



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

JOSÉ BRUNO REGO DE MESQUITA

**INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, DOSES DE NITROGÊNIO E DE
POTÁSSIO APLICADAS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E POR
FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DO MILHO**

FORTALEZA-CE

2014

JOSÉ BRUNO REGO DE MESQUITA

INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, DOSES DE NITROGÊNIO E DE
POTÁSSIO APLICADAS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO
NA CULTURA DO MILHO

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

FORTALEZA-CE

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- M544i Mesquita, José Bruno Rego de.
Influência de lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação na cultura do milho / José Bruno Rego de Mesquita. – 2014.
87 f. : il. color.
- Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,
Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
Fortaleza, 2014.
Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.
Orientação: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.
1. *Zea mays*. 2. Evapotranspiração. 3. Adubação. I. Título.

JOSÉ BRUNO REGO DE MESQUITA

**INFLUÊNCIA DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO, DOSES DE NITROGÊNIO E DE
POTÁSSIO APLICADAS PELO MÉTODO CONVENCIONAL E POR FERTIRRIGAÇÃO
NA CULTURA DO MILHO**

Tese submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

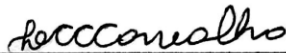
Aprovada em: 24 de novembro de 2014.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)

Universidade Federal do Ceará



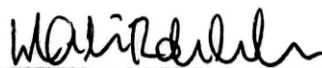
Prof.ª Dra. Lilian Cristina Castro de Carvalho (Conselheira)

Instituto Federal do Ceará (Campus Sobral)



Prof. Dr. Luís Gonzaga Pinheiro Neto (Conselheiro)

Instituto Federal do Ceará (Campus Sobral)



Prof. Dr. Marco Antônio Rosa de Carvalho (Conselheiro)

Instituto Federal do Ceará (Campus Sobral)



Prof.ª Dra. Denise Vieira Vasconcelos (Conselheira)

Faculdade de Tecnologia do Nordeste

Ao meu filho, Carlos Eduardo Rocha de Mesquita
e à minha esposa Maria Tagiana Araújo Rocha.

DEDICO

Aos meus pais José Júlio de Mesquita Neto e Luciene Maria Rego de Mesquita, por todo apoio que me deram até que eu alcançasse este momento. Aos meus irmãos Bruna Rego de Mesquita e José Breno Rego de Mesquita, pela amizade e companheirismo.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

- ✓ Primeiramente a **Deus**, pois sempre guiou meus passos.
- ✓ Aos **meus pais** por tudo que fizeram para dar a mim a melhor educação.
- ✓ À **minha esposa**, pelo carinho, respeito, amizade, companheirismo e estar sempre presente em todos os momentos alegres e tristes.
- ✓ Ao **meu filho**, responsável por muitas alegrias na minha vida e fonte de brincadeira e descontração ajudando no relaxamento.
- ✓ À **Universidade Federal do Ceará**, minha casa há onze anos, e onde adquiri toda minha bagagem de conhecimento.
- ✓ Ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, pela concessão da bolsa de doutorado.
- ✓ À **Universitat Politècnica de València**, na pessoa do Professor Juan Manzano, que aceitou me orientar, oferecendo excelentes condições de trabalho durante meu Doutorado Sanduíche, além da amizade que se firma. A todos do departamento: Professores, Guillermo, Álvaro, Luís e em especial Virgínia e sua “madre”, por todo auxílio à minha família.
- ✓ Ao meu amigo, compadre e orientador **Prof. Benito**, pela orientação, apoio, incentivo, conselhos, que certamente contribuíram de forma significativa para o meu crescimento como pessoa e profissional.
- ✓ A todos da **Estação Agrometeorológica** da UFC, em especial ao Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana, que sempre me ajudou com o que eu precisei para a realização deste trabalho, funcionários, vigilantes e a dona Marilac, com suas merendas sempre gostosas, no fim da tarde.
- ✓ A **todos os meus amigos de graduação, pós-graduação e colegas** que fazem parte da equipe de trabalho, muito obrigado pelos momentos de alegria, descontração, amizade e companheirismo. Em especial aos amigos: Newdmar e Geocleber, pela valorosa contribuição para com o trabalho, desde a instalação em campo até a coleta dos dados.

