

FRANCISCO EDSON PAULO FERREIRA

**USO DO SOFTWARE INTECPERÍMETRO® NA AVALIAÇÃO DO MANEJO  
DA IRRIGAÇÃO NAS CULTURAS DO MILHO E FEIJÃO**

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  
2015

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

T

Ferreira, Francisco Edson Paulo, 1991-

Uso do software intecperímetro® na avaliação do manejo da irrigação nas culturas do milho e feijão / Francisco Edson Paulo Ferreira. – Viçosa, MG, 2015.

F383u  
2015

xiv, 67f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Sílvio Bueno Pereira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Referências bibliográficas: f.48-57.

1. Irrigação agrícola. 2. Recursos hídricos - Manejo.
3. Milho - Cultivo. 4. Feijão - Cultivo. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.587

FRANCISCO EDSON PAULO FERREIRA

**USO DO *SOFTWARE* INTECPERÍMETRO® NA AVALIAÇÃO DO MANEJO  
DA IRRIGAÇÃO NAS CULTURAS DO MILHO E FEIJÃO**

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: 29 de outubro de 2015.



---

Fernando França da Cunha



---

Donizete dos Reis Pereira



---

Sílvio Bueno Pereira  
(Orientador)

A Deus...  
à minha família...  
aos meus amigos.

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos”. (Issac Newton)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha vida, família e amigos.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade da realização desse curso.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais, Lucia Maria Paulo Ferreira e Gonçalo Ferreira de Souza, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao professor Antônio Alves Soares “in memoriam”, pela orientação, apoio e confiança.

Ao professor Mauro Aparecido Martinez, pelas sábias correções, apoio e compreensão.

Ao professor Silvio Bueno Pereira, pela disponibilidade de orientação, apoio, correções e sugestões.

Ao Dr. Adilson Soares, por estar presente em todos os momentos desse estudo, pelas sugestões e apoio, sua presença foi fundamental.

À Associação de Apoio aos Produtores do Entre Ribeiros – AAPER, em especial ao Sr. Tatá, pelo apoio prestado durante toda minha estadia no perímetro irrigado Entre Ribeiros.

Aos servidores da AAPER, Nilda, Sr. Zezinho, Daniel, Reginaldo, Gildo e todos aqueles que participaram de minha vida durante esses meses no perímetro.

Aos produtores que cederam seus lotes para realização desse estudo, Norton, Adriano e Fred Quirino, meus sinceros agradecimentos e obrigado pela confiança.

Ao técnico agrícola Jean, pelos momentos de aprendizagem compartilhados.

Ao grupo ‘farofada’, por tudo que vivemos juntos, momentos inesquecíveis, agradeço a vocês amigos, Barbara Soares, Vinicius Ferreira e Geraldo Filho.

Aos meus amigos de república, Dandara Felix, Neto e agregados Fernanda Lamede, por todos os momentos vividos, risadas, bebedeiras.

A meu amigo Ricardo Ferreira, que mesmo estando distante, me ajudou bastante nesse estudo.

E a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente para realização desse sonho.



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Agricultura irrigada no Brasil e no mundo .....	4
2.2. Eficiência do uso e uniformidade de aplicação da água .....	5
2.3. Manejo da irrigação .....	7
2.4. Software IntecPerímetro® .....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1. Descrição da área de estudo.....	12
3.2. Avaliação do manejo da irrigação .....	13
3.3. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em pivô central.....	14
3.4. Manejo da irrigação utilizando software IntecPerímetro® .....	15
3.4.1. Evapotranspiração de referência (ET <sub>0</sub> ) .....	15
3.4.2. Evapotranspiração da cultura (ET <sub>c</sub> ).....	15
3.4.3. Cálculo da irrigação real necessária (IRN) .....	16
3.4.4. Irrigação total necessária (ITN) .....	17
3.4.5. Perda por percolação e déficit de água no solo .....	18
4. MÓDULOS DE CADASTRO DO SOFTWARE INTECPERÍMENTRO® ..	19
4.1. Caracterização física do lote.....	19
4.2. Tela de abertura do software e seus módulos de cadastro.....	19
4.3. Módulo Clima.....	20
4.4. Módulo Cultura.....	21
4.5. Módulo equipamento .....	22
4.6. Módulo Estação .....	22

4.7.	Módulo Parcela.....	23
4.8.	Módulo Solo .....	24
4.9.	Resultado do manejo .....	24
4.10.	Aplicabilidade do software IntecPerímetro <sup>®</sup> e análise estatística .....	25
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
5.1.	Uniformidade de aplicação de água.....	26
5.2.	Análise física dos solos.....	29
5.3.	Análise do manejo da irrigação .....	29
5.3.1.	Avaliação do manejo da irrigação - Lote 37.1 Gleba A.....	29
5.3.2.	Avaliação do manejo da irrigação - Lote 40.2 .....	37
5.3.3.	Avaliação do manejo da irrigação - Lote 34.1 .....	45
6.	CONCLUSÕES .....	51
7.	REFERÊNCIAS .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui contendo as fases do PCPER I, II, III e IV.....	12
Figura 2 - Cadastro do lote.....	19
Figura 3 - Tela de abertura do software e seus diferentes módulos de cadastro.....	20
Figura 4 - Tela de cadastro do módulo Clima.....	20
Figura 5 - Tela de cadastro do módulo Clima.....	21
Figura 6 - Tela de cadastro do módulo Equipamento. ....	22
Figura 7 - Tela de cadastro do módulo Estação. ....	23
Figura 8 - Tela de cadastro do módulo Parcela.....	23
Figura 9 - Tela de cadastro do módulo Solo. ....	24
Figura 10 - Resultado do manejo .....	25
Figura 11 - Perfil de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média ao logo do raio do pivô do lote 34.1.....	27
Figura 12 - Perfil de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média ao logo do raio do pivô do lote 37.1.....	27
Figura 13 - Perfil de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média ao logo do raio do pivô do lote 40.2.....	28
Figura 14 - Valores médios de lâmina de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 37.1.....	30
Figura 15 - Valores médios de tempo de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 37.1.....	30
Figura 16 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio inicial da cultura no lote 37.1. ....	32

Figura 17 - Irrigação total necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio de desenvolvimento da cultura no lote 37.1. ....	34
Figura 18 - Irrigação total necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), perda por percolação (PP) e deficit de água no solo após cada irrigação (DAAI) para o estágio intermediário da cultura no lote 37.1. ....	35
Figura 19 - Irrigação total necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), perda por percolação (PP) e déficit de água no solo após cada irrigação (DAAI) para o estágio final da cultura no lote 37.1. ....	36
Figura 20 - Valores médios de lâmina de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 40.2.....	38
Figura 21 - Valores médios de tempo de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 40.2.....	39
Figura 22 - Irrigação total necessária (ITN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio inicial da cultura no lote 40.2. ....	40
Figura 23 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio de desenvolvimento da cultura no lote 40.2. ....	41
Figura 24 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio intermediário da cultura no lote 40.2.....	42
Figura 25 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI), perda por percolação (PP) e deficit de água no solo após cada irrigação (DAAI) para o estágio final da cultura no lote 40.2.....	43

Figura 26 - Capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM), umidade crítica (UC), umidade irrigante por meio software (UIS) e umidade obtida pelo forno micro-ondas (UMO).....	44
Figura 27 - Valores médios de lâmina de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 34.1.....	46
Figura 28 - Valores médios de tempo de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 34.1.....	47
Figura 29 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio inicial da cultura no lote 34.1. ....	48
Figura 30 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI), perda por percolação (PP) e deficit de água no solo após cada irrigação (DAAI) para o estágio de desenvolvimento da cultura no lote 34.1. ....	49
Figura 31 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio intermediário da cultura no lote 34.1.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lotes avaliados, cultura plantada, área irrigada, data de plantio e sistema de irrigação.....	14
Tabela 2 - Estádio de desenvolvimento, valores de Kc e duração de dias para as culturas do feijão e do milho.....	21
Tabela 3 - Valores de velocidade de vento (Vv), umidade relativa (%), CUC (%) e CUD (%).....	26
Tabela 4 - Valores de capacidade de campo (CC), ponto de murcha (PM), densidade do solo (Ds) e capacidade real de água (CRA) para os solos dos lotes avaliados. ....	29
Tabela 5 - Lâmina média aplicada (LmA), lâmina média necessária (LmN) e potencial de economia de água (PEA) para cada estágio de desenvolvimento da cultura para o lote 40.2.....	45

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAPER	- Associação de Apoio aos Produtores do Entre RIBEIROS
AD	- Água Disponível
CC	- Capacidade de Campo
CTA	- Capacidade Total de Água no Solo
CUC	- Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
CUD	- Coeficiente de Uniformidade de Distribuição
D <sub>s</sub>	- Densidade do Solo
EBP	- Estação de Bombeamento Principal
ET <sub>0</sub>	- Evapotranspiração de Referência
ET <sub>c</sub>	- Evapotranspiração da Cultura
FAO	- Food and Agriculture Organization
IRN	- Irrigação Real Necessária
ITN	- Irrigação Total Necessária
K <sub>c</sub>	- Coeficiente da Cultura
K <sub>s</sub>	- Coeficiente que depende da depleção da água no solo
PCPER	- Projeto de Colonização Perímetro Irrigado Entre RIBEIROS
P <sub>ef</sub>	- Precipitação Efetiva
PLANOROESTE	- Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro
PM	- Ponto de Murcha Permanente
PRODECE	- Programa de Desenvolvimento do Cerrado Brasileiro
U <sub>c</sub>	- Umidade Crítica
Z	- Profundidade do sistema radicular da cultura
f	- Fator de disponibilidade hídrica

## RESUMO

FERREIRA, Francisco Edson Paulo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2015. **Uso do software IntecPerímetro® na avaliação do manejo da irrigação nas culturas do milho e feijão.** Orientador: Silvio Bueno Pereira. Coorientador: Mauro Aparecido Martinez.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o manejo de irrigação nas culturas do feijão e do milho irrigadas por pivô central no perímetro irrigado Entre Ribeiros/Paracatu-MG, utilizando o software IntecPerímetro®. Para o acompanhamento e avaliação do manejo da irrigação foram selecionados três lotes presentes no perímetro irrigado, dois cultivados com feijão e um com milho. O software foi alimentado por dados de clima, cultura, solo e os referentes ao equipamento de irrigação. Os dados de clima, necessários para o cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) por meio da equação proposta por Hargreaves-Samani, foram coletados diariamente na estação meteorológica próxima ao perímetro. Para obtenção da disponibilidade total de água no solo, foram retiradas amostras nas camadas de solo de 0-20 cm e 20-40 cm para determinação dos valores de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha (PM) utilizando extrator de Richards com tensões de 1/3 atm e 15 atm, respectivamente, e densidade do solo ( $D_s$ ) por meio do anel volumétrico. Para os parâmetros relacionados às culturas, coeficiente da cultura ( $K_c$ ), fator de disponibilidade hídrica ( $f$ ), profundidade efetiva do sistema radicular ( $z$ ) e duração dos estágios de desenvolvimento da cultura (dias), foram utilizados valores advindos da literatura. Para avaliação do equipamento de irrigação foram distribuídos coletores espaçados em 5m, de posse dos valores de lâminas coletadas foi calculada a uniformidade de aplicação por meio dos coeficientes de Christiansen (CUC) e de Distribuição (CUD). A avaliação do manejo da irrigação nos lotes deu-se pela comparação dos valores médios de lâmina aplicada e tempo de funcionamento do equipamento de irrigação praticados pelo irrigante e calculados por meio do uso do software IntecPerímetro® em todas as fases de desenvolvimento da cultura, através do teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade. Os resultados da avaliação da uniformidade de aplicação de água, representados pelos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) para todos os lotes avaliados estão abaixo do recomendado para sistema de irrigação por pivô central. Para o lote 37.1 a lâmina de irrigação realizada pelo irrigante foi 19,80% superior à calculada pelo software. Para o lote 40.2 a lâmina

de irrigação calculada pelo software foi menor que a lâmina praticada pelo irrigante, apresentando um potencial médio de economia de água de 28,30%. No lote 34.1 a lâmina de irrigação praticada pelo irrigante foi 14% menor que a lâmina obtida pelo software. Os valores de umidades obtidas em campo pelo método do forno micro-ondas não diferiram estatisticamente da umidade referente à lâmina de irrigação executada pelo irrigante utilizando o software, pelo teste “t” de Student a 5% de probabilidade.

## ABSTRACT

FERREIRA, Francisco Edson Paulo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2015. **Use of IntecPerímetro<sup>®</sup> software in the evaluation of irrigation management in corn and bean crops.** Adviser: Silvio Bueno Pereira. Co-adviser: Mauro Aparecido Martinez.

This study aimed to evaluate the irrigation management in the irrigated perimeter by central pivot of corn and bean crops through the IntecPerímetro<sup>®</sup> software in the region of Entre Ribeiros/ Paracatu-MG. Three plots of the irrigated perimeter were selected for the monitoring and evaluation of irrigation management. The software was powered with climate, crop and soils data and the ones from the irrigation equipment. Climate data were collected daily in a weather station at the perimeter. Those were necessary for the calculation of the proposed Reference Evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) equation for Hargreaves - Samani (HS). Total water availability in the soil, field capacity parameters (FC) and permanent wilting point (PW) were used by Richards extractor with tensions 1/3 atm and 15 atm, respectively, and apparent soil density (AD) using the volumetric ring in the soil layers of 0-20 cm and 20-40 cm. Values coming from the literature were used for the parameters related to crops, crop coefficient (K<sub>c</sub>), water availability factor (f), effective depth of the root system (z) and duration of crop development stages (in days). The results of the uniformity of water application, represented by the coefficients of Christiansen uniformity (CU) and of distribution (DU) for all of the evaluated plots are below the recommended level for center pivot irrigation system. The evaluation of irrigation management us lots It is given by through the comparison of values average blade applied and operation time the irrigation equipment practiced by irrigating and calculated through the use of IntecPerímetro<sup>®</sup> software in all the stages of development culture, through "t" test in Student at the level 5% probability. For the plot 37.1 the increase of irrigation performed by the irrigator was 19.80% higher than the one calculated by the software. For plot 40.2 the water blade calculated by the software was less than the one performed by the irrigator, showing a medium potential in water savings of 28.30%. In the plots 34.1 the irrigation blade performed by the irrigator was 14% lower than the blade calculated by the software. The humidity values obtained in the field by the microwave oven method did not differ statistically the humidity from increase irrigation performed by irrigator calculated by the software, applying test "t" Student at 5% of probability.

## 1. INTRODUÇÃO

No universo, a água é o recurso mais importante em todos os aspectos da vida; em excesso ela causa inundações e calamidades ambientais e sua escassez provoca fome e miséria, além de conflitos entre seus múltiplos usuários. O manejo adequado da água pode conduzir a excelentes resultados na produção de alimentos, porém utilizado de forma incorreta provoca degeneração do meio físico natural.

A água é um dos principais fatores de produção na agricultura e cada espécie de planta necessita de um adequado nível de água no solo para que suas necessidades fisiológicas sejam atendidas de modo a não comprometer sua produtividade. A irrigação constitui a alternativa viável, dentre os demais tratamentos culturais, na melhoria da produtividade e sua finalidade básica é fornecer água à cultura para atender à sua exigência hídrica e a lâmina de irrigação adequada, de modo a obter produtividade satisfatória (FREITAS et al., 2003; SANTANA et al., 2008; KISI, 2011).

A tendência de decréscimo de disponibilidade de água para a agricultura, o aumento dos custos de energia e a crescente preocupação mundial com os recursos hídricos, leva à adoção de estratégias de manejo que possibilitem economia de água sem prejuízos expressivos na produtividade. Uma boa estratégia de manejo da irrigação é fundamental para economizar água sem, no entanto, por em risco o rendimento das culturas (JALOTA et al., 2006; PEREIRA et al., 2009; LÓPEZ-MATA et al., 2010).

O manejo da irrigação é definido por Mantovani (2008) como a condução da irrigação na cultura suprindo de forma apropriada às suas necessidades hídricas, com a lâmina e a período de irrigação mais adequados. O manejo da irrigação se insere no contexto da maximização/otimização da produtividade agrícola e dos recursos de produção disponíveis.

No atual panorama da irrigação nos perímetros irrigados, o planejamento é indispensável no sentido de compatibilizar os vários usos da água, viabilizando os diferentes setores produtivos, monitorando a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos e melhorando os níveis de eficiência global de uso. A otimização do uso da água e, a busca de melhor rentabilidade da agricultura, devem integrar as tecnologias de irrigação com sistemas de alta eficiência e principalmente, reduzindo custo para o produtor (FRIZZONE, 2009).

A energia elétrica é um insumo importantíssimo para o desenvolvimento das civilizações modernas, estando presente em quase todas as atividades dos processos produtivos (MEDEIROS et al., 2003). Dentre os setores consumidores de energia

elétrica, a agricultura desponta como a maior consumidora e é altamente dependente desse recurso para aumentar a produção e conseguir suprir as necessidades do mercado, que é cada vez mais exigente e competitivo (MORAES et al., 2011)

A irrigação é responsável por grande parte do consumo de energia na propriedade rural e este pode ser ainda maior se o produtor rural não adotar um método adequado de manejo da irrigação. A justificativa do irrigante para o consumo de água em excesso, está relacionada, em geral, à preocupação de que a cultura não sofra estresse hídrico, o que poderia comprometer a produção. O descontrole da irrigação gera um aumento do custo de produção pelo desperdício dos recursos de energia elétrica e água (TURCO et al., 2009).

Segundo Turco et al. (2009) e Scarcelli et al. (2009), é grande a preocupação dos irrigantes em relação às tarifas de energia elétrica e à tarifação sobre a água para a irrigação. Afirmam ainda que se a irrigação fosse realizada de forma racional, cerca de 20% da água e 30% da energia consumida poderiam ser economizadas, sendo 20% da energia economizada devido à aplicação desnecessária da água e 10% em virtude da otimização dos equipamentos.

A possibilidade de escassez de energia e de água e a implantação de tarifação do uso da água por parte dos comitês de bacias hidrográficas, aliadas à rápida elevação dos custos de produção, despertam uma preocupação crescente com a racionalização do uso da energia e água, principalmente para irrigação (TURCO et al., 2009).

Ao longo dos anos, no Brasil, a prática de irrigação foi se concretizando e continua em expansão. Algumas políticas públicas foram implantadas no decorrer dos tempos para incentivo e fomento a irrigação, podendo exemplificar a irrigação na bacia do Rio Paracatu, que nos últimos 20 anos cresceram expressivamente devido, principalmente, aos incentivos advindos de programas governamentais, destacando-se o Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro – PLANOROESTE. Como consequência dessa grande expansão da agricultura irrigada nesse perímetro, iniciaram-se sérios conflitos quanto à disponibilidade da água, principalmente nas sub-bacias do Ribeirão Entre Ribeiros e do Rio Preto. No entanto, existem diferentes maneiras de minimizar os conflitos de uso de água, sendo as principais, a implementação de um manejo de irrigação e um gerenciamento adequado.

Dentre os principais usos da água, de acordo com Molden (2007), a agricultura irrigada é responsável por 70% do consumo de água no mundo, 20% é consumida pelas indústrias e os outros 10% destinados ao consumo humano. Já de acordo com Jackson et al. (2001) a agricultura irrigada é responsável pelo consumo de 65% da água disponível

no mundo, sendo a indústria responsável por 22%, e as demais formas de consumo representam 13% da água restante. Apesar das diferenças de números encontradas entre os autores, ambos concordam quanto à magnitude do elevado consumo de água referente à agricultura irrigada e atribui esse alto consumo à prática crescente da irrigação.

Devido a isto a agricultura está enfrentando crescente pressão de outros segmentos do uso da água, melhorar a sua eficiência torna-se necessário e obrigatório em muitos perímetros de irrigação, principalmente em regiões áridas e semi-áridas (HAMDY, 2007).

A agricultura irrigada, para manter-se sustentável em termos ambientais, precisa ser eficiente. Para alcançar essa eficiência deve-se atuar principalmente: na melhoria da estrutura de irrigação já existente, em termos de tipos de cultivo, sistemas de irrigação e gestão do uso de água.

Atualmente, a agricultura irrigada é considerada a atividade que demanda maior quantidade de água. Em escala mundial, a irrigação chega ao consumo de 80% da água disponível, no Brasil esse valor se aproxima dos 53% (ANA, 2014).

Diante do exposto, a utilização de modelos computacionais, capazes de simular a demanda de água para irrigação, a partir de observações de parâmetros relacionados ao solo, a planta e ao clima, visando o gerenciamento eficiente e racional dos recursos hídricos, se torna uma prática indispensável. O uso destes modelos permite o planejamento e a execução de estratégias que visem o desenvolvimento local e regional, com base na utilização dos recursos hídricos disponíveis.

Tendo em vista o manejo e gerenciamento da irrigação em perímetros irrigados, o software IntecPerímetro<sup>®</sup>, anteriormente desenvolvido por Dantas Neto et al. (2005) e modificado pela empresa INTEC, é um programa computacional para gerenciamento e manejo da irrigação bastante atrativo, visto apresentar uma interface bastante interativa, não necessitando de um elevado conhecimento computacional do usuário para sua manipulação.

Objetivou-se no presente trabalho avaliar o manejo da irrigação nas culturas do milho e do feijão irrigadas por pivô central no perímetro irrigado de Entre RIBEIROS/Paracatu-MG por meio do software IntecPerímetro<sup>®</sup>.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Agricultura irrigada no Brasil e no mundo**

A agricultura irrigada está fortemente associada com elevado consumo de água e com a segurança alimentar, tanto em países desenvolvidos, quanto em desenvolvimento, associada também ao desenvolvimento local e a redução da pobreza. Praticada em 20% de toda área agrícola, a agricultura irrigada é responsável por 40% da produção agrícola mundial, consumindo cerca de 70% de toda água disponível (UMALI, 1993; POSTEL, 1999; PIMENTEL et al., 2004; MOLDEN, 2007).

