhecimento do efeito do estresse hídrico na produtividade de importantes culturas irrigadas. Neste sentido faltam informações que possam subsidiar a decisão de irrigação em condições de campo. É também importante considerar a disponibilidade de novos modelos de simulação e acompanhamento do estresse hídrico de maneira menos empírica que possibilita resultados mais consistentes como por exemplo o Modelo Aquacrop da FAO, desenvolvido por Raes et al. (2009) e Steduto et al. (2009), que visa equilibrar precisão, robustez e simplicidade, na estimativa de respostas das culturas à necessidade de água.

Na Tabela 9, encontram-se as culturas classificadas em grupos em função da porcentagem de redução ET_{pc} tolerável sem impactos negativos sobre a produtividade. A cultura da cenoura ficou isolada num grupo sem categoria, e a justificativa para tal situação foi a falta de ajuste no modelo de regressão causado pela

grande variabilidade dos dados da cultura. O grande destaque fica para a cultura da cana-de-açúcar, que apresentou a maior tolerância, o que justifica o grande uso da irrigação com déficit nessa cultura.

Tabela 9 - Classificação das culturas em grupos de valores de redução de ET_{pc} (%)

Grupo	Culturas
Sem categoria	Cenoura
1 (0 a 10%)	Alho, Batata
2 (11 a 15%)	Feijão, Milho, Trigo
3 (16 a 20%)	Algodão, Soja
4 (>20%)	Café, Cana-de-açúcar

6. CONCLUSÕES

A redução máxima da evapotranspiração potencial da cultura sem afetar a produtividade é 5% para as culturas do alho e batata, 12% para o milho, 13% para o feijão, 15% para o trigo, 20% para a soja e algodão, 25% para a cana-de-açúcar e 30% para o café.

As culturas do café, cana-de-açúcar e algodão são as menos afetadas pela redução da ET_{pc}, enquanto que as hortaliças alho e batata são as mais afetadas.

A fase fenológica de florescimento e ou início do estágio reprodutivo, é a mais sensível a redução da ET_{pc} para as culturas do alho, batata, milho, feijão, soja e algodão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEYEMI, O.; GROVE, I.; PEETS, S.; NORTON, T. Advanced monitoring and management systems for improving sustainability in precision irrigation. **Sustainability**, v. 9, n. 3, p. 1-29, 2017.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANA – Agência Nacional das Águas. **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Disponível em: <<http://atlasirrigacao.ana.gov.br/>>. Acesso em: 13 maio 2017.

ARRUDA, F. B.; GRANDE, M. A. Fator de resposta da produção do cafeeiro ao déficit hídrico em Campinas. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p.139-145, 2003.

BARBANO, M.T.; DUARTE, A.P.; BRUNINI, O. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo semeadura-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 2, p. 261-268, 2001.

BATISTA, C. H.; AQUINO, L. A.; SILVA, T. R.; SILVA, H. R. F. Crescimento e produtividade da cultura do algodão em resposta a aplicação de fósforo e métodos de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 4, p.197-206, 2010.

BEHBOUDIAN, M. H.; MILLS, T. M. Deficit irrigation in deciduous orchards. **Horticultural Reviews**, v. 21, 105-131, 1997.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MULLER, A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 1989. 596 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 201p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. P 179. (FAO Irrigation and Drainage, 24).

ELSHAIKH, A. E.; JIAO, X.; YANG, S. HONG. Performance evaluation of irrigation projects: Theories, methods, and techniques. **Agricultural Water Management**, v. 203, p. 87-96, 2018.

FABIAN, A. J.; OTTONI FILHO, T. B. Determinação de capacidade de campo in situ ou através de equações de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 5, p. 1029-1036, 2000.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Towards a water and food secure future: Critical Perspectives for Policy-makers**. Rome: FAO, 2015. 76 p.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Water uses**. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm>. Acesso em: 11 abr. 2016.

FEALQ - Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.iicabr.iica.org.br/wp-content/uploads/2016/02/FEALQ-An%C3%A1lise-Territorial-Agricultura-Irigada.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2016.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 1, n. 1, 2007.

FRIZZONE, J. A.; JÚNIOR, A. V. M.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A. Efeito de diferentes níveis de irrigação e adubação nitrogenada sobre componentes de produtividade da cultura do trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 425-434, 1996.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; ALMEIDA, B. M.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R. Estratégias de manejo de déficit hídrico na irrigação da cultura da soja. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 3, p. 305-315, 2016.

GERBENS-LEENES, W.; HOEKSTRA, A. Y.; MEER, T. H. VAN DER. The water footprint of bioenergy. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 25, p. 10219-10223, 2009.

GRASSINI, P.; VAN BUSSEL, L. G. J.; VAN WART, J.; WOLF, J.; CLAESSENS, L.; YANG, H.; BOOGAARD, H.; DE GROOT, H.; VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis. **Field Crops Research**, v. 177, p. 49-63, 2015.

GRASSINI, P.; YANG, H.; IRMAK, S.; REES, J.; BURR, C.; CASSMAN, K. G. **Evaluation of water productivity and irrigation efficiency in Nebraska corn production**. Extension Circular n° 105. University of Nebraska-Lincoln, 2012.

HUSSAIN, I.; HANJRA, M. A. Irrigation and poverty alleviation: review of the empirical evidence. **Irrigation and drainage**, v. 53, n. 1, p. 1-15, 2004.

KASELE, I. N.; NYIRENDA, F.; SHANAHAN, F. J.; NIELSEN, D. C.; D'ANDRIA, R. Ethephon alters corn growth, water use, and grain yield under drought stress. **Agronomy Journal**, v. 86, p. 283-288, 1994.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinold, 1990. 652 p.

LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M.; Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, p. 341-346, 2009.

LIMA JUNIOR, J. A.; PEREIRA, G. M.; GEISENHOF, L. O.; SILVA, W. G., VILAS BOAS, R. C.; SOUZA, R. J. Desempenho de cultivares de cenoura em função da água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p.514-520, 2012.

LOCATELLI, V. D. E.; MEDEIROS, R. D.; SMIDERLE, O. J.; LBUQUERQUE, J. D. A.; ARAÚJO, W. F.; SOUZA, K. T. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 574-580, 2014.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 355p.

MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. Manual do SISDA 2.0. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE MANEJO INTEGRADO DAS CULTURAS E RECURSOS HÍDRICOS, 1998, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 1998. 153p.

MANTOVANI, E. C.; MOREIRA, H. M. Sistema IRRIGER de gerenciamento de irrigação. In: REUNIÓN INTERNACIONAL DE RIEGO, 2., Córdoba. **Anais...** Córdoba, AR, 2010.