RESUMO

Na região Nordeste, particularmente no Ceará, a agricultura irrigada contribui bastante com a produção agrícola: frutas, hortaliças, olerícolas e grãos. A cultura do milho, muito tradicional na Região, apresenta grande importância socioeconômica, sendo a mais cultivada por pequenos, médios e grandes agricultores, contribuindo para a geração de emprego e renda e para fixação do homem no campo. O experimento foi conduzido na área experimental da Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará. O solo da região é um argissolo vermelho amarelo de textura areia franca. O experimento foi com o milho híbrido AG-1051. O sistema de irrigação utilizado nos experimentos foi do tipo localizado por gotejamento. Os trabalhos foram conduzidos em dois anos agrícolas (2011 e 2012). A área total cultivada em cada ano foi de 602 m², dividida em três subáreas, para instalação de cada um dos três experimentos. O primeiro experimento consistiu na aplicação de lâminas de irrigação com base na ETo de Penman-Monteith (ET_{OPM}) parametrizada pela FAO, correspondendo aos tratamentos: Li₃₀ – 30% ET_{OPM}; Li₆₀ – 60% ET_{OPM}; Li₉₀ – 90% ET_{OPM}; Li₁₂₀ – 120% ET_{OPM}; Li₁₅₀ – 150% ET_{OPM} e Li₁₈₀ – 180% ET_{OPM}. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, composto de seis tratamentos e cinco blocos (repetições). O segundo experimento consistiu em avaliar diferentes doses de N aplicadas de forma convencional e por fertirrigação. Os tratamentos foram divididos em: F0 e C0 – 0,0 kg ha⁻¹ (controle); F45 – 45 kg ha⁻¹ (fert); C45 – 45 kg ha⁻¹ (conv); F90 – 90 kg ha⁻¹ (fert); C90 – 90 kg ha⁻¹ (conv); F180 – 180 kg ha⁻¹ (fert); C180 – 180 kg ha⁻¹ (conv). O terceiro experimento consistiu em avaliar diferentes doses de K aplicadas de maneira convencional e por fertirrigação. Os tratamentos foram divididos em: F0 e C0 – 0,0 kg ha⁻¹ (controle); F15 – 15 kg ha⁻¹ (fert); C15 – 15 kg ha⁻¹ (conv); F30 – 30 kg ha⁻¹ (fert); C30 – 30 kg ha⁻¹ (conv); F60 – 60 kg ha⁻¹ (fert); C60 – 60 kg ha⁻¹ (conv). O delineamento experimental utilizado no segundo e terceiro experimentos foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2x4 com oito tratamentos e quatro repetições. As lâminas de irrigação apresentaram efeito significativo para as variáveis: massa da espiga com e sem palha, massa de mil grãos e produtividade nos dois anos agrícolas, ajustando-se ao modelo polinomial do segundo grau. A lâmina de irrigação que maximizou a produtividade do milho foi estimada em 124,2% da ET_{OPM}, para as condições climáticas do cultivo realizado em 2012. Em relação à dose de N e sua forma de aplicação, observou-se que a fertirrigação foi superior à adubação convencional, e que as variáveis: massa da espiga com e sem palha e produtividade apresentaram efeitos significativos para a forma de aplicação e dose de N. A dose do adubo nitrogenado que maximizou a produtividade do milho foi estimada em 123,2 kg ha⁻¹. Já, para a dose de K e sua forma de aplicação, observou-se que a adubação convencional não diferiu da fertirrigação, nos dois anos avaliados. Entretanto, as doses de K foram estatisticamente diferentes para as variáveis: massa da espiga com e sem palha e produtividade. Na forma convencional, a dose de potássio que maximizou a produtividade da cultura foi de 82,0 kg ha⁻¹, para as condições de cultivo em 2011.

Palavras-chave: *Zea mays* L. Evapotranspiração. Adubação.

