

ENOQUE PEREIRA DA SILVA

ADIÇÃO DE ESTABILIZANTE DE NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO  
DO MILHO EM DIFERENTES MANEJOS HÍDRICOS

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016

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

T

S586a  
2016  
Silva, Enoque Pereira da, 1986-  
Adição de estabilizante de nitrogênio na adubação do milho  
em diferentes manejos hídricos / Enoque Pereira da Silva. –  
Viçosa, MG, 2016.  
xi, 84f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Everardo Chartuni Mantouvani.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Milho - adubação. 2. Milho - manejo. 3. Milho -  
Irrigação. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de  
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em  
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 633.15

ENOQUE PEREIRA DA SILVA

ADIÇÃO DE ESTABILIZANTE DE NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO  
DO MILHO EM DIFERENTES MANEJOS HÍDRICOS

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

APROVADA: 13 de Maio de 2016.

---

Prof. Fernando França da Cunha  
(co-orientador)

---

Prof. Gustavo Hadadd Souza Vieira

---

D.Sc. Carlos Augusto Brasileiro de Alencar

---

Prof<sup>a</sup>. Catariny Cabral Aleman

---

Prof. Everardo Chartuni Mantouvani  
(Orientador)

Ao meu Deus

À minha esposa, Jamaika

À minha filha, Maria Eduarda

Aos meus pais, José e Delzeny

Aos meus irmãos, Edna e Eliezer

Aos meus amigos e familiares

Com grande apreço

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, saúde e por tudo aquilo que nem as palavras conseguem descrever, que foram fundamentais na conclusão desta etapa em minha vida. A Ele devo todo louvor, toda honra e toda glória.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso na qual tenho paixão.

À minha esposa, Jamaika, companheira de todas as horas, principalmente nos momentos críticos, que me agraciou com seu amor e o melhor de todos os presentes, a filha mais linda do mundo, Maria Eduarda.

Aos meus amados pais, José Evangelista da Silva e Delzeny Pereira Matos Silva, que não mediram esforços para me dar a melhor educação e hoje agradeço a eles por tudo o que fizeram ao meu favor. Aos meus irmãos Eliezer e Edna, que sempre me apoiaram nessa jornada acadêmica.

Ao professor Everardo Chartuni Mantovani, pela orientação, amizade e apoio profissional. Que durante essa jornada foi muito mais que um orientador, sendo um amigo e um modelo de profissional competente, aprendi muito e quero agradecer a dedicação durante toda vida acadêmica, pode ter certeza que a sua dedicação nos inspira a fazer um bom trabalho.

À minha querida sogra, Adalgiza, pelo apoio, suporte, carinho e amizade, e pela constante ajuda com diversos afazeres sem a qual não conseguiria atingir o meu objetivo.

As minhas cunhadas, Juliana e Solange, e ao meu co-cunhado Renato, que considero como meus irmãos e pelos momentos de descontração vividos.

Ao saudoso professor Antônio Alves Soares (*in memoriam*) que muito contribuiu para minha formação acadêmica e profissional.

Ao professor Silvio Bueno Pereira pela grande amizade e disponibilidade em atender em diversos momentos, obrigado por ser essa pessoa agradável e disposto a ajudar. Que Deus te abençoe.

Ao estimado professor Fernando França, pela imensa cooperação neste trabalho, pela constante disponibilidade em atender.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola José Galinari, Fátima, Marcos Magalhães, Edna Soares, Claudenilson Filomeno, Dona Maria, Evaristo, Délio, Simão, Rosália, José Mauro e tantos outros pelo carinho e por nunca terem hesitado em me ajudar.

Aos companheiros de graduação e pós-graduação, Fábio, Leônidas, Caio, Luan, Cássio, Flávio, Vinicius, Igor, Leonel, Rodolfo, Ricardo e Arthur pela boa convivência e pelas contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os Professores do curso de Engenharia Agrícola, pelos valiosos conhecimentos transmitidos através de suas disciplinas com dedicação, profissionalismo e amizade.

A todos os demais professores, colegas e funcionários que participaram da realização deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

À professora Lêda Faroni pelo apoio em momentos difíceis e ajuda em diversas ocasiões.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo auxílio financeiro.

## **BIOGRAFIA**

ENOQUE PEREIRA DA SILVA, filho de José Evangelista da Silva e Delzeny Pereira Matos Silva, nasceu em Janaúba, MG em 04 de setembro de 1986.

Em 2005, iniciou o Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG graduando-se em fevereiro de 2010. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica de agosto de 2007 a dezembro de 2009, conduzindo trabalhos com o Irrigâmetro.

Em março de 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, da UFV, sob orientação do professor Rubens Alves de Oliveira, concluindo em julho de 2012.

Em agosto de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, da UFV, sob orientação do professor Everardo Chartuni Mantovani, submetendo-se à defesa de tese em Maio de 2016.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	VIII
ABSTRACT.....	X
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS .....	4
1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Milho .....	7
1.2 Nitrogênio .....	8
1.3 Irrigação.....	11
1.4 Manejo da irrigação.....	13
1.5 Metodologia fao 56.....	16
1.6 Metodologia gesai .....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	27
2.1 Área experimental.....	27
2.2 Caracterização do solo.....	29
2.3 Descrição do equipamento de irrigação .....	30
2.4 Descrição do nzone max.....	31
2.5 Descrição dos tratos culturais .....	33
2.6 Descrição dos tratamentos .....	34
2.7 Parâmetros avaliados.....	35
2.7.1 Lâminas de irrigação .....	35
2.7.2 Avaliações biométricas.....	35
2.7.3 Avaliações do solo .....	38
2.7.4 Avaliações do manejo da irrigação .....	38
2.8 Análises estatísticas.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42

3.1	Variáveis climáticas .....	42
3.2	Avaliação das variáveis biométricas da cultura .....	46
3.2.1	Índice de área foliar .....	46
3.2.2	Número de fileiras de grãos por espiga .....	47
3.2.3	Altura da planta .....	48
3.2.4	Altura da inserção da espiga .....	50
3.2.5	Número de grãos por fileira .....	51
3.2.6	Número de plantas por hectare .....	51
3.2.7	Índice de espigas .....	52
3.2.8	Massa média de espiga .....	53
3.2.9	Massa média de mil grãos .....	54
3.2.10	Produtividade .....	55
3.2.11	Matéria seca.....	56
3.2.12	Teor de proteína .....	57
3.2.13	Eficiência de uso da água.....	58
3.3	Avaliação das análises de solo .....	59
3.4	Manejo da irrigação .....	61
4.	CONCLUSÕES.....	70
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

## RESUMO GERAL

SILVA, Enoque Pereira da, D.Sc. Universidade Federal de Viçosa, Maio de 2016. **Adição de estabilizante de nitrogênio na adubação do milho em diferentes manejos hídricos.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Coorientadores: Silvio Bueno Pereira e Fernando França da Cunha.

O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de um aditivo estabilizante de ureia no desenvolvimento da cultura do milho e desempenho de métodos para o manejo da irrigação. Foram realizados dois experimentos paralelos utilizando a cultura do milho no ano agrícola 2014/15, em área experimental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Coimbra – MG. O primeiro experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas quatro lâminas de irrigação correspondentes ao plantio sem irrigação (L1), e com quantidade de irrigação proporcional à demanda hídrica da cultura (50, 100 e 150%), tendo como referência as lâminas L2, L3 e L4, respectivamente, e nas subparcelas a presença do aditivo Nzone Max® em diferentes etapas de adubação (plantio e cobertura (P+C), somente na cobertura (C), somente no plantio (P) e sem o aditivo (S)). O segundo experimento foi montado em esquema de faixas inteiramente casualizadas tendo dois tratamentos correspondentes a dois métodos para manejo de irrigação (GESAI e FAO 56), com três repetições. A evapotranspiração diária foi obtida utilizando-se dados de uma estação meteorológica automática instalada na área. Avaliaram-se as características biométricas da cultura, lâminas de irrigação e evapotranspiração. Observou-se que a produção foi positivamente influenciada pela presença do aditivo/estabilizante na adubação, obtendo aumento na produtividade de grãos de 2437 kg ha<sup>-1</sup>, correspondendo a um ganho de 28% na produtividade e ao ganho de matéria seca de

até 42%. A utilização do aditivo/estabilizante na ureia aumentou teores de proteína bruta no grão do milho. Recomenda-se a utilização do aditivo/estabilizante Nzone Max® na ureia, nas adubações de plantio e de cobertura. A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) obtida pelos métodos FAO 56 e GESAI apresentaram valores próximos, no entanto vale ressaltar que na fase inicial a metodologia FAO 56 apresentou maiores valores estimados de ET<sub>c</sub>, pois considera a componente evaporação de água no solo de forma mais abrangente. Recomenda-se o método GESAI para a estimativa da evapotranspiração da cultura do milho, devido à facilidade de operação e a sua precisão em relação ao método considerado padrão.

## ABSTRACT

SILVA, Enoque Pereira da, DSc. Universidade Federal de Viçosa, Brazil, May, 2016. **Nitrogen stabilizer added to corn fertilization with different water management treatments.** Advisor: Everardo Chartuni Mantovani. Co-Advisors: Silvio Bueno Pereira and Fernando França da Cunha.

The objective was to evaluate the effects of a stabilizing urea additive to the corn development and irrigation management methods performance. There were two parallel experiments using corn crop in the crop year 2014/15, in the experimental area of the Universidade Federal de Viçosa (UFV), in the municipality of Coimbra - MG. The first experiment was conducted in a split plot, with four irrigation depths plots corresponding to irrigation absence (L1), and proportional irrigation according to the crop water demand (50, 100 and 150%), referring to L2, L3 and L4 water depths, respectively, and the subplots being the presence of Nzone Max® additive in different fertilization stages (at planting and sidedress (P + C), only at sidedress (C), only at planting (P) and without the additive (S)). The second experiment was built on an entirely randomized design, with tracks scheme, in which two treatments correspond to two irrigation management methods (GESAI and FAO 56), with three replications. The daily evapotranspiration was obtained using data from an automatic weather station installed in the area. The crop's biometric characteristics, the irrigation and the evapotranspiration depths were evaluated. It was observed that the production was positively influenced by the additive/stabilizer presence in the fertilization, resulting in a 2437 kg ha<sup>-1</sup> grain yield increase, corresponding to a 28% productivity gain and up to 42% dry matter increase. The additive/stabilizer usage in urea has increased corn grains' gross protein content. It is recommended the Nzone Max® additive/stabilizer use with urea at planting and sidedress fertilizing. The crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>)

obtained by FAO 56 and GESAI methods showed similar values, however it is noteworthy that FAO 56's methodology's initial phase showed higher ET<sub>c</sub> estimations, because it considers the soil water evaporation component in a more comprehensive way . GESAI methodology is recommended to estimate corn crop evapotranspiration due to its easy applying and its accuracy when compared to the standard method.

## INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura moderna não tem por finalidade somente a produtividade e rentabilidade, mas também à preservação ambiental. As taxas de crescimento da produção agrícola mundial, superadas pelos incrementos populacionais nos últimos anos, vêm causando certa inquietude com relação à segurança alimentar.

De acordo com estudo realizado no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos mostra que no período de 48 anos, 1961 a 2009, o uso de insumos foi responsável por cerca de 60% do crescimento do produto agrícola mundial, e a produtividade total dos fatores respondeu por 40% do crescimento do produto agropecuário (FUGLIE; WANG; 2012). Observaram crescimento da produtividade para o crescimento do produto cresceu ao longo dos anos, e no período de 2001 a 2009, a produtividade foi responsável por 74% do crescimento global do produto agropecuário.

No Brasil o crescimento da produção agrícola, até a década de 50, ocorreu basicamente por conta da expansão da área cultivada. O processo de modernização intensificou-se a partir dos anos 70, quando houve, de acordo com dados do IBGE (2010), um aumento da utilização de adubos químicos atingindo um incremento de 1.380%, entre 1965 e 1980. Nos últimos anos, o milho no Brasil, vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade. Esse aumento tem sido ocasionado pela melhoria do material genético utilizado e a adoção de novas tecnologias visando alta produtividade tais como adubações equilibradas (MENDES et al., 2012).

O milho (*Zea mays L.*) é um dos principais cereais produzidos no Brasil, cuja safra 2014/2015 atingiu 84 milhões de toneladas em aproximadamente 15 milhões de hectares (CONAB, 2015). Produtividades superiores a 16 t ha<sup>-1</sup> já foram obtidas em

concursos de produtividade de milho conduzidos por órgãos de assistência técnica e empresas produtoras de semente (EMBRAPA, 2006). No entanto, a produtividade média nacional é baixa, aproximando-se de 5.382 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2015). Essa produtividade baixa sugere que os sistemas de produção de milho podem ser melhorados, especialmente quanto à nutrição mineral e irrigação.

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelas gramíneas, sendo que para o milho obter valores elevados de produtividade a quantidade de N requerida pode alcançar valores superiores a 150 kg de nitrogênio por hectare. A utilização do nitrogênio na forma de ureia é a fonte mais empregada no Brasil e tem como vantagem a elevada concentração de N ( $\pm 45\%$ ) o que otimiza custos com transporte e aplicação. Por outro lado, porém com a limitação de que, quando aplicada na superfície do solo, há elevada perda por volatilização de NH<sub>3</sub> (VALDERRAMA et al., 2001; FONTOURA; BAYER, 2010).

No Brasil, os fertilizantes nitrogenados são normalmente aplicados em cobertura, sem incorporação ao solo. Desse modo, é necessário desenvolver alternativas para reduzir as perdas e maximizar o uso do fertilizante nessas condições.

Outro fator muito importante para um manejo adequado da cultura do milho é o fornecimento adequado da quantidade de água para a cultura. Em virtude da ocorrência de déficit hídrico natural nas regiões agrícolas do Brasil, os produtores têm investido em sistemas de irrigação, visando garantir e aumentar a rentabilidade de suas propriedades e a segurança no processo produtivo.

Existem inúmeras variáveis que o produtor irrigante deve considerar para a quantificação da lâmina de irrigação, devendo trabalhar com a máxima eficiência dos sistemas de forma a obter produtividades que tornem a cultura do milho economicamente viável. Nos últimos anos, o milho no Brasil, vem passando por importantes mudanças tecnológicas, resultando em aumentos significativos da produtividade. Esse aumento tem sido ocasionado pela melhoria do material genético utilizado e a adoção de novas tecnologias visando alta produtividade tais como adubações equilibradas e utilização sistemas de irrigação (MENDES et al., 2012). O conhecimento do momento da irrigação e da quantidade necessária é muito importante para o aumento da produtividade e eficiência no processo produtivo. Isto porque, focalizando os fatores água e nitrogênio e com base no que tanto de que as plantas absorvem nutrientes por meio da solução do solo, a reposição de água ao solo

por meio da irrigação, na quantidade adequada e no momento oportuno, é decisiva para o sucesso da intensificação da produção de culturas.

Dada a importância da constante busca pela eficiência no uso dos insumos e da água, o objetivo do presente trabalho foi comparar métodos para a determinação da evapotranspiração da cultura do milho e avaliação da eficiência de um aditivo estabilizante do nitrogênio, submetido a diferentes lâminas, em relação aos parâmetros da cultura do milho.

## REFERÊNCIAS

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 8 ed. Brasília: Conab, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 34, n. 5, p. 1677-1684, 2010.

FUGLIE, O. K. AND WANG, S.L. New Evidence Points to Robust But Uneven Productivity Growth in Global Agriculture. USDA, **Economic Research Service**, Amber Waves, September 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 1990 a 2010**. Disponível em:< [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>.

MENDES, E.D.R. et al. **Diferentes fontes e doses de nitrogênio na cultura do milho no município de alta floresta-MT: características produtivas**, 2012. Disponível em:< [http://www.abms.org.br/29cn\\_milho/02184.pdf](http://www.abms.org.br/29cn_milho/02184.pdf)>. Acesso em: 03 fev. 2016.

QUEIROZ, T. M. de. **Desenvolvimento de um sistema automático para irrigação de precisão em pivô central**. 2007. 142 f. Tese (Doutor em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.2, p.254-263, 2011.

## 1. INTRODUÇÃO

O avanço da agricultura provocou sérios problemas ambientais, dos quais podemos destacar a lixiviação de nutrientes em excesso, principalmente o nitrogênio devido a sua alta mobilidade (ROSA et al., 2011).

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pela maioria das culturas e, por isso, em muitas situações, é suprido insuficientemente. Em anos nos quais as condições climáticas são favoráveis as culturas necessitam de uma grande quantidade de N, que dificilmente será suprida somente pelo solo, havendo necessidade de usar outras fontes suplementares deste nutriente. Dentre estas, destaca-se a utilização, isolada ou combinada, de adubos minerais, leguminosas e esterco. O manejo do N em sistemas agrícolas deve considerar os elevados riscos ambientais, uma vez que este nutriente está sujeito a perdas por erosão, lixiviação, desnitrificação e volatilização.

Para Santos et al. (2010) a maioria dos solos brasileiros apresenta teores insuficientes de nitrogênio, havendo a necessidade de seu fornecimento, seja na forma mineral ou orgânico, com a implantação de leguminosas como adubação verde. A disponibilidade de nitrogênio no solo durante o ciclo de desenvolvimento da cultura tem grande influência sobre a produtividade da cultura (BORTOLINI et al., 2001).

Parte do nitrogênio do fertilizante aplicado na superfície do solo é frequentemente perdida do sistema, o que reduz a eficiência de uso do N aplicado e, potencialmente, diminui a lucratividade dos empreendimentos agrícolas adubados com fertilizantes nitrogenados. Em solos tropicais, a volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) é uma das principais vias de perda, principalmente quando a ureia é aplicada a lanço e em cobertura no final do período das chuvas (MARTHA JUNIOR, 1999; PRIMAVESI et al., 2001).

No Brasil, os fertilizantes nitrogenados são normalmente aplicados em cobertura, sem incorporação no solo. Desse modo, é necessário desenvolver alternativas para reduzir as perdas e maximizar o uso do N-fertilizante nessas condições. Contudo, avanços expressivos para o entendimento do ciclo do N e para o desenvolvimento de protocolos práticos de manejo desse nutriente só serão observados quando estimativas confiáveis da perda do N aplicado forem conhecidas.

## 1.1 Milho

O Brasil, na safra 2012/13 foi cultivado milho em uma área de 15,8 milhões de hectares, com produção de, aproximadamente, 80 milhões de toneladas (CONAB, 2013) e na safra 2013/14 houve uma produção de aproximadamente 78 milhões de toneladas (CONAB, 2014), essa redução se deve ao fato de um ano atípico de índice pluviométrico. Na safra 2014/2015 atingiu 84 milhões de toneladas em aproximadamente 15 milhões de hectares (CONAB, 2015).

O milho (*Zea mays L.*) é uma cultura de importância global, sendo que o Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial como maior produtor deste grão. Considerando apenas a produção primária, esse cereal representa cerca de 37% da produção nacional de grãos (MAPA, 2014). A média de rendimento da cultura no Brasil ainda é baixa: 5.500 kg ha<sup>-1</sup>; 5.120 kg ha<sup>-1</sup>; 5.109 kg ha<sup>-1</sup> nas safras 2011/12, 2012/13 e 2013/14 (CONAB, 2014), respectivamente.

Verifica-se que no Brasil há uma grande diferença entre a produtividade obtida pelos grandes produtores e pequenos produtores. Trata-se de uma produção muito concentrada, onde 11,36% dos estabelecimentos produtores em 2006 produziram quase 87% da produção (IBGE, 2006).

Na Tabela 1 é apresentado a evolução da produção de milho de Argentina, Brasil, México, China, Estados Unidos da América (EUA) a partir de 1961, bem como sua participação sobre a produção mundial:

Tabela 1. Evolução da produção de milho dos principais países – 1961-2012 (milhões de toneladas)

País	1961	1971	1981	1991	2001	2011	2012	Var. no Período
Argentina	4,85	9,93	12,90	7,68	15,36	23,80	25,70	430%
Brasil	9,03	14,13	21,12	23,62	41,96	55,66	72,70	689%
México	6,25	9,79	13,99	14,25	20,13	17,64	22,07	253%
China	18,03	35,91	59,31	99,15	114,25	192,90	208,23	1055%
EUA	91,39	143,42	206,22	189,87	241,38	313,95	273,83	200%

Fonte: Adaptado FAO (2013).