MANTOVANI, E. C.; VILLALOBOS, F. J.; ORGAZ, F.; FERERES, E. Modelling the effects of sprinkler irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 243-257, 1995.

MARQUELLI, W. A.; LUCINI, M. A. **Irrigação na cultura do alho**. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2014. (Embrapa. Circular técnica, 136).

MOREIRA, H. M.; Inovações tecnológicas em gerenciamento de irrigação. **Irrigação e Tecnologia Moderna Item**. v. 113, p. 48, 2017.

MOREIRA, L. G.; VIANA, T. V. A.; MARINHO, A. B.; NOBRE, J. G. A.; LIMA, A. D.; ALBUQUERQUE, A. H. P. Efeitos de diferentes lâminas de irrigação na produtividade da mamoneira variedade IAC Guarani. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, v. 4, n. 4, p. 449-455, 2009.

MUKHERJI, A.; FACON, T. **Revitalizing Asia's irrigation: To sustainably meet tomorrow's food needs**. Roma: FAO, 2009. 38p.

NASTOS, P. T.; KAPSOMENAKIS, J.; PHILANDRAS, K. M. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. **Atmospheric Research**, v. 169, p. 497-514, 2016.

NESMITH, D.S.; RITCHIE, J.T. Short – and long – term responses of corn to a pre anthesis soil water deficit. **Agronomy Journal**, v. 84, p. 107-113, 1992.

RAES, D., STEDUTO, P., HSIAO, T.C., FERERES, E. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water. II. Main algorithms and software description. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 438-447, 2009.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Variação espaço-temporal do índice de área foliar e brix em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 67, n. 1, p. 35-41, 2008.

SHAO, H.; CHU, L.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. Water-deficit stress induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, p. 215-225, 2008.

SILVA, P. A. M.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA, L. A.; TAVEIRA, J. H. S. Response function of the crisphead lettuce under irrigation depths and nitrogen rates. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, 2008.

SILVA, V. J.; TEODORO, R. E. F.; CARVALHO, H. P.; MARTINS, A. D.; LUZ, J. M. Q. Resposta da cenoura à aplicação de diferentes lâminas de irrigação. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, p. 954-963, 2011.

SIVAKUMAR, B.; WOLDEMESKEL, F. M. A network-based analysis of spatial rainfall connections. **Environmental Modelling and Software**, v. 69, p. 55-62, 2015.

STEDUTO, P., HSIAO, T.C., FERERES, E. On the conservative behavior of biomass water productivity. **Irrigation. Science**, v. 25, p.189-207, 2007.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; DELAZARI, F. T.; FIGUEIREDO, E. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação nas variáveis de desenvolvimento e produção do cafeeiro irrigado por pivô central. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 528-543, 2015.

VRIES, S. C.; VEN, G. W. J. V.; ITTERSUM, M. K. V; GILLER, K. E. Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first-generation conversion techniques. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 5, p. 588-601, 2010.

WELCKER, C.; BOUSSUGE, B.; BENCIVENNI, C.; RIBAUT, M.; TARDIEU, F. Are source and sink strengths genetically linked in maize plants subjected to water deficit?: a QTL study of the responses of leaf growth and of Anthesis-Silking Interval to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 339-349, 2007.

ZHAO, P.; JACKSON, P. A.; BASNAYAKE, J.; LIU, J.; CHEN, X.; ZHAO, J.; ZHAO, X.; BAI, Y.; YANG, L.; ZAN, F.; YANG, K.; XIA, H.; QIN, W.; ZHAO, L.; YAO, L.; LAKSHMANAN, P.; FAN, Y. Genetic variation in sugarcane for leaf functional traits and relationships with cane yield, in environments with varying water stress. **Field Crops Research**, v. 213, p. 143-153, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 1A. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para a cultura cenoura (*Daucus carota* subsp. *Sativus*).

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	$\sum P$, mm	$\sum ET_c$, mm	$\sum ET_{pc}$, mm	$\sum Irr$, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
São Gotardo - MG	14,2	10/12/2010	25/04/2011	51,5	384,6	390,0	872,0	83950,0	1,38%
São Gotardo - MG	17,2	06/02/2011	22/06/2011	250,3	458,4	468,7	801,0	90925,0	2,19%
São Gotardo - MG	4,3	28/01/2011	09/06/2011	196,3	425,8	437,5	435,4	89925,0	2,67%
São Gotardo - MG	11,5	14/01/2011	30/05/2011	247,8	446,0	462,8	517,0	82300,0	3,63%
São Gotardo - MG	19,0	21/01/2010	25/05/2010	72,1	423,2	444,5	513,8	83275,0	4,80%
São Gotardo - MG	16,0	26/01/2010	27/05/2010	42,5	406,3	430,3	543,7	70900,0	5,59%
São Gotardo - MG	11,5	07/01/2011	23/05/2011	199,6	425,2	457,4	457,5	79350,0	7,05%
Indianápolis - MG	5,2	16/01/2011	17/05/2011	28,0	400,2	435,2	536,0	56500,0	8,05%
Indianápolis - MG	5,8	31/01/2011	07/06/2011	139,5	424,0	465,7	473,7	62075,0	8,96%
Indianápolis - MG	6,5	03/04/2011	28/07/2011	287,1	463,8	515,1	383,2	75150,0	9,95%
Indianápolis - MG	6,0	24/02/2011	30/06/2011	215,1	443,4	501,0	448,9	80625,0	11,50%
Indianápolis - MG	6,4	07/03/2011	06/07/2011	214,3	423,3	493,0	431,5	74425,0	14,13%
Indianápolis - MG	6,5	17/03/2011	21/07/2011	302,3	456,4	541,0	385,5	71525,0	15,64%
Indianápolis - MG	6,0	12/03/2011	11/07/2011	215,3	417,6	507,0	408,0	83175,0	17,64%

Tabela 1B. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para a cultura do alho (*Allium sativum*).