ABSTRACT

In the Northeastern Brazil, particularly in the Ceará state, irrigated agriculture contributes significantly to agricultural production: fruit, vegetable and grain crops. The Maize (corn) culture, traditional in the Region, has great socio-economic importance, being the most cultivated by small, medium and large farmers, contributing to the generation of employment and income, keeping workers from migrating. The experiment was conducted in the experimental area of the Estação Agrometeorológica (agrometeorological station) of the Universidade Federal do Ceará. The soil of the region is sandy red yellow podzolic. The experiment was carried out with AG-1051 hybrid maize. Localized drip irrigation was used in the experiment. The said experiment was performed through 2011 and 2012. The total acreage in each year was 602 m², divided into three parts for installing each of the three (sub) experiments. The first (sub) experiment consisted in applying several irrigation levels based on Penman-Monteith EvapoTranspiration parametrized by FAO, corresponding to treatments: Li₃₀, or 30% PMET_o; Li₆₀, or 60% PMET_o; Li₉₀, or 90% PMET_o; Li₁₂₀, or 120% PMET_o; Li₁₅₀, or 150% PMET_o and Li₁₈₀, or 180% PMET_o. The experimental design was that of randomized blocks, with six treatments and five blocks (replicates). The second experiment consisted of evaluating the effects of different N doses, conventionally applied and applied by fertigation. The treatments were divided into F0 and C0 = 0.0 kg ha⁻¹ (control); F45 = 45 kg ha⁻¹ (fert); C45 = 45 kg ha⁻¹ (conv); F90 = 90 kg ha⁻¹ (fert); C90 = 90 kg ha⁻¹ (conv); F180 = 180 kg ha⁻¹ (fert); C180 = 180 kg ha⁻¹ (conv). The third experiment consisted of evaluating the effects of different doses of K, conventionally applied and applied by fertigation. The treatments were divided into F0 and C0 = 0.0 kg ha⁻¹ (control); F15 = 15 kg ha⁻¹ (fert); C15 = 15 kg ha⁻¹ (conv); F30 = 30 kg ha⁻¹ (fert); C30 = 30 kg ha⁻¹ (conv); F60 = 60 kg ha⁻¹ (fert); C60 = 60 kg ha⁻¹ (conv). The experimental design in the second and third (sub) experiments was that of randomized blocks in a 2x4 factorial arrangement with eight treatments and four replicates. Irrigation levels showed significant effects on the following variables: Corn cob with and without husks, thousand grain weight and productivity in both years, all adjusting to the second degree polynomial model. The irrigation level that maximized the yield of corn (maize) was estimated to be 124.2% of PMET_o, for the climatic conditions of 2012. Regarding the nitrogen dose and its form of application, it was observed that fertigation was superior to conventional fertilization, and the variables Corn cob with and without husks and productivity showed significant effects for the application form and Nitrogen dose. The dose of nitrogen fertilizer that maximized the Maize (or corn) productivity was estimated at 123.2 kg ha⁻¹. However, relatively to the K dose and its form of application, it was observed that the conventional fertilization did not differ from fertigation, in the two years evaluated. However, the K doses were statistically different for following the variables: Corn cob with and without husks and productivity. Conventionally applied, the K dose which maximized the crop yield was 82.0 kg ha⁻¹ for the cultivation conditions of 2011.

Keywords: *Zea mays* L. evapotranspiration. Fertilization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Vista aérea da área experimental pertencente a Estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.....	28
FIGURA 2	Dados climáticos observados durante a condução dos experimentos desde o 1º dia após a semeadura (DAS) até a colheita (90 DAS), nos anos de 2011 e 2012, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.....	29
FIGURA 3	Semeadura e adubação de fundação da cultura (A); plantas com 30 DAS, espaçadas em 1,0 x 0,2 m (B); início do florescimento (C), frutificação (D), secagem em estufa (E), Fortaleza, Ceará, 2011-2012	32
FIGURA 4	Layout do sistema de irrigação instalado na área experimental para condução dos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.	35
FIGURA 5	Área dos experimentos com a cultura do milho e suas subdivisões, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.....	36
FIGURA 6	Layout de um bloco, do experimento de lâmina de irrigação, detalhando os tratamentos distribuídos nas parcelas, as bordaduras e as plantas úteis, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.....	39
FIGURA 7	Detalhe de uma parcela experimental e a forma de identificação, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.....	40
FIGURA 8	Layout de um bloco dos experimentos de adubação (fertirrigação e adubação convencional), detalhando os tratamentos, bordaduras e plantas úteis em cada parcela, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.	41
FIGURA 9	Espigas de milho colhidas aos 90 DAS e submetidas à avaliação, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.....	44
FIGURA 10	Massa da espiga de milho com palha em função da lâmina de irrigação com base na ET_{OPM} , Fortaleza, Ceará, 2011-2012	47
FIGURA 11	Massa da espiga de milho sem palha em função da lâmina de irrigação com base na ET_{OPM} , Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.	48
FIGURA 12	Massa de 1.000 grãos de milho em função da lâmina de irrigação com base na ET_{OPM} , Fortaleza, Ceará, 2011-2012	50
FIGURA 13	Produtividade da cultura do milho em função da lâmina de irrigação com base na ET_{OPM} , Fortaleza, Ceará, 2011-2012	51