Os valores de produção total dos países nos anos referenciados, onde é possível verificar uma tendência de crescimento geral. O Brasil se destaca no percentual de crescimento, que foi de 689% entre 1961 e 2012. Conforme dados da FAO (2013), esse crescimento é explicado por um aumento de 106% na área (6.885.740 ha em 1961 para 14.198.496 ha em 2012) e por 282% de crescimento na produtividade (1.312 t ha<sup>-1</sup> em 1961 e 5.120 t ha<sup>-1</sup> em 2012). A questão da expansão chinesa na produção de milho ocorre de maneira similar, com a componente produtividade sendo o principal fator. O acréscimo de área determinou 129% de aumento na produção, e a produtividade influenciou em 405% (FAO, 2013).

São diversos os fatores responsáveis pela baixa produtividade. Um deles deve-se ao fato de o milho estar presente na grande maioria das propriedades agrícolas do Brasil, tanto naquelas em que se emprega alta tecnologia, alcançando elevada produtividade, como nas pequenas propriedades, onde é cultivado como cultura de subsistência, com baixa utilização de tecnologia e baixas produtividades, outro fator é o plantio sem a utilização da irrigação (SILOTO, 2002).

## 1.2 Nitrogênio

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, influenciando a resposta em produtividade de grãos, mas também onerando o custo de produção, o que, muitas vezes, determina a tomada de decisão quanto à dose, fonte e forma de aplicação (CRUZ et al., 2008; DUETE et al. 2009; MELO et al., 2011). Os fertilizantes nitrogenados podem representar até 75% dos custos da adubação do

milho, o que corresponde a cerca de 40% dos custos de produção da cultura (LIMA, 2010). A cultura demanda grande quantidade de nutrientes, sendo que o nitrogênio (N) é considerado um dos principais, pois é absorvido em alta quantidade, causa efeitos relevantes na produção e produtividade. Sua disponibilidade altera de forma direta a área foliar, a fotossíntese, o desenvolvimento radicular, o tamanho de espigas, o número e a massa de grãos, além da sanidade de grãos (Pionner, 1995).

O uso de fertilizante nitrogenado é uma prática que pode gerar danos ao ambiente, uma vez que parte do total aplicado é geralmente perdido. A eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenados é em média 50%, devido à ação da lixiviação, volatilização de amônia, desnitrificação, erosão e imobilização microbiana (REIS JUNIOR et al., 2010; CHAVARRIA; MELLO, 2011).

O aumento da produtividade proporcionada pelo nitrogênio pode ser atribuído aos seus efeitos sobre o crescimento do sistema radicular, sobre o aumento do crescimento da espiga (BALKO; RUSSEL, 1980) e do número de espigas por planta (EBELHAR et al., 1987). O N na planta atua participando nas moléculas de compostos orgânicos, como os aminoácidos e proteínas, sendo ainda ativador de enzimas para realização de processos vitais da planta (metabolismo primário), como síntese de proteína, absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular. Por ter essas características o nitrogênio é o elemento que propicia maiores efeitos nas características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura (OKUMURA et al, 2011).

O elemento que causa um dos maiores efeitos no aumento de produção da cultura do milho é o nitrogênio, conforme comprovado por Araújo, Ferreira e Cruz (2004) e Okumura et al. (2011). Além do seu efeito sobre a produtividade, interfere também em diversas outras características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade de grãos da cultura.

A quantidade que o milho necessita de nitrogênio varia com a faixa de rendimento da cultura, sendo uma informação básica quando se visa o desenvolvimento de um sistema de indicação de N (FONTOURA; BAYER, 2009).

O solo fornece N para as culturas a partir da mineralização do N da matéria orgânica (MO). De forma simplificada, considera-se que quanto maior o teor de MO do solo, maior será a quantidade de N disponível para o milho (FONTOURA; BAYER,

2009). Os mais usados são a aplicação a lanço na superfície do solo e a incorporação em linhas.

Estima-se que a necessidade de nitrogênio para a produção de uma tonelada de grãos de milho varia de 20 a 28 kg de N, sendo que as doses de N recomendadas para suprir esta demanda variam em função, especialmente, do ambiente e da rotação de cultura (SANGOI; ALMEIDA, 1994). A absorção desse nutriente pela planta ocorre durante todo o ciclo vegetativo. No início de seu ciclo, normalmente, o suprimento de nitrogênio excede a demanda da cultura.

À medida que a planta se desenvolve o nitrogênio é absorvido do solo, no qual a mineralização do mesmo é menor que  $1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de N, sendo que uma cultura de milho saudável é capaz de absorver 4 a  $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de N. Isto equivale a dizer que com o decorrer do ciclo da cultura haverá esgotamento do nitrogênio do solo e conseqüentemente a planta estará com deficiência de N (BÄNZIGER et al., 2000). Estes autores afirmam que, dependendo do tempo de duração do estresse deste nutriente e do estágio de crescimento da planta, diferentes fatores determinantes da produção serão afetados.

A estratégia mais utilizada para minimizar essas perdas de nitrogênio é o parcelamento da adubação incorporando-se ao solo, permitindo a sincronização entre as aplicações e o período de alta demanda de nutrientes, reduzindo-se assim perdas por volatilização (CANTARELLA; MARCELINO, 2008). Neste caso, minimiza-se as perdas de insumos, porém aumenta-se o custo com operações mecanizadas, não havendo, portanto, uma solução clara para o problema. Apesar disso, existe uma tendência entre os produtores de se fazer adubações nitrogenadas a lanço (sem incorporação), com intuito de reduzir os custos com aplicação e otimizar o uso de máquinas. Entretanto, a eficiência dos fertilizantes nitrogenados tem sido menor quando esses são aplicados na superfície, sem a imediata incorporação ao solo, sobretudo pelo processo de volatilização (SILVA et al., 2005).

### 1.3 Irrigação

A agricultura irrigada se destaca dentre os diversos usos dos recursos água e solo, pois, apesar de todos os benefícios econômicos e sociais a ela associados, demanda grande quantidade de água, com aproximadamente 70% da água no planeta (CALZADILLA et al., 2010), além de muitas de suas práticas preconizarem o uso excessivo de produtos que podem contaminar o solo e as próprias fontes de água, inviabilizando seus usos para as futuras gerações. Assim, a constante diminuição da qualidade e da disponibilidade dos recursos hídricos tem se tornado cada vez mais agravante.

De acordo com Mukherji et al. (2009) cerca de 80% dos produtos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial, nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados. Por outro lado, a agricultura irrigada é a atividade humana que demanda a maior quantidade de água, em termos mundiais. Estima-se cerca de 70% do uso da água, sendo que nos países em desenvolvimento este valor poderá chegar a 95%, causando conflitos em relação aos demais usos da água (FAO, 2007).

A irrigação é uma prática que beneficia o aumento da produção de alimentos, fixa o homem no campo, gera empregos diretos e indiretos e contribui para o crescimento econômico. Por outro lado quando não praticada corretamente ocasiona prejuízos ao ambiente dentre os quais se destacam a salinização dos solos, captação excessiva de água de mananciais, desperdício de energia e lixiviação de solutos. Segundo Folegatti et al. (2003), o excesso da irrigação geralmente reduz a produtividade e a qualidade da produção, podendo provocar o crescimento excessivo da planta, o retardamento da maturação dos frutos, a lixiviação dos nutrientes solúveis, queda de flores, maior ocorrência de doenças e distúrbios fisiológicos, maiores gastos com energia e o desgaste do sistema de irrigação.

O manejo inadequado da cadeia da irrigação, ocorre por uma causa mais cultural do que técnica (QUEIROZ, 2007). Culturalmente, o produtor rural irriga em excesso com receio que a planta sofra algum estresse hídrico. Conseqüentemente, esta atitude irá propiciar perdas de água e de nutrientes pela lixiviação abaixo da zona radicular, além de contribuir para a criação de um ambiente favorável à proliferação de microrganismos patogênicos.

A expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante, devido ao elevado consumo e às restrições de disponibilidade de água. A nível mundial, a expansão da área agrícola sem irrigação é restrita, pela dificuldade de se encontrar solos que não apresentem riscos ambientais e até mesmo pela inexistência de solos aptos. Para a agricultura irrigada, a expansão da área no mundo torna-se mais difícil devido às restrições de disponibilidade de recursos hídricos, às mudanças climáticas, às dificuldades econômicas e à degradação dos solos (Paz et al., 2000). Sendo assim, o manejo racional da água deve ser considerado prática importante para o uso eficiente deste recurso, evitando desperdícios e otimizando a produção agrícola. Além disso, conservar os recursos hídricos contribui para a sustentabilidade do meio produtivo e minimiza os danos causados ao meio ambiente.

Um dos parâmetros importantes para o correto manejo da água é o conhecimento sobre o consumo hídrico das culturas, obtido com base na estimativa da evapotranspiração, principalmente em que ocorre forte conscientização popular em relação aos recursos hídricos (CAMPOS et al., 2008).

A determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Sua quantificação pode ser obtida por meio de um balanço hídrico da camada do solo ocupada pelo sistema radicular da cultura, o qual tem, na “evapotranspiração” e na precipitação pluvial, seus principais componentes (BERNARDO et al., 2006).

Existem diversos equipamentos, metodologias e modelos agrometeorológicos utilizados para estimativa da evapotranspiração, mas os mais simples fornecem resultados inconsistentes (JENSEN et al., 1990; LU et al., 2005; NANDAJIRI; KOVOOR, 2006) e outros mais precisos requerem maiores quantidades de elementos climáticos, como o modelo de Penman-Monteith (ORTEGA-FARIAS et al., 2009), ocasionando dificuldades na sua utilização (CONCEIÇÃO, 2010). De acordo com Bonomo (1999), é de grande importância o conhecimento dos métodos mais simples de estimativa da evapotranspiração que demandam dados de fácil obtenção e de baixo custo. No entanto, tais métodos devem ser calibrados para locais específicos, de modo a fornecerem resultados mais confiáveis (MOHAWESH, 2010).

Com o avanço da tecnologia e certa facilidade na obtenção de dados a nível de fazenda, o modelo de Penman-Monteith tem sido utilizado com sucesso na estimativa da evapotranspiração de referência, sendo por isto considerado pelos pesquisadores

da FAO como o método padrão para este tipo de determinação, porém se destaca como um dos modelos mais complexos (BONOMO, 1999). A utilização de ferramentas computacionais tem sido utilizada com muito sucesso na resolução desse problema.

A metodologia de monitoramento do clima vem sendo mais utilizada em virtude da possibilidade de utilização de medidas de algumas de suas variáveis para estimar a evapotranspiração de uma cultura irrigada, que irá definir o consumo de água pela planta. Considerando uma disponibilidade inicial de água no solo, a determinação da evapotranspiração da cultura permite, a qualquer momento, definir a quantidade de água utilizada, possibilitando a identificação do momento da irrigação e a lâmina de água necessária (MANTOVANI et al., 2009).

#### **1.4 Manejo da Irrigação**

O uso da irrigação proporciona vários benefícios para a agricultura moderna, como: aumento de produtividade, melhor qualidade, maior eficiência no uso de insumos como na prática de adubação, calagem e gessagem; como também evita a falta de água em fases fenológicas críticas para a cultura, minimizando o risco de perdas econômicas (BERNARDO et al., 2006). A quantificação correta da demanda hídrica das culturas é de fundamental importância para o manejo, sendo que uma das metodologias mais utilizadas para isso é a estimativa da evapotranspiração da cultura, pois apresenta flexibilidade em atender a diversas culturas e em distintas fases fenológicas. Essa estimativa depende das condições do local, cultura, solo e sistema de irrigação. As características climáticas da localidade são expressas pela evapotranspiração de referência.

Doorenbos e Pruitt (1977) definiram a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) como a quantidade de água perdida por uma superfície de solo, coberta totalmente por grama, com altura uniforme de 8 a 15 cm, em crescimento ativo e sem restrições de água no solo, esse conceito foi alterado considerando uma cultura hipotética com os parâmetros pré-definidos. Vários são os métodos utilizados para determinar a evapotranspiração de referência, dividindo-se em métodos diretos e métodos indiretos.

Os métodos diretos de determinação da evapotranspiração de referência envolvem equipamentos denominados lisímetros e parcelas experimentais, em que é

feito o balanço hídrico, entre outros. Lisímetros, ou evapotranspirômetros, são volumes de controle que devem ser bem impermeabilizados, podendo ser construídos de vários materiais, como concreto, amianto e plástico, dentre outros. São preenchidos com solo e devem ser localizados de forma a representar um ambiente específico.

Tal método de estimativa da evapotranspiração fornece apenas as medições diretas e é frequentemente utilizado para estimar os efeitos climáticos sobre a evapotranspiração e avaliar os procedimentos de estimativa desta (DOORENBOS; PRUITT, 1977; JENSEN et al., 1990). Podem apresentar superfície nua ou cobertura vegetal, para determinação direta da água do solo nu ou da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ).

Os métodos indiretos são aqueles que envolvem o uso de modelos ou equações teóricas e empíricas. Segundo Jensen et al. (1990), existem uma série de modelos e equações para estimar a evapotranspiração de referência. Esses modelos variam de simples relações empíricas até complexos métodos baseados em processos físicos, como no caso do método combinado de Penman (1948). Porém, Monteith (1965) modificou o método original de Penman, generalizando o modelo por meio de analogia com a lei de Ohm para circuitos elétricos, introduzindo no termo aerodinâmico duas resistências à transferência de vapor d'água para a atmosfera: a resistência do dossel também chamada de resistência estomatal e a resistência aerodinâmica. A primeira é relacionada às características fisiológicas da planta e a segunda, ao papel da turbulência atmosférica no processo de transporte do vapor d'água (AMATYA et al., 1995).

Devido, principalmente, à grande variabilidade das culturas de referência atualmente em uso, pesquisadores especialistas em evapotranspiração de diversos países concluíram que o conceito de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) apresentava problemas, levando a erros de sub e superestimativas dos principais métodos indiretos para estimativa da  $ET_0$ . Assim, os pesquisadores propuseram um novo conceito de  $ET_0$ , considerando os termos de resistência do dossel e resistência aerodinâmica às perdas no processo evaporativo (SMITH et al., 1991). Com isso, a  $ET_0$  é definida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética que cobre todo o solo, em crescimento ativo, com altura média de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de  $0,70 \text{ s m}^{-1}$  e albedo de 0,23, sem restrições hídricas e nutricionais, em que a equação de Penman-Monteith é recomendada como um dos

métodos mais precisos para a estimativa da  $ET_0$  (SMITH et al., 1991), tal metodologia é hoje considerada padrão. Portanto, a partir de 1990 o modelo utilizado como padrão para estimar a  $ET_0$  passou a ser a equação de Penman-Monteith (ALLEN et. al., 1998).

Existem vários métodos ou técnicas para se estimar a  $ET_0$  a partir de dados meteorológicos, testados em diferentes condições climatológicas e geográficas. A escolha do método para cálculo da  $ET_0$  dependerá, essencialmente, do tipo de dados climatológicos disponíveis na região em estudo (DOORENBOS; PRUITT, 1977).

Para padronizar o cálculo da evapotranspiração de referência, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) propôs o método de Penman-Monteith (equação 1) como um novo modelo de se obter a evapotranspiração de referência, com base em estudos de uma comissão que incorpora aspectos termodinâmico e aerodinâmico da cultura, como modelo padrão para quantificar a demanda atmosférica de evapotranspiração de cada região. Este método tem sido amplamente utilizado em todo o mundo (SILVA, 2004; SILVA et al., 2005; BORGES; MENDIONDO, 2007). Segundo Camargo; Camargo (2000) este modelo prediz com eficácia a  $ET_0$  em diversas condições de umidade atmosférica.

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

em que:

$ET_0$  = evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>);

$R_n$  = saldo de radiação à superfície da cultura (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$G$  = densidade do fluxo de calor do solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

$T$  = temperatura do ar a 2 m de altura (°C);

$u_2$  = velocidade de vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>);

$e_s$  = pressão de vapor de saturação (kPa);

$e_a$  = pressão parcial de vapor (kPa);

$e_s - e_a$  = déficit de pressão de vapor de saturação (kPa);

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C<sup>-1</sup>);

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico (kPa °C<sup>-1</sup>).

As equações padronizadas para o cálculo de todos os parâmetros da equação (1) são apresentadas por Allen et al. (1998).

Uma das metodologias que utilizam a evapotranspiração em seus procedimentos de cálculos é o balanço hídrico que se caracteriza pela quantificação da entrada e saída de água no perfil do solo, em determinado intervalo de tempo, e tem-se demonstrado mais eficiente para programação da irrigação em condições de campo.

A entrada é quantificada pela irrigação e precipitação efetivas, enquanto a saída é dada pela evapotranspiração da cultura, pela drenagem da água subsuperficial para o lençol freático e pelo escoamento superficial, sendo os dois últimos parâmetros considerados como excedente hídrico (BERNARDO et al., 2006).

### **1.5 Metodologia FAO 56**

Juntamente com a padronização da  $ET_0$ , Allen et al. (1998) propuseram um novo modelo para estimativa da evapotranspiração da cultura conhecido como " $K_{C_{dual}}$ ", que resumidamente utiliza coeficientes distintos para quantificar a evaporação do solo e a transpiração da planta.

Na Figura 1 apresenta-se os valores de  $K_{C_{dual}}$  que são divididos em fases ou estádios de desenvolvimento. Isso acontece porque a demanda de água pelas culturas está intrinsecamente ligada ao seu desenvolvimento. Quando a planta está na fase inicial, por exemplo, sua demanda por água é menor do que quando ela está em desenvolvimento pleno devido ao seu tamanho, ao volume de solo explorado pelas raízes, à área foliar ocupada, dentre outros. Observa-se então que no  $K_{C_{dual}}$  estão todas as características da cultura de acordo com seu estágio de desenvolvimento.

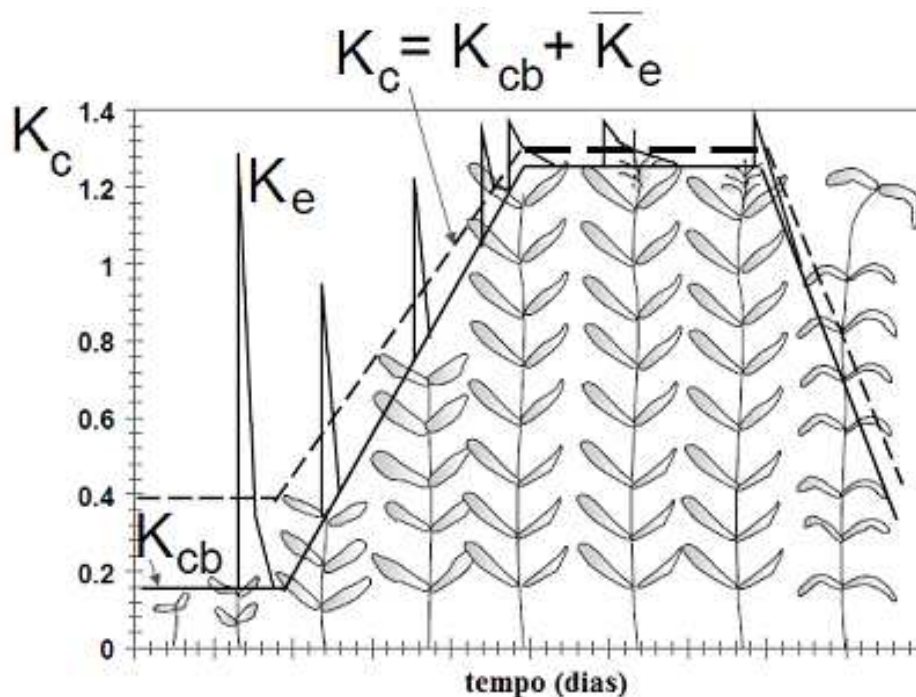


Figura 1. Curva do coeficiente de cultura para o Kc dual

Fonte: Allen et al. (1998)

O  $K_{cdual}$  trata os efeitos da transpiração e da evaporação de forma distinta, podendo ser escrita da seguinte forma (ALLEN et al., 1998).

$$K_{cdual} = K_{cb} + K_e \quad (2)$$

Em que:

$K_c$  dual = o coeficiente da cultura, adimensional;

$K_{cb}$  = o coeficiente de transpiração basal, adimensional;

$K_e$  = o coeficiente de evaporação da água do solo, adimensional.

O cálculo do  $K_{cdual}$  é intenso e requer a utilização de computadores para realizá-lo. Ele pode ser utilizado para o manejo diário da irrigação e leva em consideração muitos fatores de planta e solo.