A agricultura irrigada é reconhecida como a atividade que mais consome água em todo o mundo, sendo responsável pelo consumo de cerca de 70% da água, e em países em desenvolvimento este valor pode chegar a 95%, causando conflitos em relação aos demais usos da água (FAO, 2007). Desse modo, torna-se necessário encontrar soluções e fornecer uma melhor compreensão dos efeitos da redução do uso da água para irrigação para seus múltiplos usuários (HAYASHI et al., 2012). Os valores de consumo da água para irrigação variam de autor para autor, mas todos chegam à mesma conclusão, afirmando que a agricultura irrigada é a maior utilizadora de água no mundo, quando comparados com outras utilizações. Na indústria esse valor varia entre 10% a 12%, e o consumo humano de 8% a 10% (PEREIRA JR, 1998).

A agricultura irrigada no país representa 5% da área cultivada, correspondendo a cerca de 3,5 milhões de hectares, dos quais 2,2 milhões são irrigados por sistemas pressurizados, responsáveis por 16% da produção total e 35% do PIB agrícola. (CHRISTOFIDIS, 2006; BRASIL, 2008; MANTOVANI et al., 2009).

O Brasil é o país mais rico em água potável, com 8% das reservas mundiais, concentrando 18% do potencial de água de superfície do planeta (MAIA NETO, 1997). Sendo a irrigação a maior consumidora de água, logo se faz necessário à conscientização dos usuários da agricultura irrigada, que em quase toda sua totalidade, não utiliza, se quer, qualquer tipo de estratégia de manejo racional da água, devido principalmente à resistência imposta pelos próprios utilizadores.

O planejamento é indispensável no sentido de compatibilizar os vários usos da água, viabilizando os diferentes setores produtivos, monitorando a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, melhorando os níveis de eficiência global de uso. Esse planejamento minimiza, no decorrer dos anos, que a água se torne alvo de conflitos e guerras.

## **2.2. Eficiência do uso e uniformidade de aplicação da água**

A avaliação dos sistemas de irrigação é imprescindível para compatibilizar a eficiência do sistema, no entanto essa prática nem sempre é realizada, principalmente por pequenos produtores. Nesses casos, em sua grande maioria, os valores de eficiência de irrigação encontrados estão abaixo do recomendado, devido principalmente à má condução da água até a área irrigada e pela falta de manutenção do equipamento de irrigação, sendo essa uma das principais perdas de produtividade (PAZ et al., 2000).

A avaliação da operação dos sistemas de irrigação está ligada a diversos parâmetros de desempenho, definidas em determinações de campo, como vazão, tempo de irrigação e uniformidade de aplicação de água, nos quais são considerados fundamentais para a tomada de decisões em relação ao diagnóstico do sistema. Porém, os produtores consideram essa prática de pouca importância, mesmo quando disponibilizam de tecnologia, mas lhes faltam orientação e conhecimento (SILVA e SILVA, 2005).

Com a avaliação dos sistemas de irrigação tem-se o conhecimento da qualidade com que a irrigação está sendo realizada, a partir de coeficientes de uniformidade de aplicação de água, os quais expressam a variabilidade de distribuição aplicada pelo sistema de irrigação.

A uniformidade de aplicação da água é um dos parâmetros de desempenho da irrigação, que muitos especialistas na área consideram importante na avaliação da qualidade da irrigação. O termo uniformidade é aplicado aos parâmetros de desempenho, associados à variabilidade da lâmina de água aplicada na superfície do terreno (CASTIBLANCO, 2012).

A uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um dos principais parâmetros para o diagnóstico da situação de funcionamento do sistema, sendo, inclusive, um dos componentes para determinação do nível de eficiência no qual o sistema trabalha e pelo qual a lâmina aplicada deverá ser corrigida para fornecer água de modo a permitir o pleno desenvolvimento da cultura (MANTOVANI et al, 2009 e BERNARDO et al., 2009).

O conceito de eficiência de irrigação abrange dois aspectos básicos, a uniformidade de aplicação e as perdas, que podem ocorrer durante a operação do sistema de irrigação. Para que a eficiência de irrigação possa atingir valores altos, é necessário que as perdas durante a operação sejam as menores possíveis e a uniformidade de aplicação e distribuição sejam as maiores possíveis (KELLER e BLIESNER, 1990).

A eficiência de irrigação é compreendida como a razão entre a quantidade de água que é aproveitada efetivamente pelo sistema radicular das culturas e a quantidade de água aplicada pelo sistema de irrigação. A eficiência de aplicação em sistemas de irrigação que aspergem água sobre a superfície do solo, como pivô central e aspersão, está relacionada diretamente com a uniformidade de distribuição de água na superfície do solo, porém durante esse processo sabe-se que existem perdas, as principais são por evaporação e por arraste, havendo assim uma redução na eficiência de irrigação nesses sistemas de irrigação, que é mais acentuada nesses sistemas de irrigação quando comparadas com sistema de irrigação por gotejamento (MANTOVANI et al., 2009).

A eficiência de uso de água no Brasil é de aproximadamente 65%, e essa baixa eficiência decorre, principalmente, do manejo inadequado da irrigação e da falta de manutenção da estrutura hidráulica. O uso ineficiente da água eleva o custo de produção, redução da produtividade por déficit hídrico e em alguns casos, provoca conflitos entre os irrigantes e limita a expansão da área irrigada (CHRISTOFIDIS, 2009).

A principal causa da baixa eficiência da irrigação é devido à maior parte das áreas irrigadas compreenderem projetos públicos, em que a maioria dos irrigantes não adotam os princípios básicos da agricultura irrigada, o que dificulta o próprio entendimento da eficiência de irrigação e suas vantagens. Isto se agrava, principalmente, quando o projeto não taxa a água usada pelo irrigante ou taxa a valores irrisórios.

A ineficiência dos sistemas de irrigação influenciará na uniformidade de aplicação da água, conseqüentemente, aumento os custos com irrigação e influenciará no desempenho da cultura. Áreas irrigadas que apresentam baixa uniformidade de aplicação de água favorecerão o desenvolvimento desuniforme das plantas cultivadas, pois algumas receberam mais água que outras. Esse fato está relacionado ao excesso de água no solo, que provoca a lixiviação de nutrientes, a redução na concentração de oxigênio disponível para as raízes, o aumento na incidência de pragas e doenças, enquanto a escassez de água aumenta os riscos de salinização do solo e inibe o potencial produtivo da planta (SANTOS et al., 2003). Além disso, aplicação da lâmina em excesso afeta severamente a lixiviação de poluentes, como por exemplo, sais (DUNCAN et al., 2008) e nitrato (QUEMADA et al., 2013).

Quando se aplica somente a lâmina de irrigação média em uma área, acarretará, inevitavelmente, o excesso em uma parte da área e déficit em outra. Na fração em excesso, uma parte da água aplicada ficará disponível apenas na zona radicular das plantas e a outra parte é perdida por percolação. Na fração com déficit, toda água

aplicada é considerada armazenada na zona das raízes, porém em quantidade inferior às necessidades hídricas das plantas (ZOCOLER et al., 2001; FRIZZONE, 2003).

Por conseguinte, vários estudos abordaram a eficiência do uso da água na agricultura irrigada através de vários índices de qualidade de irrigação (SKHIRI e DECHMI, 2012; SOTO-GARCÍA et al., 2013). Mas devido à adoção de diferentes índices para avaliar a eficiência da irrigação, fica difícil fazer comparações quantitativas entre eles, visto que as definições de cada método variam de autor para autor (LANKFORD, 2012). As definições podem variar desde a eficiência da irrigação em nível de parcela (SETEGN et al., 2011; AHADI et al., 2013), a nível de distrito de irrigação (JIA et al., 2013), ou até mesmo a relação entre o rendimento da cultura e o volume de água aplicado (SOTO-GARCÍA et al., 2013).

O índice de uniformidade expressa a variação espacial da água aplicada e os dois índices de eficiência refletem o percentual da área adequadamente irrigada e a eficiência alcançada na aplicação da água. Esses indicadores de desempenho podem ser obtidos diretamente dos valores de lâmina de água, medidos pontualmente, ou por meio de modelos matemáticos (SILVA et al., 2004). O desempenho de qualquer método de irrigação pode ser avaliado através da utilização de parâmetros de uniformidade e de eficiência da água aplicada pelo sistema de irrigação (HART et al., 1980).

Muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um determinado sistema de irrigação. O primeiro deles foi proposto por Christiansen (1942), o qual adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - CUC). No entanto Criddle et al. (1956) introduziram uma nova medida da uniformidade, dessa forma passaram a considerar a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD).

Os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Distribuição (CUD) são considerados os parâmetros mais eficientes e rigorosos na determinação da uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão. Esses parâmetros podem ser classificados da seguinte forma, excelente quando apresenta coeficientes de uniformidade acima de 90%, bom, de 80-90%, regular, de 70-80%, ruim, de 60-70%, e inaceitável, abaixo de 60% (BERNARDO et al., 2009).

### **2.3. Manejo da irrigação**

O manejo da irrigação é considerado a etapa mais importante na agricultura irrigada, e quase sempre é negligenciada, em função da resistência imposta pelos

produtores, mesmo, daqueles que tem acesso a alguma metodologia de manejo disponível, que embora utilizando uma ferramenta tecnológica para realização do manejo com base no balanço diário da água no solo, ainda não seguem as recomendações propostas. A grande maioria dos produtores avaliam o momento de irrigar de forma visual, sem a utilização de um método de manejo que possibilite uma definição mais precisa (SOUZA, 2001).

Para que um projeto de irrigação atinja resultados satisfatórios, é necessário, além de um ótimo dimensionamento, apresentar um eficiente manejo da irrigação, levando em consideração todos os aspectos a ele relacionados, tais como: climáticos, nutricionais, fitopatológicos, nutricionais e edáficos.

O conceito de manejo de irrigação é muito complexo, pois relaciona tanto o ponto de vista do manejo da água como também o manejo do equipamento, com o objetivo de aplicar a quantidade de água adequada no momento exato desta aplicação, visando minimizar as perdas durante esse processo, não devendo, portanto, ser considerada uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola. Dessa forma, o manejo deve ter por um lado o compromisso com a produtividade da cultura explorada, e por outro lado, o uso eficiente da água de modo a promover a conservação dos recursos hídricos disponíveis.

A implantação de um programa de manejo de irrigação requer certo cuidado quanto à disponibilidade de tecnologia de ponta e operacionalidade, assim possibilitando a maximização do uso dos insumos de produção disponíveis, aumento da produtividade agrícola, permitindo, aumento na rentabilidade e expansão da área irrigada, nos locais com limitações dos recursos hídricos. Contribuir ainda para exploração agrícola sustentável, preservando o meio ambiente pela utilização racional de água e energia, evitando problemas com contaminação do lençol freático, pela lixiviação de produtos químicos, devido ao processo de percolação profunda (BERNADO et al., 2009).

O manejo da irrigação realizado de forma coerente vislumbra definir o quanto e quando irrigar. Implementar um programa de manejo de irrigação eficiente, significa implantar um sistema de monitoramento via solo, clima, planta, ou associação entre dois deles (BERNADO et al., 2009). Porém, a determinação da lâmina de água a ser aplicada por meio desses sistemas de monitoramentos é bastante complexa e requer a utilização de ferramentas que auxiliem na tomada de decisão, como é o caso do uso de programas computacionais.

Diversos autores tem verificado o potencial da utilização de programas computacionais para o cálculo da lâmina de irrigação. A partir da década de 60, ocorreram vários estudos objetivando a utilização de computadores para o estabelecimento dos calendários de irrigação, como base na equação do balanço hídrico do solo. Mas, somente a partir dos anos 80, passou-se a utilizar os programas para se determinar quando e quanto irrigar, além de possibilitar a automação dos sistemas de irrigação em tempo real (SOUZA, 1991).

Os principais componentes dos sistemas computacionais são os seguintes, hardware constituído de diversos dispositivos eletrônicos; software, que corresponde aos programas utilizados no sistema computacional; usuários, que manuseiam o sistema; e documentação que descreve o sistema e seu uso (RESENDE, 2005; SOMMERVILLE, 2007).

Atualmente, no mercado, existem inúmeros softwares disponíveis, no entanto a utilização de certo programa computacional no manejo da irrigação depende principalmente, do nível técnico dos usuários. Visando maximizar a utilização desses softwares, muitas empresas se empenham em desenvolver programas computacionais de mais fácil manipulação permitindo melhor interatividade entre softwares e usuários.

O manejo da irrigação é bastante complexo e envolve um grande número de variáveis, as quais nem sempre estão prontamente disponíveis, necessitando dessa forma do desenvolvimento de softwares específicos. No mercado há diversos softwares, dentre os quais, podem ser citados: REF-ET versão 3.1.15 (ALLEN, 2013), AVALIA (BORGES JÚNIOR e MATOVANI, 2001) e o IRRIPLUS (MANTOVANI, 2008). Cada um desses programas utiliza dados de entrada e metodologia de cálculos específicos que são necessários para o cálculo da quantidade de água a ser aplicada diariamente.

A definição de quando irrigar pode ser feita por métodos que estabeleçam valores limites para variáveis de solo ou de planta. O solo constitui um reservatório ao qual se repõe, periodicamente, a água retirada pela cultura, respeitando-se um valor limite inferior para a disponibilidade de água. Apesar de ser bastante criticado (o conceito de disponibilidade total de água no solo (DTA) entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PM),  $DTA = CC - PMP$ ) é amplamente utilizado neste contexto, (HOFFMAN et al., 1990; STEELE et al., 1997; RITCHIE, 1981).

Esse avanço tecnológico possibilitou maior interação entre a agricultura e a computação, em que esses sistemas computacionais podem auxiliar na utilização dos recursos hídricos disponíveis, sendo eficaz no monitoramento e automatização do uso

da água. As novas tecnologias aplicadas à engenharia de irrigação constituem um dos principais instrumentos para automação dos sistemas agrícolas, sua adoção apresenta grandes benefícios, como o aumento da produtividade e a redução dos custos de produção (MENDES, 2011).

#### **2.4. Software IntecPerímetro®**

O modelo computacional *Perímetro Manager*, criado por Dantas Neto et al. (2005), foi desenvolvido através de uma parceria firmada entre a empresa INTEC, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Universidade Federal de Viçosa, com o objetivo inicial de promover a gestão da agricultura irrigada em perímetros irrigados, e posteriormente, adaptada para o gerenciamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas.

Para construção do software foi utilizada a linguagem de programação orientada a objeto, por meio do uso do aplicativo Delphi 3, em ambiente Windows. No desenvolvimento do sistema computacional, foi dada ênfase a atual tendência de aplicativos computacionais, a qual se caracteriza por apresentar uma interface com o usuário de fácil manipulação, onde não seja necessário um elevado conhecimento computacional por parte do usuário e não tenha necessidade da entrada de muitas variáveis para sua execução (Dantas Neto et al., 2005)

O software *Perímetro Manager* foi desenvolvido com objetivo de simular o consumo de água em perímetros irrigados, a partir das parcelas cultivadas, e monitorar a distribuição de água para as propriedades. O sistema tem com base os recursos de clima, solo, cultura e sistema de irrigação, consolidados em uma estrutura de banco de dados, que possibilita a execução de manejo, em tempo real, e simulação de água para diferentes épocas (Dantas Neto et al., 2005)

Anos depois, a empresa INTEC decidiu realizar melhorias no sistema computacional *Perímetro Manager*, até então disponível apenas para execução em ambiente Windows, utilizando a equação proposta por Penman-Monteith para o cálculo da estimativa da evapotranspiração da cultura ( $ET_0$ ). Tendo em vista a evolução no cenário computacional, o programa foi remodelado e disponibilizado para seus usuários em forma de nuvem, ou seja, apenas com simples acesso a Internet o usuário tem acesso às informações previamente cadastradas e apenas com a inserção de dados de clima diários é possível executar manejo da irrigação em tempo real no perímetro irrigado de qualquer lugar.

O novo software desenvolvido pela empresa INTEC recebeu o nome de IntecPerímetro<sup>®</sup>, cujo o objetivo é realizar o manejo real diário da demanda de água para irrigação em perímetros irrigados.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área de estudo

A implantação de projetos de colonização agrícolas nas zonas do Cerrado brasileiro foi criada na década de 80, através de uma aliança firmada entre a empresa pública Brasagro S.A, agência japonesa JICA e PRODECER (Programa de Desenvolvimento do Cerrado Brasileiro).

No ano de 1983, foi implantado em Paracatu-MG, o primeiro projeto desenvolvido por essa parceira, o Projeto de Colonização Paracatu-Entre RIBEIROS (PCPER), esse projeto foi dividido em quatro etapas como pode ser visualizado na Figura 1, estando em funcionamento o PCPER I, II e III, a etapa IV ainda está em construção. Esta pesquisa foi desenvolvida no PCPER I que possui uma área irrigada de 2.460 ha, com pivôs centrais (com área de 30 a 60 ha), ao todo o PCPER I possui 47 lotes e cada proprietário possui de um a três pivôs centrais.

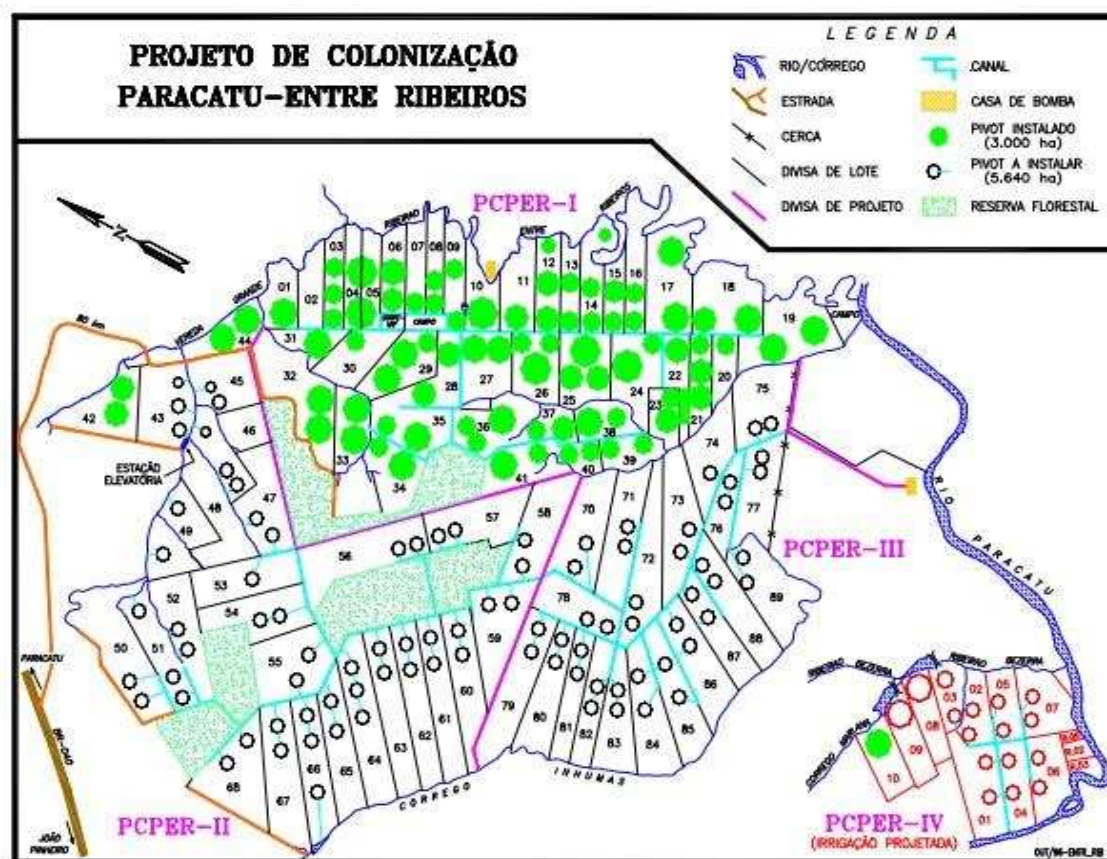


Figura 1- Croqui contendo as fases do PCPER I, II, III e IV.  
Fonte: AAPER, 2003.

O PCPER está localizado ao noroeste do Estado de Minas Gerais (latitude 16° 45' S, longitude 46° 30' W e altitude de 518 a 524 m), na microbacia do Entre Ribeiros, pertencente à bacia do rio São Francisco. Atualmente o PCPER é administrado pela Associação de Apoio aos Produtores do Paracatu/Entre Ribeiros (AAPER), fundada em 8 de abril de 1985. Por demandar grandes vazões dos cursos d'água da Bacia do Rio São Francisco, é considerado um dos maiores perímetros de irrigação com pivô central da América Latina.

O clima na região conforme classificação de Köppen, é tropical chuvoso, como regime pluviométrico médio anual de 1452,6 mm (Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio Paracatu - Consórcio Magna/Dam/Eyser, Ruralminas, SEAPA–MG , 1998). As temperaturas médias anuais variam entre 21°C e 24°C, a umidade média anual é da ordem de 72% e a insolação média anual é da ordem de 2.450 horas.

O local Possui revelo composto por planaltos suaves, com predominância de Latossolos - solos antigos, profundos e com baixa predisposição natural à erosão, apresentado boa aptidão agrícola (ANDRADE, 2007).