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	$\sum P$, mm	$\sum ETc$, mm	$\sum ETpc$, mm	$\sum Irr$, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Cristalina - GO	5,0	03/04/2007	21/07/2007	62,2	355,3	366,7	554,8	15892,8	3,09%
Cristalina - GO	5,0	07/04/2007	25/07/2007	62,2	347,8	363,9	524,3	18496,8	4,43%
São Gotardo - MG	18,0	27/12/2009	29/04/2010	69,2	358,5	379,2	448,5	20000,0	5,46%
São Gotardo - MG	13,0	06/12/2011	23/04/2012	140,0	330,9	353,4	506,5	21862,4	6,38%
São Gotardo - MG	8,5	17/11/2009	25/03/2010	108,4	315,8	338,0	310,8	18000,0	6,58%
São Gotardo - MG	10,5	30/11/2011	16/04/2012	140,0	294,7	320,6	350,7	20294,6	8,08%
São Gotardo - MG	9,2	01/01/2011	04/05/2011	11,5	324,5	357,6	296,6	23903,0	9,26%
São Gotardo - MG	5,0	13/12/2009	21/04/2010	64,5	339,5	378,7	402,4	20000,0	10,36%
São Gotardo - MG	8,8	04/02/2011	12/05/2011	125,4	303,8	342,1	482,3	19750,0	11,19%
São Gotardo - MG	9,0	11/12/2011	30/04/2012	118,0	331,0	374,1	397,5	21094,3	11,53%
São Gotardo - MG	6,5	05/11/2009	17/03/2010	107,0	286,7	331,2	237,5	17000,0	13,44%
São Gotardo - MG	8,6	29/11/2010	05/04/2011	144,5	292,7	339,4	423,7	20068,0	13,77%
São Gotardo - MG	8,9	24/11/2010	30/03/2011	149,5	289,0	341,3	373,8	18567,0	15,30%
Cristalina - GO	3,0	03/05/2006	20/08/2006	29,1	260,2	323,9	300,7	10213,3	19,66%

Tabela 1C. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc a cultura da batata (*Solanum tuberosum*).

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	$\sum P$, mm	$\sum ET_c$, mm	$\sum ET_{pc}$, mm	$\sum Irr$, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ET _{pc} , %
Mucugê - BA	20,0	08/05/2012	24/07/2012	87,0	179,5	180,7	209,4	73391,0	0,71%
Mucugê - BA	7,5	19/11/2012	04/01/2013	104,0	218,5	222,1	225,7	73391,0	1,59%
Mucugê - BA	13,8	10/12/2012	03/02/2013	18,0	259,9	266,8	276,2	73391,0	2,58%
Cascavel - BA	17,5	06/07/2011	06/10/2011	10,0	253,5	265,0	262,8	61175,5	4,27%
Cascavel - BA	17,5	11/07/2011	12/10/2011	10,0	258,7	271,9	266,5	61175,5	4,84%
Cristalina - GO	10,5	17/06/2010	17/10/2010	91,0	415,0	439,9	554,5	69400,0	5,67%
Cristalina - GO	12,7	09/06/2010	11/10/2010	83,0	410,6	442,4	552,6	54000,0	7,20%
São J. da Aliança - GO	30,1	13/04/2007	12/08/2007	33,8	377,6	410,0	404,5	47200,0	7,89%
São J. da Aliança - GO	30,1	16/05/2007	12/09/2007	0,4	411,2	450,7	494,6	61850,0	8,76%
São J. da Aliança - GO	17,5	10/05/2007	30/08/2007	10,4	377,5	418,6	408,7	52250,0	9,81%
Casa Branca - SP	35,7	08/06/2010	-	192,6	377,2	421,6	358,8	43143,0	10,54%
Casa Branca - SP	25,4	11/05/2009	-	297,7	200,8	228,3	131,7	45400,0	12,04%
Cristalina - GO	6,7	16/04/2010	13/08/2010	10,0	236,7	272,4	317,6	47694,0	13,10%
Casa Branca - SP	30,6	26/03/2010	-	121,9	284,3	329,0	249,9	32770,5	13,58%
Coromandel - MG	25,4	27/07/2007	-	338,8	486,2	571,1	371,3	45645,0	14,86%
Coromandel - MG	25,4	23/07/2007	-	215,8	463,0	564,6	346,0	45645,0	18,00%
Serra do Salitre - MG	15,0	27/08/2009	-	296,0	390,0	480,0	177,0	27000,0	18,75%
Ibicoara - BA	25,0	20/01/2012	06/05/2012	14,9	379,1	478,3	363,6	46653,5	20,75%

Tabela 1D. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para acultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*).

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	$\sum P$, mm	$\sum ET_c$, mm	$\sum ET_{pc}$, mm	$\sum Irr$, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Jataí - GO	27,0	27/06/2011	17/04/2012	2030,0	927,6	1063,8	300,0	121270,0	0,1
Jataí - GO	37,0	09/05/2011	26/05/2012	2233,7	1118,9	1384,0	240,0	148970,0	0,2
Jataí - GO	37,0	25/04/2011	26/05/2012	2334,0	1129,9	1435,7	240,0	137880,0	0,2
Jataí - GO	24,0	16/04/2011	17/04/2012	2181,0	1051,2	1356,3	240,0	157890,0	0,2
Jataí - GO	37,0	12/05/2011	04/06/2012	2365,2	1082,4	1399,5	240,0	197910,0	0,2
Jataí - GO	27,0	29/05/2011	30/06/2012	2345,3	1069,9	1412,0	180,0	212390,0	0,2
Jataí - GO	27,0	23/04/2011	19/05/2012	2368,0	1062,7	1424,4	300,0	126780,0	0,3
Jataí - GO	31,0	11/06/2011	05/05/2012	2288,8	861,7	1164,5	0,0	204120,0	0,3
Jataí - GO	46,0	11/06/2011	29/04/2012	2206,3	859,2	1176,3	120,0	204120,0	0,3
Jataí - GO	40,0	24/04/2011	11/05/2012	2331,0	1015,1	1403,9	180,0	144860,0	0,3
Jataí - GO	73,0	18/07/2011	19/07/2012	2271,0	904,6	1271,2	0,0	127035,0	0,3
Jataí - GO	37,0	05/05/2011	01/06/2012	2360,7	982,4	1430,0	60,0	221430,0	0,3
Jataí - GO	70,0	09/10/2011	28/09/2012	2210,6	878,7	1296,8	160,0	106450,0	0,3
Paracatu - MG	7,5	01/07/2007	01/07/2008	330,5	724,5	1087,5	273,0	140000,0	0,3
Paracatu - MG	7,5	01/07/2007	01/07/2008	807,0	721,7	1087,5	273,0	140000,0	0,3
Jataí - GO	27,0	24/04/2011	11/05/2012	2264,0	937,2	1436,5	180,0	140660,0	0,3
Jataí - GO	73,0	28/09/2011	29/09/2012	2298,6	858,5	1346,3	80,0	111305,0	0,4
Paracatu - MG	15,5	01/07/2007	01/07/2008	854,5	722,8	1153,6	262,8	160000,0	0,4
Paracatu - MG	15,5	01/07/2007	01/07/2008	854,5	774,6	1251,5	277,5	160000,0	0,4
Colômbia - SP	27,9	16/02/2010	30/06/2011	951,8	1102,2	1859,7	601,3	129600,0	0,4
Jataí - GO	29,0	27/10/2011	04/11/2012	2304,8	818,9	1441,7	0,0	112017,0	0,4
Paracatu - MG	30,0	01/07/2007	01/07/2008	867,8	647,9	1153,6	82,4	144000,0	0,4
Paracatu - MG	7,5	01/07/2007	01/07/2008	807,0	532,4	965,5	0,0	140000,0	0,4
Colômbia - SP	50,9	08/05/2010	10/08/2011	1922,0	932,8	1719,0	549,2	74490,0	0,5

Tabela 1E. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para o feijão (*Phaseolus vulgaris*).