O  $K_{cb}$  inicial ( $K_{cb\ ini}$ ) está sujeito aos efeitos das variações das frequências de umedecimento. Em umedecimentos frequentes, como irrigação ou chuva de alta frequência, os valores de  $K_{cb\ ini}$  podem aumentar substancialmente (ALBUQUERQUE et al., 2002). Silva e Marouelli (1998) recomendaram, em condições de alta frequência de irrigação, valores mais elevados para  $K_{cb\ ini}$ : 0,70 – 0,90 para irrigações diárias e

0,60 – 0,80 para turno de rega de dois dias. O cálculo dos Kc da fase de produção ( $K_{cb \text{ mid}}$ ) e fase de maturação ( $K_{cb \text{ end}}$ ), para cada situação climática que difira da situação-padrão, é feito por meio da equação descrita a seguir. Os valores de Kcb contidos nas tabelas do FAO 56 (ALLEN et al., 1998), são válidos para culturas mantidas em clima subúmido com umidade relativa mínima de 45% e velocidade do vento de 2,0 m s<sup>-1</sup>, para todas as demais condições esses valores deverão ser corrigidos utilizando a equação 3.

$$Kc_i = Kc_{tab} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\min} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3} \quad (3)$$

Em que:

$Kc_i$  = é o Kc corrigido diário, adimensional;

$Kc_{tab}$  = é o Kc tabelado de cada fase, adimensional;

$UR_{\min}$  = umidade relativa do ar mínima do intervalo considerado, adimensional;

$u_2$  = velocidade do vento, m s<sup>-1</sup>;

$h$  = altura da planta, m.

Os valores apresentados nas tabelas propostas por Allen et al. (1998) são para culturas não-estressadas sob excelentes condições agrônômicas e de manejo de água, condição propícia para produzir potencialmente (ALBUQUERQUE et al., 2002). Quando as culturas divergirem em sua dinâmica de produção do padrão apresentado, fazem-se necessárias adaptações oportunas para cada contexto.

A utilização desse metododo é mais complexa e requer a utilização de softwares ou planilhas eletrônicas para realizá-lo. Ele é comumente utilizado para o manejo diário da irrigação, levando em consideração muitos fatores de planta e solo. Conforme Pereira et al. (2010), é importante dizer que o termo  $K_{cb}$  representa o componente de transpiração da ETc mesmo contendo um componente residual de evaporação difusa.

O  $K_e$  descreve o componente de evaporação da ETc. Quando a camada superficial do solo é molhada devido à chuva ou irrigação, o valor de  $K_e$  é máximo. Quando está seca  $K_e$  assume valores muito pequenos, podendo chegar à zero, o que

significa que não resta mais água na camada superficial do solo para evaporação. Segundo Allen et al. (1998),  $K_e$  pode ser calculado utilizando-se a equação 4.

$$K_e = K_r (k_{c_{\max}} - k_{cb}) \leq f_{ew} k_{c_{\max}} \quad (4)$$

Em que:

$K_r$  = coeficiente de redução da evaporação, adimensional;

$K_{c_{\max}}$  = valor de  $K_c$  máximo quando seguido de chuva ou irrigação, adimensional;

$f_{ew}$  = fração do solo que está molhada e exposta ao sol (não sombreada), adimensional;

$K_{cb}$  = é o valor de coeficiente basal diário;

O valor máximo de  $K_r$  é 1 e acontece durante e logo após uma chuva ou irrigação. A evaporação da água do solo é determinada somente pela energia disponível para a evaporação. De acordo com a secagem do solo,  $K_r$  vai assumindo valores menores até que não reste mais água disponível para a evaporação na camada superficial do solo. Na Figura 2 pode-se observar esse comportamento, onde o eixo x superior representa a umidade do solo e o eixo x inferior, as respectivas lâminas de água.

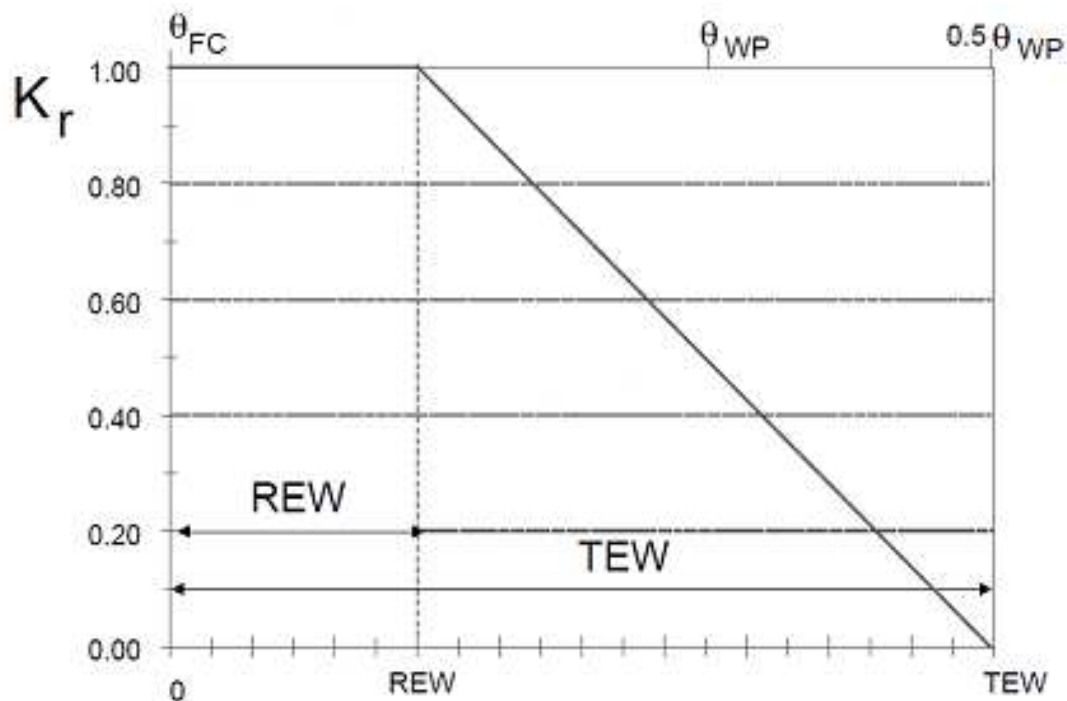


Figura 2. Coeficiente de redução da evaporação  $K_r$  em função da umidade do solo  
 Fonte: Allen et al. (1998).

Para o cálculo da fase decrescente do  $K_r$  (equação 5), é necessário se ter as quantidades da água totalmente evaporável e da água prontamente evaporável (TEW e REW, respectivamente). Como o  $K_r$  reduz linearmente, a equação apresentada para seu cálculo é (ALLEN et al., 1998):

$$K_r = \frac{TEW - De_{i-1}}{TEW - REW} \quad (5)$$

Em que:

$De_{i-1}$  = quantidade de água depletada abaixo da camada superficial do solo no fim do dia anterior, mm;

O  $K_{cmax}$  representa o limite máximo da evaporação e da transpiração para qualquer superfície vegetada. Assume valores entre 1,05 e 1,30 sendo calculada por meio da equação 6:

$$K_{c_{\max}} = \max \left( \left\{ 1,1 + [0,04 (u_2 - 2) - 0,004 (UR_{\min} - 45)] \left( \frac{h}{3} \right)^{0,3} \right\}, K_{cb} + 0,05 \right) \quad (6)$$

A equação descrita assegura que o valor do  $K_{c_{\max}}$  será sempre igual ou maior que  $K_{cb} + 0,05$ , sugerindo que, após um evento de molhamento, o valor do  $K_{c_{\max}}$  será, no mínimo, acrescido de 0,05, mesmo durante períodos de cobertura completa da cultura.

A evaporação do solo, segundo Raes et al. (2011), pode ser estimada com uma abordagem diferente no que diz respeito a área coberta pela cultura. Já que a equação (7) ajusta o fator de cobertura para efeitos micro advectivos ( $1 - fc^*$ ), representaria a parte descoberta do solo, sujeita apenas à evaporação:

$$E = Kr(1 - fc^*)Ke_x ETo \quad (7)$$

Onde:

$Ke_x$  = coeficiente de evaporação máxima do solo, adimensional;

$E$  = evaporação do solo, mm.

O valor do coeficiente de evaporação máxima do solo pode mudar de acordo com algumas características como cobertura com mulch ou irrigações parciais. Allen et al. (2005) propuseram alterações no cálculo do  $Ke$  e  $Kr$  considerando uma situação em que o solo é molhado somente por chuva e outra quando o solo é molhado por chuva e irrigação.

## 1.6 Metodologia GESAI

O método de estimativa de evapotranspiração da cultura denominada GESAI (nome dado em homenagem ao Grupo de Pesquisa e Soluções para Agricultura Irrigada, coordenada pelo professor Everardo Mantovani), proposta por Mantovani; Costa (1998), para se estimar a evapotranspiração da cultura é uma modificação da equação original proposta por Doorenbos; Pruitt (1977), e se resume na equação 8.

$$ET_c = ET_0 K_c K_s K_l \quad (8)$$

Em que:

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura, mm d<sup>-1</sup>;

$ET_0$  = evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

$K_c$  = coeficiente de cultura, adimensional;

$K_s$  = coeficiente de estresse hídrico, adimensional e,

$K_l$  = coeficiente de localização, adimensional.

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) utilizado no modelo GESAI é o método Penman-Monteith parametrizado pela FAO para uma cultura hipotética e representa a demanda atmosférica local, sendo que o software Irriplus® pode utilizar diferentes equações ajustadas aos parâmetros meteorológicos disponíveis.

O software Irriplus® utiliza a equação 8 para estimar a demanda hídrica da cultura e realizar o balanço hídrico diário de água no solo. O programa é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão em diversos níveis em uma propriedade rural, sendo especialmente indicada a sua utilização para manejo de irrigação. Ele define a lâmina bruta de irrigação por meio de um balanço hídrico, em que as entradas de água são por meio da irrigação e precipitação efetivas e as saídas, a evapotranspiração da cultura e percolação, além da profundidade considerada para o sistema radicular.

O coeficiente de cultura, ( $K_c$ ), é basicamente a relação entre a evapotranspiração potencial da cultura ( $ET_{pc}$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), e representa uma integração dos efeitos de quatro características principais que distinguem uma cultura de campo típica da cultura de referência grama. Estas características são a altura da cultura, albedo (refletância) da superfície cultura-solo, resistência do dossel e evaporação do solo (ALLEN et al., 1998). O coeficiente de cultura é utilizado na aproximação do cálculo da evapotranspiração da cultura sob condições padrão. Estas condições se referem a culturas desenvolvidas em grandes áreas em condições agronômicas, climáticas e de umidade do solo adequadas de modo a proporcionar altas produtividades.

Os valores de  $K_c$  variam com o tipo de cultura, seu estágio de desenvolvimento, o comprimento do seu ciclo vegetativo e as condições climáticas locais (BERNARDO

et al., 2006). Na maioria das culturas anuais, o valor de Kc aumenta a partir da emergência até um valor máximo no período em que é alcançado seu pleno desenvolvimento, diminuindo a partir daí até a maturação (DOORENBOS; KASSAN, 1979). Quando a cultura desenvolve ocorre mudança na cobertura do solo, altura da cultura e na área foliar. Devido às diferenças na evapotranspiração durante os estádios de crescimento, o Kc para uma determinada cultura será diferente para cada um dos quatro estádios, e são eles: inicial, desenvolvimento, intermediário e final.

Doorenbos; Pruitt (1977) apresentam uma metodologia para determinar os valores de Kc durante o ciclo de desenvolvimento de várias culturas. No entanto, segundo Bernardo et al. (2006), considerando as condições do Brasil, onde na maior parte do território a irrigação deve ser suplementar, pode-se de uma maneira mais simplificada, usar os valores de Kc apresentados na Tabela 2. De maneira geral, quanto maior a demanda evapotranspirométrica local ou quanto mais sensível for a planta ao déficit de água no solo, maior deverá ser o valor de Kc.

Tabela 2. Caracterização do estágio de desenvolvimento e seus respectivos valores mais usuais

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

Fonte: Bernardo et al. (2006)

No estágio inicial, o valor de  $K_c$  está relacionado principalmente com a evaporação do solo, sendo dependente da demanda evapotranspirométrica e da umidade do solo local, ou seja, das frequências de irrigações ou chuvas.

No estágio secundário ou de desenvolvimento vegetativo, com o desenvolvimento da cultura e o sombreamento cada vez maior do solo, a evaporação se torna mais restringida e a transpiração gradualmente torna-se o processo principal. No decorrer do estágio de crescimento, o valor de  $K_c$  corresponde a quantidades de cobertura do solo e crescimento da planta.

O estágio intermediário ou de produção é o estágio mais longo para as culturas permanentes e muitas culturas anuais, no entanto, pode ser relativamente pequeno para olerícolas que são colhidas frescas. Nesta fase, o  $K_c$  alcança seu valor máximo, sendo definido pela transpiração. O valor para  $K_c$  ( $K_{c\text{méd}}$ ) é relativamente constante para a maioria das vegetações e condições culturais (ALLEN et al., 1998).

No estágio final ou de maturação o coeficiente de cultura reflete as práticas de cultivo e o manejo da água. O  $K_c$  final terá valor alto se a cultura frequentemente for irrigada e colhida fresca ou terá valor baixo caso ocorra senescência e a secagem no campo antes da colheita. Neste último período o  $K_c$  decresce linearmente.

Por definição,  $ET_c$  é a evapotranspiração de determinada cultura, sob condições normais de cultivo, isto é, sem a obrigatoriedade da umidade permanecer sempre próximo à capacidade de campo. Sendo assim, a  $ET_c$  será menor ou, no máximo, igual a evapotranspiração potencial da cultura,  $ET_{pc}$  (BERNARDO et al., 2006). O cálculo da  $ET_c$  sob condições reais, pode ser obtido através da utilização do fator de umidade do solo ( $K_s$ ).

O coeficiente de umidade do solo ( $K_s$ ), expressa o efeito do estresse hídrico causado pela diminuição da umidade do solo, principalmente nas camadas superficiais. Quando essa umidade está próxima da capacidade de campo, a evapotranspiração de uma cultura é mantida na sua potencialidade e é determinada pelo tipo de cultura e principalmente pelas condições climáticas predominantes. À medida que o solo perde umidade, a  $ET_c$  real apresenta valores abaixo da  $ET_{pc}$ , a partir de determinado teor de umidade do solo.

Se os fatores relacionados com a planta são constantes, o decréscimo da relação  $ET_c/ET_{pc}$  com o da umidade do solo pode ser o resultado do acréscimo da tensão com que a água está nele retida ou do baixo valor de condutividade hidráulica

do solo e dos tecidos das raízes, comparados com a maior demanda evaporativa da atmosfera.

Quando o solo está úmido, a água tem uma energia potencial alta, é relativamente livre para mover e facilmente é transportada para a parte aérea através das raízes da planta. Em solos secos, a água tem baixa energia potencial e é fortemente retida pelo vaso capilar e forças de absorção à matriz do solo, sendo menos extraída pela cultura. Quando a energia potencial da água do solo está abaixo de um valor crítico, é dito que a cultura está com déficit de água. Para condições de água no solo limitante,  $K_s < 1$ . Onde não existe nenhuma restrição de água no solo,  $K_s = 1$  (ALLEN et al., 1998).

A maioria dos pesquisadores acredita que a  $ET_c$  é igual à  $ET_{pc}$  durante algum tempo, decrescendo rapidamente a partir de determinado valor de umidade do solo. Bernardo et al. (2006) apresenta uma equação de grande uso prático para o cálculo do  $K_s$  (equação 9), sendo essa equação a utilizada pela metodologia GESAI.

$$K_s = \frac{\ln(LAA + 1)}{\ln(CTA + 1)} \quad (9)$$

em que:

$K_s$  = coeficiente de umidade do solo, (adimensional);

CTA = capacidade total de água no solo, mm; e

LAA = lâmina atual de água no solo, mm.

O valor de  $K_s$  depende da maneira como se realiza a irrigação (programação lâmina-frequência), no caso específico da irrigação localizada onde o sistema possui alta frequência de irrigação, o valor de  $K_s$  tende próximo da unidade.

Vários trabalhos na literatura relatam o uso do coeficiente de umidade do solo em diversas culturas, dentre eles Oliveira et al. (2003) em trabalhos realizado com cenoura, Bonomo et al. (2008) em pesquisas com de café irrigado, Simão (2004) estudando manejo de irrigação em mangueiras, Moura (2007), utilizou no manejo da irrigação em atemoia, goiaba e pinha para avaliação do uso da água na região do semiárido mineiro. Da mesma forma, Moraes (2011) usou a mesma metodologia em estudos de gerenciamento de perímetros irrigados cultivados com manga, abacaxi, banana, goiaba, limão mamão, maracujá, melão, pinha e uva.

O último fator da equação 8, é conhecido como coeficiente de localização ( $K_l$ ), no caso de sistemas de irrigação localizada, a água é aplicada diretamente na região radicular em pequenas intensidades e alta frequência (MANTOVANI et al., 2009). Neste sistema, é necessário fazer uma correção na evapotranspiração da cultura, já que essa normalmente é expressa em termos de lâmina de água evaporada por dia em toda a área irrigada, e em irrigação localizada não se molha toda a área (BERNARDO et al., 2006).

Diversos autores têm estudado a relação entre  $K_l$  e a porcentagem de área sombreada e, ou, molhada, obtendo as mais variadas equações. Dentre elas, destacam-se as equações propostas por Keller (1978) e Bernardo (1996), na qual têm sido mais utilizadas para culturas com plantios mais adensados, como olerícolas e café em sistema de colheita manual (adensado), as equações, propostas por Fereres (1981), onde têm sido recomendadas para culturas com maior espaçamento, como as fruteiras e as proposta por Keller; Bliesner (1990) onde tem-se obtido bons resultados no emprego em áreas com café em sistema de colheita mecanizada (plantio menos adensado) (BERNARDO et al., 2006; MANTOVANI et al., 2009). Dentre os métodos disponíveis para o cálculo do  $K_l$ , a metodologia GESAI utiliza a equação 10 proposta por Keller; Bliesner (1990) que tem sua utilização ampla, mas pode utilizar outras equações dependendo do tipo de cultura, para melhor estimativa.

$$K_l = 0,1 \sqrt{P} \quad (10)$$

em que,

$K_l$  = coeficiente de localização de irrigação, adimensional;

$P$  = porcentagem de área molhada ou sombreada (sempre escolher o maior entre os dois).

Diante do exposto, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de analisar o desempenho do método GESAI na estimativa da evapotranspiração da cultura do milho em comparação ao método FAO 56 e avaliar a eficiência do aditivo estabilizante/protetor da ureia (Nzone Max®), submetido a diferentes lâminas de irrigação, bem como analisar a influência do mesmo nas características produtivas da cultura do milho e na qualidade do grão.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área experimental**

O trabalho foi realizado no ano agrícola 2014/15, na área experimental (Figura 03) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), município de Coimbra – MG. As coordenadas geográficas do local são 20°49'51"S e 42°48'10"W, com altitude média de 716 m.

A cidade possui, segundo a classificação de Köppen, clima tropical de altitude (Cwb), com uma estação bastante chuvosa, principalmente nos meses de dezembro e janeiro, com média de precipitação de 1300 mm e temperatura média anual de 19 °C. O solo do local foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, argiloso/argiloso com relevo suave ondulado, culínítico (PVA<sub>d</sub>) (EMBRAPA, 2006).



Figura 3. Área utilizada no experimento, com sistema de irrigação do tipo pivô central

A semeadura foi realizada no dia 27/10/2014. Os dados agrometeorológicas, foram obtidas através da utilização de uma estação meteorológica automática, Irriplus modelo E5000, instalado próximo a área experimental. Na Tabela 3 são descritas as especificações técnicas dos sensores fornecidos pelo fabricante.

Tabela 3. Especificação técnica dos sensores da estação meteorológica automática presente na área experimental

Sensores	Alcance	Resolução
Temperatura do ar	-30 a +60 °C	0,06 °C
Umidade relativa	0 a 98 %	0,1 %
Radiação solar	0 a 40000 MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>	0,006 MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>
Velocidade do vento	0 a 25 m s <sup>-1</sup>	0,1 m s <sup>-1</sup>
Pluviômetro	0 a 200 mm h <sup>-1</sup>	0,33 mm

## 2.2 Caracterização do solo

A caracterização nutricional do solo foi realizada a partir da coleta de amostras de solo na profundidade de 0-40 cm (Tabela 2). O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, cujas principais características físicas são apresentadas nas Tabelas 4 e 5. Observa-se que o solo possui boa capacidade de retenção de água, sendo um comportamento esperado para solos do tipo argiloso.