O PCPER possui duas estações de bombeamento principais (EBP), as quais possuem doze bombas, sendo uma com quatro e outra com oito, a fonte de abastecimento de água do PCPER é o Ribeirão Entre Ribeiros, bombeando água para 4 canais principais A, B, C e D, que juntos possuem um comprimento total de, aproximadamente, 36,5 km. Em seguida a água é redistribuída para os canais secundários, e, por fim, bombeada para cada pivô central, já que todos os lotes possuem sua própria casa de bomba.

### **3.2. Avaliação do manejo da irrigação**

Para realização do acompanhamento da irrigação foram selecionados três lotes irrigados por pivô central. Na Tabela 1 estão dispostos os lotes que foram avaliados, cultura plantada, área irrigada e data de plantio. A obtenção dos dados necessários para realização do cálculo do consumo de água utilizando o software IntecPerímetro<sup>®</sup>, bem como a avaliação do sistema de irrigação, compreendeu o período entre os meses de março a agosto de 2015, de modo a acompanhar o ciclo inteiro das culturas, exceto o lote 34.1, que devido ao atraso na semeadura, só foi possível monitoramento durante 67 dias.

Tabela 1 - Lotes avaliados, cultura plantada, área irrigada, data de plantio e sistema de irrigação

Propriedade	Cultura	Área (ha)	Data de plantio	Sistema de irrigação
Lote37.1	Milho	15,02	29.03.2015	Pivô central
Lote 40.2	Feijão	29,60	12.05.2015	Pivô central
Lote 34.1	Feijão	30,25	10.06.2015	Pivô central

### 3.3. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em pivô central

Para avaliação da uniformidade de distribuição da lâmina de irrigação, foram realizados testes utilizando coletores com 8,0 cm de diâmetro, cuja área coletada equivale a 50,265 cm<sup>2</sup>, suspensos por hastes de alumínio de 70 cm de altura. Os coletores foram distribuídos espaçados em 5 m entre si, ao longo de uma única direção radial a partir do centro do pivô. De posse dos volumes coletados foram realizados os cálculos dos coeficientes de uniformidade de distribuição.

Os coeficientes usados foram o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o de distribuição (CUD). Tais coeficientes são calculados pelas seguintes equações, respectivamente:

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| L_i - \frac{\sum_{i=1}^n L_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n L_i S_i} \right] \quad (1)$$

em que:

- $S_i$  - distância do centro do pivô ao ponto  $i$  em m;
- $L_i$  - lâmina coletada no ponto  $i$  em m;
- $n$  - número de pontos coletados.

$$CUD = \frac{\bar{X}_{p(25)}}{\bar{X}_p} 100 \quad (2)$$

em que:

- CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;
- $\bar{X}_{p(25)}$  - lâmina média ponderada dos 25% menores valores coletados, mm;

$\bar{X}$  - lâmina média ponderadas dos coletores avaliados, mm.

### 3.4. Manejo da irrigação utilizando software IntecPerímetro®

Para realização do manejo e gerenciamento do perímetro irrigado, o software necessita de informações referentes ao tipo de solo, dados de clima, cultura plantada e equipamento de irrigação, disponibilizadas em forma de banco de dados, possibilitando assim a execução do manejo em tempo real. Com base nesses dados, o programa calcula o consumo de água de cada parcela e possibilita o gerenciamento do volume a ser derivado em cada rede de abastecimento do perímetro. A determinação desses parâmetros é realizada seguindo a metodologia de cálculo proposta pelo software de acordo com o descrito a seguir.

#### 3.4.1. Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ )

A estimativa da evapotranspiração de referência foi realizada pela equação proposta por Hargreaves-Samani (1985), devido sua simplicidade e confiabilidade, sendo necessário somente os dados de temperatura máxima e mínima, e coeficientes dependentes da latitude do local e época do ano. Esta equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$ET_0 = 0,0023 (T + 17,8)(T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})^{0,5} R_a \quad (3)$$

em que:

$ET_0$  - evapotranspiração de referência ( $\text{mm d}^{-1}$ );

$T_{m\acute{a}x}$  - temperatura máxima, °C;

$T_{m\acute{i}n}$  - temperatura mínima, °C;

$T$  - temperatura média, °C;

$R_a$  - radiação solar no topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação ( $\text{mm d}^{-1}$ ), que varia com o mês e a latitude do local.

#### 3.4.2. Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ )

Conhecendo-se os valores da evapotranspiração de referência para a área de estudo, foi possível calcular a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) com base na metodologia proposta por Doorenbos e Kassam (1979), conforme a seguinte equação:

$$ET_c = ET_0 K_c K_s \quad (4)$$

em que:

- ETc - evapotranspiração da cultura (mm d<sup>-1</sup>);
- ETo - evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);
- Kc - coeficiente de cultura, adimensional;
- Ks - coeficiente que depende da depleção da água no solo, adimensional.

Onde (Ks) é calculado conforme metodologia proposta por Bernardo et al. (2009), conforme a seguinte equação:

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

em que:

- Ks - coeficiente de depleção de água no solo, adimensional;
- LAA - lâmina atual de água no solo, mm;
- CTA - capacidade total de armazenamento de água no solo, mm;

### 3.4.3. Cálculo da irrigação real necessária (IRN)

Com todos os dados cadastrados é possível calcular utilizando o software a lâmina de água armazenada no solo que a cultura pode utilizar sem afetar sua produtividade, no dia i (LAAi) . Quando a umidade atual do solo for igual à capacidade de campo, a LAA será igual à capacidade total de água no solo (CTA). A IRN é obtida por meio da seguinte equação:

$$IRN = \frac{C_c - P_m}{10} D_s Z f - P_{ef} \quad (6)$$

em que:

- IRN - irrigação real necessária, mm;
- Cc - capacidade de campo, (% , peso base seca);
- Pm - ponto de murcha, (% , peso base seca);
- Ds - densidade do solo, (g cm<sup>-3</sup>);
- Z - profundidade efetiva do sistema radicular, cm;
- f - fator de disponibilidade hídrica;
- P<sub>ef</sub> - precipitação efetiva

### 3.4.4. Irrigação total necessária (ITN)

A irrigação total necessária (ITN) representa a quantidade de água a ser aplicada pelo sistema de irrigação para que a irrigação real necessária fique disponível para a planta. Para esta determinação devem-se levar em conta as perdas que ocorrem durante a irrigação: perdas por evaporação e arraste, perdas por percolação e perdas por vazamentos. O valor adotado referente à eficiência da irrigação foi o próprio valor obtido para o coeficiente de uniformidade de Chistiasen, devido à intensidade de aplicação do equipamento de irrigação ter sido corrido por esse valor. Para o cálculo da ITN foi utilizada a seguinte equação:

$$ITN = \frac{IRN}{CUC} \quad (7)$$

em que:

- ITN - irrigação total necessária, mm;
- IRN - irrigação real necessária, mm;
- CUC - coeficiente de uniformidade de Christiasen, decimal.

O balanço da água no solo é realizado diariamente por meio da seguinte equação:

$$Laa_i = Laa_{i-1} + Prec_i + Irri_i - ETc_{i-1} \quad (8)$$

em que:

- Laa<sub>i</sub> - lâmina de água disponível no dia i, mm;
- Laa<sub>i-1</sub> - lâmina de água disponível no dia i-1, mm;
- Prec<sub>i</sub> - precipitação total do dia i, mm;
- Irr<sub>i</sub> - irrigação no dia i, mm;
- ET<sub>Ci-1</sub> - evapotranspiração da cultura no dia i-1, mm;

A partir dos valores da irrigação total necessária (ITN) diários em cada parcela irrigada dentro do perímetro, o volume de água gasto diariamente foi obtido pela seguinte equação:

$$Vol_L = \sum_{p=1}^n 10 ITN_{p,i} A_p \quad (9)$$

em que:

- Vol<sub>L</sub> - volume de água necessário a ser alocado no perímetro irrigado no dia i, m<sup>3</sup>;
- Vol<sub>L,i</sub> - volume de água diário a ser alocado na parcela P no dia i, m<sup>3</sup>;
- ITN<sub>p,i</sub> - irrigação total necessária a ser aplicada na parcela P no dia i, mm;
- A<sub>p</sub> - área da parcela P, em ha.

### 3.4.5. Perda por percolação e déficit de água no solo

Depois de realizada a irrigação espera-se que a lâmina de irrigação aplicada no solo, obrigatoriamente, reponha a lâmina de água referente à evapotranspiração da cultura naquele determinado momento, se essa lâmina for maior, irá ocasionar perda por percolação, se for menor, evidentemente, ocasionará déficit de água no solo. As perdas por percolação e déficit de água no solo podem ser obtidas pela através das seguintes afirmações, respectivamente:

$$PP = LAA - ETc > CRA \quad (10)$$

em que:

- PP - perda por percolação (mm);
- LASI - lâmina de água armazenada no solo após a irrigação (mm.d<sup>-1</sup>);
- ETc - evapotranspiração da cultura (mm.d<sup>-1</sup>)
- CRA - capacidade real de água no solo (mm).

$$DAAI = LASI - ETc < UC \quad (11)$$

em que:

- DAAI - déficit de água no solo após irrigação (mm);
- Uc - umidade crítica do solo, fator de disponibilidade hídrica da cultura (f).

## 4. MÓDULOS DE CADASTRO DO SOFTWARE INTECPERÍMENTRO®

### 4.1. Caracterização física do lote

O sistema considera o lote como a unidade básica para executar o monitoramento da distribuição e o gerenciamento do consumo de água no perímetro. Nesse segmento (Figura 2) são incluídas as seguintes informações: nome da propriedade, proprietário e área da propriedade (ha). Dessa forma foi estabelecida uma ligação com a base de dados de caracterização física do perímetro. Após o cadastrado do lote é possível o cadastro dos módulos que são discutidos a seguir.

The screenshot shows a web-based form titled "Novo Lote Adjacente". On the left is a sidebar menu with options like Bem, Canal, Classe de Bem, Equipamento Especial, Irrigante, Lote (highlighted), Material, Perfil, Setor, Técnico, Tubulação, and Unidade de Manutenção. The main form area contains the following fields and sections:

- Lote ativo
- Nome da propriedade:  Número:
- Proprietário:  Técnico responsável:  Perfil:
- Nome do preposto:  Tel/cel do preposto:
- Água por mês (m³):
- Estimativa de demanda de água para outras atividades por mês:
- Informações adicionais:
- Three tabs: "Dados geográficos", "Dados socioeconômicos", and "Área agrícola".
- Lote Adjacente: Longitude (°):  Latitude (°):
- Área (ha):  Altitude (m):
- Buttons: "Salvar" (green) and "Voltar" (blue).

Figura 2 - Cadastro do lote.

### 4.2. Tela de abertura do software e seus módulos de cadastro

A Figura 3 ilustra a tela de abertura do software contendo seus diferentes módulos de cadastro. A seguir são discutidos os módulos que foram utilizados nessa pesquisa.



Figura 3 - Tela de abertura do software e seus diferentes módulos de cadastro.

### 4.3. Módulo Clima

Nesse módulo (Figura 4), foram cadastrados diariamente os dados de clima obtidos na estação presente no perímetro. Os dados cadastrados necessários para o cálculo da  $ET_0$  foram: temperatura máxima e mínima ( $^{\circ}C$ ), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento ( $m\ s^{-1}$ ), precipitação (mm) e radiação solar ( $Mj\ m^2.d^{-1}$ ). O software IntecPerímetro<sup>®</sup> utiliza a metodologia proposta por Hargreaves-Samani (1985) para o cálculo da  $ET_0$ .

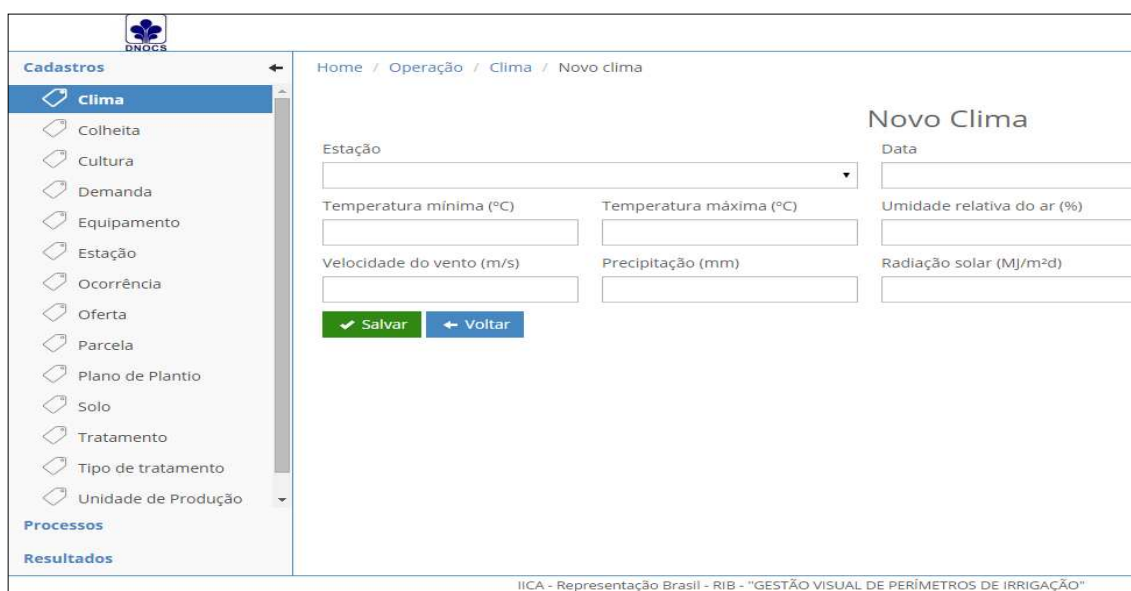


Figura 4 - Tela de cadastro do módulo Clima.

#### 4.4. Módulo Cultura

Nesse módulo (Figura 5), foram cadastradas informações referentes às culturas plantadas em cada parcela: nome da cultura, variedade, fator de disponibilidade hídrica (f), profundidade inicial e máxima do sistema radicular, estádios de desenvolvimento e Kc, o software considera apenas 3 valores de Kc, realizando um aumento gradativo desse valor nos estádios de desenvolvimento da cultura. Para tanto foram utilizados valores advindos da literatura que estão dispostos na Tabela 2. A profundidade mínima e máxima do sistema radicular (z) foi de 0,1 m e 0,4 m, respectivamente. E o fator de disponibilidade hídrica (f), foi de e 0,5 para as culturas do milho e feijão.

Figura 5 - Tela de cadastro do módulo Clima.

Tabela 2 - Estádio de desenvolvimento, valores de Kc e duração em dias para as culturas do feijão e do milho

<b>Cultura do Feijão</b>				
Estádio	I	II	III	IV
Duração (dias)	15	25	35	15
Kc	0,5		1,2	0,95
<b>Cultura do Milho</b>				
Estádio	I	II	III	IV
Duração (dias)	20	25	35	15
Kc	0,5		1,05	0,9

Fonte: Doorenbos&Kassam (1979).

#### 4.5. Módulo equipamento

Nesse módulo (Figura 6) foram cadastradas informações referentes ao tipo de sistema de irrigação utilizado em cada parcela. No caso, todas as parcelas foram irrigadas por pivô central. Os dados referentes ao sistema de irrigação por pivô central são: pressão de serviço (m.c.a), CUC (%), potência da motobomba (CV), vazão ( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ ), tempo para o equipamento completar uma volta com velocidade de 100% (h) e raio (m). No software estão disponíveis também os sistemas de irrigação por aspersão convencional, microaspersão, gotejamento e autopropelido.

The screenshot shows the 'Novo Equipamento' (New Equipment) registration form. On the left is a navigation menu with categories: Cadastros (Clima, Colheita, Cultura, Demanda, Equipamento, Estação, Ocorrência, Oferta, Parcela, Plano de Plantio, Solo, Tratamento, Tipo de tratamento, Unidade de Produção), Processos, and Resultados. The main form area has a breadcrumb trail: Home / Operação / Equipamento / Novo equipamento. The form title is 'Novo Equipamento'. It contains the following fields: 'Classe' (dropdown menu with 'Pivô Central' selected), 'Nome' (text input), 'Pressão (mca)' (text input), 'CUC (%)' (text input), 'Potência motobomba (CV)' (text input), 'Vazão (m³/h)' (text input), 'Tempo (h)' (text input), and 'Raio (m)' (text input). Below these fields is a checkbox labeled 'É necessário lançar tempo de uso? (não possui uso contínuo)'. At the bottom are two buttons: a green 'Salvar' button and a blue 'Voltar' button. The footer of the software interface reads 'IICA - Representação Brasil - RIB - "GESTÃO VISUAL DE PERÍMETROS DE IRRIGAÇÃO"'. The logo 'DNOCS' is visible in the top left corner of the application window.

Figura 6 - Tela de cadastro do módulo Equipamento.

#### 4.6. Módulo Estação

Nesse módulo (Figura 7) foram cadastradas informações referentes às estações meteorológicas presentes no perímetro irrigado. Foram informados nesse módulo nome da estação, unidade de radiação ( $\text{Mj m}^{-2}\text{d}^{-1}$  ou  $\text{W m}^2$ ), longitude e latitude em graus, altitude (m) e altura do anemômetro (m). Os dados necessários para o cálculo da evapotranspiração de referência ( $\text{ET}_0$ ) foram obtidos diariamente na estação meteorológica disponível na Fazenda Chimarrão que estava localizada a 10 km de distância do perímetro irrigado do Entre Ribeiros.

Home / Operação / Estação / Nova estação

### Nova Estação

Nome:

Unidade da radiação solar:

Longitude (°):

Latitude (°):

Altitude (m):

Altura do anemômetro (m):

IICA - Representação Brasil - RIB - "GESTÃO VISUAL DE PERÍMETROS DE IRRIGAÇÃO"

Figura 7 - Tela de cadastro do módulo Estação.

#### 4.7. Módulo Parcela

As parcelas referem-se à área ocupada pela cultura dentro da propriedade. Nesse módulo (Figura 8) foram informados: nome, área cultivada (ha), data de plantio, umidade atual do solo (%), sistema de irrigação utilizado, lote, estação meteorológica, cultura e tipo de solo, essas informações foram previamente cadastradas e estão disponíveis no banco de dados do software. Podem ser cadastradas mais de uma parcela por propriedade, sendo que todas serão manejadas individualmente e simultaneamente.

Home / Operação / Parcela / Nova parcela

### Nova Parcela

Nome:

Área (ha):

Data do plantio:

Umidade atual do solo (%):

É parcela em área de sequeiro?

Equipamento de irrigação:

Lote:

Estação meteorológica:

Cultura:

Tipo de solo:

IICA - Representação Brasil - RIB - "GESTÃO VISUAL DE PERÍMETROS DE IRRIGAÇÃO"

Figura 8 - Tela de cadastro do módulo Parcela.

#### 4.8. Módulo Solo

Nesse módulo (Figura 9) foram cadastradas informações referentes aos tipos de solos referentes a cada parcela, tais como: capacidade de campo (% , base seca), ponto de murcha (% , base seca) e densidade do solo ( $D_s$ ) ( $\text{g cm}^{-3}$ ), que foram utilizados para o cálculo da irrigação real necessária (IRN).

Para determinação dos parâmetros de Capacidade de Campo (CC) e Ponto de Murcha Permanente (PM), foram retiradas amostras deformadas simples de solo para compor uma amostra compostas nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, em três repetições, correspondente à profundidade radicular efetiva, sendo que o valor correspondente a CC e PM foi representado pela média das duas camadas.

A capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha (PM) foram determinados por meio do extrator de Richards, como tensões de 1/3 atm e 15 atm, respectivamente, a densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

The screenshot shows a web application interface for soil registration. On the left is a navigation menu with categories: 'Cadastro' (Clima, Colheita, Cultura, Demanda, Equipamento, Estação, Ocorrência, Oferta, Parcela, Plano de Plantio, Solo, Tratamento, Tipo de tratamento, Unidade de Produção), 'Processos', and 'Resultados'. The 'Solo' option is selected. The main content area is titled 'Novo Solo' and contains a breadcrumb trail 'Home / Operação / Solo / Novo solo'. Below this are four input fields: 'Nome', 'Densidade aparente (g/cm³)', 'Capacidade de campo (%)', and 'Ponto de murcha (%)'. At the bottom of the form are two buttons: a green 'Salvar' button with a checkmark and a blue 'Voltar' button with a left arrow. The footer of the page reads 'IICA - Representação Brasil - RIB - "GESTÃO VISUAL DE PERÍMETROS DE IRRIGAÇÃO"'. The logo of DNOCS is visible in the top left corner of the interface.

Figura 9 - Tela de cadastro do módulo Solo.

#### 4.9. Resultado do manejo

Cadastrados todos os dados o software calcula a lâmina de irrigação diária para todas as parcelas, de forma individual e simultânea. Na opção processos, são visualizados os resultados (Figura 10), seguindo a seguinte conformação: propriedade, parcela, CTA (%), lâmina de irrigação (mm), velocidade (%), tempo de irrigação (H) e déficit (mm).

Dos lotes avaliados apenas o 34.1 possui monitoramento pela empresa IRRIGER à qual presta serviço de assistência ao manejo da irrigação, os demais por não terem

acesso à informação, avaliam o momento de irrigar de forma aleatória, apenas com base nos conhecimentos adquiridos em campo.