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	$\sum P$, mm	$\sum ETc$, mm	$\sum ETpc$, mm	$\sum Irr$, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Cristalina - GO	26,2	27/05/2013	28/08/2013	98,0	220,4	247,2	236,2	2419,8	0,11%
Unaí - MG	60,0	16/10/2010	17/01/2011	721,5	290,0	293,0	34,7	1477,8	1,03%
Paracatu - MG	27,0	06/05/2011	10/08/2011	13,0	213,6	219,0	300,0	4151,4	2,50%
Unaí - MG	50,0	23/05/2009	03/09/2009	32,3	256,7	264,8	443,4	4020,0	3,07%
Unaí - MG	60,0	21/05/2009	-	22,4	243,3	252,2	299,3	4260,0	3,55%
Itaberá - SP	60,1	16/08/2011	-	459,7	310,1	325,7	199,7	4267,8	4,79%
Unaí - MG	23,0	08/05/2009	23/08/2009	12,5	261,4	276,8	316,2	4212,0	5,58%
Itaberá - SP	42,0	23/07/2010	-	282,6	342,9	367,4	229,4	4200,0	6,66%
Itaberá - SP	32,0	25/07/2010	-	280,9	319,2	348,6	216,1	4200,0	8,43%
Itaberá - SP	33,8	04/08/2010	-	245,3	278,9	310,5	178,7	3981,0	9,92%
Unaí - MG	55,1	19/05/2007	26/08/2007	21,8	263,3	296,7	225,2	3900,0	11,27%
Itaberá - SP	64,0	30/07/2011	20/11/2011	514,5	271,0	308,3	145,9	3820,2	12,10%
Unaí - MG	42,0	22/06/2011	11/10/2011	55,0	364,3	420,5	428,2	4920,0	13,38%
Itaberá - SP	33,3	04/08/2010	-	242,9	281,2	325,5	142,3	3981,0	13,59%
Itaberá - SP	53,6	01/07/2012	-	215,0	262,0	309,6	219,7	3769,8	15,40%
Itaberá - SP	60,0	21/09/2010	-	554,8	345,8	410,2	84,1	4200,0	15,69%
Cabeceiras - GO	30,0	12/05/2013	16/09/2013	0,0	339,2	403,5	481,9	3180,0	15,93%
São Romão - MG	30,0	14/06/2013	-	1,0	268,5	322,1	321,2	3252,0	16,64%
Água Fria de Goiás - GO	35,0	11/06/2011	25/09/2011	0,0	408,1	497,0	514,1	3720,0	17,89%
Água Fria de Goiás - GO	65,0	03/06/2011	16/09/2011	0,0	378,1	468,1	465,2	3720,0	19,07%
Itaberá - SP	65,0	21/08/2013	-	300,0	254,3	318,0	119,6	2800,8	20,01%
Água Fria de Goiás - GO	45,0	15/07/2011	26/10/2011	88,1	400,7	507,0	503,6	3120,0	20,97%
Unaí - MG	53,5	04/07/2009	13/10/2009	214,2	276,9	351,6	161,0	2700,0	21,25%
Paracatu - MG	30,0	02/03/2017	01/06/2008	379,2	194,2	249,0	111,5	2676,0	22,02%

São Romão - MG	60,0	22/07/2013	-	89,6	302,2	394,0	309,5	3192,0	23,30%
Água Fria de Goiás - GO	45,0	19/07/2011	30/10/2011	88,1	382,3	502,3	488,1	3120,0	23,88%
Unaí - MG	120,0	21/01/2011	30/05/2011	649,5	307,9	411,6	89,5	3199,2	25,20%
Paracatu - MG	30,0	24/07/2008	26/10/2008	12,0	301,4	406,7	452,4	2955,0	25,89%
Araguari - MG	40,0	11/06/2007	-	35,4	342,5	475,4	381,8	4332,0	27,95%
Unaí - MG	103,0	20/01/2011	29/05/2011	648,5	299,4	413,2	77,4	3199,2	27,54%
Planura - MG	77,0	10/06/2001	-	62,6	180,6	320,5	170,6	1422,0	43,65%

Tabela 1F. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para cultura do milho (*Zea mays*).

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	$\sum P$, mm	$\sum ETc$, mm	$\sum ETpc$, mm	$\sum Irr$, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Coromandel - MG	27,0	11/03/2010	14/08/2010	1229,8	336,3	408,4	36,4	13800,0	1,01%
Patrocínio - MG	15,0	18/05/2009	26/09/2009	918,1	517,1	568,4	137,5	12300,0	1,59%
Coromandel - MG	22,5	05/04/2010	03/09/2010	1253,4	367,2	401,5	355,9	12720,0	3,23%
Coromandel - MG	14,1	20/05/2009	29/08/2009	1123,4	586,8	628,5	608,4	13200,0	4,20%
Correntina - BA	54,3	28/05/2009	04/10/2010	111,0	488,7	513,1	59,7	13593,3	4,79%
Correntina - BA	54,3	15/06/2009	22/10/2010	148,1	611,7	889,4	86,3	13300,8	5,76%
Cabeceiras - GO	22,5	30/07/2015	06/12/2011	520,0	522,7	567,0	81,3	12000,0	6,70%
Itaberá - SP	33,9	25/08/2010	01/01/2011	482,3	354,5	400,7	171,5	13673,4	8,06%
Itaberá - SP	61,5	23/03/2011	17/08/2011	719,9	297,3	327,1	220,6	12720,0	8,52%
Itaberá - SP	33,9	27/07/2010	10/12/2010	623,9	309,4	321,9	268,5	13673,4	9,95%
Indianópolis - MG	32,7	03/04/2011	13/08/2011	536,5	343,8	393,3	116,9	15480,0	12,28%
Indianópolis - MG	24,0	13/04/2011	22/08/2011	694,3	317,6	349,3	422,1	14478,0	13,35%
Buritis - MG	44,0	08/09/2012	13/01/2013	671,0	350,0	377,1	366,6	13440,0	14,00%
Paracatu - MG	66,0	06/08/2008	16/12/2008	262,0	360,0	397,0	58,4	12591,6	14,53%
Ibiá - MG	16,5	06/05/2012	09/09/2012	612,5	259,7	301,2	289,1	13600,8	15,53%
Ibiá - MG	22,5	13/04/2012	27/08/2012	595,0	417,1	457,8	203,1	11175,6	17,03%
São Desidério - BA	47,3	18/11/2008	12/03/2009	702,3	316,0	395,8	0,0	12282,6	17,84%
Indianópolis - MG	10,0	26/03/2007	30/06/2011	215,3	316,4	403,9	0,0	7590,0	18,57%
Morada Nova de Minas - MG	26,5	27/06/2011	07/11/2011	780,3	371,5	445,1	47,1	11109,0	19,75%
Paracatu - MG	101,0	22/10/2008	02/03/2009	802,5	358,7	383,0	464,5	11223,6	20,58%
São Desidério - BA	46,0	27/11/2012	27/02/2013	824,8	320,1	332,0	407,4	11176,8	21,82%
Paracatu - MG	26,0	29/08/2007	16/12/2007	88,9	239,1	255,5	195,3	6900,0	23,37%
Indianópolis - MG	11,6	08/02/2012	21/12/2011	730,4	334,8	348,3	375,6	10740,0	24,25%
Indianópolis - MG	47,9	24/07/2011	09/12/2011	855,4	264,1	371,5	479,4	9000,0	24,60%