Tabela 4. Resultado da análise física-hidráulica do solo

Profundidade (cm)	Capacidade de Campo ( $\text{g g}^{-1}$ )	Ponto de murcha permanente ( $\text{g g}^{-1}$ )	Densidade do solo ( $\text{g cm}^{-3}$ )
0-20	0,335	0,176	1,26
20-40	0,345	0,180	1,30

De acordo com os resultados da análise física do solo encontram-se nas Tabelas 4 e 5. Verificou-se que o solo possui boa capacidade de retenção de água, característica comum para solos argilosos. A tensão considerada para capacidade de campo foi de 33 Kpa e do ponto de murcha permanente foi de 1500 Kpa.

Tabela 5. Composição granulométrica do solo da área experimental

Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )
240	180	580

A Tabela 6, apresenta o resultado da análise química do solo da área experimental na profundidade de 0 a 40 cm.

Tabela 6. Resultado da análise química do solo na profundidade de 0 – 40 cm

P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	SB	t
mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
22,2	78	3,4	1,94	1,00	0,00	3,00	3,00	3,00
T	V	m	ISNa	MO	P-Rem	S	B	Pb
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	%	%	%	dag Kg <sup>-1</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
6,10	50	0	0,23	2,45	32,0	14,0	0,22	1,07
Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	pH	
mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>		
2,00	74,0	65,0	3,25	1,40	1,35	0,22	6,2	

De acordo com os resultados da Tabela 6, a saturação de bases do solo, apresentou valor de 50%, não necessitando de calagem no momento da semeadura, indicando que o mesmo possui fertilidade razoável, sendo este tipo de solo adequado para a produção de grãos. Os valores de pH foram 6,2 que são adequados para a absorção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> pelas plantas, acarretando adequada nutrição nitrogenada com menor gasto energético direto pelas plantas (PRADO, 2008).

### 2.3 Descrição do equipamento de irrigação

A irrigação foi realizada durante todo o ciclo da cultura por meio de aspersão com um pivô central com emissores do tipo i-Wobler, giro completo com raio irrigado de 83 m totalizando uma área de 2,2 ha. O ângulo de giro do pivô foi subdividido em oito setores de 45° cada fatia. O manejo foi realizado levando em consideração a lâmina calculada nos tratamentos correspondentes a 100%, e realizado a correção de acordo com o déficit ou excesso aplicado.

O valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) do sistema de irrigação foi de 93%. O CUC corresponde à eficiência de distribuição, considerando uma área adequadamente irrigada de 80%, segundo metodologia proposta por Keller; Bliesner (1990).

Na Tabela 7 são apresentadas as informações referentes ao pivô central utilizado no trabalho.

Tabela 7. Informações do sistema de irrigação por pivô central instalado nas parcelas utilizadas no manejo da irrigação

	Característica
Área irrigada (ha)	2,16
Raio da última torre (m)	57,6
Vão em balanço (m)	25,4
Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	15,44
Giro completo (h)	2,92
Lâmina a 100 % (mm)	2,08
CUC (%)	93
Pressão de serviço (mca)	14

#### 2.4 Descrição do Nzone max

O Nzone Max é produzido por uma empresa americana e fabricado sob todas as proposições, regulamentos e normas de boas práticas de fabricação, sendo ambientalmente corretos e estritamente de acordo com as leis e os regulamentos dos Estados Unidos da América. Nzone Max é um produto americano de alta qualidade feito em uma instalação com rigoroso controle de qualidade.

Inicia-se o processo de fabricação com água deionizada que é adicionada primeiramente em um recipiente e aquecida a 80°C e o pH é ajustado usando ácido fosfórico ou hidróxido de potássio. Depois que a água estiver aquecida adequadamente os heteropolissacarídeos de cálcio são dosados e adicionados lentamente. Ao adicionar os heteropolissacarídeos de cálcio, um misturador de cisalhamento fica agitando para assegurar uma distribuição uniforme. Uma vez completamente misturados, o aminoetilpiperazina de cálcio é dosado e adicionado.

O misturador de cisalhamento novamente é usado para assegurar uma distribuição uniforme. A mistura é deixada para aquecer até 20°C. A quantidade necessária de alkylaryl polyoxethylene é dosada e adicionada, e novamente agitada com a misturadora de cisalhamento para misturar uniformemente. Nesta etapa as verificações de controle de qualidade são feitas para adequar às especificações. Após se fazer o controle de qualidade, um corante azul é adicionado à mistura e agitado.

A solução é filtrada através de um filtro de aço inoxidável 304 de 100 micras para remover quaisquer impurezas. Depois da filtragem, o produto está pronto para ser embalado. Segundo informações do fabricante, o Nzone Max® é incolor, no entanto o produto recebe uma coloração azul, outro ponto informado pelo fabricante que o produto após ser misturado pode ficar armazenado por um período de um ano sem perdas.

## **2.5 Manejo da Irrigação**

O manejo da irrigação das parcelas foi conduzido utilizando-se duas ferramentas. Para os tratamentos com a metodologia de estimativa da evapotranspiração da cultura por meio da metodologia FAO 56, utilizou-se a planilha eletrônica fornecida pela FAO, já para o cálculo e acompanhamento de manejo pela metodologia GESAI, utilizou-se o aplicativo agroeducacional Irriplus®, desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Soluções para a Agricultura Irrigada do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (GESAI/DEA/UFV). O software é composto por quatro módulos (Manejo, Decisão, Simula e Avalia), voltados para a utilização no âmbito da agricultura irrigada.

Tanto a planilha eletrônica como o aplicativo Irriplus® foram alimentados diariamente com dados climáticos coletados na estação meteorológica automática presente no local.

Os dois métodos utilizaram o modelo de Penman-Monteith-FAO parametrizada por Allen et al. (1998), para intervalo de tempo de 24 horas, para o cálculo da evapotranspiração de referência e foram calculados pelo aplicativo Irriplus®, de acordo com os elementos meteorológicos disponíveis (radiação solar, temperatura média, máxima, mínima, velocidade do vento, umidade relativa do ar). Os dados meteorológicos diários utilizados para a obtenção da evapotranspiração de referência diária foram: temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar.

Na Tabela 6, são apresentados os valores de  $K_c$  para os diferentes estádios de desenvolvimento do milho, recomendados por Doorembos; Kassan (1979) e utilizados na metodologia GESAI no trabalho. Já os períodos de cada estágio foram os mesmos da metodologia FAO 56 expressos na Tabela 6.

Tabela 8. Valores de coeficiente da cultura do milho nos diferentes estádios de desenvolvimento

Kc inicial	Kc intermediário	Kc final
0,60	1,15	0,80

Fonte: Doorembo; Kassan (1979)

Tabela 9. Coeficiente de cultivo basal tabelado e duração das fases do milho (grãos)

Fase ou estágio	Kcb <sub>tab</sub>	Duração (dias)
I (K <sub>cb ini</sub> )	0,15	20
II	Interpolação	35
III (K <sub>cb mid</sub> )	1,15	40
IV (K <sub>cb end</sub> )	0,50	25

Os coeficientes de cultura basais (K<sub>cb tab</sub>), recomendados no Boletim 56 da FAO, conforme Tabela 17 do capítulo 7, para a cultura do milho (grãos), estão representados na Tabela 9 assim como o período de cada fase utilizado no experimento.

Vale ressaltar que os valores de K<sub>cb</sub> são alterados diariamente toda vez que as condições climáticas se diferem da condição padrão, e são ajustadas utilizando as equações propostas por Allen et al. (1998). A lâmina líquida que o solo armazena foi calculada levando em consideração duas camadas, sendo calculadas separadamente as lâminas de cada camada e depois o somatório das duas.

## 2.6 Descrição dos tratamentos culturais

O híbrido de milho utilizado no plantio foi o DKB 330 PRÓ-II da Dekalb, semeado em espaçamento de 0,80 m entre linhas com densidade de semeadura de seis plantas por metro linear e, densidade de semeadura de 75.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Antes do plantio foi realizado a calibração do equipamento de plantio, com relação ao número de sementes e a quantidade de fertilizante.

Para a mistura do Nzone Max com a ureia foi utilizado um espalhador, comumente conhecido como borrifador, e misturado com a ajuda de enxadas até que a mistura ficasse homogênea. A mistura foi realizada no dia do plantio com toda a ureia utilizada durante o ciclo da cultura, o que não foi utilizada no plantio foi armazenado para utilização na adubação de cobertura. A dose utilizada foi de 3,0 litros do produto por tonelada de ureia.

Anteriormente, cerca de 30 dias, a semeadura, realizou-se a dessecação da área com uso de herbicida Glyphosate (glifosato) a uma concentração de 7,0 L ha<sup>-1</sup>. Durante o cultivo (25 DAS), foi realizada uma aplicação de herbicida Glyphosate a uma dose de 7 L ha<sup>-1</sup> e Antrazina a uma dose de 2 L ha<sup>-1</sup>.

Para a adubação de plantio foram utilizados 400 Kg ha<sup>-1</sup> de NPK, do formulado 08-28-16, aplicados no momento da semeadura. Posteriormente, realizou-se a adubação de cobertura, quando o milho apresentava seis folhas totalmente expandidas, aos 30 dias após a semeadura (DAS), sendo que foram aplicados 220 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia.

## **2.7 Descrição dos tratamentos**

O experimento utilizado foi conduzido seguindo-se um esquema de faixas inteiramente casualizadas, tendo nas faixas quatro lâminas totais de irrigação (L1, L2, L3 e L4) correspondendo a demanda evapotranspirométrica da cultura, sendo que as lâminas de irrigação utilizadas foram respectivamente 0%, 50%, 100% e 150% da lâmina de irrigação necessária para a cultura, e nas subparcelas quatro fases da presença do aditivo Nzone Max® (plantio e cobertura (P+C), somente na cobertura (C), somente no plantio (P) e sem o aditivo (S)).

O cálculo da lâmina total de irrigação necessária para a cultura foi realizado considerando um balanço hídrico de água no solo, tendo como entrada a precipitação e a irrigação e como saída a evapotranspiração da cultura, percolação e escoamento superficial.

## 2.8 Parâmetros Avaliados

Para o melhor entendimento das metodologias de estimativa de evapotranspiração da cultura, foram realizadas algumas coletas ao longo do ciclo da cultura para quantificação de variáveis. Com relação ao estudo da eficiência do aditivo Nzone Max®, submetido a diferentes lâminas de água, sobre o híbrido DKB 330 pro II, foram realizadas diversas determinações ao longo do experimento.

### 2.8.1 Lâminas de irrigação

As lâminas de irrigação foram calculadas (equação 11) para o tratamento de 100% da evapotranspiração da cultura, levando em consideração a eficiência do sistema, para as duas metodologias avaliadas e após a definição dessa lâmina aplicou-se os fatores de correção correspondentes. Na lâmina de 50% da metodologia GESAI, por exemplo, aplicava a lâmina de apenas 50% da recomendação do tratamento utilizado como referência (GESAI 100%), com regulagem do percentímetro em 100%.

$$L_i = \frac{\sum ET_c}{E_i} \quad (11)$$

em que,

$L_i$  = lâmina de irrigação, mm;

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura, mm;

$E_i$  = eficiência da irrigação, adimensional.

### 2.8.2 Avaliações biométricas

Foi determinado aos 60 dias após o plantio o índice de área foliar (IAF) sendo realizada com auxílio do equipamento LICOR-3100 C. Foram retiradas amostras de quatro plantas em cada parcela, escolhida de forma aleatória, (Hermann; Câmara, 1999). A estimativa do IAF foi realizada utilizando a equação 12.

$$IAF = \frac{Af}{Ap} \quad (12)$$

em que:

IAF = índice de área foliar, adimensional;

Af = área foliar, em cm<sup>2</sup>; e

Ap = área da planta, em cm<sup>2</sup>.

Para avaliação do desenvolvimento vegetativo, foram avaliados a altura da planta, altura da inserção da espiga, número de espigas por planta, número de plantas totais, produtividade e massa de mil grãos, no momento da colheita.

Também foi feita uma amostragem coletando-se as plantas de 1,5 m lineares, com três repetições por parcela, aos noventa dias após o plantio (momento ideal de colheita do milho para silagem), para determinação da fitomassa. Após a determinação da massa total de matéria fresca, em cada amostra foi retirada uma sub-amostra, após ter sido triturada. As mesmas foram secas em estufa de ventilação forçada, com temperatura de 60-65°C, até que a massa permanecesse constante. Com esses resultados foi estimada a produção média de matéria seca ao final do ciclo.

Para avaliação do desenvolvimento de características produtivas da cultura, foi demarcada uma parcela utilizada para a avaliação do desenvolvimento, sendo a mesma de seis linhas de plantio com 5,0 m lineares cada, totalizando uma área útil de 24 metros quadrados por parcela, com posterior extrapolação para um hectare. Para demarcação da parcela, utilizou-se uma trena métrica e uma tinta aplicada sobre a superfície do solo, após a demarcação realizou-se as medições das alturas da planta e da altura da inserção da espiga com a fita métrica.

Também foram quantificados a massa de mil grãos, de acordo com a metodologia proposta por Brasil (1992), que corresponde à média da massa de seis amostras de mil grãos, submetidas à análise de desvio padrão, originadas de cada parcela. Assim, do total de grãos oriundos da debulha, retiraram-se seis amostras ao acaso, contendo mil grãos cada, que foram submetidos à pesagem e à determinação imediata da umidade, possibilitando estimar a massa de mil grãos corrigida para 13% de umidade base úmida. Cabe salientar, que o conteúdo de água dos grãos foi obtido mediante o uso do método padrão de estufa.

A produtividade foi obtida a partir da debulha e pesagem dos grãos oriundos de todas as espigas colhidas em cada linha na parcela, que foi convertida para produtividade em quilos por hectare e devidamente corrigida para 13% de umidade. Foram retiradas amostras de cada parcela experimental e enviados ao laboratório para análise.

A população final de plantas foi avaliada pela contagem das plantas em seis linhas da área útil da parcela, considerando-se inclusive as plantas acamadas e quebradas transformando-se a população obtida para a correspondente por hectare, por ocasião da colheita.

A altura de plantas correspondeu à distância média, em metros, entre a superfície do solo e o ponto mais alto da cultura, tomada aleatoriamente de oito plantas da área útil das parcelas experimentais, por ocasião do momento da colheita.

A altura de inserção da espiga correspondente à distância média, em metros entre a superfície do solo e a base de inserção da inflorescência feminina superior foi tomada nas mesmas plantas a que se refere a altura de plantas e inserção de espigas. A relação média entre altura da espiga e altura da planta, foi expressa pela razão entre alturas de inserção de espiga e da planta.

O número de fileiras de grãos foi contado de oito espigas referentes às mesmas plantas utilizadas na quantificação de altura de plantas, altura de inserção, efetuando-se a média de três leituras ao longo de três fileiras escolhidas aleatoriamente.

O índice de espiga (IE) foi determinado pela razão entre o número de espiga produtiva e o número de plantas da área útil da parcela.

O número de espigas por hectare foi estimado indiretamente multiplicando-se a população final e o índice de espiga.

A produtividade de grãos (P) foi obtida a partir da colheita e pesagem de grãos provenientes das espigas das quatro linhas centrais da área útil da parcela, determinando-se o teor de água pelo método gravimétrico (BRASIL, 2009) para obter-se este componente em  $\text{kg ha}^{-1}$ , em equivalente a 13% de umidade.

A eficiência do uso da água (EUA) ( $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) foi calculada relacionando a produtividade de grãos (PG) e a lâmina de água aplicada, utilizando a seguinte expressão (Geerts; Raes, 2009; Lacerda et al., 2009):

$$EUA = \frac{PG}{Li} \quad (13)$$

em que:

PG = produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>);

LI = lâmina de irrigação acumulada (mm).

### 2.8.3 Avaliações do solo

Para avaliação das características químicas do solo, foram realizadas coletas de amostra de solo nos tratamentos ao final do ciclo da cultura. Foram coletadas três amostras por tratamento, sendo que as mesmas foram obtidas utilizando-se um trado e realizada a coleta de cada ponto a uma profundidade de 0 – 40 cm. Essas amostras foram encaminhadas para o laboratório e realizadas análise de: amônia, nitrato, P, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, e Zn. Em cada coleta foram obtidas amostras dentro da parcela escolhido de forma aleatória na linha de plantio entre plantas.

### 2.8.4 Avaliações do manejo da irrigação

Para a determinação das lâminas de irrigação a serem aplicadas, foi utilizado o software Irriplus® que é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisão em diversos níveis em uma propriedade rural, sendo especialmente indicada a sua utilização para manejo de irrigação. A estimativa do consumo de água (evapotranspiração) das culturas utilizando o aplicativo Irriplus se baseia no modelo GESAI de cálculo da evapotranspiração da cultura descrito pela equação 14.

$$ET_c = ET_0 K_c K_s K_l \quad (14)$$

em que:

ET<sub>c</sub> = Evapotranspiração da cultura, mm d<sup>-1</sup>;

ET<sub>0</sub> = Evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

$K_c$  = Coeficiente de cultura, adimensional;

$K_s$  = Coeficiente de estresse hídrico água no solo, adimensional; e

$K_l$  = Coeficiente de ajuste para irrigação localizada, adimensional.

O modelo de estimativa da  $ET_0$  utilizado pelo Irriplus®, de acordo com os elementos meteorológicos disponíveis (radiação solar, temperatura média, velocidade do vento e umidade relativa) foi o modelo de Penman-Monteith-FAO 56 (ALLEN et al., 1998). Os dados meteorológicos utilizados para a realização do experimento foram obtidos em uma estação agrometeorológica automática, localizada no local do experimento.

O valor do coeficiente de estresse ( $K_s$ ) foi calculado utilizando-se o modelo logarítmico proposto por Bernardo et al. (2006), empregando a Equação 15.

$$K_s = \frac{\ln(LAA + 1)}{\ln(CTA + 1)} \quad (15)$$

em que:

$K_s$  = coeficiente de depleção de água no solo, adimensional;

LAA = lâmina atual de água no solo, em mm; e

CTA = capacidade total de água no solo, em mm.

A LAA e a CTA foram obtidas pelas Equações 16 e 17, respectivamente, sugeridas por Bernardo et al. (2006).

$$LAA = \frac{(C_c - U_a) \cdot D_s \cdot Z}{10} \quad (16)$$

$$CTA = \frac{(C_c - PM) \cdot D_s \cdot Z}{10} \quad (17)$$

em que:

LAA = lâmina atual de água no solo, em mm;

$C_c$  = capacidade de campo, % em peso;

$U_a$  = umidade atual do solo, % em peso;

Ds = densidade do solo, g cm<sup>-3</sup>;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm;

CTA = capacidade total de água no solo, em mm; e

PM = ponto de murcha permanente, % em peso.

O valor do coeficiente de ajuste ( $k_L$ ) foi calculado em função da porcentagem de área molhada ou sombreada, utilizando-se o modelo proposto por Keller; Bliesner (1990), conforme a equação 18.

$$K_l = 0,1\sqrt{P} \quad (18)$$

em que:

Kl = coeficiente de ajuste de irrigação, adimensional;

P = porcentagem de área molhada ou sombreada, %.

No experimento, foram utilizados valores do coeficiente de cultura ( $K_c$ ), porcentagem de área sombreada (P) e profundidade efetiva do sistema radicular encontrados na literatura que se aplicam à cultura do milho na região estudada. A porcentagem de área molhada foi de 100%.

## 2.9 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos às análises de variância para comparação das variáveis dependentes nos diferentes tratamentos. Para as comparações de médias utilizou-se o teste Tukey a 5% de probabilidade e realizado a regressão para as lâminas. Para execução das análises estatísticas foi utilizado o programa estatístico SISVAR, desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras.

A análise do desempenho do método GESAI para estimar a evapotranspiração da cultura foi feita comparando-se os resultados obtidos na mesma comparando com a método FAO 56. A metodologia adotada para comparação dos resultados foi utilizada a proposta por Jensen (1990), a qual se fundamenta no erro padrão da estimativa (SEE), calculado pela equação 19:

$$SEE = \left( \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

em que,

SEE = erro-padrão da estimativa, mm d<sup>-1</sup>;

y = evapotranspiração da cultura estimada por FAO 56, mm d<sup>-1</sup>;

$\hat{y}$  = evapotranspiração de referência estimada por GESAI, mm d<sup>-1</sup>; e

n = número de observações.