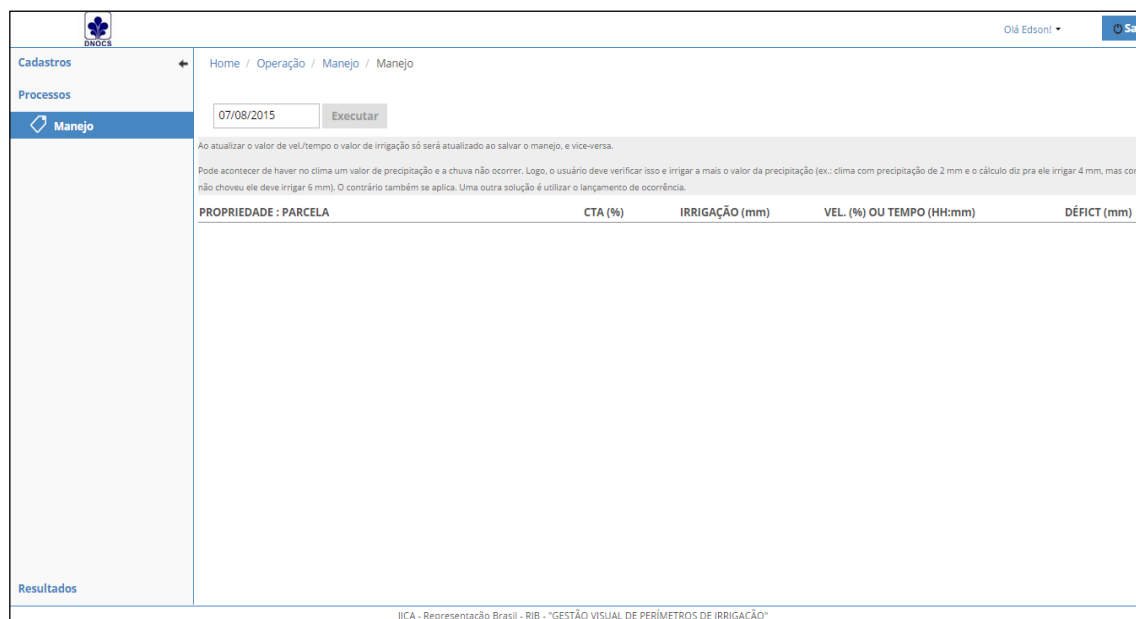


Figura 10 - Resultado do manejo

#### 4.10. Aplicabilidade do software IntecPerímetro<sup>®</sup> e análise estatística

A verificação da aplicabilidade do software IntecPerímetro<sup>®</sup> no manejo da irrigação, foi realizado, por meio do monitoramento da umidade do solo com uso do forno micro-ondas. Para tanto, foram retiradas amostras de solo em três pontos do pivô central, seguindo a profundidade predominante do sistema radicular da cultura após cada irrigação para determinação da umidade. Foi comparada a umidade do solo quando o irrigante utilizou o software para determinação da lâmina de irrigação que equivale à umidade referente à capacidade de campo (CC) com a umidade do solo obtida utilizando o forno micro-ondas, por meio de dados pareados, utilizando o teste “t” de Student ao nível de probabilidade de 5%.

Durante o período de condução dos testes, foram acompanhadas também as irrigações realizadas, o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação e as chuvas ocorridas. Foi utilizado mesmo teste para comparação de médias entre os valores de lâmina de irrigação e o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação calculado pelo software e praticado pelo irrigante em cada estágio de desenvolvimento da cultura.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Uniformidade de aplicação de água

Na Tabela 3, são apresentados valores de velocidade do vento, umidade relativa do ar, observado no dia da realização do teste utilizando a média diária, coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) para os três pivôs centrais avaliados.

Tabela 3 - Valores de velocidade de vento ( $\text{m s}^{-1}$ ), umidade relativa (%), CUC (%) e CUD (%)

Nº Lote	Vv ( $\text{m s}^{-1}$ )	UR (%)	CUC (%)	CUD (%)
34.1	0,20	83,00	85,28	76,59
37.1	0,00	87,33	79,64	67,63
40.2	0,32	87,75	82,24	71,76

Os valores de CUC conforme citado por Bernardo et al. (2009), estão abaixo do recomendando para o sistema de irrigação por pivô central, que consideram, apropriados acima de 90%, quando se cultiva uma cultura com alto valor comercial. Os valores de CUC abaixo do recomendado podem ser explicados pela falta de manutenção do sistema, verificação da pressão de serviço e manutenção dos emissores.

Os valores observados de velocidade do vento durante a avaliação não excederam ao valor estabelecido na norma da ASAE S436.1 (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASAE, 2000), que assume que valores acima de  $5 \text{ m s}^{-1}$  interferem na uniformidade de distribuição dos emissores. Os valores de velocidade do vento foram obtidos na estação da Fazenda Chimarrão, utilizando a média diária no dia da avaliação do equipamento de irrigação, logo, por não terem sido observados no local dos testes, tendem a não representar a realidade no momento da avaliação, podendo tendenciar os resultados obtidos.

Nas Figuras 11, 12 e 13, tem-se a visualização dos perfis de distribuição das lâminas coletadas em relação à lâmina média ponderada ao longo do raio dos pivôs centrais avaliados.

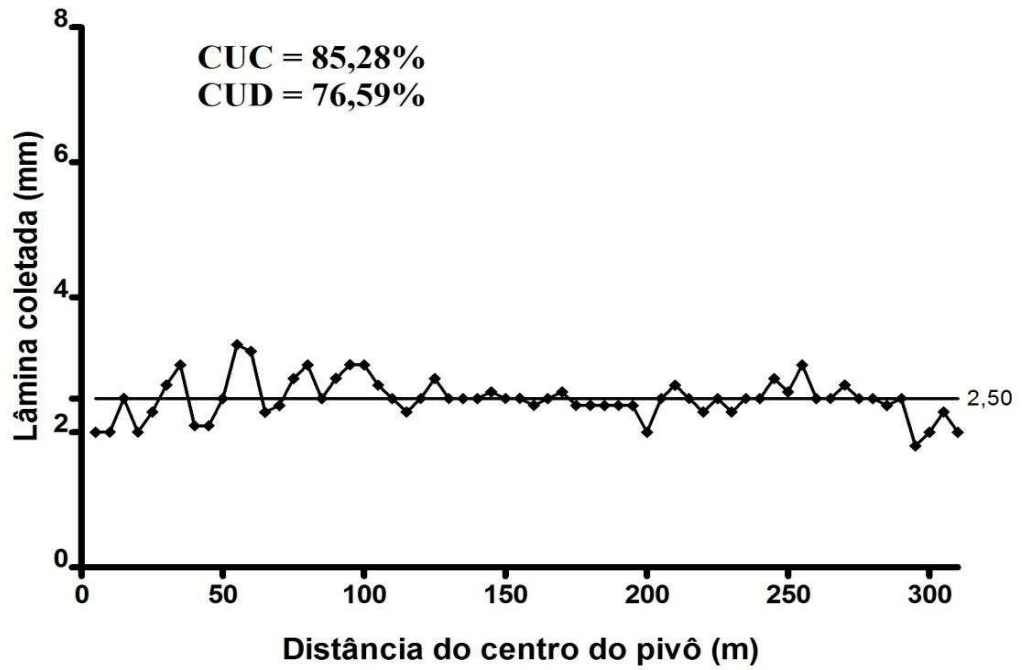


Figura 11 - Perfil de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média ao longo do raio do pivô do lote 34.1.

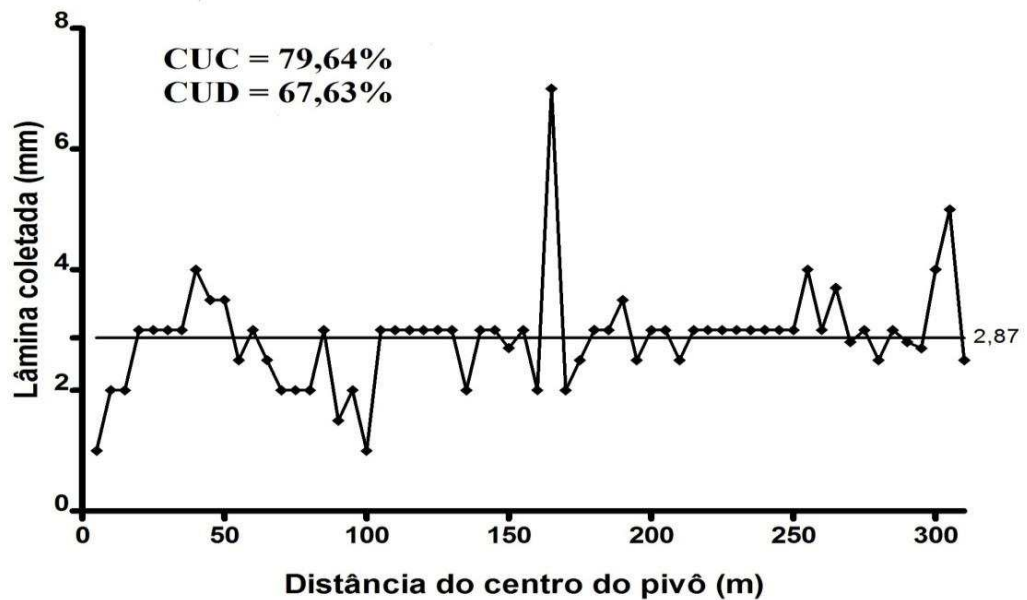


Figura 12 - Perfil de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média ao longo do raio do pivô do lote 37.1.

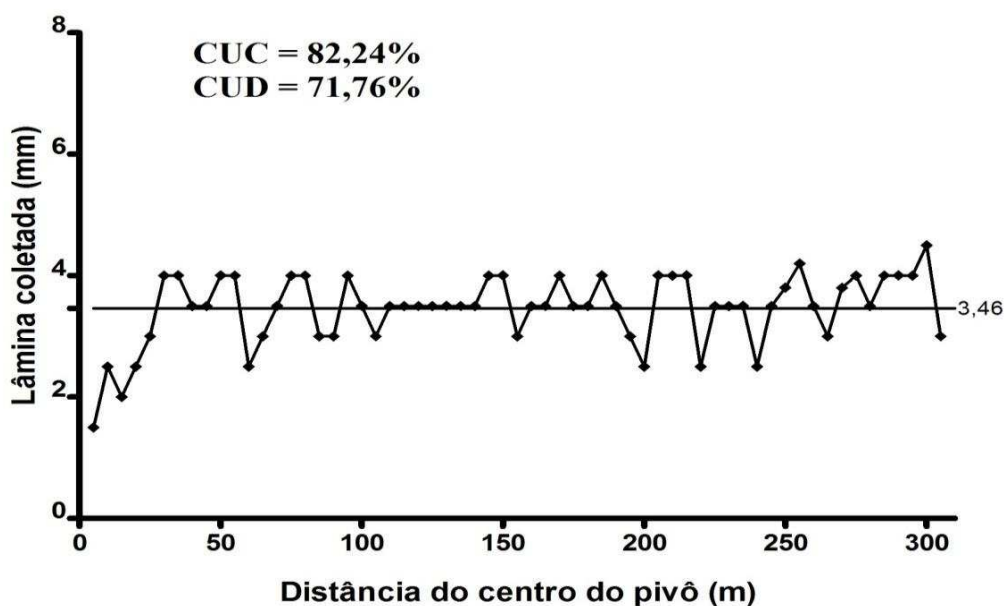


Figura 13 - Perfil de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média ao longo do raio do pivô do lote 40.2.

O sistema de irrigação por pivô central do lote 34.1 (Figura 11) foi o que apresentou menor variação das lâminas coletadas em relação à lâmina média ponderada (1,8 a 3,3 mm), apresentando valores de CUC e CUD acima de 80%, considero ainda abaixo do recomendado.

O pivô central do lote 37.1 (Figura 12) apresentou valor de CUC de 79,64%, valor abaixo do recomendado, estando associado à baixa condição de conservação do equipamento, onde podem ser observados vários aspersores entupidos e outros jorrando água, podendo ser observada lâmina de até 7 mm. Este problema, afeta diretamente a eficiência, aumentando a pressão ao longo da tubulação, o que causou a diminuição da lâmina em alguns pontos coletados e aumento em outros pontos, necessitando dessa forma de um redimensionamento do sistema de irrigação.

No pivô do lote 40.2 (Figura 13) as lâminas coletadas foram maiores, visto o teste ter sido realizado na velocidade de descolamento de 80% devido a problemas mecânicos no deslocamento na velocidade de 100%. A lâmina coletada ao longo do raio do pivô central variou de 1,5 a 4,5 mm, apresentando valor de CUC e CUD de 82,24% e 75,96%, respectivamente, valores também abaixo do recomendado para sistema de irrigação por pivô central.

## 5.2. Análise física dos solos

Os valores referentes aos parâmetros físicos dos solos dos lotes avaliados, utilizados para o cálculo da disponibilidade real de água no solo, são apresentados na Tabela 4. Os valores de capacidade real de água no solo (CRA), para os lotes, 34.1, 37.1 e 40.2 foram de 12,72, 13,20 e 12,98 mm, respectivamente, considerando a profundidade efetiva do sistema radicular das culturas de 40 cm e fator de disponibilidade hídrica (f) igual a 0,5, os solos apresentam boa capacidade de armazenamento de água.

Tabela 4 - Valores de capacidade de campo (CC), ponto de murcha (PM), densidade do solo (Ds) e capacidade real de água (CRA) para os solos dos lotes avaliados.

Lotes	CC (% peso)	PMP (% peso)	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	CRA (mm)
34.1	27,40	21,67	1,11	12,72
37.1	27,30	22,30	1,32	13,20
40.2	22,77	17,38	1,22	12,98

## 5.3. Análise do manejo da irrigação

### 5.3.1. Avaliação do manejo da irrigação - Lote 37.1 Gleba A

Nas Figuras 14 e 15, são apresentados os valores médios de lâmina e tempo de irrigação ao longo dos estádios de desenvolvimento da cultura praticado pelo irrigante e calculado por meio do software IntecPerímetro<sup>®</sup>, respectivamente.

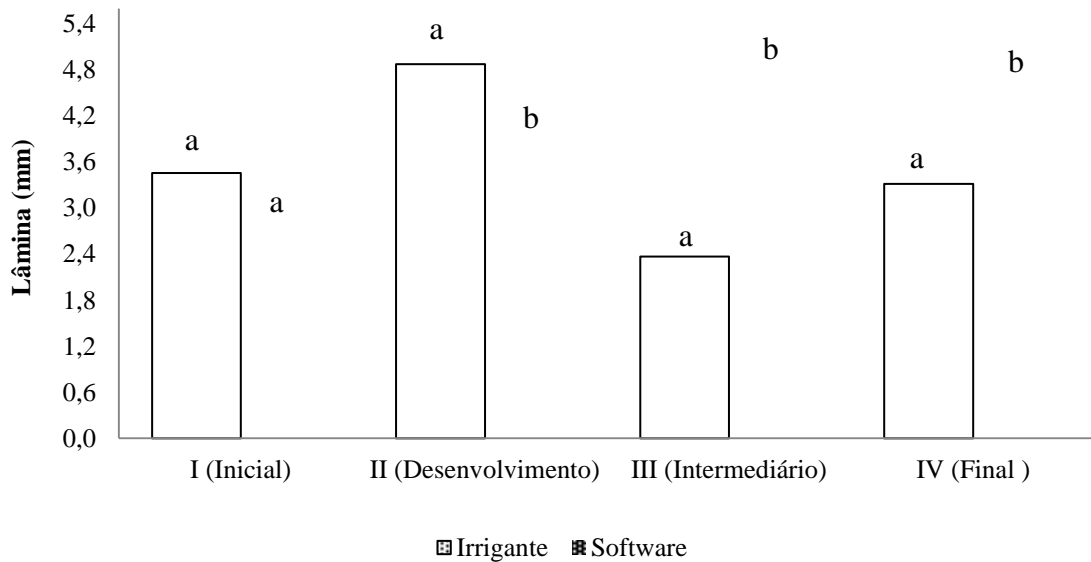


Figura 14 - Valores médios de lâmina de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 37.1.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade.

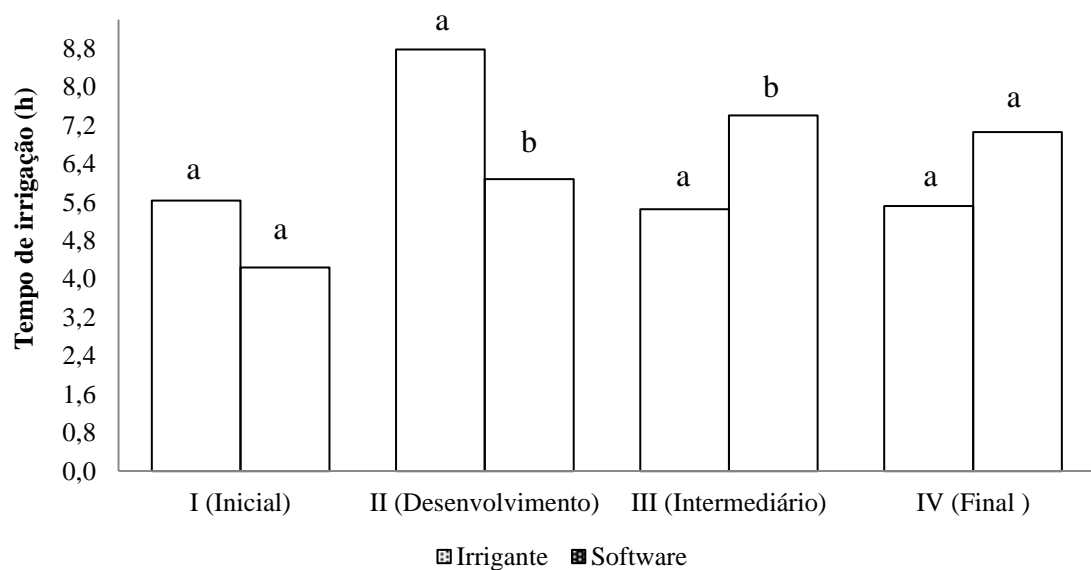


Figura 15 - Valores médios de tempo de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 37.1.

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se através das figuras que para os estádios I e II a lâmina de irrigação média e o tempo de irrigação médio executado pelo irrigante foram superiores aos obtidos pelo uso do software, evidenciando dessa forma a preocupação do irrigante apenas no estágio inicial de cultura. Já para as fases III e IV, ocorre o inverso, a demanda evapotranspirométrica da cultura é maior e o irrigante aplica uma lâmina de irrigação menor, ocasionando assim um déficit de água no solo. Isso está atrelado, principalmente, ao fato do irrigante não ter conhecimento da demanda hídrica da cultura, associado ao fato que a cultura não sofrerá estresse hídrico no restante do tempo, uma vez que já está afixada no campo.

Bezerra et al. (2013) avaliando o manejo da irrigação para cultura do algodoeiro com o auxílio de um software de gerenciamento desenvolvido pela fazenda onde o experimento foi conduzido, observaram que as lâminas de irrigação foram deficitárias para todos os estádios, sendo menos problemática no estágio inicial, atribuindo esse fato a dois motivos, o primeiro devido ao volume precipitado ter sido maior, e o segundo, a demanda hídrica da cultura ser menor, nas fases II, III e IV os déficits foram bem maiores, com o menor valor entre os três de 15,5%.

No resultado obtido para a cultura do milho utilizando o software IntecPerímetro<sup>®</sup>, ocorreu algo semelhante ao encontrado por Bezerra et al. (2013), porém as lâminas de irrigação foram maiores para os estádios I e II, evidenciando a preocupação do irrigante apenas nos estádios iniciais da cultura, onde a demanda hídrica é menor, aplicando lâminas superiores a real necessidade da cultura, ocasionando evidentemente, perdas por percolação. E para os estádios III e IV, acontece o contrário, a demanda hídrica da cultura é maior e a lâmina de irrigação aplicada pelo irrigante foi menor, ocasionando déficit de água para esses estádios. Fazendo um balanço geral da aplicação da lâmina de irrigação para este lote, pode-se afirmar que, a lâmina executada pelo irrigante foi 19,8% menor a calculada com o uso do software.

Apesar da lâmina média do irrigante não diferir estatisticamente da lâmina calculada pelo software para o estágio I, ao final desse estágio a lâmina média foi 23,42% superior (0,81 mm) a calculada pelo software. E para o estágio II esse valor foi 20% superior (1,39 mm). Enquanto que para os demais estádios a lâmina média de irrigação foi menor que a calculada pelo software, representando um déficit de irrigação por parte do irrigante para as fases III e IV de 48,80% (2,26 mm) e 24,78% (1,09 mm), respectivamente.

O tempo de irrigação médio para os estádios I e II, praticado pelo irrigante foram 24,70% e 30,75%, superiores ao proposto pelo software, respectivamente. Para os

estádios III e IV esse valor foi 26,45% e 21,81% menores que o calculado pelo programa, respectivamente.

Na Figura 16, considerando que a umidade do solo encontrava-se na capacidade de campo (CC) e que a capacidade real de água no solo (CRA) para esse solo é de 13,2 mm, observa-se que, durante o estágio inicial da cultura em 26,7% do tempo (4 dias) a lâmina de irrigação executada pelo irrigante foi superior a calculada com o uso do software, caracterizando perdas por percolação profunda, com valor médio de 2 mm. E em 40% do tempo (6 dias) não ocorreu irrigação por parte do irrigante. No restante do tempo 5 dias (33,3%) as irrigações se mantiveram compreendidas entre a capacidade de campo (CC) e a umidade crítica referente ao fator de disponibilidade hídrica (f), não havendo déficit de água durante esse período.