São Desidério - BA	114,5	16/11/2008	28/02/2009	600,4	288,8	302,3	194,0	9498,6	25,98%
Paracatu - MG	29,7	21/11/2009	26/07/2010	843,8	496,7	512,8	55,0	6600,0	26,64%
Barreiras - BA	50,0	03/05/2012	29/09/2012	45,0	407,2	441,9	30,0	12519,6	28,41%
São Desidério - BA	128,0	15/11/2008	09/03/2009	600,0	472,0	540,0	257,6	8123,4	28,71%
Paracatu - MG	29,7	21/11/2009	26/07/2010	843,8	298,3	316,7	220,0	6600,0	30,08%
Paracatu - MG	20,4	27/10/2008	08/07/2009	1371,3	229,5	244,1	166,2	7200,0	31,26%
Água Fria de Goiás - GO	45,0	14/12/2011	19/04/2012	488,6	513,8	548,0	94,1	10800,0	32,19%
Barreiras - BA	50,0	21/04/2012	10/09/2012	29,0	355,5	363,9	0,0	12519,6	32,54%
Paracatu - MG	29,1	12/08/2008	08/07/2009	1260,3	174,2	200,7	195,9	7500,0	34,38%
Paracatu - MG	16,2	27/07/2008	08/07/2009	1216,4	256,8	266,4	244,0	7800,0	34,50%
Paracatu - MG	29,5	02/09/2008	08/07/2009	1255,5	234,6	244,2	178,1	7800,0	36,29%
Barreiras - BA	50,0	25/04/2012	14/09/2012	32,0	422,2	449,1	358,2	12519,6	36,92%
Paracatu - MG	29,5	09/11/2009	26/07/2010	874,7	262,8	287,0	319,6	7800,0	38,12%
Barreiras - BA	50,0	26/04/2012	15/09/2012	40,0	378,8	444,1	85,7	12519,6	38,65%
Paracatu - MG	32,3	22/10/2008	08/07/2009	1395,0	390,1	463,1	188,4	7800,0	40,23%
Paracatu - MG	21,3	20/09/2009	26/07/2010	1174,7	243,4	260,2	354,3	8711,4	41,24%
Paracatu - MG	21,3	28/10/2008	26/07/2010	2559,9	308,7	353,7	174,8	8711,4	42,47%
Paracatu - MG	21,3	27/10/2008	26/07/10	2586,9	327,6	354,2	385,7	8711,4	43,25%
Paracatu - MG	29,4	06/10/2008	15/07/2010	2438,9	333,4	370,4	259,5	9073,8	44,16%
Paracatu - MG	29,4	06/10/2008	15/07/2010	2437,7	235,3	261,0	280,7	9073,8	45,41%
Paracatu - MG	47,5	23/09/2008	12/05/2010	2694,0	479,0	566,5	299,0	10200,0	46,47%
Paracatu - MG	47,5	25/09/2008	26/05/2010	2676,0	162,3	170,7	192,1	10200,0	46,90%
Paracatu - MG	27,0	19/09/2008	23/07/2010	2467,0	293,2	309,1	359,7	7858,8	48,39%
Paracatu - MG	31,3	12/11/2008	18/06/2010	2333,0	317,7	337,5	392,2	10540,2	49,13%
Paracatu - MG	32,3	22/10/2008	20/07/2010	2385,5	316,7	338,0	171,6	9201,0	49,77%
Paracatu - MG	32,3	20/07/2007	08/07/2009	2253,3	339,0	395,6	445,5	7500,0	51,07%
Paracatu - MG	31,3	25/03/2009	18/06/2010	1197,0	332,1	353,3	16,7	10540,2	51,92%
Paracatu - MG	35,0	20/09/2007	08/07/2009	2349,1	358,0	372,4	12,4	7200,0	52,72%
Paracatu - MG	31,3	10/04/2009	08/07/2009	58,0	273,8	299,4	343,4	7800,0	53,96%

Paracatu - MG	31,3	10/04/2009	08/07/2009	58,0	386,9	407,6	64,1	7800,0	54,97%
Paracatu - MG	10,0	24/11/2008	04/10/2010	2079,0	281,1	306,1	287,6	7200,0	56,32%
Paracatu - MG	29,9	15/06/2006	08/07/2009	1952,7	232,8	270,9	209,1	7200,0	57,22%
Paracatu - MG	10,0	30/11/2008	04/10/2010	2063,0	347,3	436,5	499,8	7200,0	57,82%

Tabela 1G. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para a cultura da soja (*Glycine max*).