A exatidão está relacionada à aproximação dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, essa aproximação é dada por um índice designado de concordância ou ajuste, representado pela letra “d” (WILLMOTT et al., 1985). Seus valores variam de zero para nenhuma concordância a 1 para a concordância perfeita. O índice é calculado pela equação 20.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n [(|P_i - \bar{O}|) + (|O_i - \bar{O}|)]^2} \quad (20)$$

em que,

d = índice de concordância ou ajuste;

P<sub>i</sub> = evapotranspiração da cultura obtida por GESAI, mm d<sup>-1</sup>;

O<sub>i</sub> = evapotranspiração da cultura obtida por FAO 56, mm d<sup>-1</sup>;

$\bar{O}$  = média dos valores obtidos por FAO 56, mm d<sup>-1</sup>; e

n = número de observações.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Variáveis climáticas

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam o comportamento climático durante o experimento.

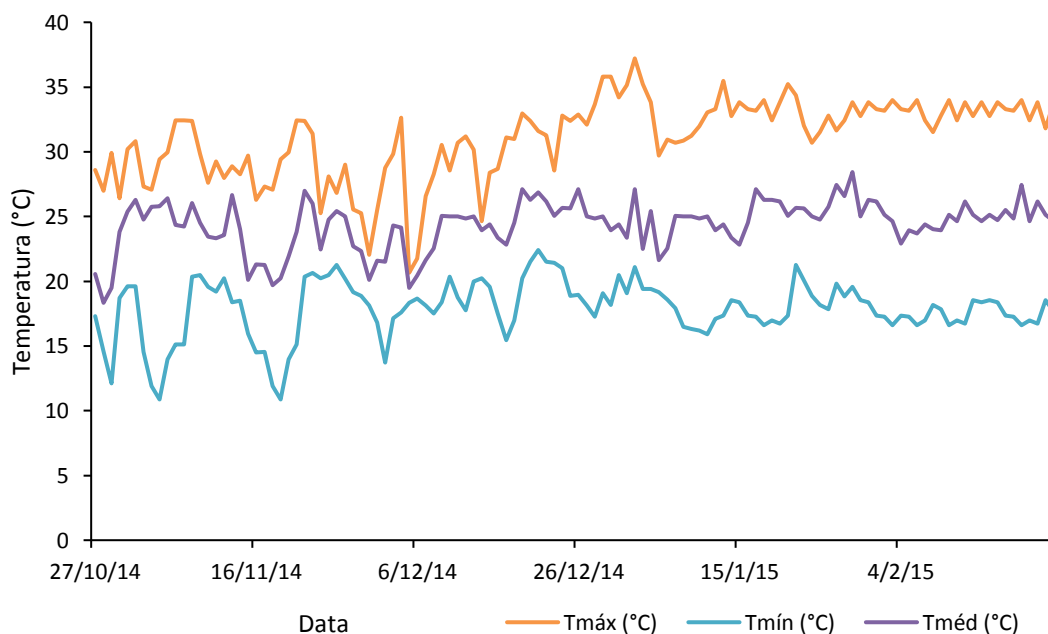


Figura 4. Comportamento das temperaturas máximas (°C), mínimas (°C) e média do ar (°C), entre os meses de outubro/2014 a março/2015

A temperatura do ar atingiu valores de temperatura máxima e mínima de 37,2 °C e valores de 10,9 °C, respectivamente, sendo que os valores de temperatura máxima ocorreram nos meses de janeiro, o que é comum para essa época do ano.

Os valores de umidade relativa do ar alcançou valores médios de 96%; 36% e 75% de máxima, mínima e média, respectivamente, conforme Figura 1. De maneira geral a umidade do local apresentou uma média de umidade relativa de 75% (Figura 5), o que caracteriza uma região de clima úmido. A radiação solar líquida apresentou valor médio de  $215 \text{ W m}^{-2}$  e valores máximos e mínimos de 292 e  $38 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente.

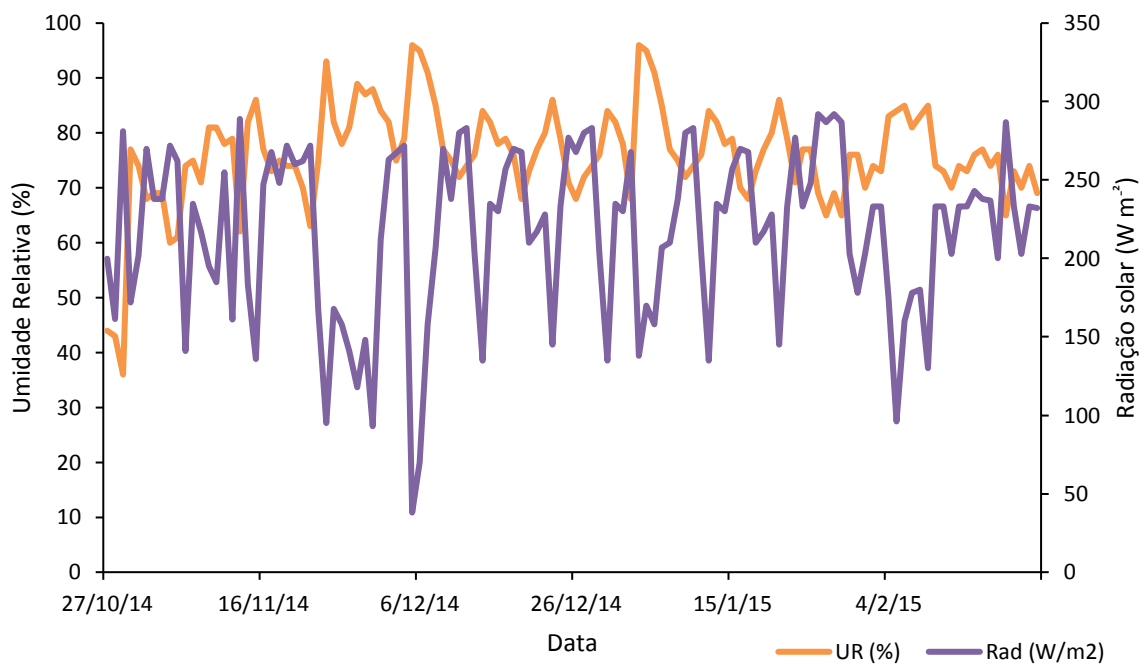


Figura 5. Comportamento da umidade relativa média do ar (%) e da radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ ), entre os meses de outubro/2014 a março/2015

A evapotranspiração da cultura calculada para a lâmina correspondente a 100% foi de 511 mm durante o ciclo da cultura e um valor médio de  $4,26 \text{ mm dia}^{-1}$ , sendo que os valores variaram de 1,13 mm e 6,25 mm. Observa-se que durante a fase final da cultura a evapotranspiração foi maior.

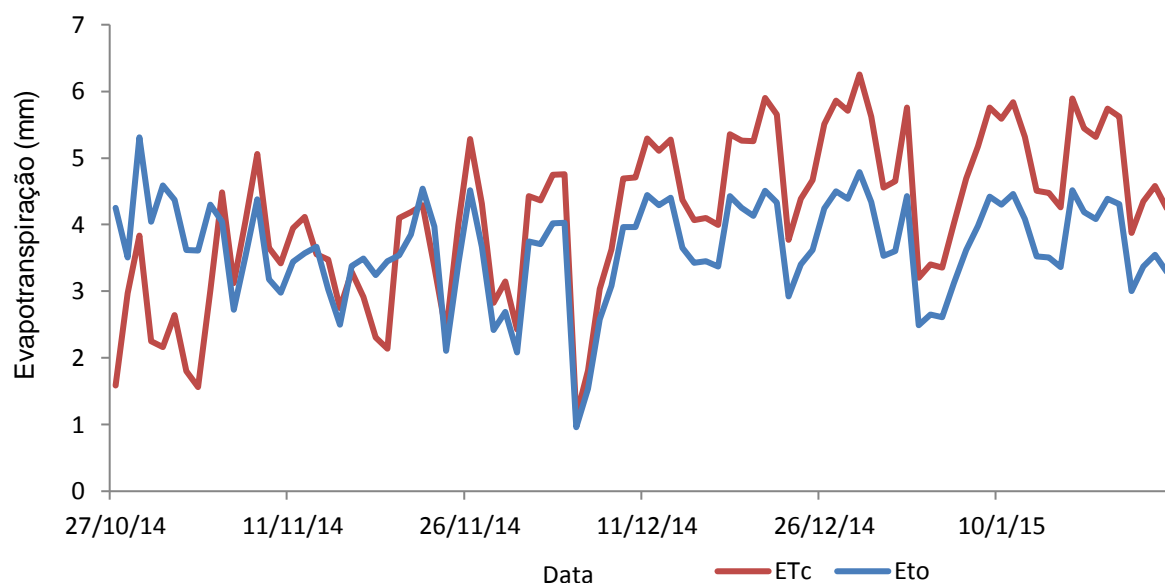


Figura 6. Comportamento da evapotranspiração da cultura (ETc) e de referência (ET<sub>0</sub>) (mm d<sup>-1</sup>) entre os meses de outubro/2014 a março/2015

Na Tabela 10 apresenta-se as lâminas de irrigação utilizadas nos tratamentos considerando a chuva efetiva em cada tratamento. A precipitação efetiva foi estimada considerando o balanço hídrico da lâmina atual de água no solo presente na profundidade considerada do sistema radicular da cultura. Foi utilizado o fator de disponibilidade hídrica de 0,6.

Tabela 10. Lâminas de irrigação (mm), precipitação efetiva (mm) e lâmina total (mm) em cada tratamento

Tratamento	Irrigação		Precipitação Efetiva (mm)	Lâmina Total	
	(mm)	(%)		(mm)	(%)
0%	54,2	19	298,3	352,5	69
50%	161,2	56	272,5	433,7	85
100%	287,4	100	223,0	510,4	100
150%	413,5	144	229,4	642,8	126

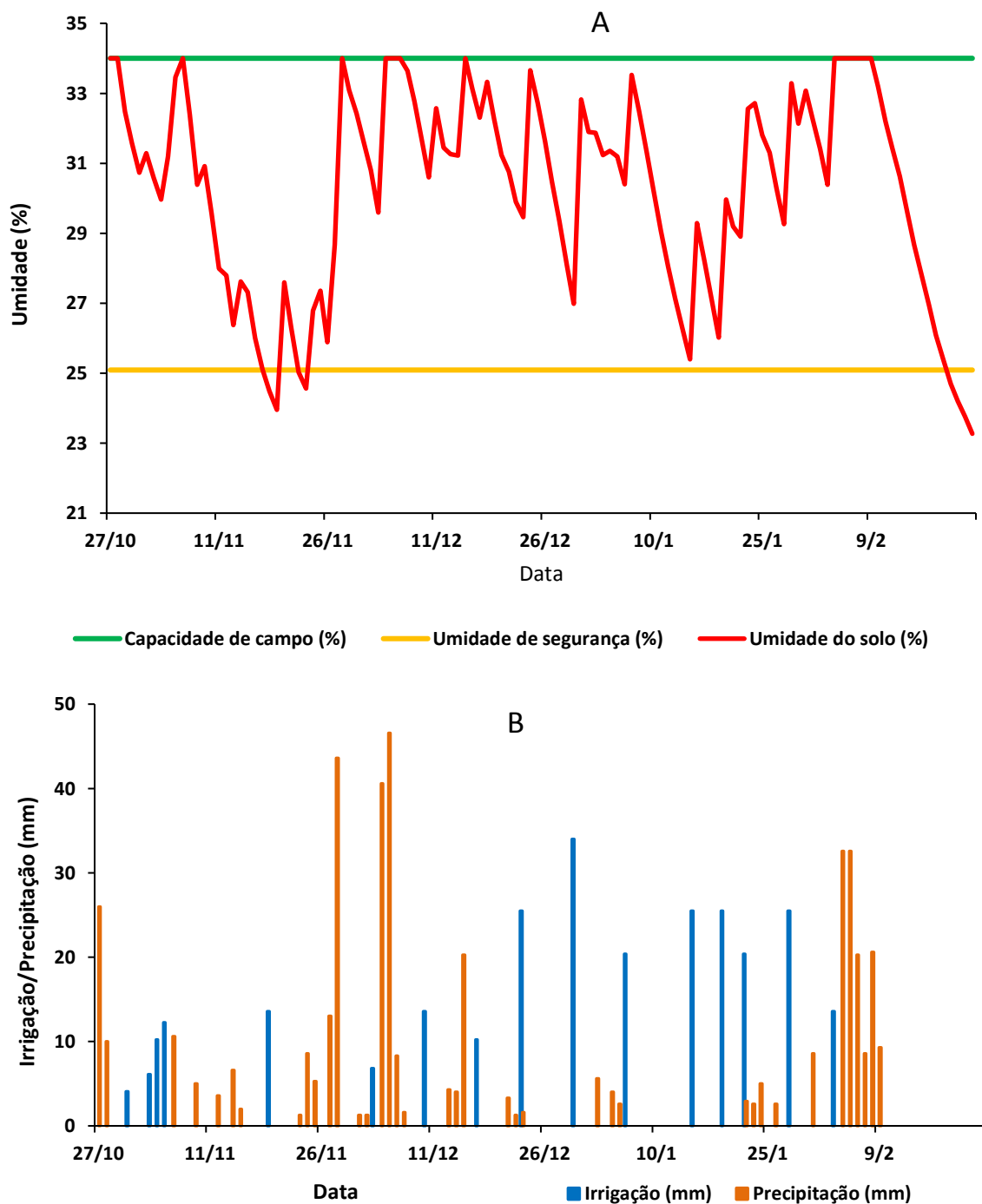


Figura 7. Umidade do solo (A), irrigação e precipitação (B) ocorridos durante o ciclo da cultura do milho, para a lâmina de 100 % da evapotranspiração da cultura

As lâminas totais variaram de 352,5 mm a 642,8 mm, a utilização de diferentes lâminas possibilitou identificar a influência do Nzone Max® sob diferentes situações de excesso e estresse hídrico. A chuva efetiva no tratamento correspondente à lâmina de 150% foi maior que no tratamento de 100%, fato esse explicado pela ocorrência de chuva antes da irrigação na parcela referente a 150%. A precipitação total ocorrida

no período experimental foi de 428,3 mm. A lâmina de irrigação no tratamento de 0% se refere a irrigação para germinação que foi igual para todos os tratamentos nos primeiros 20 dias, sendo utilizada para garantir uma germinação em todos os tratamentos.

O comportamento da umidade do solo mostra que o mesmo esteve entre a capacidade de campo e a umidade de segurança que compreendem 16 irrigações no ciclo da cultura. Na maior parte do período experimental observa-se também a ocorrência de precipitação principalmente no início e no fim do ciclo da cultura, o que fez com que a lâmina total variasse de 69 % a 126 %.

## **3.2 Avaliação das variáveis biométricas da cultura**

### **3.2.1 Índice de área foliar**

Na Tabela 11, estão expressos os valores do índice de área foliar (IAF), obtidos aos 60 e 90 dias após o plantio, para os tratamentos correspondentes à lâmina de 100% da necessidade da cultura. Pode-se perceber que aos 60 dias após o plantio a diferença encontrada foi não significativa, devido a grande variação encontrada nas repetições, no entanto aos noventa dias após o plantio, essa diferença foi significativa, pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade e mostra que o tratamento que recebeu a aplicação do aditivo no plantio e cobertura apresentou maiores índices de área foliar, que é um dos fatores responsáveis pelo aumento na produtividade.

Tabela 11. Valores médios do índice de área foliar (IAF), obtidos aos 60 e 90 dias após o plantio, para os tratamentos correspondentes à lâmina de 100% de referência

Tratamento	IAF (60 dias)	IAF (90 dias)
Sem Nzone	5,58 <sup>ns</sup>	5,64 ab
Nzone Plantio	5,79 <sup>ns</sup>	6,11 ab
Nzone Cobertura	6,61 <sup>ns</sup>	6,45 ab
Nzone Plantio + Cobertura	5,96 <sup>ns</sup>	6,70 b

Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

Segundo Santos; Fageria (2008) o aumento do índice de área foliar provoca o aumento de produtividade, até determinado valor, na qual o autosombreamento provoca diminuição da taxa fotossintética. Sendo assim, a habilidade da cultivar em manter a taxa fotossintética em ambientes mais adensados e em condições de ambientes mais estressantes é um fator a ser considerado na escolha do híbrido.

### 3.2.2 Número de fileiras de grãos por espiga

O número de fileiras de grãos por espiga (Tabela 12) não foi afetado significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, pela presença do Nzone Max®. Alguns autores relatam que este é um importante componente do rendimento de grãos, no entanto Lopes et al. (2007), Noldin; Mundstock (1988) e Gadioli et al. (2000), verificaram a correlação do número de fileiras de grãos com os outros componentes da espiga, quando comparados seis híbridos de milho testados. Como no experimento foi utilizado apenas um híbrido essa diferença não foi perceptível. Pinotti (2013) encontrou valores de número de fileiras por espiga do mesmo cultivar utilizado no experimento, variando de 14,8 a 16, sendo encontrados valores semelhantes, conforme demonstra a Tabela 12.

Tabela 12. Valores médios do número de fileiras por espiga, das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	14,63 <sup>ns</sup>	14,25 <sup>ns</sup>	14,50 <sup>ns</sup>	14,75 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	14,13 <sup>ns</sup>	14,75 <sup>ns</sup>	14,75 <sup>ns</sup>	15,25 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	14,75 <sup>ns</sup>	15,50 <sup>ns</sup>	15,00 <sup>ns</sup>	15,00 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	15,38 <sup>ns</sup>	15,25 <sup>ns</sup>	15,25 <sup>ns</sup>	14,00 <sup>ns</sup>

Os valores representam a média aritmética simples de oito repetições e estão expressos em metros. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

### 3.2.3 Altura da planta

A altura da planta, altura de inserção das espigas, número de grãos por fileira, número de plantas totais e número de espigas totais foram positivamente ( $P \leq 0,05$ ) influenciados pelo acréscimo do Nzone Max na ureia.

Na Tabela 8, estão apresentados os valores médios de altura das plantas de milho cultivadas com Nzone Max presente em diferentes épocas de adubação e em diferentes lâminas de irrigação. Verificou-se que em todos os tratamentos houve diferença significativa em relação à presença do Nzone Max®, para o parâmetro avaliado, porém a análise isolada desse fator não é conclusiva, pois o mesmo mostrou um comportamento diferenciado para cada lâmina.

Tabela 13. Valores médios da altura da planta (m), das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	2,73 bc	2,68 a	2,75 ab	2,73 ab
Nzone Plantio	2,47 a	2,60 a	2,78 ab	2,79 b
Nzone Cobertura	2,61 ab	2,86 b	2,84 b	2,58 a
Nzone Plantio + Cobertura	2,80 c	2,85 b	2,66 a	2,69 ab

Os valores representam a média aritmética simples de oito repetições e estão expressos em metros. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

No entanto, comparando-se os tratamentos com e sem o Nzone Max, somente na lâmina de 50%, que a utilização do Nzone max proporcionou o incremento da altura da planta. Escosteguy et al. (1997) analisando a altura da planta em função do nitrogênio, não encontraram diferenças significativas entre doses de aplicação do N na altura das plantas. No entanto, Cruz et al. (2008) observando os componentes de produção de cultivares de milho e doses de nitrogênio em sistema de plantio direto, observaram que doses de N superiores a 80 kg ha<sup>-1</sup> não contribuíram para o aumento da altura de planta. Segundo Argenta et al. (2001); Pinotti (2003), híbridos de porte alto podem sofrer maiores perdas por acamamento e produzem maior autosombreamento aumentando a competição intraespecífica, sendo assim o aditivo Nzone Max® contribuiu para a redução da altura de planta.