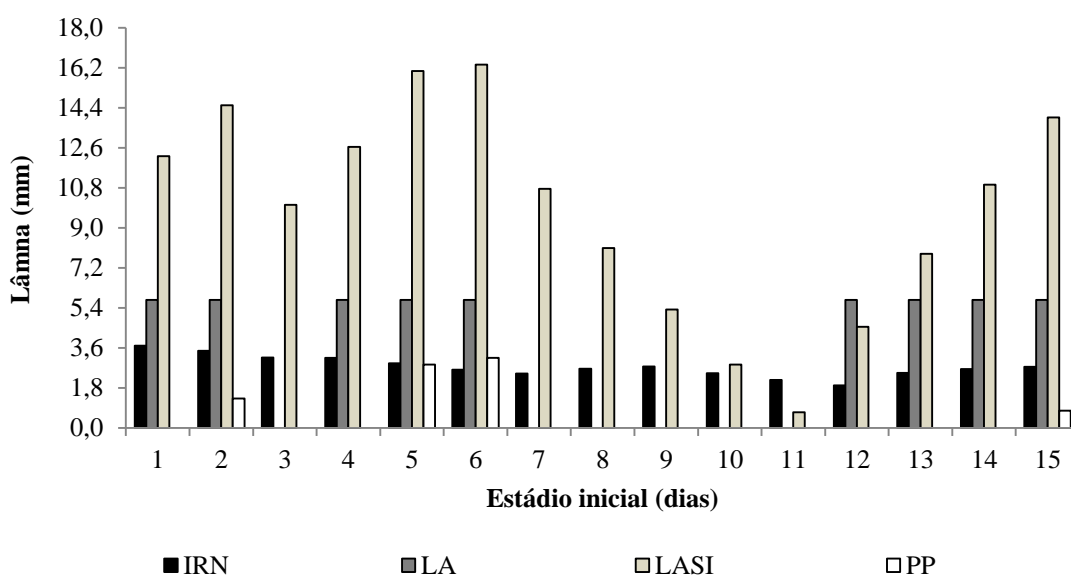


Figura 16 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio inicial da cultura no lote 37.1.

Na Figura 17, evidencia-se que, para o estágio de desenvolvimento da cultura, em 76% do tempo (19 dias), as lâminas de irrigações executadas pelo irrigante foram maiores que a calculada com o uso do software, ocasionado perda por percolação com valor médio de 2,27 mm. E em 16% (4 dias) não houve irrigação por parte do irrigante.

Nos estádios intermediário e final da cultura como pode ser observado pelas Figuras 18 e 19, respectivamente, ocorreram déficit de água no solo, sendo explicado

pela falta de preocupação do irrigante durante essas fases, visto que a cultura já esteja estabelecida no campo.

No geral, durante todo o ciclo da cultura, é perceptível a preocupação do irrigante apenas durante os estádios iniciais, fazendo o que o mesmo aplica lâminas de irrigação muitas vezes superiores a real capacidade de armazenamento de água no solo e superiores também a demanda hídrica da cultura. Isto acontece devido principalmente ao não conhecimento do irrigante no que diz respeito à capacidade do solo em armazenar apenas certa quantidade de água e ao não entendimento da demanda hídrica da cultura em suas diferentes fases de desenvolvimento, para o irrigante quanto mais água no solo maior será a segurança de elevada produtividade da cultura, esses são os principais fatores que levam o produtor a aplicar lâminas de irrigação superior a real necessidade da cultura naquele momento, ocasionando, conseqüentemente, excesso de irrigação. E para as fases finais da cultura o irrigante aplicou lâminas inferiores às requeridas.

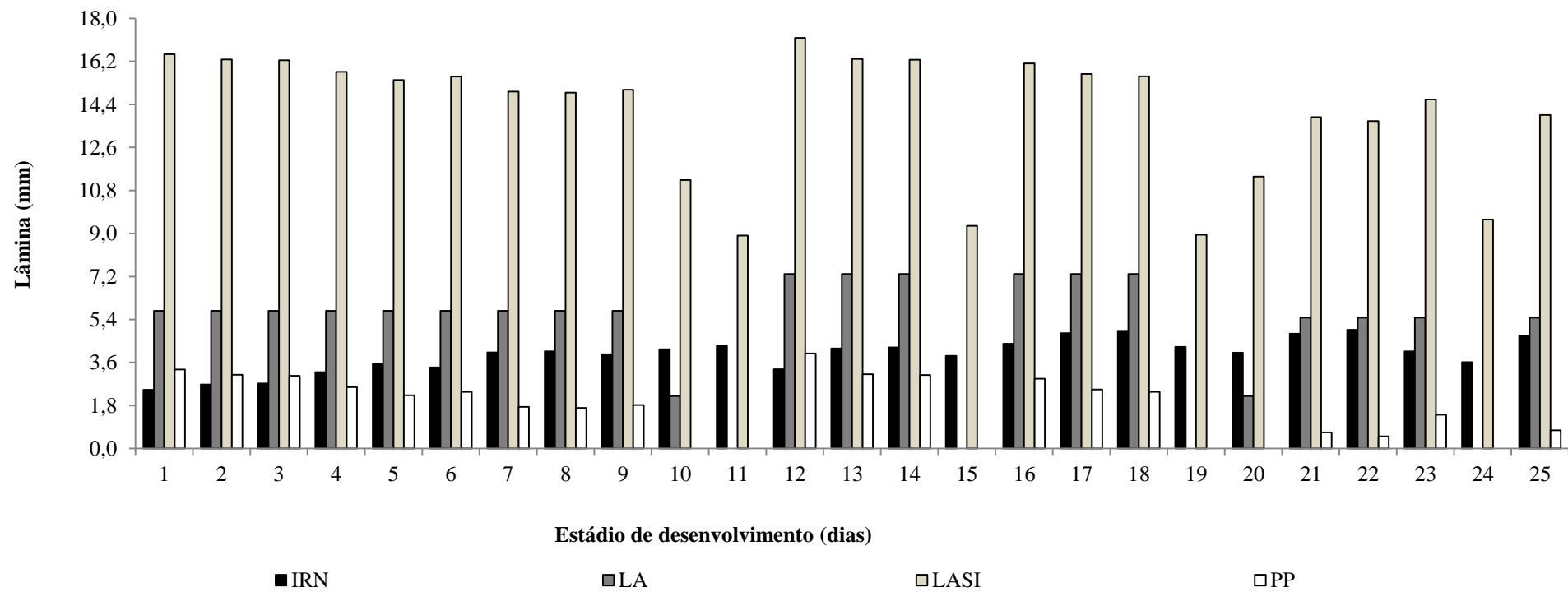


Figura 17 - Irrigação total necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio de desenvolvimento da cultura no lote 37.1.

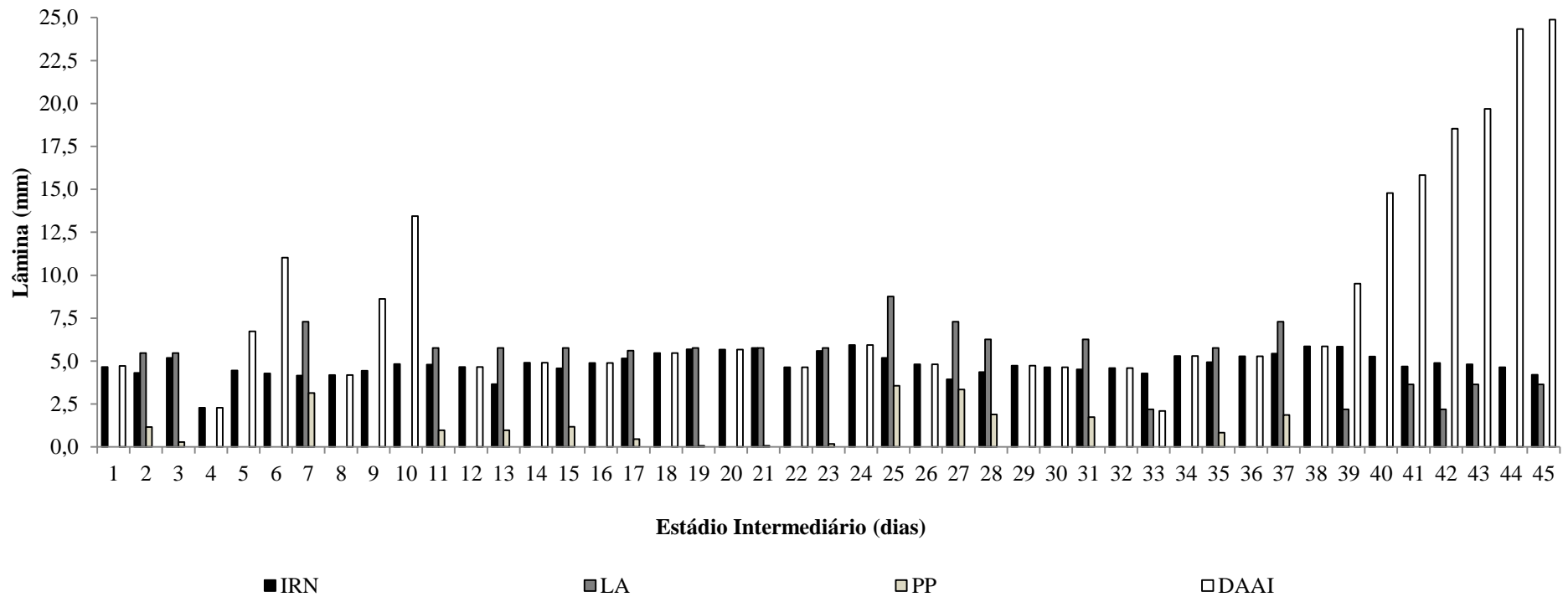


Figura 18 - Irrigação total necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), perda por percolação (PP) e déficit de água no solo após cada irrigação (DAAI) para o estágio intermediário da cultura no lote 37.1.

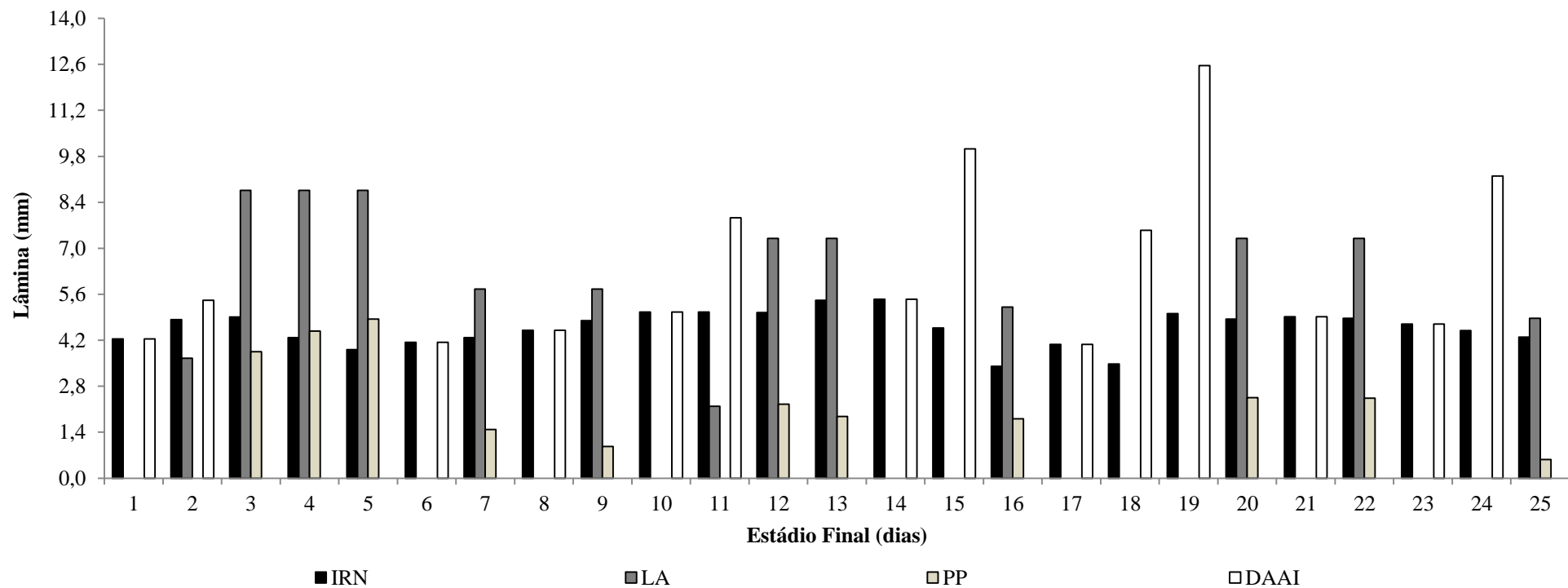


Figura 19 - Irrigação total necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), perda por percolação (PP) e déficit de água no solo após cada irrigação (DAAI) para o estágio final da cultura no lote 37.1.

### 5.3.2. Avaliação do manejo da irrigação - Lote 40.2

Nesse lote, a realização do manejo da irrigação utilizando o software IntecPerímetro<sup>®</sup> foi compreendido entre período o de 25/05/2015 à 22/07/2015, totalizando 59 dias de manejo, durante os estádios de desenvolvimento e intermediário da cultura, nos estádios inicial e final onde a preocupação do irrigante com a cultura é maior o manejo foi realizado pelo próprio irrigante.

A lâmina de irrigação calculada pelo software para o ciclo da cultura foi de 390,70 mm, 9,66% menor que lâmina praticada pelo irrigante, correspondendo ao excesso de irrigação de 41,78 mm. Mantovani et al. (2012), utilizando o software IRRIPLUS, obteve valor de lâmina de irrigação para cultura do feijão em Cristalina – GO, de 379,65 mm, que apresenta condições climáticas semelhantes a do presente estudo: o software IRRIPLUS difere do IntecPerímetro<sup>®</sup>, pois utiliza a metodologia de calculo da  $E_{t_0}$  proposta por Penman-monteith enquanto que o software IntecPerímetro<sup>®</sup> que utiliza a equação Hargreaves-Samani, a qual tende a superestimar o valor da  $E_{t_0}$ , apesar disso os valores de lâmina de irrigação obtidos se mantiveram bem próximos.

Vicente et al. (2014), comparando os métodos de estimativa da evapotranspiração por meio das equações propostas por Penman-Monteith-FAO e Hargreaves, conclui que o método de Hargreaves tende a superestimar os valores de  $E_{T_0}$ , necessitando de ajustes na equação para apresentar melhores resultados. França Neto et al. (2011), em seu estudo comparando a evapotranspiração de referência -  $E_{T_0}$  de dois métodos simplificados, Hargreaves-Samani (HS) e Blaney-Criddle-FAO (BC), com o método Penman-Monteith-FAO (PM), concluíram que, para todas as localidades estudadas, a equação de HS se ajustou melhor à equação de PM, sendo essa a recomendável para o manejo da irrigação em condições limitadas de disponibilidade de dados climáticos.

A lâmina de irrigação média (Figura 20) praticada pelo irrigante no estádio inicial diferiu estatisticamente da lâmina média calculada utilizando o software pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade, havendo um excesso de lâmina de irrigação de 64% representado por 54,4 mm, e ao final do ciclo houve uma redução de quase 10% da lâmina de irrigação aplicada pelo irrigante (73,3 mm).

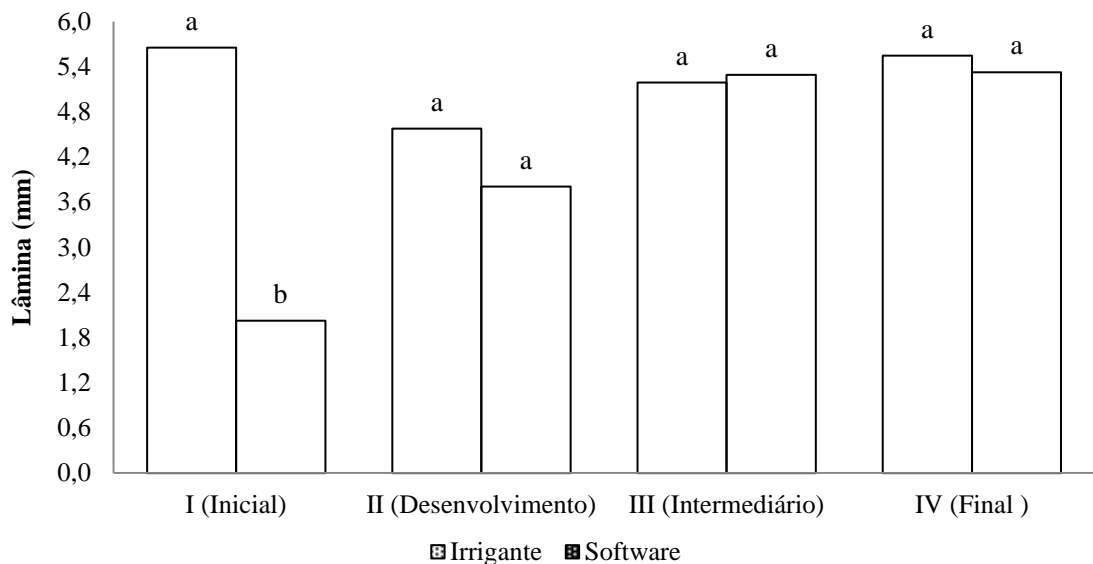


Figura 20 - Valores médios de lâmina de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 40.2.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade.

Miranda et al. (2014) utilizando o software STELLA para o manejo da irrigação na cultura do meloeiro, que também utiliza a equação proposta por Hargreaves-Samani para o cálculo da  $ET_0$ , obteve valor de lâmina total aplicada durante todo o ciclo da cultura de 346,49 mm. Observando que na fase I, as irrigações realizadas pelo irrigante foram menores e, nas fases seguintes, maiores. No entanto o modelo demonstra a necessidade da aplicação de lâminas de irrigação maiores, tendo em vista a demanda hídrica exigida pela cultura. Ao contrário do que aconteceu no presente estudo utilizando o software IntecPerímetro<sup>®</sup>, que obteve valores de lâmina de irrigação para o estágio I e IV realizadas pelo irrigantes superiores a calculada pelo software, explicado devido a preocupação do irrigante na estabilização da cultura no campo no estágio I para que a mesma não venha a sofrer estresse hídrico e aplicando lâmina de irrigação superiores no estágio IV para não comprometer a produtividade da cultura.

Os valores médios de tempo de irrigação total (Figura 21), realizado pelo irrigante foram menores, devido obedecer aos horários de bandeira verde, não ultrapassando às 10 horas disponíveis diariamente, proporcionando, dessa forma, uma redução de 15,75% no tempo total de funcionamento do equipamento de irrigação. Não houve diferença significativa apenas na fase II pelo teste “t” de Student. Diferindo estatisticamente nos estádios I, III e IV, pelo mesmo teste.

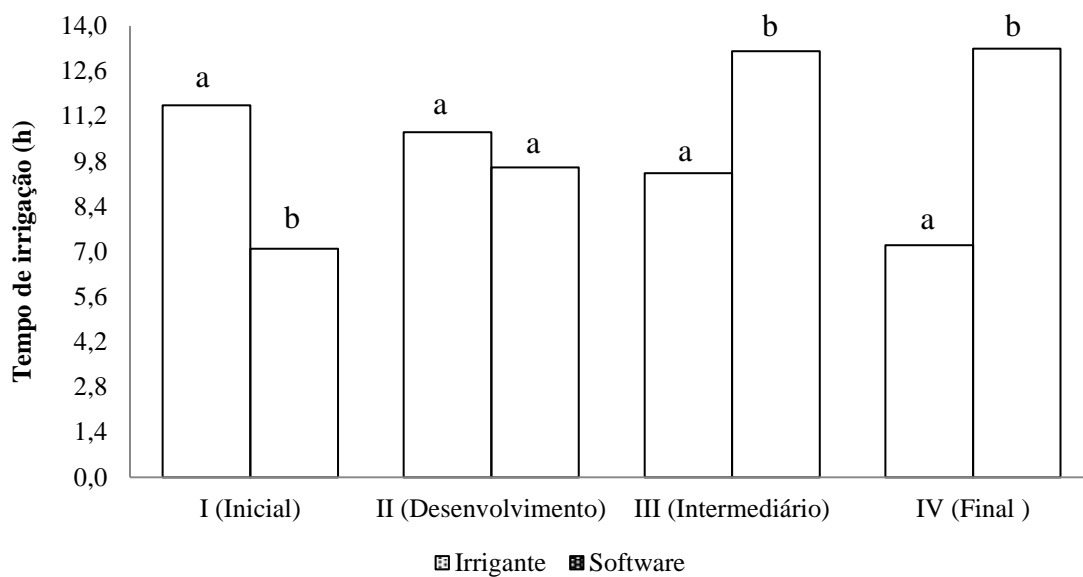


Figura 21 - Valores médios de tempo de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 40.2.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 22, considerando que a umidade do solo encontrava-se na capacidade de campo (CC) e que a capacidade real de água no solo (CRA) para esse solo é de 12,98 mm, constata-se que, para o estágio inicial da cultura, a lâmina de irrigação aplicada durante 80% do tempo (12 dias), foi superior a necessária, como valor médio de 4,92 mm, caracterizando irrigações excessivas. No restante do tempo, 20% (3 dias), não houve aplicação de lâmina de irrigação, no entanto por não ultrapassa a umidade crítica, não acometeu o solo ao déficit hídrico.