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	Σ P, mm	Σ ETc, mm	Σ ETpc, mm	Σ Irr, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Unaí - MG	27,0	09/10/2011	11/02/2012	1067,0	361,7	403,4	56,6	3859,8	0,09%
Paracatu - MG	30,7	11/10/2007	12/02/2008	64,9	471,5	478,2	290,8	4614,6	1,40%
Paracatu - MG	41,2	17/10/2007	18/02/2008	64,7	462,2	474,0	229,4	4628,4	2,48%
Paracatu - MG	41,2	23/10/2007	18/02/2008	64,7	461,4	474,0	222,8	4628,4	2,65%
Unaí - MG	60,0	02/11/2011	13/02/2012	1009,0	305,9	320,0	69,7	4440,0	4,39%
Planura - MG	59,5	25/09/2012	-	713,5	424,8	447,8	399,3	4782,0	5,12%
Buri - SP	41,0	12/11/2012	-	778,2	377,2	402,5	90,4	4785,1	6,28%
Corinto - MG	29,0	19/10/2012	-	515,0	418,3	447,8	369,9	4789,2	7,13%
Corinto - MG	29,0	18/10/2012	-	515,0	454,9	491,8	368,6	4969,2	7,52%
Corinto - MG	52,0	22/10/2012	-	516,2	449,7	494,1	312,3	4956,0	8,99%
Paracatu - MG	44,0	02/11/2010	15/03/2011	1149,0	482,4	537,7	201,2	4758,0	10,28%
Correntina - BA	54,0	20/10/2010	14/02/2011	816,0	372,4	420,5	43,7	4815,0	11,44%
Itaberá - SP	52,8	06/11/2012	-	821,1	361,9	411,3	67,3	5010,0	12,00%
Buri - SP	33,0	05/10/2012	-	644,8	371,7	426,2	88,9	5530,2	12,80%
São Desidério - BA	62,0	24/10/2012	11/03/2013	894,4	400,6	461,4	209,3	4870,2	13,18%
Itaberá - SP	64,0	29/10/2010	-	636,7	376,3	437,8	82,5	4830,0	13,67%
Paracatu - MG	60,0	14/10/2010	12/02/2011	979,0	432,1	506,2	134,6	5466,0	14,65%
Paracatu - MG	82,0	16/10/2010	09/02/2011	979,0	411,8	483,2	109,2	4716,0	14,78%
Paracatu - MG	60,0	17/09/2009	19/01/2010	657,5	428,6	509,2	200,8	4554,0	15,83%
Paracatu - MG	28,0	21/10/2010	14/02/2011	851,0	405,9	486,7	149,6	5190,0	16,60%
Paracatu - MG	30,0	22/09/2010	14/02/2011	850,0	394,5	481,9	123,1	4986,0	18,14%
Paracatu - MG	60,0	25/09/2009	27/01/2010	626,5	418,4	510,8	225,6	4872,0	18,10%
Buri - SP	31,0	28/09/2011	-	771,1	379,6	463,0	83,9	4735,5	18,00%
Correntina - BA	54,0	25/10/2010	14/02/2011	690,8	324,1	401,4	37,4	4646,4	19,26%

Correntina - BA	54,0	25/10/2010	14/02/2010	690,8	322,3	401,4	28,6	4646,4	19,71%
Paracatu - MG	30,0	23/10/2010	16/02/2011	856,0	384,0	486,4	102,9	5454,0	21,07%
Buri - SP	18,0	27/09/2011	-	853,1	370,5	472,3	0,0	4933,9	21,54%
São Desidério - BA	66,3	27/09/2012	04/01/2013	607,0	272,2	354,1	112,7	3848,4	23,15%
Paracatu - MG	33,0	23/10/2010	22/02/2011	730,0	340,9	451,3	40,2	4182,0	24,45%
São Romão - MG	60,0	30/10/2012	-	755,1	459,1	609,1	232,5	4524,0	24,62%
Paracatu - MG	45,0	05/11/2009	09/03/2010	713,5	338,5	465,0	5,8	3714,0	27,19%
São Desidério - BA	80,0	22/11/2012	05/03/2013	545,3	278,2	385,1	138,3	2873,4	27,76%
Buri - SP	81,6	20/10/2011	-	661,1	336,4	471,2	0,0	4090,9	28,61%
Paracatu - MG	102,0	30/10/2009	26/02/2010	668,0	301,2	427,5	12,1	3600,0	29,53%
São Desidério - BA	550,3	07/11/2008	16/03/2008	560,0	325,8	468,9		2932,3	30,54%
São Desidério - BA	80,0	22/11/2012	05/03/2013	428,8	263,2	385,1	109,5	2873,4	31,67%
São Desidério - BA	920,6	11/11/2008	30/03/2009	850,8	312,1	472,1		2038,8	33,89%
São Desidério - BA	80,0	12/11/2012	05/03/2013	540,3	257,0	401,7	0,0	2845,8	36,01%
São Desidério - BA	80,0	08/11/2012	05/03/2013	615,0	264,1	419,1	0,0	2845,8	36,98%
São Desidério - BA	80,0	12/11/2012	05/03/2013	527,4	241,6	401,7	0,0	2845,8	39,86%

Tabela 1H. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para cultura do trigo (*Triticum ssp.*)

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	$\sum P$, mm	$\sum ETc$, mm	$\sum ETpc$, mm	$\sum Irr$, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Cristalina - GO	60,0	03/05/2011	23/08/2011	16,0	291,1	297,7	466,7	5607,6	2,22%
Uberaba - MG	17,0	06/05/2010	-	4,3	166,5	172,2	197,6	7200,0	3,33%
Uberaba - MG	20,0	06/05/2010	-	4,3	177,8	184,5	220,9	7200,0	3,61%
Uberaba - MG	45,0	24/04/2010	-	1,8	131,7	138,0	146,3	7200,0	4,52%
Unaí - MG	30,0	14/05/2010	06/09/2010	4,0	346,1	368,6	404,9	6516,0	6,00%
Uberaba - MG	16,0	21/05/2010	-	6,8	346,1	371,5	499,0	7200,0	6,86%
Unaí - MG	60,0	14/05/2010	06/09/2010	24,6	344,6	374,4	421,3	6180,0	7,96%
Unaí - MG	64,0	29/05/2010	21/09/2010	9,2	399,8	440,5	470,4	6240,0	9,23%
Cristalina - GO	40,2	01/05/2008	28/08/2008	0,0	289,5	320,2	376,8	6420,0	9,58%
Uberaba - MG	45,0	02/06/2010	-	61,3	269,1	300,9	293,9	7200,0	10,55%
Paracatu - MG	45,0	27/05/2012	23/09/2012	81,4	380,0	434,0	425,1	6360,0	12,43%
Cristalina - GO	40,0	17/05/2008	22/09/2008	0,0	338,1	386,8	368,4	6420,0	12,59%
Cristalina - GO	40,0	19/05/2008	22/09/2008	0,0	329,7	384,7	363,3	6960,0	14,29%
Paracatu - MG	102,0	14/04/2009	28/07/2009	97,0	234,5	283,6	197,6	6513,0	15,36%
Unaí - MG	53,0	25/05/2009	07/09/2009	75,3	267,2	318,9	328,8	5160,0	16,21%
Paracatu - MG	100,0	30/04/2009	13/08/2009	37,0	259,3	301,8	244,1	6268,2	16,63%
Paracatu - MG	60,0	02/05/2012	19/08/2012	57,0	252,1	305,9	266,5	6000,0	17,58%
Cristalina - GO	28,0	08/06/2008	07/10/2008	19,0	335,0	412,2	416,8	5880,0	18,74%
Unaí - MG	53,5	11/05/2009	30/08/2009	62,9	259,9	326,2	317,5	5160,0	20,33%
Itaberá - SP	37,0	04/05/2012	-	382,5	168,6	214,1	117,2	4500,0	21,26%
Paracatu - MG	32,0	02/04/2009	02/07/2009	132,0	205,3	242,7	146,6	4567,2	21,85%
Itaberá - SP	41,0	28/04/2011	-	172,2	147,7	190,7	80,1	4788,0	22,55%
Itaberá - SP	22,4	29/06/2012	-	130,0	186,8	247,4	146,7	4500,0	24,50%
Itaberá - SP	15,6	03/06/2011	-	187,4	184,2	245,5	115,8	4957,8	24,96%