Esteves et al (1994) e Murakami (2000) observaram que plantas com maiores alturas de inserção das espigas poderão predispor a planta ao acamamento ou quebramento, fatores que não ocorreram durante o período de realização do experimento, provavelmente pelo fato de o híbrido utilizado não ser suscetível a essas características indesejáveis, uma vez que a maior altura de inserção das espigas na planta a predispõe ao acamamento, concordando com o que concluíram Casagrande; Fornasiere Filho (2002). Por outro lado, Possamai et al. (2001) afirmam que as perdas e a pureza dos grãos na colheita mecanizada, dentre outros fatores, são diretamente influenciadas pela altura das plantas e, principalmente, pela altura de inserção da espiga. Plantas mais altas e com inserção de espigas também mais altas apresentam vantagens na colheita.

### 3.2.4 Altura da inserção da espiga

Verificou-se que houve diferença para altura de inserção da espiga (Tabela 14) com excesso da lâmina de 150%, porém semelhante ao que aconteceu com a altura da planta, a análise isolada desse fator não é conclusiva, sendo que essa característica é altamente influenciada pelo genótipo e pouco dependente do meio, quando não se varia a densidade de plantas. Silva; Silva (2004) constataram em seus experimentos que a aplicação de N, proporcionou plantas com maior altura de inserção da espiga. Tais resultados são diferentes dos encontrados por Valderrama et al. (2011) e Schiavinatti et al. (2011), que não observaram efeito significativo da aplicação de nitrogênio na altura da inserção da espiga.

Tabela 14. Valores médios da altura de inserção da espiga (m), das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	1,21 ab	1,19 ab	1,21 ab	1,26 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	1,08 a	1,12 a	1,36 bc	1,25 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	1,19 ab	1,38 b	1,38 c	1,14 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	1,27 b	1,33 bc	1,19 a	1,20 <sup>ns</sup>

Os valores representam a média aritmética simples de oito repetições e estão expressos em metros. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup> não significativo.

Pinotti (2003) analisando diferentes híbridos verificou o aumento da inserção da espiga com o aumento da população de plantas, segundo ele este comportamento pode ser explicado pelo aumento da competição por luz, principalmente nas maiores populações. Nesta condição ocorre alteração no sistema de fitocromo, fazendo com que ocorra o aumento da altura da planta e da altura de inserção de espiga, ocorrendo maior efeito de dominância apical e estiolamento da planta. O aumento do estiolamento das plantas em ambientes mais adensados pode ser explicado pela alteração do sistema de fitocromo, bem como pela competição por outros fatores de produção e aumento da competição intraespecífica (BALBINOT; FLECK, 2005). Estes

resultados corroboram com os obtidos por Penariol (2003); Alvarez (2006) e Demétrio (2008).

### 3.2.5 Número de grãos por fileira

Conforme Tabela 15, a utilização do Nzone Max exerceu influência no número de grãos por fileira (NGF) apenas nas lâminas menores (0% e 50%), indicando que em condições de falta de água, o Nzone Max® propicia um maior número de grãos por fileira, uma vez que proporcionou aumento significativo nos valores obtidos.

Tabela 15. Valores médios do número de grãos por fileira, das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	35 ab	35 a	37 <sup>ns</sup>	35 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	34 a	36 ab	38 <sup>ns</sup>	36 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	35 ab	36 ab	39 <sup>ns</sup>	36 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	38 b	39 b	37 <sup>ns</sup>	36 <sup>ns</sup>

Os valores representam a média aritmética simples de oito repetições e estão expressos em unidades de grão de milho. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

É importante destacar que ao utilizar o Nzone Max nas diferentes etapas de adubação, plantio e cobertura, foi possível verificar que a aplicação nas duas etapas de adubação favoreceu a maioria das características analisadas, sendo que a aplicação no plantio está diretamente ligada à formação de raízes e a de cobertura com o enchimento de grãos.

### 3.2.6 Número de plantas por hectare

Observa-se na Tabela 16 que os tratamentos com lâminas de 50 e 100 % tiveram diferenças significativas com relação ao número de plantas por hectare, sendo os tratamentos que não receberam o Nzone Max® obtiveram maiores valores. No entanto, apesar de ter obtido maior número de plantas por hectare, isso não foi

convertido em produtividade, visto que as plantas ficaram menores e com massa menor. A análise conjunta das Tabelas 17 e 21, possibilitam entender que apesar dos tratamentos sem Nzone Max® terem maiores números de plantas, isso não foi convertido em produtividade, visto que os índices de espiga em todos os tratamentos sem Nzone Max foram menores, sobretudo a diferença só foi significativa na lâmina de 50 %, conforme demonstrado na Tabela 20.

Tabela 16. Valores médios do número de plantas totais por hectare, das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	67.500 <sup>ns</sup>	55.000 <sup>ab</sup>	70.000 <sup>b</sup>	67.500 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	60.000 <sup>ns</sup>	47.500 <sup>a</sup>	57.500 <sup>ab</sup>	60.000 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	55.000 <sup>ns</sup>	62.500 <sup>b</sup>	57.500 <sup>ab</sup>	55.000 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	52.500 <sup>ns</sup>	47.500 <sup>a</sup>	55.000 <sup>a</sup>	55.000 <sup>ns</sup>

Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

A presença do aditivo tanto na adubação de plantio, quanto na adubação de cobertura, diminuiu a população de plantas, fato esse que pode ser explicado em parte pela elevada concentração de nitrogênio na fase inicial da cultura, o que pode levar a um índice salino desfavorável para o crescimento da cultura.

### 3.2.7 Índice de espigas

No que se refere ao índice de espigas (espigas/plantas), apenas na lâmina de 50% houve diferença significativam ( $p < 0,05$ ). Estudos de Sangoi (2001) e Argenta et al. (2001), testando nitrogênio, densidades de plantio e épocas de semeadura, não perceberam aumento do número de espigas em função dessas variáveis.

Tabela 17. Valores do índice de espigas, das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	0,94 <sup>ns</sup>	0,95 a	0,96 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	0,96 <sup>ns</sup>	1,05 ab	1,00 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	0,95 <sup>ns</sup>	1,00 ab	1,09 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	1,00 <sup>ns</sup>	1,16 b	1,00 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>

Os valores representam a média aritmética simples de seis repetições. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

### 3.2.8 Massa média de espiga

As massas médias das espigas (Tabela 18) foram superiores nos tratamentos que utilizaram o Nzone Max, nas lâminas de 0% e 100 %, indicando que o Nzone Max favorece no ganho de massa da espiga, no entanto o número de plantas por hectare foi menor nessas parcelas, o que pode ter influenciado (Tabela 17), sendo esse fator fundamental para o aumento da produtividade. Segundo Vallejos Mernes (1998), o aumento de massa das espigas pode estar relacionado com o florescimento antecipado das plantas de milho que ocorrem quando o mesmo se encontra em boas condições nutricionais e climáticas para o estabelecimento e posterior desenvolvimento da cultura, proporcionando maior massa das espigas. Resultados semelhantes foram encontrados por Aguiar; Moura (2003), avaliando parâmetros de duas cultivares de milho, com perspectiva de sua utilização para a agricultura familiar.

Tabela 18. Valores médios da massa da espiga (g), das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	267 a	267 <sup>ns</sup>	294 a	296 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	288 ab	289 <sup>ns</sup>	314 ab	297 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	254 a	291 <sup>ns</sup>	339 ab	297 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	320 b	307 <sup>ns</sup>	348 b	280 <sup>ns</sup>

Os valores representam a média aritmética simples de oito repetições e estão expressos em gramas. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

### 3.2.9 Massa média de mil grãos

A massa de mil grãos é considerada um importante componente de produtividade de grãos, isso porque após o florescimento, qualquer tipo de estresse a que a planta seja submetida, de natureza biótica ou abiótica, poderá afetá-lo significativamente (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

Tabela 19. Valores médios da massa de mil grãos (g), das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	448 <sup>ns</sup>	426 a	458 a	452 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	450 <sup>ns</sup>	452 bc	460 a	454 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	422 <sup>ns</sup>	440 ab	482 b	454 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	450 <sup>ns</sup>	466 c	484 b	446 <sup>ns</sup>

Os valores representam a média aritmética simples de oito repetições e estão expressos em gramas. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

Observa-se na Tabela 19 que houve diferença significativa da massa de mil gramas nas lâminas de 50 e 100 %, sendo que a utilização do Nzone Max aumentou a massa de mil gramas, sendo que os maiores valores foram obtidos com a utilização do Nzone Max no plantio e cobertura.

Pinotti (2013) observou que houve redução da massa de mil grãos quando aumentou-se a população de plantas, resultados semelhantes aos encontrados por Lenzi (1992) e Strieder et al. (2007), demonstrando o efeito da competição intraespecífica em condições de alta densidade populacional. Além disso Pinotti percebeu que dependendo da época de plantio a massa de mil grãos foi influenciada, concluindo que além da competição intraespecífica existente nas altas populações de plantas, o efeito da semeadura tardia também reduz o peso de mil grãos.

O aumento da massa de mil grãos em função da utilização do Nzone Max pode ter sido determinado principalmente pela concentração de N no solo no período efetivo de enchimento dos grãos, à semelhança dos obtidos por Lemcoff; Loomis (1986) e Wolfe et al. (1988). Houve um aumento na massa de mil grãos de 9% e 6% nas lâminas de 50 e 100%, respectivamente. Alguns autores, tais como, Sangoi (2001), ao efetuarem um experimento em que aplicaram nitrogênio em doses crescentes, verificaram efeito linear da adubação nitrogenada sobre a massa de mil grãos de milho. Os referidos autores destacaram que o aumento na massa de mil grãos pode ter sido conseguido devido ao fato de que as maiores disponibilidades de nitrogênio no solo mantiveram a atividade fotossintética por um período mais prolongado, o que resultou no maior acúmulo de carboidratos nos grãos.

### **3.2.10 Produtividade**

A Tabela 20 mostra a produtividade de grãos nas parcelas, sendo que em todos os tratamentos a produtividade dos tratamentos que utilizaram o Nzone Max foram superiores em todas as lâminas, apesar da lâmina de 150 % essa diferença não ser significativa. A parcela experimental que obteve a maior produtividade foi a parcela que utilizou o Nzone Max no plantio e cobertura com lâmina de 100%. A produtividade de grãos apresentou incremento variando de 23% a 28%, se comparados os tratamentos sem o Nzone Max, sendo assim o mesmo apresentou ganho de

produtividade em todos os tratamentos e nas diferentes lâminas estudadas. Vale ressaltar que nas lâminas menores (0% e 50%) essa diferença é maior.

Tabela 20. Valores médios de produtividade (Kg ha<sup>-1</sup>), das respectivas combinações de lâminas de irrigação e tratamentos com e sem aditivo

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	8672 a	9841 a	10282 a	10173 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	9849 ab	10121 a	12255 b	11165 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	10545 ab	10924 ab	12405 b	11204 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	11109 b	12222 b	12617 b	11717 <sup>ns</sup>

Os valores representam a média aritmética simples de seis repetições e estão expressos em quilogramas por hectare. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

Brachtvogel (2010) obteve produção máxima estimada de 11.210 kg ha<sup>-1</sup> com população estimada de 79.130 plantas ha<sup>-1</sup>, esses dados de produtividade de grãos obtidos concordam com outros estudos, em variados espaçamentos, os quais relatam maiores produtividades em densidades populacionais próximas a este valor (BRACHTVOGEL et al., 2009; FURTADO, 2005; FLESCHE; VIEIRA, 2004; PINOTTI, 2003; COX, 1996; THOMISON; JORDAN, 1995; NAFZIGER, 1994). No entanto a maior produtividade obtida foi de 12617 Kg ha<sup>-1</sup>, com população de 55.000 plantas ha<sup>-1</sup>, sendo o efeito da absorção do nutriente maior em relação à produtividade.

### 3.2.11 Matéria seca

A utilização do Nzone Max proporcionou um aumento na produção de matéria seca (Tabela 21) em todas as lâminas, porém na lâmina de 150%, essa diferença não foi significativa pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Esse aumento variou de 31 a 42% quando se utilizou o Nzone Max no plantio e cobertura se comparado ao tratamento sem o Nzone Max.

Tabela 21. Valores médios de matéria seca (t ha<sup>-1</sup>) da fitomassa aos noventa dias após o plantio

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	16,7 a	18,7 a	19,3 a	21,1 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio	17,9 a	18,8 a	24,0 b	22,6 <sup>ns</sup>
Nzone Cobertura	22,0 b	23,3 b	23,7 b	22,9 <sup>ns</sup>
Nzone Plantio + Cobertura	23,8 b	24,5 b	26,3 b	23,4 <sup>ns</sup>

Os valores representam a média aritmética simples de quatro repetições e estão expressos em toneladas por hectare. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

O maior valor de matéria seca foi obtido com a lâmina de 100% e com a utilização do Nzone Max no plantio e cobertura, sendo assim para se obter a maior produção de matéria seca recomenda-se a utilização do Nzone Max no plantio e cobertura.

### 3.2.12 Teor de proteína

O teor de proteína dos grãos de milho (Tabela 22) variou em função da utilização do Nzone Max, sendo que na presença do Nzone Max ocorreram tendência de maiores valores de proteína.

Tabela 22. Valores de proteína bruta (%) presentes no grão de milho no final do ciclo da cultura

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	7,51 a	7,67 a	7,53 a	7,60 a
Nzone Plantio	7,73 a	7,75 a	7,82 a	8,24 a
Nzone Cobertura	8,73 ab	8,81 ab	9,30 b	8,82 a
Nzone Plantio + Cobertura	9,82 b	9,96 b	10,40 b	10,79 b

Os valores representam a média aritmética simples de três repetições e estão expressos em porcentagem. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os maiores teores de proteína bruta foram observados nos grãos cujas plantas receberam aplicação do Nzone Max, com acréscimos percentuais variando de 30 a 42% e sendo significativamente superior aos demais tratamentos. Esses resultados sugerem que a utilização do Nzone Max propicia aumento no teor de proteína bruta nos grãos de milho, ou seja, isto é uma consequência da maior eficiência de aproveitamento da ureia aplicada em cobertura, uma vez que nesta fase do desenvolvimento, as plantas possuem maior demanda pelo nitrogênio, mas vale ressaltar que tanto no plantio quanto na cobertura a utilização do Nzone Max contribuiu para esse aumento no teor de proteína. Foram analisados os teores dos nutrientes P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, porém os efeitos foram não significativos.

### 3.2.13 Eficiência de uso da água

Na Tabela 23 estão apresentados os valores de eficiência no uso da água (EUA), que expressa a relação da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em relação a lâmina utilizada (mm).

Tabela 23. Valores de eficiência de uso da água (EUA) em  $\text{kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	26,6 a	20,6 a	19,4 a	18,7 ab
Nzone Plantio	30,3 b	21,2 a	23,1 b	20,6 b
Nzone Cobertura	32,4 b	25,2 b	24,3 b	17,4 a
Nzone Plantio + Cobertura	34,1 bc	28,2 c	24,7 b	18,2 ab

O maior valor de EUA encontrado foi de  $34,1 \text{ kg mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  (Tabela 23), ou seja, a cada 1,00 mm de água fornecidos se produz 34,1 kg de grãos de milho em um hectare. Verificou-se que a eficiência do uso de água (EUA) aumentou com o decréscimo da lâmina de água aplicada, sendo a maior EUA obtida com o tratamento de 0% (Tabela 23). Tal comportamento pode ser explicado pelo fato do tratamento correspondente a 0% apresentar valores que permitiram o desenvolvimento da cultura com cerca de 69% da demanda evapotranspirométrica. Resultados semelhantes

foram observados por Andrade Júnior et al. (2001) obtendo valores máximos de eficiência do uso da água para lâminas de irrigação correspondente a 75% da  $ET_c$ . É possível perceber que a presença do aditivo contribuiu para o incremento do EUA para todas as lâminas estudadas.

### 3.3 Avaliação das análises de solo

Na Tabela 24 são apresentadas as concentrações médias de três repetições das diferentes formas de nitrogênio presente no solo antes do plantio, sendo que os valores de amônio e nitrato foram obtidos em laboratório pela metodologia de Jones Jr. (1987), e o nitrogênio total obtido pela soma dos dois, sendo desprezados as demais formas de nitrogênio presentes no solo, e para tal consideração foram realizadas a determinação do nitrogênio total obtidos pela metodologia de destilação Kjeldhal.

Tabela 24. Resultados da análise de solo antes do plantio na profundidade 0-40 cm

N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	N total (mg kg <sup>-1</sup> )
26,3	29,3	55,6

Na Tabela 25 estão apresentados os valores das formas de nitrogênio encontrados no solo. Em todos os tratamentos nos quais a ureia foi tratada com o Nzone Max, observou-se que houve um incremento na absorção de amônio pelo solo, porém em algumas parcelas os valores finais foram menores que os valores iniciais, isso pode ser explicado pela alta capacidade de absorção do nitrogênio pela cultura do milho. O incremento da absorção de amônio pela matriz do solo auxilia nas perdas por lixiviação e volatilização do nitrogênio, o que garante uma maior eficiência no uso do nitrogênio. A presença do aditivo na ureia aumentou a disponibilidade de amônio no solo em até 141%, esse valor foi encontrado para lâmina de 100%.

Tabela 25. Valores de amônio (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) presentes no solo no final do ciclo da cultura

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	18,00 a	15,10 a	16,00 a	18,00 a
Nzone Plantio	26,00 b	26,20 b	19,30 a	21,80 ab
Nzone Cobertura	27,30 b	26,00 b	34,40 b	23,50 ab
Nzone Plantio + Cobertura	29,00 b	26,90 b	38,60 b	36,10 c

Os valores representam a média aritmética simples de três repetições e estão expressos em mg por kilo. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5 % de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A análise das amostras de solução do solo coletadas durante o final do ciclo da cultura revelou a ocorrência de teores de nitrato (N-NO<sup>-3</sup>) no solo e esses valores estão expressos na Tabela 26.

Tabela 26. Valores de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) presentes no solo no final do ciclo da cultura

Tratamentos	Lâminas de irrigação			
	0%	50%	100%	150%
Sem Nzone	36,50 a	38,60 a	44,50 <sup>ns</sup>	26,00 a
Nzone Plantio	49,60 b	68,00 b	41,20 <sup>ns</sup>	44,50 ab
Nzone Cobertura	54,00 bc	59,60 b	50,40 <sup>ns</sup>	52,90 bc
Nzone Plantio + Cobertura	65,00 c	63,00 b	48,70 <sup>ns</sup>	67,20 c

Os valores representam a média aritmética simples de três repetições e estão expressos em mg por kilo. Médias acompanhadas de letras distintas na coluna diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. <sup>ns</sup>não significativo.

Observa-se que os maiores valores ocorreram no tratamento com Nzone Max no plantio e cobertura e nas lâminas de extremos, ou seja, com 0% e com a maior lâmina (150 %), isso demonstra que a capacidade de retenção de nitrogênio gerado pelo Nzone Max amplia em condições de estresse hídrico ou excesso de água. Tais valores corroboram os resultados das análises de nitrato no solo e sua magnitude evidencia que as utilizações de Nzone Max implicam em redução do risco real de contaminação das águas subterrâneas, a curto prazo.

### 3.4 Manejo da irrigação

As lâminas totais de irrigação aplicadas durante o período analisado estão expressas na Tabela 27.

Tabela 27. Estimativas das lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos, da precipitação e da drenagem

Tratamentos	Irrigação		Chuva mm	Drenagem chuva mm	Chuva Efetiva mm	Excesso de Irrigação mm	Lâmina Total	
	mm	%					mm	%
FAO 50%	161,2	56	428,3	155,8	272,5	0,7	433,7	85
FAO 100%	287,4	100	428,3	205,3	223,0	7,7	510,4	100
FAO 150%	413,5	144	428,3	198,9	229,4	128,9	642,8	126
GESAI 50 %	162,5	57	428,3	112,6	315,7	6,0	478,2	94
GESAI 100 %	292,5	102	428,3	190,0	238,3	10,9	530,9	104
GESAI 150 %	392,8	137	428,3	278,3	150,0	88,0	542,9	106

Analisando a Tabela 27 foi possível perceber que, as lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos variaram de 161,2 mm até 413,5 mm, e lâminas totais inserindo a chuva efetiva foram de 433,7 mm e 642,8 mm, valores semelhantes foram encontrados por Araújo (1999), que encontrou lâminas variando entre 409,8 e 519,8 mm trabalhando com lâminas de 50 % e 100 % da lâmina recomendada para a cultura do milho. Todos os tratamentos, apresentaram lâminas totais dentro dos limites recomendados para a cultura do milho por Doorenbos; Kassan (1994) e Shaw (1977). Em alguns tratamentos houve excesso de irrigação, devido à lâmina superior à demanda da cultura e à aplicação da irrigação na fase inicial, onde o objetivo foi a facilitação da germinação, com isso aplicava-se a lâmina mínima do pivô. No entanto, a cultura não necessitava dessa lâmina, ocorrendo o excesso nessa fase.