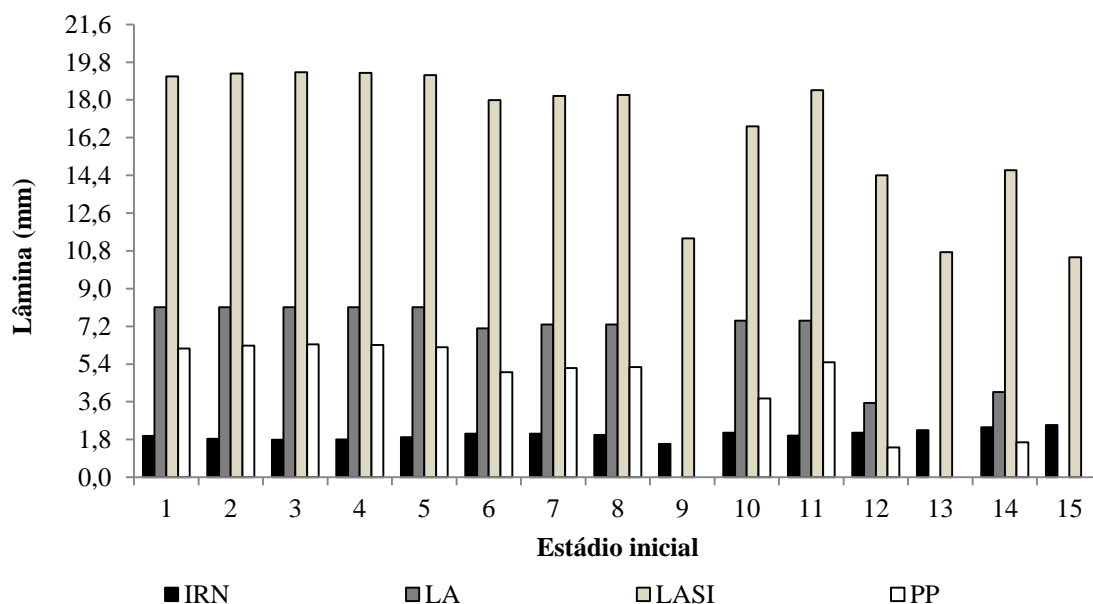


Figura 22 - Irrigação total necessária (ITN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio inicial da cultura no lote 40.2.

Para o estágio de desenvolvimento (Figura 23), observar-se que, em 60% do tempo (15 dias), dentre os quais, 2 dias não houve irrigação por parte do irrigante, a lâmina de aplicada foi menor que a necessária. No tempo remanescente, 32% (8 dias), a lâmina de irrigação foi maior que a necessária, ocasionando perdas por percolação, com valor médio de 2,42 mm.

Na Figura 24, evidencia-se que, para o estágio intermediário da cultura, em 14% do tempo (5 dias), a lâmina de irrigação foi maior que a necessária, caracterizando perdas por percolação, com valor médio de 0,64 mm. No restante do tempo, 85% (30 dias), as irrigações foram menores que lâmina necessária para elevar a umidade solo até a capacidade de campo (CC) do solo, não havendo déficit.

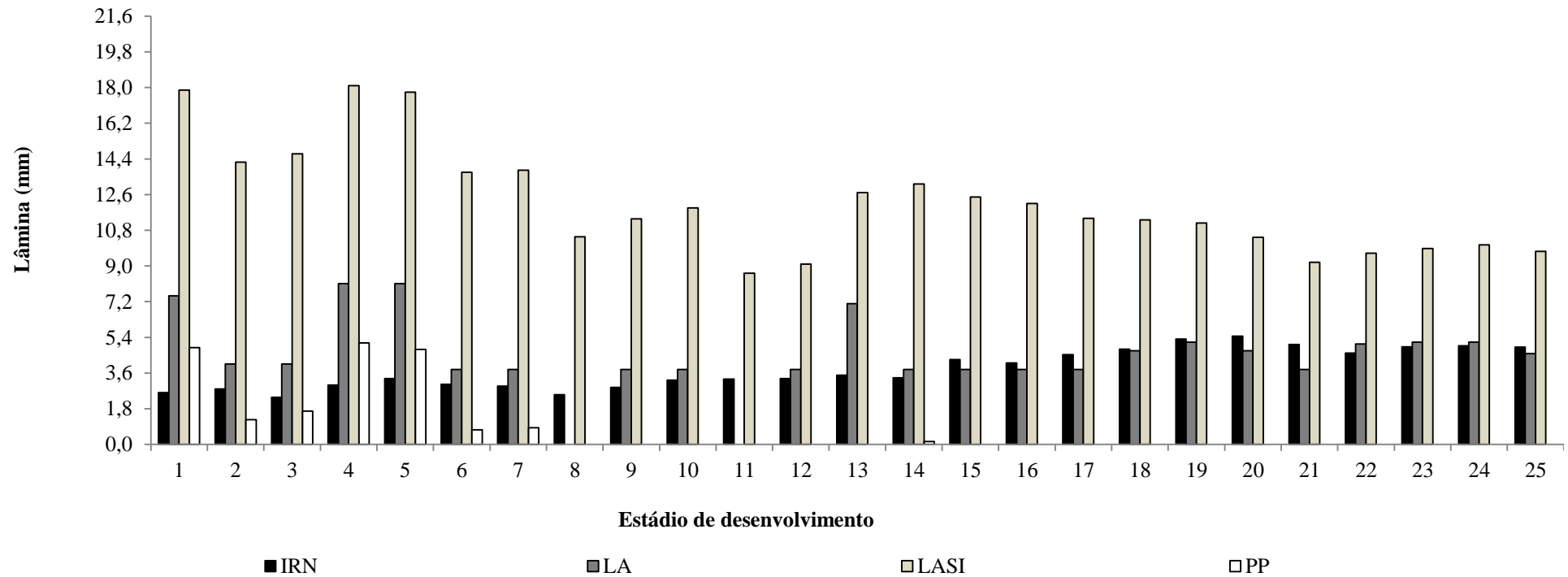


Figura 23 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio de desenvolvimento da cultura no lote 40.2.

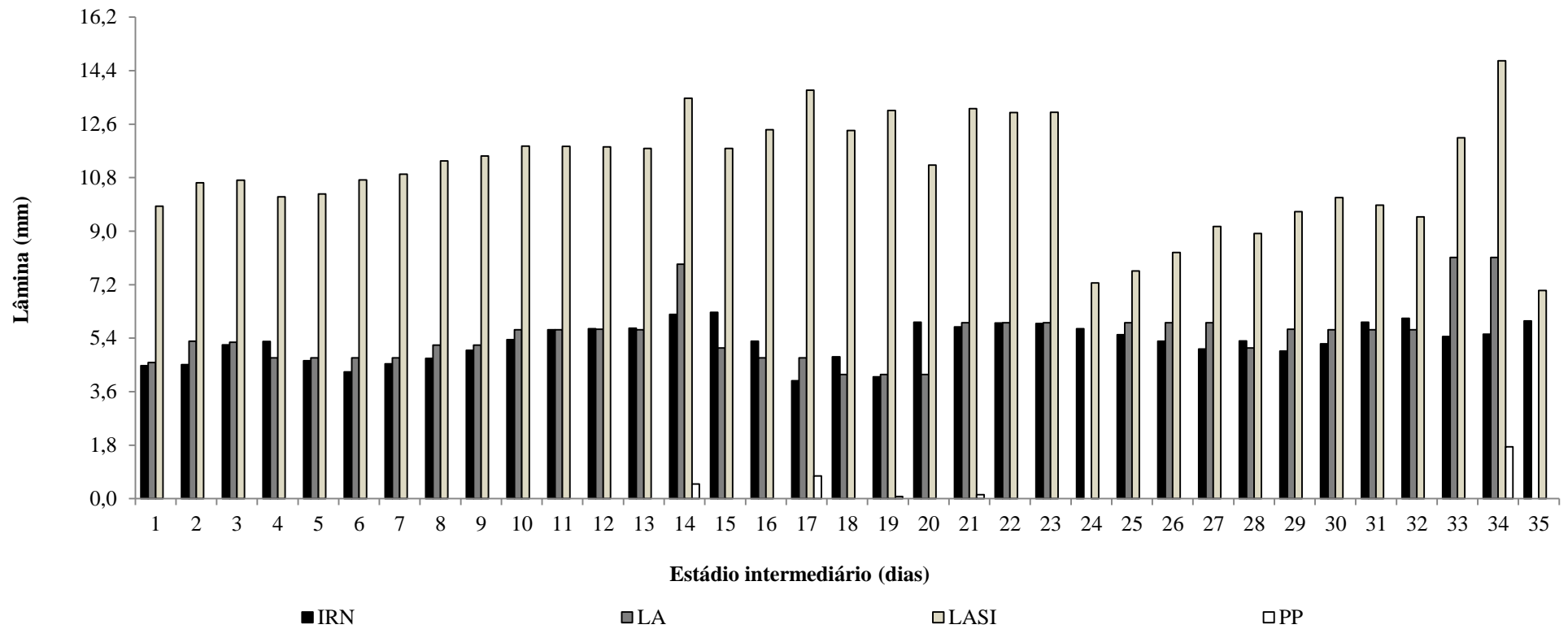


Figura 24 - Irrigação rela necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio intermediário da cultura no lote 40.2.

Para o estágio final da cultura (Figura 25), constata-se que, em 13% do tempo (2 dias), a lâmina aplicada foi superior à necessária, caracterizando irrigações excessivas, com valor médio de 1,63 mm. Nesse estágio houve déficit de água no solo em apenas um dia, com valor de 1,4 mm. No restante do tempo 80% (12 dias) as irrigações se mantiveram no intervalo entre a umidade referente ao fator de disponibilidade hídrica (f) e a capacidade de campo (CC), não caracterizando dessa forma déficit de água no solo.

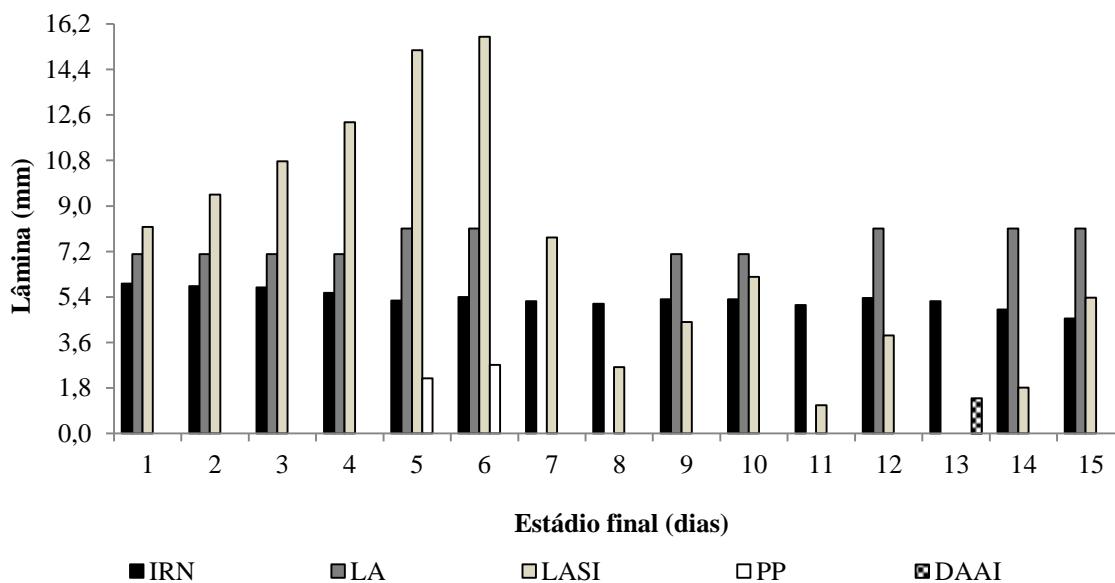


Figura 25 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI), perda por percolação (PP) e déficit de água no solo após cada irrigação (DAAI) para o estágio final da cultura no lote 40.2.

Logo, a partir dos resultados demonstrados pelos gráficos apresentados anteriormente, pode-se concluir que, houve excesso de irrigação para os estádios I, II e III, e déficit apenas no estágio IV. É importante salientar que mesmo o irrigante utilizando o software na realização do manejo, o mesmo ainda tinha autonomia para realizar mudanças quanto ao valor da lâmina de aplicação, mesmo assim, os valores médios de excesso e déficit de irrigação quando utilizando o software foram baixos e ocorreram em curtos espaços de tempo.

Nesse lote visando avaliar a eficiência do software IntecPerímero® no manejo da irrigação, após cada irrigação realizada pelo irrigante por meio do uso do software, foi determinada a umidade do solo pelo método do forno micro-ondas. O comportamento

da umidade executada pelo irrigante utilizando o software e a obtida pelo forno micro-ondas ao longo dos dias pode ser observada na Figura 26.

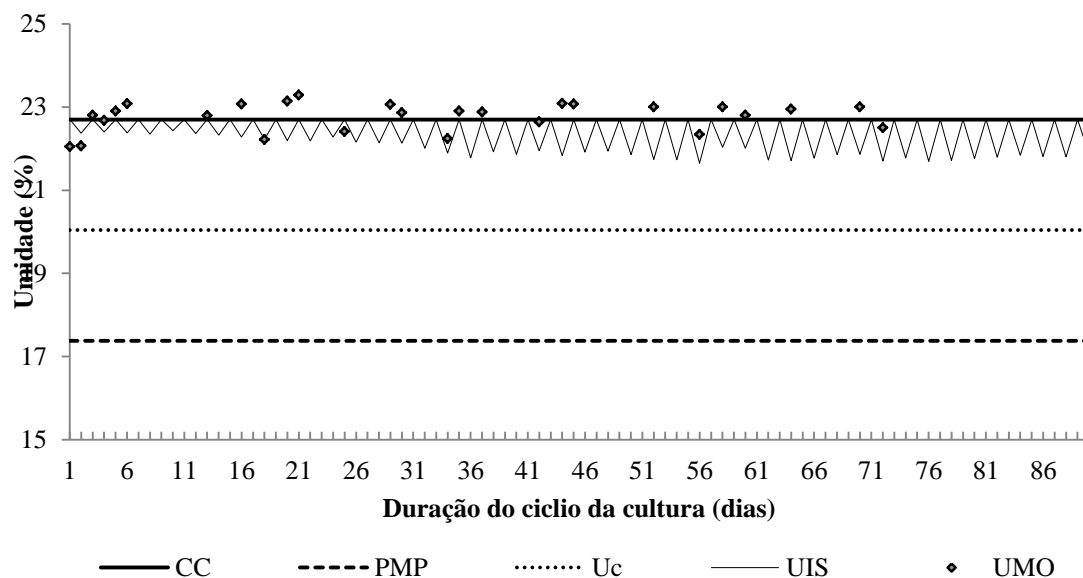


Figura 26 - Capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM), umidade crítica (UC), umidade irrigante por meio software (UIS) e umidade obtida pelo forno micro-ondas (UMO).

Espera-se que após a aplicação lâmina de irrigação pelo irrigante utilizando o software, a umidade de solo retorne a capacidade de campo. Através da comparação utilizando o teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade, foi possível comprovar que não houve diferença significativa entre a umidade do solo quando utilizando o software pelo irrigante que equivale à capacidade de campo (CC) e umidade obtida em campo pelo método do forno micro-ondas ( $t > 0,05$ ).

A obtenção da umidade do solo utilizando o forno micro-ondas, apresenta ótimos resultados quando comparado com o método considerado padrão de estufa, não apresentando diferenças significativas entre ele, constituindo-se, dessa forma, uma metodologia confiável e que pode ser facilmente utilizada no manejo da irrigação (TAVARES et al. 2008 e OLIVEIRA et al. 2008).

Ainda conforme Vinholis et al. (2008) essa técnica ganha destaque devido principalmente o impacto gerado no aspecto econômico, pois tem efeito direto na redução com os gastos com energia, aumento do rendimento e precisão das análises e otimização da mão de obra.

Os percentuais de economia de água para lote 40.2 para cada estágio de desenvolvimento da cultura estão dispostos na Tabela 5. Observa-se que existe um potencial de economia médio de água de 28,27%. Esses percentuais de economia de água ocorrem de forma decrescente ao longo do ciclo da cultura, evidenciando a preocupação do irrigante apenas no início do desenvolvimento da cultura.

Tabela 5 - Lâmina média aplicada (LmA), lâmina média necessária (LmN) e potencial de economia de água (PEA) para cada estágio de desenvolvimento da cultura para o lote 40.2

Estádio	LmAplificada (mm)	LmNecessária (mm)	PEA (%)
I	5,65	2,03	64,07
II	4,58	3,81	16,78
III	5,19	5,29	-
IV	5,55	5,33	3,97
Média			28,27

### 5.3.3. Avaliação do manejo da irrigação - Lote 34.1

Nesse lote devido ao atraso na semeadura, o manejo da irrigação só foi acompanhado durante o período de 67 dias. A lâmina de irrigação praticada pelo irrigante (274,52 mm) foi 13,95% menor que a lâmina calculada pelo software, ocasionando um déficit de água do solo de 44,53 mm. Resultado semelhante foi encontrado por Sousa (2011), utilizando o software IRRIPLUS no manejo da irrigação na cafeicultura irrigada por pivô central nas regiões norte do Espírito Santo e extremo Sul da Bahia. Esse autor, concluiu que, as irrigações foram feitas na maior parte dos casos com atraso e as lâminas de irrigação aplicadas foram bem menores que as lâminas requeridas, caracterizando irrigações deficitárias.

Na Figura 27 são apresentados os valores médios de lâmina de irrigação praticado pelo irrigante e calculado pelo software, para os estádios I, II e III, os valores médios de lâmina não difeririam estatisticamente pelo teste “t” de Student ao nível 5% de probabilidade. Esses valores não diferiram justamente pelo fato desse lote já possuir serviço prestado pela empresa IRRIGER no manejo da irrigação. A empresa faz uso do programa IRRIGA para realização do manejo nesse lote, que utiliza em sua metodologia de cálculo da  $ET_0$  a equação de Penman-Monteith, enquanto que o software IntecPerímetro<sup>®</sup> utiliza a metodologia proposta por Hargreaves-Samani, que tende a

superestimar os valores de  $ET_0$ , de modo que a lâmina de irrigação foi menor para os estádios I e III, e para o estádio II, maior. Apesar dessa diferença na metodologia de cálculo da estimativa da evapotranspiração de referência, não houve diferença significativa pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade.

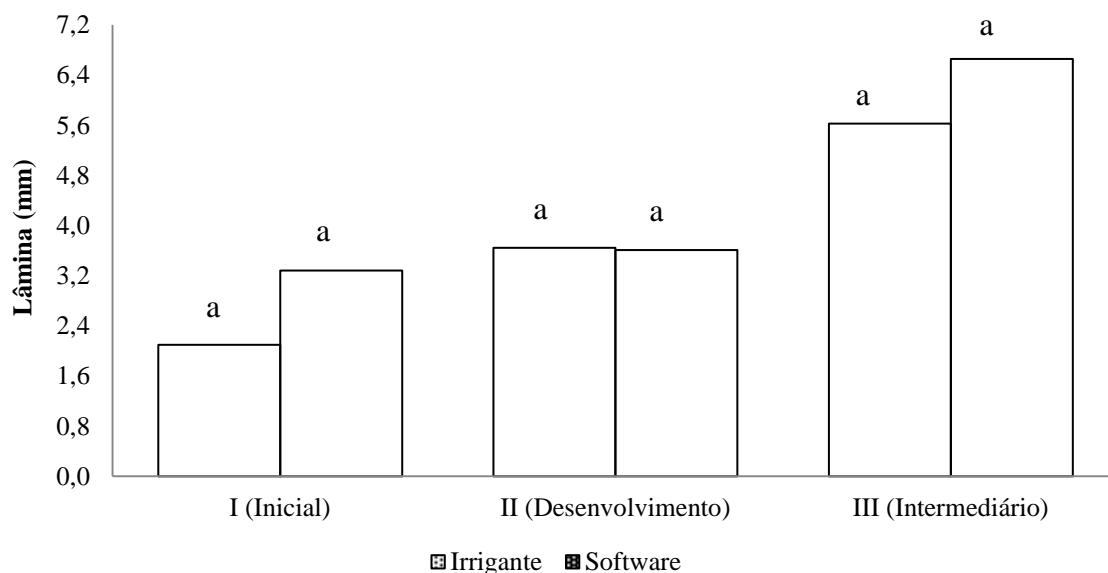


Figura 27 - Valores médios de lâmina de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 34.1.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores médios de tempo de irrigação (Figura 28) praticado pelo irrigante e obtido pelo uso do software foram diferentes estatisticamente para os estádios II e III, sendo que não diferiu para o estádio I, pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade. É importante ressaltar que esse lote já possui acompanhamento do manejo da irrigação, que divide a área total do pivô em duas glebas, realizando a irrigação em uma gleba por vez para diminuir o tempo de funcionamento do equipamento de irrigação.

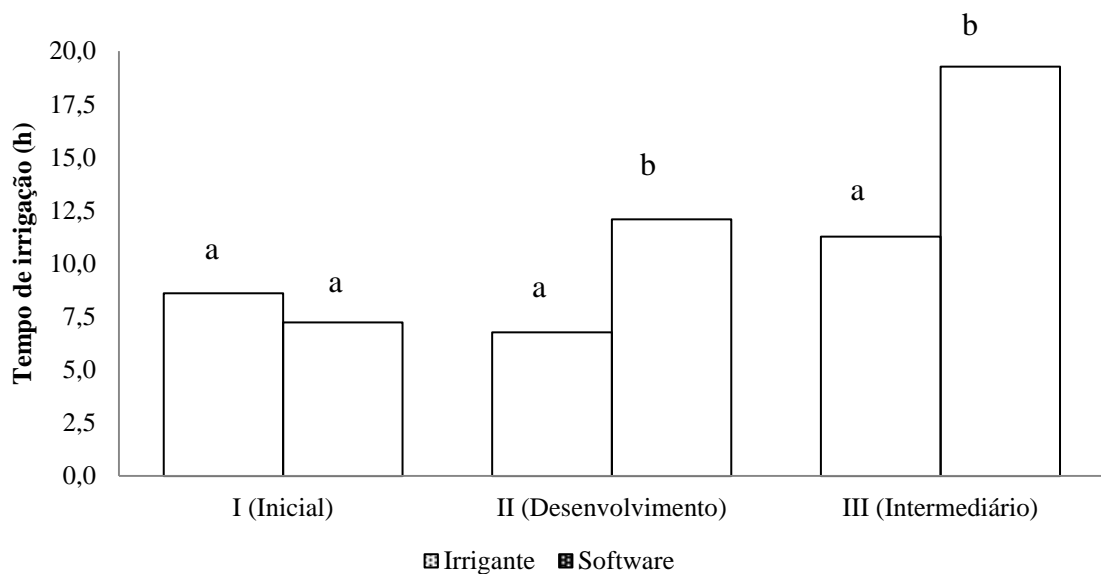


Figura 28 - Valores médios de tempo de irrigação para cada fase da cultura executado pelo irrigante e calculado pelo software para o lote 34.1.