Itaberá - SP	22,4	29/06/2012	-	130,0	183,9	247,4	150,7	4500,0	25,67%
Coromandel - MG	40,0	16/05/2007	-	44,6	278,0	382,1	544,8	5502,0	27,24%
Itaberá - SP	25,0	12/05/2011	-	162,2	147,5	204,3	51,2	4464,0	27,83%
Paracatu - MG	62,0	07/04/2009	21/07/2009	115,0	233,0	279,0	207,0	6042,0	29,12%
Taquarivaí - SP	21,5	19/04/2012	-	612,3	145,9	209,0	0,0	3604,8	30,20%
Taquarivaí - SP	114,0	19/04/2012	-	612,3	144,5	209,0	0,0	3586,8	30,89%
Indianópolis - MG	50,0	21/05/2011	-	66,8	330,2	486,0	347,1	4140,0	32,05%
Itaberá - SP	51,0	27/05/2011	-	225,6	152,1	231,7	85,4	4021,8	34,36%
Buri - SP	64,0	06/05/2010	-	196,0	188,2	292,5	71,4	4698,6	35,67%
Buri - SP	26,0	06/05/2010	-	184,0	163,3	266,4	49,7	4948,2	38,72%
Coromandel - MG	54,3	18/05/2007	-	35,0	177,1	313,4	342,4	3624,0	43,50%

Tabela 11. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para a cultura do café arábica (*Coffea arabica*)

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	Σ P, mm	Σ ETc, mm	Σ ETpc, mm	Σ Irr, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
Campo Alegre de Goiás - GO	17,0	01/08/2012	31/07/2013	1201,0	839,8	920,7	662,2	4384,2	8,79%
Campo Alegre de Goiás - GO	12,4	01/08/2012	31/07/2013	1133,0	827,1	920,7	616,0	3727,8	10,17%
Campo Alegre de Goiás - GO	6,9	01/08/2012	31/07/2013	1133,0	817,1	920,7	588,4	6345,6	11,26%
Cabeceiras - GO	36,1	01/07/2006	30/04/2007	1455,5	555,9	632,7	291,1	3600,0	12,14%
Cocos - BA	26,0	17/07/2012	16/07/2013	1181,5	1016,1	1171,5	781,7	2820,0	13,26%
Cabeceiras - GO	12,0	01/07/2006	30/04/2007	1475,3	547,0	632,7	262,4	3600,0	13,54%
Cabeceiras - GO	53,0	01/07/2006	30/04/2007	1548,2	703,0	825,2	404,7	4200,0	14,81%
Paracatu - MG	25,0	01/08/2007	01/07/2008	1473,0	911,6	1088,6	439,8	2700,0	16,25%
Cocos - BA	26,0	17/07/2012	16/07/2013	1289,0	977,0	1171,5	727,9	2820,0	16,60%
Campo Alegre de Goiás - GO	31,3	01/08/2012	31/07/2013	1291,0	759,4	920,7	415,5	4383,6	17,52%
Cabeceiras - GO	16,8	01/09/2011	31/08/2012	1054,5	865,6	1072,9	593,6	2939,4	19,32%
Barreiras - BA	23,4	01/07/2010	30/06/2011	1328,9	863,0	1078,1	629,9	4200,0	19,94%
Barreiras - BA	23,4	01/07/2010	30/06/2011	1328,9	848,1	1078,1	637,2	4200,0	21,33%
Campo Alegre de Goiás - GO	36,4	01/08/2012	31/07/2013	1304,0	790,5	1017,6	340,7	5698,8	22,32%
Cabeceiras - GO	18,8	01/09/2011	31/08/2012	1057,3	825,1	1072,9	554,5	4014,0	23,09%
Cabeceiras - GO	18,8	01/09/2011	31/08/2012	1057,3	811,0	1072,9	506,3	4014,0	24,41%
Campo Alegre de Goiás - GO	36,0	01/08/2012	31/07/2013	1304,0	767,4	1017,6	324,4	6449,4	24,59%
Unaí - MG	26,8	01/11/2010	01/11/2010	1215,0	692,2	939,2	273,9	4200,0	26,30%
Cabeceiras - GO	18,8	01/09/2010	31/08/2011	1369,4	807,0	1101,3	393,4	4014,0	26,72%
Buritis - MG	33,2	01/07/2011	30/06/2012	1027,2	752,6	1046,2	537,5	4515,0	28,06%
Cabeceiras - GO	21,3	01/09/2009	31/08/2010	1261,1	780,5	1103,5	344,8	4200,0	29,27%
Buritis - MG	33,2	01/07/2011	30/06/2012	1149,2	738,4	1046,2	511,6	3590,4	29,42%
Buritis - MG	33,2	01/07/2011	30/06/2012	1027,2	729,6	1046,2	478,9	4515,0	30,26%
Cabeceiras - GO	21,3	01/09/2009	31/08/2010	1261,1	761,2	1103,5	323,2	4200,0	31,02%