A precipitação acumulada neste período foi de 428,3 mm. Embora a região apresente uma precipitação bem distribuída, no período experimental, a concentração das chuvas ocorreu nos meses de outubro-dezembro, e um longo período de estiagem durante o restante do experimento. Apesar da alta precipitação durante o período experimental, nem toda essa precipitação foi armazenada no solo e esteve disponível para a cultura, sendo que os valores de precipitação efetiva variaram de acordo com o tratamento, sendo que os seus valores se encontraram entre 150 e 315,7 mm.

O cálculo do manejo de irrigação pela metodologia FAO 56 foi realizado em planilha eletrônica fornecida pela FAO, enquanto para o cálculo do manejo da irrigação pela metodologia GESAI foi utilizado o software Irriplus®, e o cálculo da precipitação efetiva, foi realizado por meio do balanço hídrico. No entanto, o software Irriplus® possui uma estimativa do escoamento superficial da água no solo, enquanto a planilha fornecida pela FAO considera que toda precipitação infiltra no solo.

Tendo como padrão de referência o tratamento corresponde ao método FAO 56 e com a lâmina correspondente de 100% da evapotranspiração da cultura (FAO 100%), verifica-se que os valores das lâminas de irrigação foram próximos em todos os tratamentos, demonstrando que as duas metodologias se aproximam nos cálculos da lâmina de irrigação.

Na Figura 8, podemos perceber o comportamento da umidade do solo no tratamento correspondente à lâmina de 100 % da metodologia FAO 56 e as irrigações realizadas no experimento e a precipitação durante o período analisado.

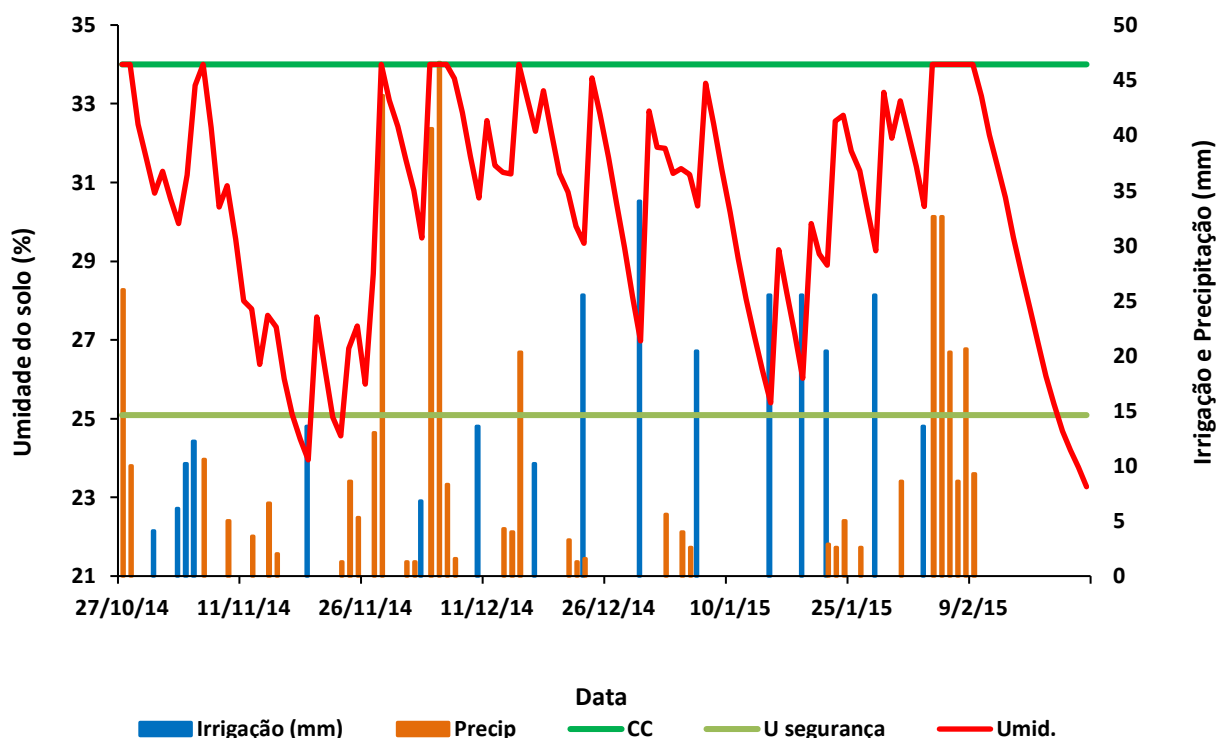


Figura 8. Umidade do solo (% em peso), capacidade de campo, umidade de segurança, irrigação, precipitação pluviais para o tratamento FAO 100 %, estimada pela planilha fornecida pela FAO

Observa-se na Figura 8 que houve chuva no momento da semeadura, sendo retiradas amostras de solo que comprovaram que o mesmo atingiu a capacidade de campo. Os períodos que a umidade do solo permaneceu abaixo da umidade de segurança do solo (umidade referente ao fator de disponibilidade de água do solo) ocorreram principalmente nos períodos de chuva, devido principalmente à dificuldade de manejo da irrigação nesse período, onde sempre se procura usar a maior porcentagem de precipitação efetiva possível.

Comportamento similar foi encontrado no tratamento GESAI com lâmina de 100% da necessidade da cultura conforme Figura 9. A diferença da umidade do solo encontrada pelas duas metodologias, se deve ao fato da evapotranspiração da cultura apresentarem valores distintos, assim como o cálculo da precipitação efetiva.

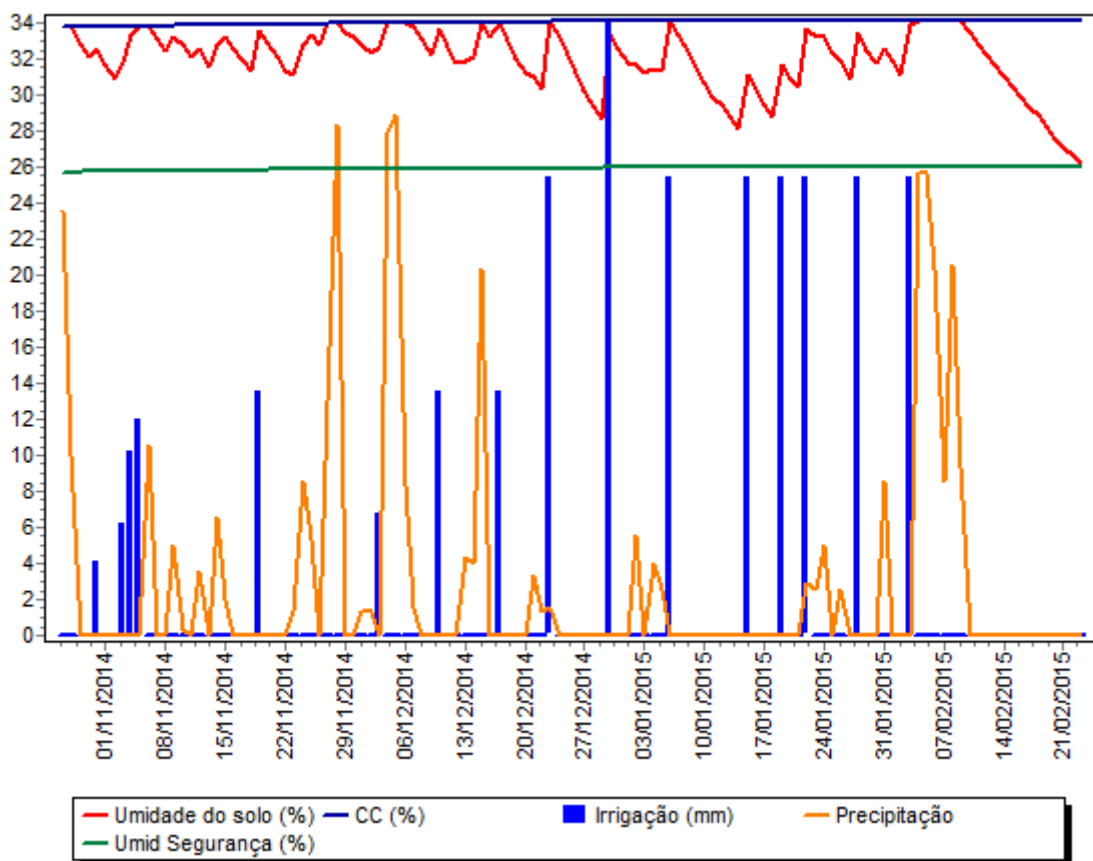


Figura 9. Umidade do solo (% em peso), capacidade de campo, umidade de segurança, irrigação, precipitação pluviais para o tratamento GESAI 100%, estimada pelo software Irriplus

Nas Figuras 8 e 9 as umidades estimadas do solo permanecem mais distantes

da umidade correspondente à capacidade de campo que a umidade do solo na Figura 10, o que pode ter proporcionado menores produtividades nos tratamentos correspondente à lâmina de 50% recomendada pela metodologia GESAI.

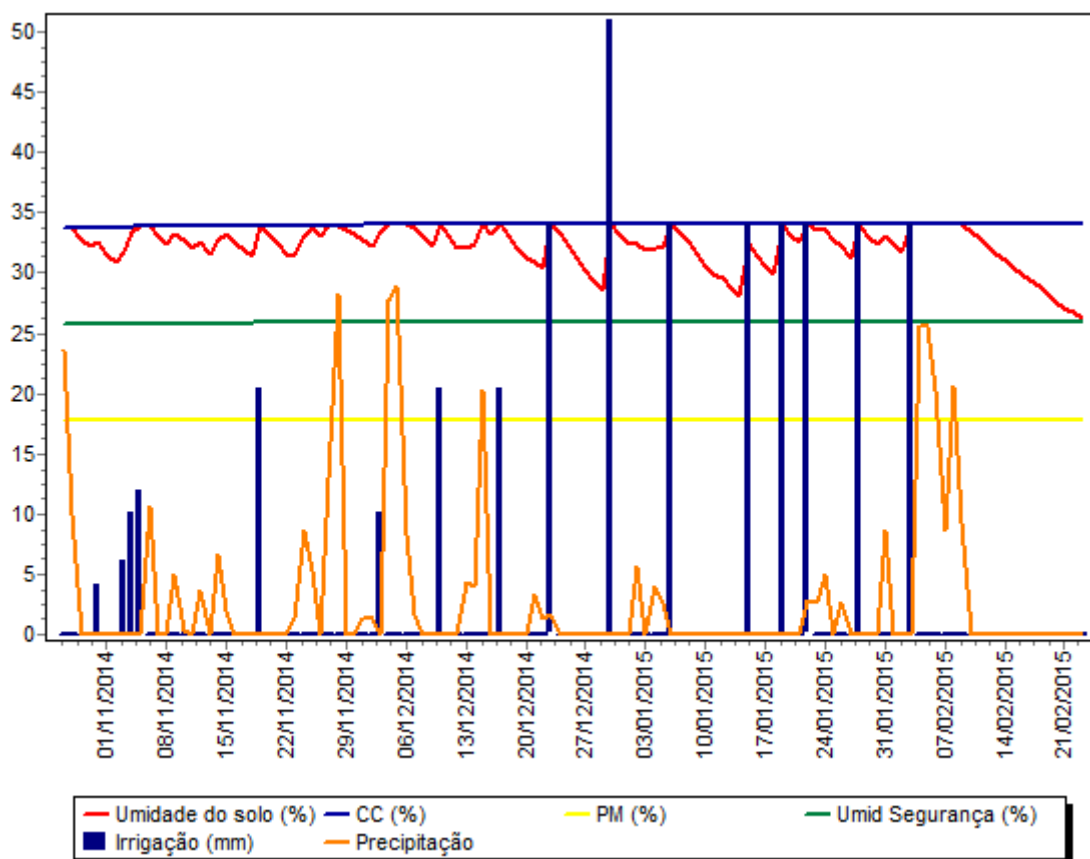


Figura 10. Umidade do solo (% em peso), capacidade de campo, umidade de segurança, irrigação, precipitação pluviais para o tratamento GESAI 150%, estimada pelo software Irriplus

As lâminas de irrigação na parcela correspondente a 150% da necessidade da cultura, além de apresentar lâminas maiores de irrigação, apresentou altos valores de excesso de água, causado pelo próprio excesso da irrigação, mas também do excesso de chuva que ocorreu no período, isso se deve pelo fato de que o solo se encontrava com valores próximos à capacidade de campo, sendo assim a lâmina suportada era inferior ao precipitado e/ou irrigado.

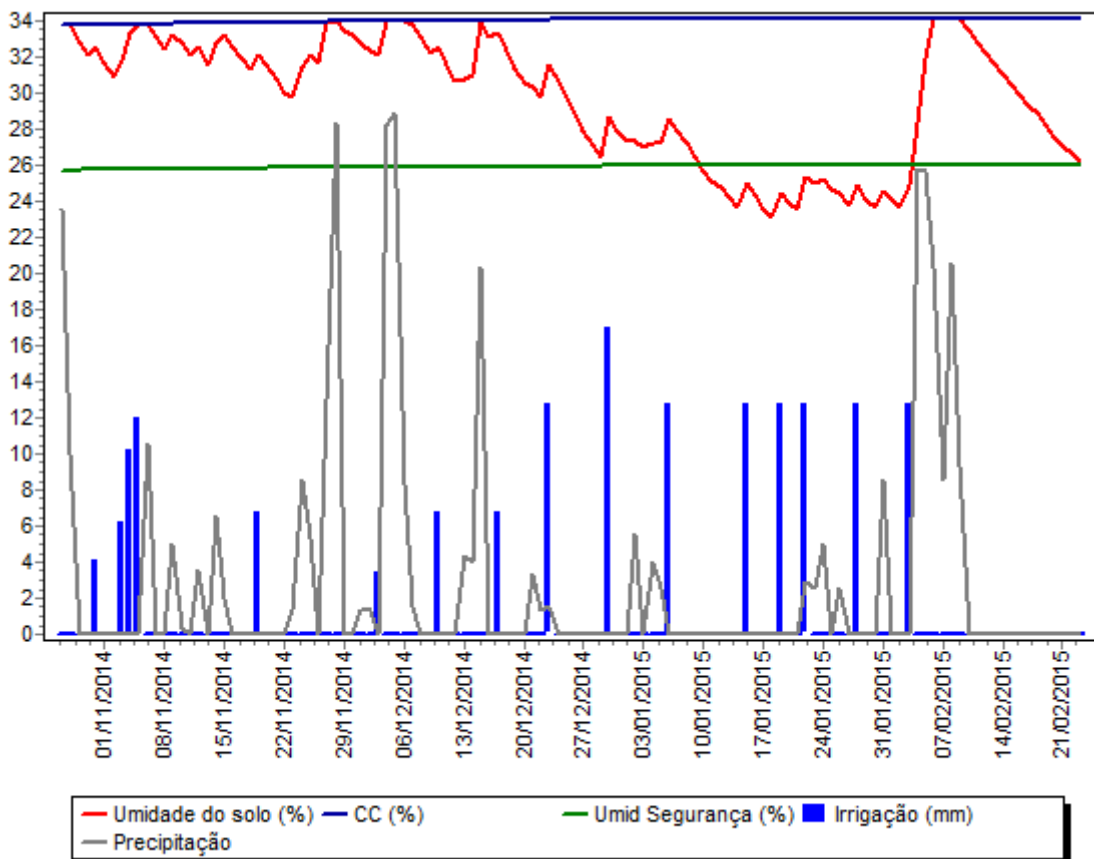


Figura 11. Umidade do solo (gravimétrica), capacidade de campo, umidade de segurança, irrigação, precipitação pluviais para o tratamento GESAI 50%, estimada pelo software Irriplus

Durante o período experimental, quando a cultura se encontrava no estágio três de desenvolvimento, houve um período de veranico, que perdurou por toda essa fase, sendo assim é possível perceber que no tratamento GESAI 50%, a umidade do solo nessa fase abaixo da umidade de segurança, fato esse que influenciou fortemente na produtividade final dessa parcela, pois nessa etapa a cultura necessita de grande quantidade de água.

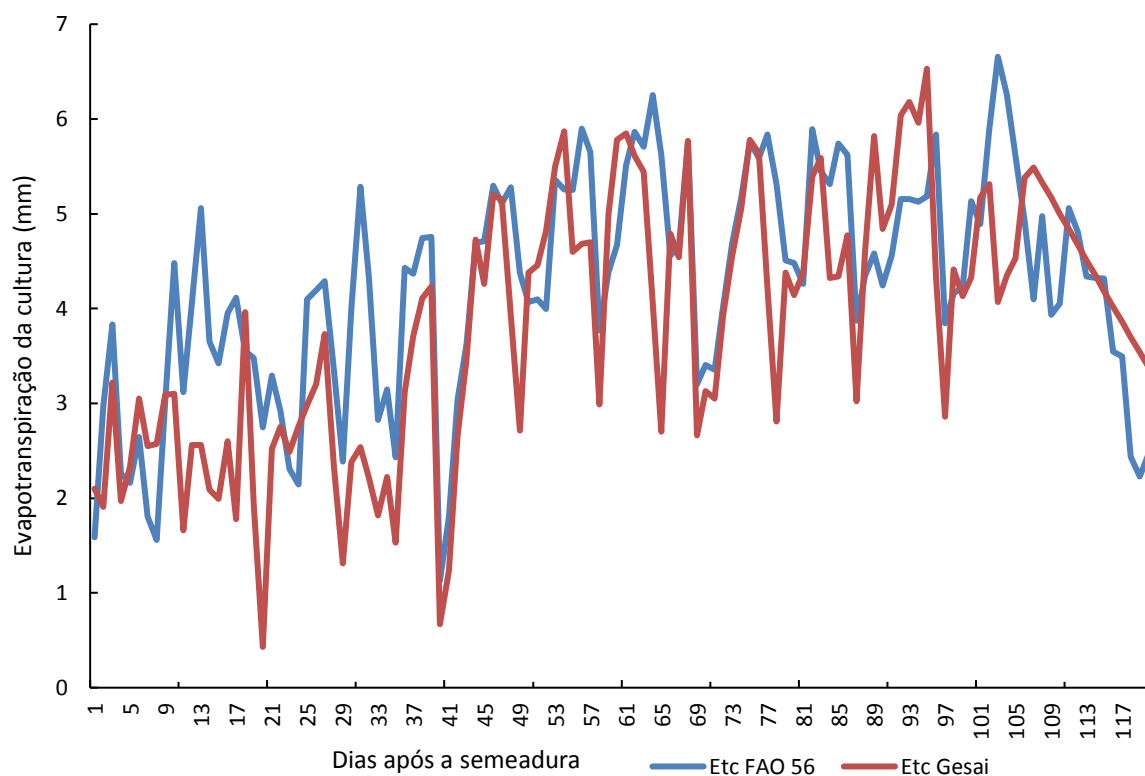


Figura 12. Comparação do comportamento da evapotranspiração da cultura ao longo do ciclo da cultura estimado pelas duas metodologias, GESAI e FAO

A evapotranspiração da cultura estimada pelas duas metodologias, apresentaram valores semelhantes. Pode-se observar na Figura 8 que na maioria dos casos, os valores da evapotranspiração da cultura obtidos pela metodologia FAO 56 é superior ao método GESAI, sendo que na fase inicial esse distanciamento é mais notório.

Na Tabela 28 estão expressos a relação da evapotranspiração obtida pelo método GESAI e FAO 56, e o erro padrão da estimativa e o índice de concordância de Willmott.

Tabela 28. Valores de relação da evapotranspiração da cultura obtidos por ambas as metodologias (GESAI/FAO), erro padrão da estimativa (SEE) e índice de concordância de Wilmott (d) dos valores de evapotranspiração da cultura

GESAI/FAO	SEE	d
0,91	0,72	0,85

Foi possível observar que as duas metodologias apresentaram valores próximos na estimativa da evapotranspiração da cultura, visto que o índice de wilmott foi próximo da unidade, e o erro padrão da estimativa foi pequeno. Com o modelo do GESAI obteve-se valores confiáveis entre o considerado padrão (FAO 56) e o proposto (GESAI), obtendo valores de concordância entre os dados de 0,85 e erro padrão da estimativa de 0,72 mm d<sup>-1</sup>, o que segundo Jamieson *et al.* (1991) é considerado como ótima estimativa.