As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 29, considerando que o solo encontrava-se com a umidade igual capacidade de campo (CC), observa-se que, para o estágio inicial da cultura, em 53% do tempo (8 dias) a lâmina de irrigação aplicada foi maior que a necessária, caracterizando perda por percolação, com valor médio de 4 mm. No tempo remanescente, 47% (7 dias), não houve irrigação, mesmo assim não ocasionou déficit de água no solo por ter intervalos de irrigações pequenos.

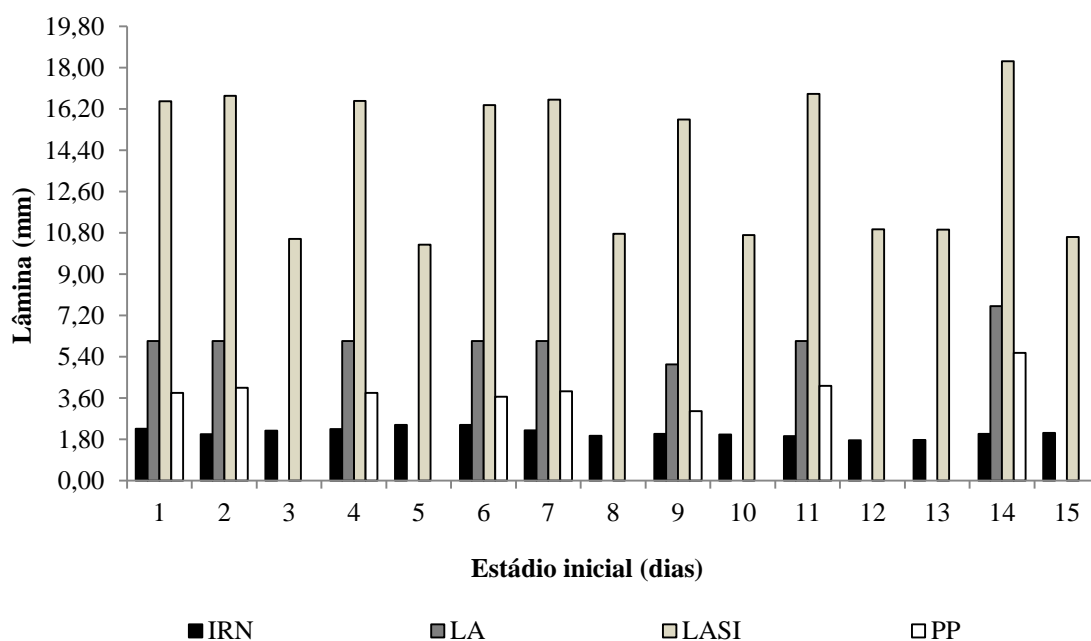


Figura 29 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio inicial da cultura no lote 34.1.

Na Figura 30, evidencia-se que, para o estágio de desenvolvimento da cultura, em 52% (13 dias) não ocorreu irrigação por parte do irrigante. Em 16% do tempo (4 dias), as irrigações praticadas pelo irrigante foram superiores à calculada pelo software, com valor médio de excesso de irrigação de 0,7 mm. E em 20% (6 dias) as irrigações se mantiveram em excesso com valor médio de 2,65 mm.

Para o estágio intermediário da cultura (Figura 31), constata-se que, em 48% do tempo (13 dias), a irrigação realizada foi maior que a necessária, evidenciando-se que houve perda por percolação profunda, com valor médio de 2,51 mm. No restante do tempo 22,2% (6 dias), não ocorreram irrigações por parte do irrigante.

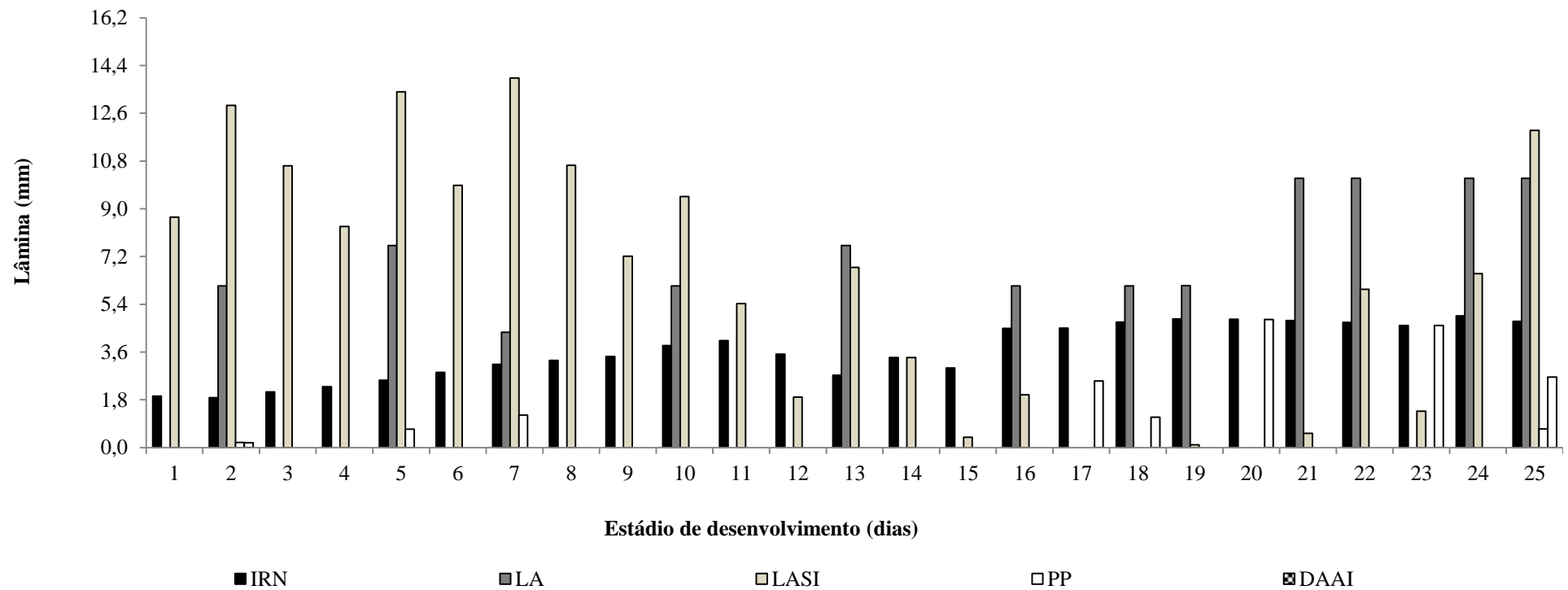


Figura 30 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI), perda por percolação (PP) e déficit de água no solo após cada irrigação (DAAI) para o estágio de desenvolvimento da cultura no lote 34.1.

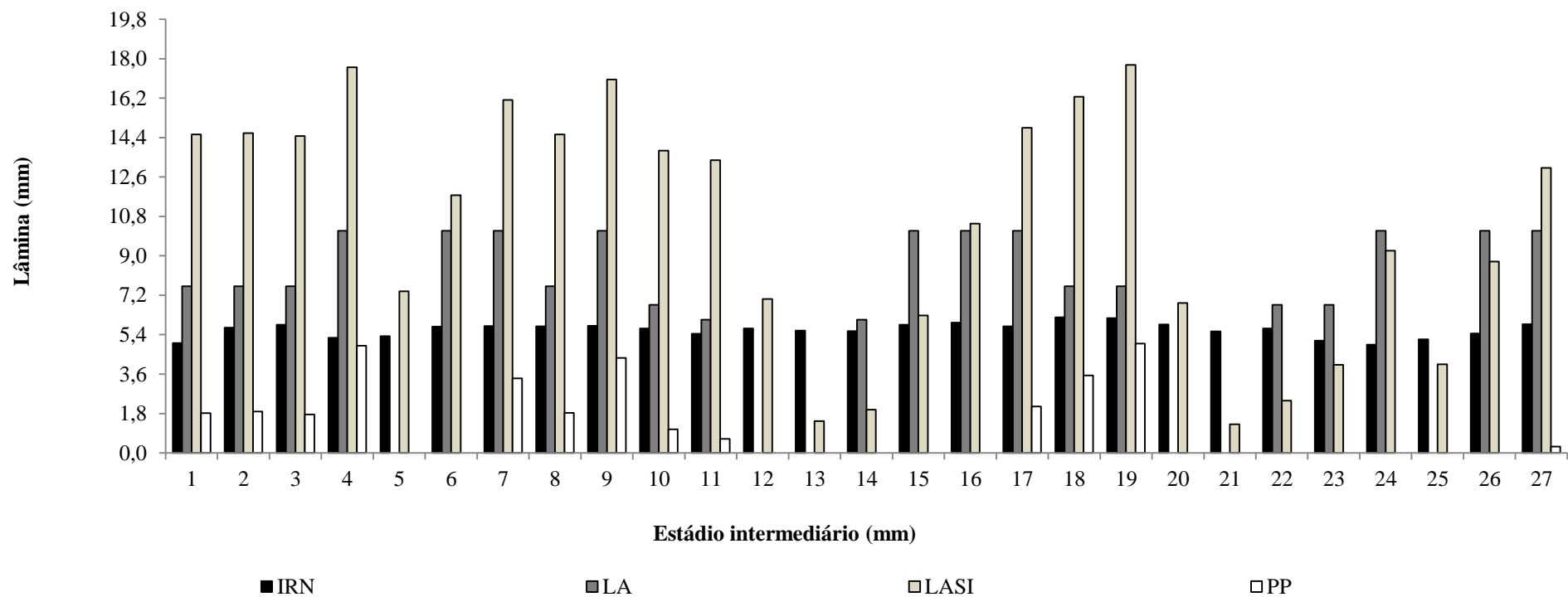


Figura 31 - Irrigação real necessária (IRN) calculada pelo software, lâmina aplicada pelo irrigante (LA), lâmina de água no solo após a irrigação (LASI) e perda por percolação (PP) para o estágio intermediário da cultura no lote 34.1.

## 6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na avaliação do manejo de irrigação nas culturas do milho e feijão irrigadas por pivô central no perímetro irrigado de Entre RIBEIROS/Paracatu-MG por meio do software IntecPerímetro<sup>®</sup>, foi possível concluir que:

- Os valores de CUC e CUD para todos os lotes avaliados estão abaixo do recomendado para o sistema de irrigação por pivô central;
- A lâmina de irrigação praticada pelo irrigante para o estágio inicial da cultura foi superior à calculada pelo software para os lotes 37.1 e 40.2, apresentando valores de 23% e 64%, respectivamente. E menor para o lote 34.1, apresentando uma redução da lâmina de irrigação de 36%.
- Para o lote 37.1 a lâmina de irrigação realizada pelo irrigante foi 19,8% maior que a obtida pelo uso do software IntecPerímetro<sup>®</sup>;
- Para o lote 40.2 a lâmina de irrigação calculada pelo software IntecPerímetro<sup>®</sup> foi menor que a praticada pelo irrigante, apresentando um potencial de economia médio de água de 28,3%;
- No lote 34.1 a lâmina de irrigação praticada pelo irrigante foi 14% menor que a lâmina calculada pelo software;
- Os valores de umidades obtidas em campo pelo método do forno micro-ondas não diferiram estatisticamente da umidade referente à lâmina de irrigação executada pelo irrigante quando utilizando software IntecPerímetro<sup>®</sup>, que equivale a capacidade de campo (CC) pelo teste “t” de Student ao nível de 5% de probabilidade.

## 7. REFERÊNCIAS

AHADI, R.; SAMANI, Z.; SKAGGS. R. Evaluating on-farm irrigation efficiency across the watershed: A case study of New Mexico's Lower Rio Grande Basin. **Agricultural Water Management**, v.124, p.52-57. 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS–ANA, **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**, 2013. Brasília: ANA, 2014.

ALLEN, R. G. **Ref-ET: Reference Evapotranspiration Calculator**; Version 3.1.15 for Windows. Idaho: University of Idaho, 2013. 91p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASAE S436.1: **Test procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot and lateral move irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles**. Saint Joseph, 2000, 912 p.

ANDRADE, L. M. G. **Uso Optimal do Território de Bacia Hidrográfica com fundamentos no conceito de Geociências Agrárias e Ambientais - Bacia do Ribeirão de Entre-Ribeiros no vale do Rio Paracatu**. 2007. 203f. Dissertação de Mestrado. UFOP, Escola de Minas, Departamento de Geologia, Ouro Preto, 2007.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. 2º Reimpressão. Viçosa: UFV, 2009, 596 p.

BEZERRA, A. R. G.; VIANA, S. B. A.; MOSCON, É. S.; PINHEIRO. C. T. Avaliação do manejo da irrigação na cultura do algodão, **Revista SODEBRAS**, v.8, nº 85, p. 40–43, 2013.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; MANTOVANI, E. C. Desenvolvimento de um programa para avaliação da irrigação por sistemas pressurizados. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, Araguari – MG, **Anais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 42-48, 2001.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **A irrigação no Brasil: Situação e diretrizes**. Brasília, 2008.

CASTIBLANCO, C. J. M. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza-CE, v.6, n.º. 3, p. 184 - 197, 2012.

CHRISTIANSEN, J.; E. **Irrigation by Sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. Bulletin, 670, 124 p, 1942.

CHRISTOFIDIS, D. **Água, irrigação e segurança alimentar. Brasília: Ministério da Integração Nacional**. (Série Irrigação e Água, 1). Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2009. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0498.pdf>.> Acesso em: 03 jan. 2015.

CHRISTOFIDIS, D. **Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil** (Relatório Técnico), PROÁGUA, 18 p., 2006.

CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKLEY, D. G. Methods for Evaluating Irrigation Systems. Washington DC: Soil Conservation Service – USDA, **Agricultural Handbook**, v.82. 24 p., 1956.

CONSÓRCIO MAGNA/DAM/EYSER, RURALMINAS, SEAPA–MG. 1998. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu**. PLANPAR. Relatório Síntese. Minas Gerais, 135p.

DANTAS NETO, F.S; COSTA, J. M. N.; SOARES A.A.; SEDIYAMA, G. S.; COSTA L.C. Sistema computacional aplicado ao cálculo da demanda hídrica georeferenciada para a cultura do feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.215-221, 2005.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma, FAO, 1979, 212 p.

DUNCAN, R. A.; BETHUNE, M.G.; THAYALAKUMARAN, T.; CHRISTEN, E.W.; MCMAHON, T. A. Management of salt mobilisation in the irrigated landscape – a review of selected irrigation regions. **Journal of Hydrology**. v. 351, p.238–252, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMPRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997, 212 p.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of food and agriculture**, 2007. Disponível em: < [ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010 / a1200e/a1200e00 .pdf](ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1200e/a1200e00.pdf)> Acesso em: 12 set. 2015.

FRANÇA NETO, A. D. de.; MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; VIEIRA, G. H. S.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G. Comparação entre métodos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) para regiões produtoras de café brasileiras. **Coffee Science**, Lavras-MG, v. 6, n. 2, p.159-171, 2011.

FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; MANTOVANI, E. C.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade de inserção dos efeitos da uniformidade de irrigação em modelos de crescimento de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.7, p.437-444, 2003.

FRIZZONE, J.A. **Otimização em irrigação com déficit**. In: Paz, V.S.P.; OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F.A.C.; GHEYI, H .G. Manejo e sustentabilidade da irrigação em regiões áridas e semi-áridas. Cruz das Almas: UFRB, Núcleo de Engenharia de Água e Solo. p.273-308, 2009.

FRIZZONE, J. A; DOURADO NETO, D. **Avaliação de sistemas de irrigação**. In: MIRANDA, J.H. de PIRES, R.C. de M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, cap. 15, v. 2, p. 573-651, 2003.

HAMDY, A. **Water use efficiency in irrigated agriculture: an analytical review**. In: Lamaddalena, N.; Shatanawi, M.; Todorovic, M.; Bogliotti, C.; Albrizio, R. (Eds.), Water Use Efficiency and Water Productivity. Proceedings of 4th WASAMED Workshop. Amman (Jordan), Options Méditerranéennes, Series B, n° 57, p.9–19, 2007.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of Applied Engineering in Agriculture**, St Joseph, v.1, n.2, p.96-99, 1985.

HART, W. E.; PERI, G.; NORUM, D. I. Optimal seasonal irrigation application analysis. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.106, n.3, p.221-235, 1980.

HAYASHI, A.; AKIMOTO, K.; TOMODA, T.; KII, M. Global evaluation of the effects of agriculture and water management adaptations on the water-stressed population. **Mitig Adapt Strateg Glob Change**, v.18, n.5, p. 591–618, 2012.

HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. **Management of farm irrigation systems**. American Society of Agricultural Engineers, ASAE Monograph, 1990, 1040 p.

JACKSON, R. B.; CARPENTER, S. R.; DAHM, C. N.; McKNIGHT, D. M.; NAIMAN, R. J.; POSTEL, S. L.; RUNNING, S. W. Water in a changing world. **Ecological Applications**, Ithaca, v. 11, n. 4, p. 1027-1045, 2001.

JALOTA, S. K.; SOOD, A. G. B. S.; CHAHAL, B. U. Crop water productivity of cotton (*Gossypiumhirsutum* L.) - wheat (*Triticumaestivum* L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural Water Management**, v.84, p.137-146, 2006.

JIA, Z.; Wu,Z.; LUO, W.; Xi, W.; TANG, S.; LIU, W.L.; FANG, S. The impact of improving irrigation efficiency on wetland distribution in an agricultural landscape in the upper reaches of yellow River in China, **Agricultural Water Management**, v. 121, p. 54–61, 2013.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avi book, 1990, 649 p.

KISI, O. Evapotranspiration modeling using a wavelet regression model. **Irrigation Science**, v. 29, p.241-252, 2011.

LANKFORD, B. Fictions, fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency. **Agricultural Water Management**. v.108, p. 27–38, 2012.

LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELLO, J. M.; JUAN, J. A. de; BALLESTEROS, R.; Domínguez, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops. **Agricultural Water Management**, v.98, p.190-198, 2010.

MAIA NETO, R.F. Água para o desenvolvimento sustentável. **A Água em Revista**. Belo Horizonte, n.9, p.21-32, 1997.

MANTOVANI, E. C. **Aspectos básicos da irrigação de sistemas pressurizados**. Apostila do curso de capacitação em irrigação oferecido pelo Banco do Nordeste do Brasil AS, Montes Claros, 2008.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. atual. - Viçosa: Ed. UFV, 2009, 355p.

MANTOVANI, E. C.; MONTES, D. R. P, VIEIRA, G. H. S; RAMOS, M. M ; SOARES, A. A. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em cristalina-go, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.110-120, 2012.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C. SOUZA, J. A. A. Avaliação da eficiência do uso da energia elétrica no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.394-398, 2003.

MENDES, A.A.T . **Irrigação: Tecnologia E Produtividade**. Faculdade de Engenharia da Ilha Solteira – UNESP, 2011. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/alfredo.htm>> Acesso em: 05 jun. 2015.

MIRANDA, E. P. de; SILVA, N. S. da; SOUZA L. P. de; SANTOS, J.B; ROMÁN, R.M.S; Uso Do Programa Stella No Manejo Da Irrigação Do Meloeiro. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial 01, p. 159-167, 2014.

MOLDEN, D. **Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture**. London, UK; Colombo, Sri Lanka: Earthscan; IWMI, 2007. 645 p.

MORAES, M. J.; OLIVEIRA FILHO, D.; VIEIRA, G. H. S.; SCARCELLI, R. O. C. Gerenciamento do lado da demanda no bombeamento de água para perímetro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.2, p.875-882, 2011.

OLIVEIRA, R. A. de.; BAPTESTINI, J. C. M.; MARTINEZ, M. A.; OLIVEIRA, E. M. de. Determinação da umidade do solo com uso de forno elétrico e balança digital. In: UFV / VIII SIMPOS, 2008, Viçosa, MG, **Anais...Viçosa**, 2008.

PAZ, V. P. S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PEREIRA JR., J.S. Por que geri os recuses hídricos? **Agroanalysis**, v.18, n.3, p. 16-19, 1998.

PEREIRA, L. S.; PAREDES, P.; EHOLPANKULOV, E. D.; INCHENKOVA, O. P.; TEODORO, P. R.; HORST, M. G. Irrigation scheduling strategies for cotton to cope with water scarcity in the Fergana Valley, Central Asia. **Agricultural Water Management**, v.96, ed.5, p.723-735, 2009.

PIMENTEL, D.; BERGER, B., FILIBERTO, D.; NEWTON, M.; WOLFE, B.; KARABINAKIS, E.; CLARK, S.; POON, E.; ABBETT, E.; NANDAGOPAL, S. Water resources: agricultural na environmental issues. **BioScience**, v.54, n.10, p. 909–918, 2004.

POSTEL, S. **Pillars of Sand**. Norton & Company, New York, London, 1999, 320 p.

QUEMADA, M.; BARANSKI, M.; NOBEL-DE LANGE, M. N. J.; VALLEJO, A.; COOPER, J. M. Meta-analysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.174, p.1–10, 2013.