Cabeceiras - GO	10,6	01/09/2009	31/08/2010	1441,1	661,2	966,2	300,0	3900,0	31,57%
Cabeceiras - GO	21,5	01/05/2007	31/05/2008	1269,5	901,6	1348,5	598,9	3900,0	33,14%
Cabeceiras - GO	10,6	01/09/2010	31/08/2011	1589,5	722,3	1097,6	338,8	3379,2	34,20%
Cabeceiras - GO	10,6	01/09/2010	31/08/2011	1589,5	715,1	1097,6	320,0	3379,2	34,85%
Buritis - MG	24,1	01/07/2011	30/06/2012	1213,2	670,9	1046,2	386,4	4698,0	35,87%
Buritis - MG	24,1	01/07/2011	30/06/2012	1213,2	659,5	1046,2	370,0	4698,0	36,96%
Indianópolis - MG	7,1	01/10/2010	-	2063,2	215,4	349,9	22,0	1200,0	37,92%
Buritis - MG	24,1	01/07/2011	30/06/2012	1213,2	643,3	1046,2	324,6	3726,6	38,51%
Buritis - MG	24,1	01/07/2011	30/06/2012	1213,2	630,9	1046,2	312,7	3726,6	39,69%
Jacarezinho - PR	8,4	01/09/2012	-	1667,2	581,9	978,6	51,0	1506,0	40,54%
Buritis - MG	24,1	01/07/2011	30/06/2012	1383,2	551,9	955,2	250,0	2400,0	42,22%
Jacarezinho - PR	10,8	01/09/2012	-	1667,2	561,7	978,6	31,0	2226,0	42,60%
Jacarezinho - PR	8,5	01/09/2011	-	1293,4	499,8	934,2	16,5	1110,0	46,49%
Jacarezinho - PR	11,2	01/09/2011	-	1293,4	485,4	934,2	0,0	540,0	47,57%

Tabela 1J. Informações da localidade, área da parcela (A), data de plantio, data de colheita, somatório de precipitação (P), evapotranspiração de cultura (ETc), evapotranspiração potencial de cultura (ETpc), irrigação (Irr), produtividade (Prod) e redução da ETpc para cultura do algodão (*Gossypium* L.)

Localidade	A (ha)	Data Plantio	Data Colheita	$\sum P$, mm	$\sum ET_c$, mm	$\sum ET_{pc}$, mm	$\sum Irr$, mm	Prod, kg ha ⁻¹	Redução ETpc, %
São Desidério - BA	62,0	29/05/2013	-	606,8	413,1	413,1	184,1	5177,3	0,00%
São Desidério - BA	62,5	08/02/2008	11/07/2008	475,3	392,5	410,7	294,3	1994,8	4,42%
São Desidério - BA	62,5	21/02/2008	08/08/2008	448,2	420,0	442,9	357,1	1763,4	5,17%
Paranapanema - SP	27,5	06/11/2010	-	1160,0	473,6	504,8	47,5	4569,9	6,17%
Paranapanema - SP	27,5	04/11/2010	-	1166,1	460,9	495,2	25,6	4569,9	6,94%
Paranapanema - SP	29,0	19/10/2010	-	1166,5	476,8	516,1	43,6	4569,9	7,61%
Itaberá - SP	32,0	08/11/2011	-	851,0	482,8	530,4	118,4	4894,5	8,97%
Paranapanema - SP	21,5	19/11/2010	-	1035,0	425,0	471,2	71,3	5491,5	9,81%
Itaberá - SP	28,0	03/11/2011	-	740,1	481,0	538,7	127,9	5545,5	10,71%
Itaberá - SP	29,2	23/10/2011	-	718,5	486,1	554,9	110,2	5740,5	12,39%
São Desidério - BA	46,5	20/12/2009	28/05/2010	585,6	420,3	485,5	217,5	5395,7	13,43%
Itaberá - SP	29,2	23/10/2011	-	718,5	476,8	554,9	97,6	5740,5	14,07%
São Desidério - BA	66,3	27/01/2009	06/07/2009	822,0	377,5	444,7	134,0	5468,1	15,10%
São Desidério - BA	66,3	06/01/2011	04/06/2011	607,0	339,7	404,7	45,9	5243,6	16,06%
São Desidério - BA	66,3	28/01/2009	06/07/2009	709,5	365,7	442,2	138,3	6065,4	17,29%
São Desidério - BA	66,3	26/01/2009	06/07/2009	825,0	367,8	447,0	121,7	5525,9	17,71%
Barreiras - BA	62,0	29/12/2010	01/07/2011	873,7	397,9	491,2	48,8	5332,5	19,00%
Barreiras - BA	60,0	21/12/2010	23/06/2011	878,6	399,0	497,2	59,8	5687,4	19,75%
Vazante - MG	75,0	26/10/2007	-	1551,7	587,1	744,6	87,3	5521,4	21,14%
São Desidério - BA	62,0	21/07/2013	-	287,8	305,4	393,5	171,6	5231,0	22,40%
São Desidério - BA	52,5	04/01/2010	02/06/2010	370,0	352,0	459,9	148,7	5201,6	23,46%
São Desidério - BA	62,0	17/07/2013	-	549,1	339,8	449,4	183,6	5250,0	24,38%
Caiapônia - GO	66,0	08/01/2010	05/08/2010	770,8	385,2	516,0	166,8	5030,0	25,35%
Caiapônia - GO	66,0	17/01/2010	14/08/2010	750,8	383,6	521,7	154,2	5033,1	26,48%

São Desidério - BA	52,5	15/01/2017	23/06/2007	644,0	452,9	617,5	253,9	4800,0	26,66%
Barreiras - BA	60,0	13/01/2012	30/06/2012	342,5	361,5	502,6	169,2	4709,8	28,07%
Barreiras - BA	60,0	25/01/2012	12/07/2012	294,0	360,7	506,3	165,3	3644,7	28,75%
Barreiras - BA	60,0	15/01/2012	02/07/2012	342,5	352,1	502,8	179,1	4346,2	29,96%
Barreiras - BA	60,0	15/02/2012	02/08/2012	224,5	361,3	522,0	229,0	3533,6	30,78%
São Desidério - BA	194,6	31/12/2008	08/07/2009	504,1	411,4	603,5	-	3243,6	31,82%
São Desidério - BA	203,6	26/12/2008	08/07/2009	518,4	421,0	624,2	-	3616,8	32,56%
Barreiras - BA	60,0	15/02/2012	02/08/2012	197,0	339,8	512,2	217,0	2244,0	33,65%
Vazante - MG	53,0	03/12/2007	-	1350,1	450,1	691,8	14,0	4581,9	34,94%
Vazante - MG	53,0	05/12/2007	-	1350,1	443,2	689,3	14,0	4581,9	35,70%
Caiapônia - GO	54,3	09/01/2009	14/05/2009	81,0	197,7	382,6	125,3	5169,0	48,32%
Vazante - MG	75,0	17/01/2008	-	978,2	362,0	708,5	108,7	4295,1	48,91%
Caiapônia - GO	54,3	12/01/2009	20/05/2009	76,0	186,3	396,4	104,4	5235,0	52,99%
Caiapônia - GO	56,5	16/01/2010	13/08/2010	0,6	137,5	350,7	100,2	5036,7	60,80%
Caiapônia - GO	75,9	18/01/2010	15/08/2010	0,6	134,69	372,37	85,82	4776,9	63,83%