Na Figura 13 é apresentada a comparação entre os metodos estudados da evapotranspiração em cada estágio de desenvolvimento.

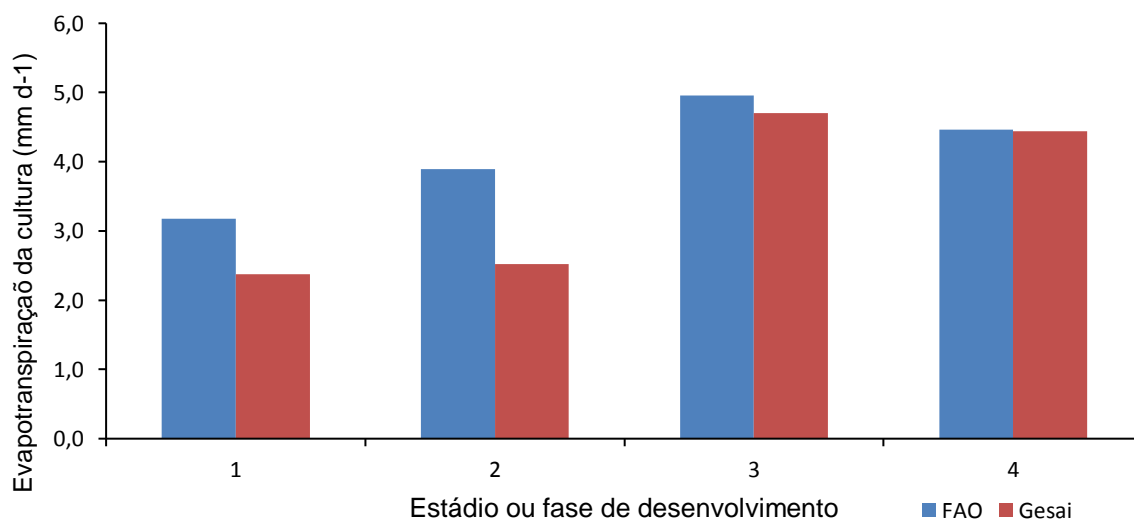


Figura 13. Valores de evapotranspiração da cultura médio por estágio de desenvolvimento, obtido pelas duas metodologias, FAO 56 e GESAI

Observa-se, ainda, que o metodo FAO 56 apresenta maiores valores médios de evapotranspiração da cultura, principalmente nas fases um e dois, quando o componente de evaporação de água no solo apresenta maior influência no cálculo da

ETc. Outro ponto importante é que as irrigações realizadas nos estádios iniciais, foram mais frequentes, sendo assim o cálculo do fator de molhamento do solo se difere nas duas metodologias, o que levou a essa diferença.

Na Tabela 29, estão expressos os valores totais de evapotranspiração da cultura obtidos por cada um dos métodos. É possível perceber que houve uma diferença na estimativa da ETc ao longo do ciclo da cultura de 9,4 %. Conforme observado na Figura 13, essa diferença ocorreu nos estádios iniciais da cultura.

Tabela 29. Valores de evapotranspiração da cultura totais obtido por meio das duas metodologias analisadas.

FAO 56 100% (mm)	GESAI 100% (mm)	Diferença (%)
509,5	462,1	9,4

A Tabela 30, apresenta os valores médios de produtividade da cultura do milho obtidos pelos dois métodos de estimativa da ETc.

Tabela 30. Valores médios de produtividade ( $\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), submetido as duas metodologias de cálculo da evapotranspiração da cultura aas diferentes lâminas de irrigação

Tratamentos	Lâminas de irrigação		
	50%	100%	150%
FAO 56	10507	10874	11413
GESAI	11188	11665	12419

Os valores de produtividade obtidos utilizando-se os dois métodos para o cálculo da evapotranspiração da cultura, apresentaram diferenças pequena, variando de 5,6% a 8,2%, sendo que em todos as lâminas a produtividade foi maior na metodologia GESAI. Deve-se ressaltar que à principal diferença no cálculo das lâminas pelas duas metodologias ocorre com maior intensidade na fase inicial da cultura, sendo assim a lâmina recomendada pelo método FAO é maior nas duas fases iniciais. Essa alta umidade do solo na fase inicial não estimula a cultura a aprofundar

as raízes, visto que existe alta disponibilidade de água no solo. No entanto, o não aprofundamento das raízes tem como consequência a redução do volume de solo explorado pela cultura, que pode ser uma das razões da redução da produtividade.

#### 4. CONCLUSÕES

A produtividade foi positivamente influenciada pela presença do aditivo/estabilizante, obtendo produtividade de grãos de até 28 % e ganho de matéria seca de até 42 %.

A utilização do aditivo/estabilizante proporcionou maiores valores nos teores de proteína bruta.

Foi observado que os valores de evapotranspiração da cultura obtidos utilizando-se o método FAO 56 apresenta valores mais elevados, se comparado com o método GESAI nas fases iniciais da cultura.

Os valores de evapotranspiração da cultura, calculadas pelos dois métodos, apresentaram valores próximos, indicando que a metodologia GESAI apresenta similaridade com a método recomendada pela FAO, no entanto o método GESAI apresenta maior facilidade na obtenção de seus coeficientes de ajustes.

Para maximizar a produtividade de grãos e a produtividade de matéria seca da fitomassa do milho híbrido DKB 330 pro II, recomenda-se a utilização do aditivo/estabilizante na ureia nas adubações de plantio e cobertura e lâmina de irrigação correspondente a 100% da demanda evapotranspirométrica da cultura.

O método GESAI para estimativa da evapotranspiração da cultura proporcionou maiores valores de produtividade, portanto recomenda-se o seu uso em sistema de produção de milho irrigado com manejo intensivo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. C. F.; MOURA, E. G. Crescimento e produtividade de duas cultivares de milho de alta qualidade protéica em solo de baixa fertilidade. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 429-435, 2003.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; Guimarães, D. P. Gestão da água na agricultura: Coeficientes de cultivo (Kc) e de tanque classe A (Kp). **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM**, ABID, n.63,p.12-19, 2004.

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

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

ALVAREZ, C.G.D.; VON PINHO, R.G.; BORGES, I.D. Avaliação de características agronômicas e de produção de forragem e grãos de milho em diferentes densidades de semeadura e espaçamento entre linhas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, n.3, p. 402- 408, 2006.

ALVES, ELISEU; SILVA e SOUZA, Geraldo da; ROCHA, Daniela de Paula. Lucratividade de Agricultura. **Revista de Política Agrícola**, edição 2, 2012, Brasília.

AMATYA, D. M.; SKAGGS, R. W.; GREGORY, J. D. Comparison of methods for estimating REF-ET. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 121, n. 6, p. 427-435, 1995.

ANDRADE, F. H. et al. Kernel number determination in maize. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 2, p. 453-459, 1999.

ANDRADE, M.J.B.; MORAIS, A.R.; TEIXEIRA, I.R.; SILVA, M.V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n. 2, p. 242-250, 2001.

ARAUJO, WELLINGTON FARIAS; SAMPAIO, REGYNALDO ARRUDA; MEDEIROS, ROBERTO DANTAS DE. Irrigação e adubação nitrogenada em milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 909-914, Oct. 1999.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; BORTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; MANJABOSCO, E.A.; BEHEREGARAY NETO, V. Resposta de híbridos simples de milho à redução no espaçamento entre linhas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n. 1, p.71-78, 2001.

BALBINOT Jr., A.A.; FLECK, N.G. Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 415-421, 2005.

BALKO, L.G.; RUSSEL, W.A. Response of maize imbred lines to N fertilizer. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 5, p. 723-732, Sept./Oct. 1980.

BÄNZIGER, M.; EDMEADES, G.O.; BECK, D.; BELLON, M. **Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize: from theory to practice**. México, DF: CIMMYT, 2000. 68 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. **Manual de Irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2009. 625 p.

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

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.293-300, 2007.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; FORSTHOFER, E. L. Rendimento de grãos de milho cultivado após aveia-preta em respostas a adubação nitrogenada e regime hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.1101-1106, 2001.

BRACHTVOGEL, E. L. **População de plantas e uso de piraclostrobina na cultura do milho: alterações agronômicas e fisiológicas**. 2010. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

BRACHTVOGEL, E.L. et al. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p.2334-2339, 2009.

BRASIL, **Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**, 2009. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <<http://conjuntura.ana.gov.br/>>. Acesso em: 15 fev 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Secretária Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento de Defesa Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 1992. 365 p

CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R.S.J. The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.384, p.292-305, 2010.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 2, p. 125-137, 2000.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMPOS, J. H. B. C.; Silva, V. de P. R.; Azevedo, P. V. de; Borges, C. J. R.; Soares, J. M.; Moura, M. S. B.; Silva, B. B da. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.150-156, 2008.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. **Informações Agronômicas**, v. s/n, n. 122, p. 12-14, 2008.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M.J.; RESENDE, L.C.L. **Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia**. In: Congresso Nacional da STAB, 7, Londrina, p.82-87, 1999.

CASAGRANDE, J. R. R.; FORNASIERI FILHO, D. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 33-40, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sexto levantamento, março 2014** / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2014.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, 12º levantamento, set/2013** – Brasília: Conab, 2013.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. 8 ed. Brasília: Conab, 2015.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Evapotranspiração de referência com base na radiação solar global estimada pelo método de Bristow-Campbell. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 619-626, 2010.

COSTA, L. C. Agrometeorologia. In: MANTOVANI, E. C., COSTA, L. C. (ed.). Workshop internacional sobre manejo integrado das culturas e recursos hídricos, **Resumos...** Brasília, p. 3-21. 1998.

COX, W. J. Whole-plant physiological and yield responses of maize to plant density. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, n. 1, p. 489-496, 1996.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.1, p.62-68, 2008.

DEMÉTRIO, C.S. et al. Desempenho de híbridos de milho submetidos a diferentes espaçamentos e densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1691-1697, 2008

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. Yield response to water. **Irrig. And Drainage Paper** n°. 33. FAO, Rome. 1979.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. P. 306. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33). 21, 2000.

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

DUETE, R. R. C; MURAOKA, T; SILVA, E. C; TREVELIN, P. C. O; AMBROSANO, E. J. Viabilidade econômica de doses e parcelamentos da adubação nitrogenada na cultura do milho em Latossolo Vermelho Eutrófico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 1, p. 175- 181, 2009.

EBELHAR, S.A.; KAMPRATH, E.J.; MOLL, R.H. Effects of nitrogen and potassium on growth and cation composition of corn genotypes differing in average ear number. **Agronomy Journal**, Madison, v. 79, n. 5, p. 875-891, Sept./Oct. 1987.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; RIZZARDI, M. A.; ARGENTA, G. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 71- 77, 1997.

ESTEVES, A.; CORRÊA, L.A.; ARAÚJO, N.B. Avaliação de cultivares de milho (*Zea mays* L.) de ciclo superprecoce, na entressafra. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 1994, Goiânia. **Resumos...** Goiânia: ABMS/EMGOPA/CNPMS-EMBRAPA/UFG/EMATER-GO, 1994. P.38.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. Ed. Guaíba: Agropecuária, 2004. 360 p.

FERERES, E. Papel de la software a vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado. **Ponencia en IV Seminario Latinoamericano de Microirrigación**. Barquisimeto, Venezuela, 1981.

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos – SISVAR 5.0 (Build 67)**. Lavras: DEX/UFLA, 2003.

FLESCH, R. D.; VIEIRA, L. C. Espaçamentos e densidades de milho com diferentes ciclos no oeste de Santa Catarina, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 25-31, 2004.

FOLEGATTI, M. V.; BLANCO, F. F.; SILVA, L. D. B. **Manejo da irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP/LER, 2003. 123 p.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the south-central region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1677-1684, 2009.

FRENEY, J.R.; DEANMEAD, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G.; CHAPMAN, L.S.; HAM, G.J.; HURNEY, A.P.; STEWART, R.L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Glasgow, v. 31, n. 1, p. 341-349, 1992.

FURTADO, M. B. F. **Sistemas de preparo do solo e populações de plantas em espaçamentos reduzido: comportamento de cultivares de milho (Zea mays L.)**. 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

GADIOLI, J.L et al. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada a soma calórica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.377-383, 2000.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.96, n. 9, p.1275-1284, 2009.

HARGREAVES, G. H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.174, p.701-704, 1974.

HERMANN, E.R. & CÂMARA, G.M.S.; 1999. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, Piracicaba, v. 17, n. 1, p. 32-34.

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

JAMIESON, P. D.; PORTER, J. R.; WILSON, D. R. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. **Field Crops Research**, New Zealand, v. 27, n. 1, p. 337-350, 1991.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p.

JONES Jr., J.B. Kjeldahl nitrogen determination-What's in a name. **Journal of Plant Nutrition**, v.10, p.1675-1682, 1987.

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

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1978. 133 p.

LACERDA, C.F.; NEVES, A.L.R.; GUIMARÃES, F.V.V.; SILVA, F.L.B.; PRISCO, J. T.; GHEYI, H.R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, v.29, p.221-230, 2009.

LEMCOFF, J.H.; LOOMIS, R.S. Nitrogen influences on yield determination in maize. **Crop Science**, v.26, p.1017-1022, 1986.

LENZI, E. A. **População e distribuição espacial de plantas em cultura de milho (*Zea mays L.*)**. 1992. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.

LIMA, F. F. DA. **Bacillus subtilis e níveis de nitrogênio sobre o desenvolvimento e a produtividade do milho**. Ano de obtenção: 2010. 52 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.

LOPES, S.J.; et al. Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. **Ciência Rural**, v.37, n.6, 2007.

LU, J. et al. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. **Journal of American Water Resources Association**, Herndon, v. 41, n. 3, p. 621-633, 2005.

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

MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. Manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos. **Workshop internacional sobre manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos**. Brasília: SRH/MMA – DEA-UFV, 1998. 154 p.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar> Acesso em: 20/12/2014.

MARTHA JR., G.B. **Balanco de N e perdas de amônia por volatilização em pastagem de capim-elefante**. Piracicaba, 1999. 75p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MELO, F. B; CORÁ, J. E; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 27-31, 2011.

MOHAWESH, O. E. Spatio-temporal calibration of Blaney Criddle Equation in Arid and Semiarid environment. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 24, p. 2187-2201,2010.

MORAES, et al. Desempenho de oito cultivares de milho verde na safrinha no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**. Embrapa - Sete Lagoas, v. 9, n.1, p. 79-91, 2011.

MOURA, R. M. (2007), Agrotóxicos: heróis ou vilões? A face da questão que todos devem saber. Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, pag. 23-49.

MUKHERJI, A.; et. Al. **Revitalizing Asia's irrigation**: to sustainably meet tomorrow's food needs. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute; Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2009.

MURAKAMI, D.M. Comportamento de alguns híbridos comerciais de milho (*Zea mays* L.) na Região Sul do Estado de Mato Grosso, safrinha 1997. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: ABMS/EMBRAPA MILHO SORGO/UFU, 2000. P.108.

NAFZIGER, E. D. Corn planting date and plant population. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 7, p. 59-62, 1994

NANDAGIRI, L.; KOVOOR, G. M. Performance evaluation of reference evapotranspiration equations across a range of Indian climates. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 132, n. 3, p.238–249, 2006.

NOLDIN, J.A.; MUNDSTOCK, C.M. Rendimento de grãos e componentes de rendimento de três cultivares de milho em duas épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.615-620, 1988.

OKUMURA R.S. et al. **Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho.**

Oliveira, M. A. A. de; Carvalho, D. F. de. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, p.132-135, 2003.

ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. H. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. **Irrigation Science**, New York, v. 28, n. 30, p. 1-3, 2009.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A. E.; GIROTTO, C. A. E.; MOREIRA, I. C. L. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.358-364, 2008.

PAYERO, J. O.; KLOCKE, N. L.; SCHNEEKLOTH, J. P.; DAVISON, D. R. Comparison of irrigation strategies for surface-irrigated corn in West Central Nebraska. **Irrigation Science**, New York, v. 26, n.24, p.257-265, 2006.

PAZ, et al. Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.465-473. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB, 2000.

PENARIOL, F. G. et al. Comportamento de cultivares de milho semeadas em diferentes espaçamentos entre linhas e densidades populacionais na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2003.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**, London, v.193, n.1, p. 454-465, 1948.

PEREIRA FILHO, I.; CRUZ, J.C. **Cultivo do milho. Sistemas de Produção 1**, Sete Lagoas EMBRAPA, CNPS: 2010. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/plantespa ca.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/plantespa%20ca.htm)>. Acesso em dezembro de 2015.

PINOTTI, E.B. **Características agrônômicas de três cultivares de milho (Zea Mays L.) sob quatro populações de plantas em espaçamento reduzido**. 2003. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

PIONNER, Efeitos do Nitrogênio: doses. **Revista Área Polo**, São Paulo, v.5, n. 11, p. 12-6, 1995.

POSSAMAI, J. M. et al. Sistemas de preparo do solo para o cultivo do milho safrinha. **Bragantia**, v. 60, n. 2, p. 79-82, 2001.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Unesp, 2008.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v.100, p.81-92, 1972.

PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; PRIMAVESI, A.C. et al. **Adubação com uréia em pastagem de Cynodon dactylon cv. Coastcross sob manejo rotacionado: eficiência e perdas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2001. 42p. (Circular Técnica, 30).

REIS JUNIOR, F.B. et al. **Fixação Biológica de Nitrogênio: uma revolução na agricultura.** Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/publico/usuarios/uploads/cursobiotec/capitulo8.pdf>>.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; MAULI, M. M. Desempenho da cultura do milho implantada sobre resíduos culturais de leguminosas de verão em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1287-1296, 2011.

SANGOI, L. Understanding plant density effects on maize growth and development: important issue to maximize grain yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 159-168, jan./ fev., 2001.

SANGOI, L., ALMEIDA, M.L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 13-24, jan. 1994.

SANTOS, A.B.dos; FAGERIA, N.K. Características fisiológicas do feijoeiro em várzeas tropicais afetadas por doses e manejo de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n.1, p. 23-31, 2008

SANTOS, P. A.; SILVA, A. F.; CARVALHO, M. A. C.; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.9, n.2, p.123-134, 2010.

SANTOS, P. G. et al. Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho em Uberlândia, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 5, p. 597-602, 2002.

SCHIAVINATTI, Amanda Failli et al. Influência de fontes e modos de aplicação de nitrogênio nos componentes da produção e produtividade do milho irrigado no cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 925-930, 2011.

SILOTO, R.C. **Danos e biologia de Spodoptera frugiperda (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho.** Piracicaba, 2002. 93p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SILVA, A. A; SILVA, P. R. F; ARGENTA, G; SANGOI, L; MINETTO, T.; RAMBO, L.; SUHRE, E.; STRIEDER, M. Desempenho agrônômico e econômico de tipos de cultivares de milho em função de níveis de manejo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 2004, Cuiabá. **Resumos...** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Empaer, 2004. P. 303.

SILVA, A. M. da; COELHO, G.; SILVA, R. da. Épocas de irrigação e parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro, em quatro safras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.3, p.314-319, 2005.

SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; REZERA, F. Resposta de híbridos de milho Irrigado à densidade de plantas em três épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 585-592, 1999.

SILVA, P. S. L.; SILVA, P. I. B. Efeitos de épocas de aplicação de nitrogênio no rendimento de grãos do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1057-1064, 2002.

SILVA, V. de P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**, London, v.1, n.58, p.575-596, 2004.

SMITH, M.; SEGEREN, A.; PEREIRA, L. S.; PERRIER, A.; ALLEN, R. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guideline for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45 p

STANFORD, G. **Rationale for optimum nitrogen fertilization in corn production**. **J. Environ. Qual.**, 2:159-166, 1973.

STRIEDER, M.L.; et al. A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.634-642, 2007.

THOMISON, P. R.; JORDAN, D. M. Plant population effects on corn hybrids differing in ear growth habit and prolificacy. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, p. 394- 400, 1995.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, Malden v.38, n.1, p.55-94, 1948.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.2, p.254-263, 2011.

VALLEJOS MERNES, F. J. **Influência de sistemas de preparo de solo em algumas propriedades químicas e físicas de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico, argiloso, e na cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 1998. 81 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, Easton, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1985.

WOLFE, D.W.; HENDERSON, D.W.; HSIAO, T.C.; ALVINO, A. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. **Agronomy Journal**, v.80, p.859-864, 1988.