RESENDE, D.A. **Engenharia de software e Sistemas de informação**, Brasport livros e multimidia. 3ºed. 2005, 316 p.

RITCHIE, J. T. Soil water availability. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 58, p. 327-338, 1981.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; BRAGA, J. C.; GERVÁCIO, G. G. Coeficiente de cultura e análise do rendimento do feijoeiro sob regime de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p.92-112, 2008.

SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. **Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras** (*Bactrisgasipaes* H. B. K.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, v. 32, 2003.

SCARCELLI, R. O.; OLIVEIRA FILHO, D.; RIBEIRO, M. C.; LOPES, D. C. Economia de energia com uso de inversor de frequência em sistemas de bombeamento de água para perímetro irrigado. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.17, n.6, p.462-472, 2009.

SETEGN, S.G., CHOWDARY, V.M., MAL, B.C., YOHANNES, F., KONO, Y., Water balance study and irrigation strategies for sustainable management of a tropical Ethiopian lake: a case study of Lake Alemaya. **Water Resour Manage**. v.25, n.9, p.2081-2107, 2011.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Ano IV, n.8, 2005.

SILVA, E. M.; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A.; RODRIGUES, L. N. Proposição de um modelo matemático para a avaliação do desempenho de sistemas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.8, p.741-748, 2004.

SKHIRI, A.; DECHMI, F. Impact of sprinkler irrigation management on the Del Reguero river (Spain). I: Water balance and irrigation performance. **Agricultural Water Management**. v.103, p.120–129, 2012.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 6ª Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil 2007, 353 p.

SOTO-GARCÍA, M.; MARTINEZ-ALVAREZ, V.; GARCIA-BASTIDA, P.A.; ALCON, F., MARTIN-GORRIZ, B. Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain. **Agricultural Water Management**. v.124, p.11–19, 2013.

SOUSA, M. B. A; MATOVANI, E. C; SILVA, J. G. F; VICENTE, M. R; VIEIRA, G. H. S; SOARES, A. A. Manejo da irrigação na cafeicultura irrigada por pivô central nas regiões norte do espírito santo e extremo sul da Bahia; **Biosci. J**, Uberlândia, v.27, n.4, p.581-590, 2011.

SOUZA, F. Manejo computadorizado da irrigação utilizando o programa “CROPWAT” da FAO: estudo de caso de híbrido de milho (*Zea mays L.*) no vale do Curu – Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v.22, p 127-140, 1991.

SOUZA, J. L. M. de. **Modelo para análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**, 2001, 256f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 2001.

STEELE, D. D.; SCHERER, T. F.; PRUNTY, L. D.; STEGMAN, E. C. Water balance irrigation scheduling: comparing crop curve accuracies and determining the frequency of corrections to soil moisture estimates. **Applied Engineering in Agriculture**, New York, v. 13, n.5, p. 593- 599, 1997.

TAVARES, M. H. F.; CARDOSO, D. L.; GENTELINI D. P.; FILHO, A. G.; KONOPATSKI, E. A. Uso do forno de microondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 529-538, 2008.

TURCO, J. E. P.; RIZZATTI, G. S.; PAVANI, L. C. Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.29, n.2, p.311-320, 2009.

UMALI, D.L. Irrigation-induced salinity: a growing problem for development and the environment. **World Bank Technical Paper**, Washigton, nº. 215, 70 p, 1993.

VICENTE, M. R.; SANTOS, J. A. dos.; SANTOS, R. M. dos.; LEITE, C. V. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o vale do Jequitinhonha. **Gl. Sci Technol**, Rio Verde, v. 7, n. 2, p.106-118, 2014.

VINHOLIS, M. de M. B.; SOUZA, G. B. de.; NOGUEIRA A. R. de. A.; PRIMAVESI, O. Uso do microondas doméstico para determinação de matéria seca e do teor de água em solos e plantas: avaliação econômica, social e ambiental. **Custos e Agronegócio on line**, v. 4, n. 2, p. 80-97, 2008.

ZOCOLER, J.L.; FRIZZONE, J.A.; VANZELA, L.S. **Eficiência e adequabilidade da irrigação de um equipamento do tipo pivô central**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Foz de Iguaçu, 2001.

## APÊNDICE

**Quadro 1:** Valores diários de temperatura máxima, média e mínima, chuva, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação e evapotranspiração de referência, utilizados para realização do manejo da irrigação.

<b>Data</b>	<b>T. max°</b>	<b>T.méd°</b>	<b>T.mín°</b>	<b>Chuva (mm)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Vel.Vento (m/s)</b>	<b>Radiação (w/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ET<sub>0</sub> (mm/d)</b>
<b>29/03/2015</b>	33,10	26,30	19,50	0,20	77,29	0,48	258,70	5,66
<b>30/03/2015</b>	32,80	26,35	19,90	0,00	79,75	0,36	220,20	5,52
<b>31/03/2015</b>	32,20	27,00	21,80	0,00	77,80	0,30	226,20	5,03
<b>01/04/2015</b>	33,80	27,20	20,60	0,00	75,40	0,00	244,20	4,98
<b>02/04/2015</b>	32,60	26,90	21,20	12,60	79,12	0,39	223,30	4,60
<b>03/04/2015</b>	30,60	25,80	21,00	3,40	86,70	0,27	200,50	4,11
<b>04/04/2015</b>	30,20	26,05	21,90	0,00	82,37	1,00	229,10	3,85
<b>05/04/2015</b>	31,40	26,60	21,80	2,00	85,70	0,57	195,60	4,19
<b>06/04/2015</b>	31,40	26,15	20,90	4,00	85,90	0,10	139,80	4,34
<b>07/04/2015</b>	29,90	25,65	21,40	27,40	87,90	0,30	169,70	3,86
<b>08/04/2015</b>	27,60	24,10	20,60	3,40	90,20	0,30	118,70	3,38
<b>09/04/2015</b>	26,70	23,95	21,20	0,00	87,20	0,30	113,20	2,98
<b>10/04/2015</b>	29,60	25,25	20,90	0,00	83,00	0,20	180,30	3,87
<b>11/04/2015</b>	29,90	24,85	19,80	0,00	80,80	0,40	218,50	4,13
<b>12/04/2015</b>	30,20	24,75	19,30	0,20	75,90	0,20	169,60	4,28
<b>13/04/2015</b>	27,20	22,80	18,40	0,00	70,00	1,30	200,00	3,67
<b>14/04/2015</b>	29,60	25,35	21,10	0,00	75,00	0,20	168,70	3,83

Continua...

Continuação Quadro 1...

<b>Data</b>	<b>T. max°</b>	<b>T.méd°</b>	<b>T.mín°</b>	<b>Chuva (mm)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Vel.Vento (m/s)</b>	<b>Radiação (w/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ET<sub>0</sub> (mm/d)</b>
<b>15/04/2015</b>	29,10	25,00	20,90	2,20	8,80	0,30	173,50	3,73
<b>16/04/2015</b>	31,60	26,75	21,90	0,40	81,45	0,13	174,80	4,23
<b>17/04/2015</b>	31,60	25,85	20,10	0,00	82,50	0,20	194,50	4,51
<b>18/04/2015</b>	30,80	25,90	21,00	0,00	82,08	0,36	194,40	4,17
<b>19/04/2015</b>	32,40	26,00	19,60	0,00	78,66	0,12	231,40	4,77
<b>20/04/2015</b>	33,30	27,60	21,90	0,00	79,00	0,35	219,10	4,67
<b>21/04/2015</b>	32,20	27,05	21,90	2,40	78,41	0,50	212,80	4,38
<b>22/04/2015</b>	32,70	27,45	22,20	0,00	79,83	0,29	205,20	4,46
<b>23/04/2015</b>	31,90	26,35	20,80	7,80	82,79	0,57	195,10	4,48
<b>24/04/2015</b>	29,70	24,95	20,20	0,20	87,79	0,20	150,60	4,01
<b>25/04/2015</b>	31,10	26,40	21,70	0,20	86,25	0,09	159,00	4,13
<b>26/04/2015</b>	30,10	25,35	20,60	0,00	82,41	0,38	179,20	4,05
<b>27/04/2015</b>	28,40	24,45	20,50	0,20	85,50	0,50	132,10	3,62
<b>28/04/2015</b>	29,30	24,55	19,80	0,00	83,60	0,60	176,90	3,97
<b>29/04/2015</b>	29,30	23,55	17,80	0,20	83,70	0,10	175,40	4,27
<b>30/04/2015</b>	30,20	24,85	19,50	0,00	81,30	0,30	191,10	4,25
<b>01/05/2015</b>	28,80	23,30	17,80	0,20	84,70	0,20	145,40	3,58
<b>02/05/2015</b>	27,30	22,45	17,60	0,20	84,90	0,70	131,40	3,29
<b>03/05/2015</b>	29,30	22,75	16,20	0,20	81,00	0,30	204,50	3,86
<b>04/05/2015</b>	30,20	23,85	17,50	0,00	79,50	0,40	192,50	3,90
<b>05/05/2015</b>	29,10	25,30	21,50	2,00	85,25	0,20	146,90	3,12
<b>06/05/2015</b>	27,40	24,40	21,40	2,20	90,04	0,20	119,80	2,72

Continua...

Continuação Quadro 1...

<b>Data</b>	<b>T. max°</b>	<b>T.méd°</b>	<b>T.mín°</b>	<b>Chuva (mm)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Vel.Vento (m/s)</b>	<b>Radiação (w/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ET<sub>0</sub> (mm/d)</b>
<b>07/05/2015</b>	29,70	24,75	19,80	0,20	85,20	0,00	165,50	3,52
<b>08/05/2015</b>	28,90	24,05	19,20	0,00	80,29	0,36	191,40	3,42
<b>09/05/2015</b>	27,30	23,00	18,70	0,00	80,95	0,25	136,50	3,14
<b>10/05/2015</b>	29,30	23,10	16,90	0,20	81,75	0,78	207,50	3,78
<b>11/05/2015</b>	20,90	19,45	18,00	29,60	94,37	0,98	53,04	1,67
<b>12/05/2015</b>	26,30	21,30	16,30	0,20	88,20	0,30	171,90	3,25
<b>13/05/2015</b>	25,60	20,85	16,10	0,20	85,90	0,00	139,70	3,13
<b>14/05/2015</b>	25,90	21,60	17,30	0,60	86,58	0,16	91,33	3,04
<b>15/05/2015</b>	26,90	22,80	18,70	0,00	81,20	0,30	150,40	3,05
<b>16/05/2015</b>	26,90	22,15	17,40	0,00	79,50	0,20	191,80	3,24
<b>17/05/2015</b>	27,60	21,90	16,20	0,00	80,12	0,13	194,50	3,52
<b>18/05/2015</b>	27,20	21,45	15,70	0,00	83,00	0,40	139,20	3,50
<b>19/05/2015</b>	28,00	22,95	17,90	0,00	80,10	0,40	195,00	3,40
<b>20/05/2015</b>	24,90	21,55	18,20	0,00	85,20	0,20	98,30	2,68
<b>21/05/2015</b>	28,10	22,35	16,60	0,40	81,60	0,50	188,50	3,58
<b>22/05/2015</b>	27,30	22,25	17,20	0,00	80,04	0,37	181,90	3,34
<b>23/05/2015</b>	27,10	20,95	14,80	0,20	80,04	0,12	172,80	3,57
<b>24/05/2015</b>	28,40	21,90	15,40	0,20	81,70	0,02	173,50	3,76
<b>25/05/2015</b>	28,80	21,25	13,70	0,00	79,60	0,10	199,50	3,99
<b>26/05/2015</b>	29,70	21,70	13,70	0,20	77,90	0,10	196,80	4,15
<b>27/05/2015</b>	30,20	22,60	15,00	0,20	78,30	0,10	195,80	4,14
<b>28/05/2015</b>	30,60	22,85	15,10	0,20	78,80	0,00	192,30	4,21

Continua...

Continuação Quadro 1...

<b>Data</b>	<b>T. max°</b>	<b>T.méd°</b>	<b>T.mín°</b>	<b>Chuva (mm)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Vel.Vento (m/s)</b>	<b>Radiação (w/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ET<sub>0</sub> (mm/d)</b>
<b>29/05/2015</b>	28,20	23,25	18,30	1,00	78,75	0,27	192,30	3,39
<b>30/05/2015</b>	30,80	23,85	16,90	0,00	79,91	0,03	193,20	4,08
<b>31/05/2015</b>	31,80	24,05	16,30	0,20	77,87	0,13	193,20	4,33
<b>01/06/2015</b>	31,10	24,00	16,90	0,00	76,20	0,10	192,70	3,79
<b>02/06/2015</b>	29,90	23,70	17,50	0,00	78,10	0,30	195,40	3,52
<b>03/06/2015</b>	27,90	23,75	19,60	0,00	79,41	0,55	169,50	2,88
<b>04/06/2015</b>	27,40	21,85	16,30	0,00	78,30	0,50	195,40	3,18
<b>05/06/2015</b>	28,50	22,00	15,50	0,20	77,83	0,18	202,10	3,45
<b>06/06/2015</b>	29,10	23,20	17,30	0,00	74,66	0,27	195,20	3,39
<b>07/06/2015</b>	28,90	23,35	17,80	0,00	73,87	0,44	182,60	3,30
<b>08/06/2015</b>	28,10	21,95	15,80	0,00	74,00	0,31	191,20	3,36
<b>09/06/2015</b>	25,20	18,95	12,70	0,00	67,00	1,50	214,00	3,13
<b>10/06/2015</b>	29,90	21,60	13,30	0,20	78,83	0,26	198,50	3,86
<b>11/06/2015</b>	30,20	23,70	17,20	0,00	77,83	0,35	190,70	3,60
<b>12/06/2015</b>	30,40	22,50	14,60	0,20	79,70	33,00	167,20	3,86
<b>13/06/2015</b>	31,70	23,85	16,00	0,00	71,54	0,42	213,30	3,97
<b>14/06/2015</b>	32,40	22,85	13,30	0,20	72,79	0,35	216,30	4,28
<b>15/06/2015</b>	32,60	23,30	14,00	0,00	73,91	0,35	213,00	4,27
<b>16/06/2015</b>	30,60	22,90	15,20	0,20	79,66	0,40	206,60	3,84
<b>17/06/2015</b>	30,20	24,55	18,90	0,00	77,79	0,30	148,10	3,43
<b>18/06/2015</b>	29,80	23,30	16,80	0,00	75,41	0,15	173,20	3,57
<b>19/06/2015</b>	29,40	23,00	16,60	0,20	75,66	0,33	181,50	3,51

Continua...

Continuação Quadro 1...

<b>Data</b>	<b>T. max°</b>	<b>T.méd°</b>	<b>T.mín°</b>	<b>Chuva (mm)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Vel.Vento (m/s)</b>	<b>Radiação (w/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ET<sub>0</sub> (mm/d)</b>
<b>20/06/2015</b>	28,40	22,20	16,00	0,00	72,45	1,11	183,70	3,39
<b>21/06/2015</b>	26,00	20,45	14,90	0,00	76,50	0,38	173,50	3,07
<b>22/06/2015</b>	26,20	20,60	15,00	0,00	78,50	0,23	163,30	3,09
<b>23/06/2015</b>	28,20	21,00	13,80	0,20	73,87	0,14	185,50	3,54
<b>24/06/2015</b>	28,60	21,10	13,60	0,00	70,57	0,58	186,00	3,63
<b>25/06/2015</b>	27,40	21,85	16,30	0,00	72,79	1,03	137,80	3,18
<b>26/06/2015</b>	25,90	21,00	16,10	0,00	72,58	0,77	182,20	2,92
<b>27/06/2015</b>	24,70	18,30	11,90	0,00	74,54	0,55	185,00	3,11
<b>28/06/2015</b>	25,20	18,25	11,30	0,00	74,16	0,49	167,80	3,24
<b>29/06/2015</b>	27,30	20,35	13,40	0,00	74,30	0,90	164,70	3,42
<b>30/06/2015</b>	29,20	21,80	14,40	0,00	75,80	0,10	182,50	3,67
<b>01/07/2015</b>	29,80	22,10	14,40	0,00	75,00	0,10	185,00	3,89
<b>02/07/2015</b>	29,60	21,60	13,60	0,00	74,40	0,20	169,00	3,92
<b>03/07/2015</b>	29,80	21,85	13,90	0,20	74,37	0,27	178,20	3,93
<b>04/07/2015</b>	31,90	23,25	14,60	0,00	73,12	0,05	168,60	4,25
<b>05/07/2015</b>	32,00	23,05	14,10	0,00	70,54	0,10	175,00	4,30
<b>06/07/2015</b>	28,70	21,95	15,20	0,00	76,60	0,20	163,10	3,63
<b>07/07/2015</b>	23,80	19,50	15,20	0,00	80,04	0,00	84,41	2,72
<b>08/07/2015</b>	26,20	20,20	14,20	0,40	81,80	0,30	103,00	3,27
<b>09/07/2015</b>	24,70	20,30	15,90	0,40	86,90	0,10	87,00	2,81
<b>10/07/2015</b>	30,20	21,50	12,80	0,20	76,50	0,10	178,00	4,08
<b>11/07/2015</b>	30,40	22,60	14,80	0,00	71,37	0,16	181,60	3,97

Continua...

Continuação Quadro 1...

<b>Data</b>	<b>T. max°</b>	<b>T.méd°</b>	<b>T.mín°</b>	<b>Chuva (mm)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Vel.Vento (m/s)</b>	<b>Radiação (w/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ET<sub>0</sub> (mm/d)</b>
<b>12/07/2015</b>	30,40	22,05	13,70	0,00	75,54	0,10	165,00	4,05
<b>13/07/2015</b>	30,70	22,65	14,60	0,00	69,87	0,46	185,50	4,04
<b>14/07/2015</b>	30,40	22,90	15,40	0,00	72,70	0,60	164,90	3,92
<b>15/07/2015</b>	30,10	23,25	16,40	0,00	70,10	0,30	183,20	3,78
<b>16/07/2015</b>	28,90	22,25	15,60	0,00	67,30	1,00	187,60	3,63
<b>17/07/2015</b>	27,40	21,00	14,60	0,00	70,66	1,08	157,10	3,45
<b>18/07/2015</b>	27,70	20,35	13,00	0,00	72,04	0,63	121,20	3,64
<b>19/07/2015</b>	28,30	22,55	16,80	0,00	68,04	1,05	164,10	3,40
<b>20/07/2015</b>	28,20	21,55	14,90	0,00	73,30	0,30	165,40	3,57
<b>21/07/2015</b>	30,50	22,10	13,70	0,00	69,00	0,30	182,20	4,07
<b>22/07/2015</b>	30,70	21,75	12,80	0,00	65,90	0,20	188,70	4,16
<b>23/07/2015</b>	28,90	21,65	14,40	0,00	65,40	0,40	189,40	3,74
<b>24/07/2015</b>	28,90	21,30	13,70	0,00	65,75	0,31	190,90	3,79
<b>25/07/2015</b>	31,30	23,25	15,20	0,00	67,58	0,12	186,60	4,10
<b>26/07/2015</b>	31,10	22,75	14,40	0,00	70,16	0,08	173,60	4,12
<b>27/07/2015</b>	31,20	23,00	14,80	0,00	67,00	0,10	187,00	4,11
<b>28/07/2015</b>	31,70	23,70	15,70	0,00	65,20	0,20	176,10	4,13
<b>29/07/2015</b>	31,20	23,45	15,70	0,00	63,30	0,40	188,10	4,04
<b>30/07/2015</b>	29,50	21,75	14,00	0,00	59,20	0,70	190,00	3,87
<b>31/07/2015</b>	29,80	21,05	12,30	0,00	66,50	0,50	185,20	4,04
<b>01/08/2015</b>	29,70	21,40	13,10	0,00	65,60	0,50	194,90	3,97
<b>02/08/2015</b>	29,20	20,65	12,10	0,00	66,80	0,60	195,50	3,95

Continua...

Continuação Quadro 1...

<b>Data</b>	<b>T. max°</b>	<b>T.méd°</b>	<b>T.mín°</b>	<b>Chuva (mm)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Vel.Vento (m/s)</b>	<b>Radiação (w/m<sup>2</sup>)</b>	<b>ET<sub>0</sub> (mm/d)</b>
<b>03/08/2015</b>	30,10	20,60	11,10	0,00	64,00	0,40	196,80	4,16
<b>04/08/2015</b>	30,30	20,40	10,50	0,00	62,60	0,40	196,50	4,23
<b>05/08/2015</b>	29,90	20,70	11,50	0,00	62,30	0,60	196,10	4,11
<b>06/08/2015</b>	31,40	20,95	10,50	0,00	62,41	0,44	194,50	4,41
<b>07/08/2015</b>	31,30	21,05	10,80	0,00	64,12	0,62	189,80	4,37
<b>08/08/2015</b>	30,40	21,10	11,80	0,00	62,16	0,83	187,50	4,17
<b>09/08/2015</b>	29,40	21,10	12,80	0,00	61,37	1,20	188,50	3,94
<b>10/08/2015</b>	30,00	21,45	12,90	0,00	65,45	1,04	187,80	4,04
<b>11/08/2015</b>	28,10	20,95	13,80	0,00	62,08	1,25	199,30	3,64
<b>12/08/2015</b>	26,70	19,55	12,40	0,00	63,33	1,38	199,20	3,51
<b>13/08/2015</b>	27,30	19,30	11,30	0,00	64,25	1,12	202,50	3,69
<b>14/08/2015</b>	28,80	20,55	12,30	0,00	63,29	1,21	184,10	3,87
<b>15/08/2015</b>	30,80	21,80	12,80	0,00	61,45	0,91	201,10	4,18
<b>16/08/2015</b>	31,80	23,60	15,40	0,00	62,58	0,52	186,80	4,17