FIGURA 14 Massa da espiga de milho com palha em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2011.	56
FIGURA 15 Massa da espiga de milho com palha em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2012.	57
FIGURA 16 Massa da espiga de milho sem palha em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2011.	58
FIGURA 17 Massa da espiga de milho sem palha em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2012.	59
FIGURA 18 Produtividade da cultura do milho em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2011.	61
FIGURA 19 Produtividade da cultura do milho em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2012.	64
FIGURA 20 Massas da espiga de milho com palha (MECP) e sem palha (MESP) e da palha da espiga (MPE) em função da forma de aplicação de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.	68
FIGURA 21 Massa da espiga de milho com palha em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2011.	70
FIGURA 22 Massa da espiga de milho com palha em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.	70
FIGURA 23 Massa da espiga de milho sem palha em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2011.	72
FIGURA 24 Massa da espiga de milho sem palha em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.	72
FIGURA 25 Massa da palha da espiga da cultura do milho em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.	73
FIGURA 26 Produtividade da cultura do milho em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2011.	74
FIGURA 27 Produtividade da cultura do milho em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Análise físico-hídrica do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.....	30
TABELA 2	Análise química do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.....	30
TABELA 3	Percentuais de ET_{OPM} e lâminas de água aplicadas no experimento, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.....	37
TABELA 4	Descrição dos tratamentos, quantidade e forma de aplicação de N, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.....	41
TABELA 5	Descrição dos tratamentos, quantidade e forma de aplicação de K, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.....	43
TABELA 6	Análise de variância pelo teste F, experimento I, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.....	45
TABELA 7	Análise de variância, pelo teste F, experimentos II e III, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012	45
TABELA 8	Análise de variância da regressão, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012	45
TABELA 9	Análise de variância dos dados das massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP) e da palha da espiga (MPE), massa de mil grãos (M1000) e Produtividade (PROD) do milho submetida a distintas lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2011.....	46
TABELA 10	Análise de variância dos dados das massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP) e da palha da espiga (MPE), massa de mil grãos (P1000) e Produtividade (PROD) da cultura de milho submetida a distintas lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2012	47
TABELA 11	Resumo da análise de variância das variáveis: massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP), da palha da espiga (MPE), mil grãos (P1000) e produtividade (PROD) do milho em função da dose e da forma de aplicação de N, Fortaleza, Ceará, 2011	54
TABELA 12	Resumo da análise de variância das variáveis: massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP), da palha da espiga (MP), mil grãos (P1000) e produtividade (PROD) do milho em função da dose e da forma de aplicação de N, Fortaleza, Ceará, 2012.....	55

TABELA 13 Valores médios das interações significativas da massa da espiga sem palha (MESP) da cultura de milho submetida à adubação pelo método convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2012.....	60
TABELA 14 Valores médios das interações significativas da produtividade (PROD) da cultura do milho submetida à adubação pelo método convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2012.....	62
TABELA 15 Resumo da análise de variância para as massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP), da palha da espiga (MPE), de mil grãos (P1000) e produtividade (PROD) da cultura do milho em função da dose e da forma de aplicação de potássio, Fortaleza, Ceará, 2011.....	67
TABELA 16 Resumo da análise de variância para as massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP), da palha (MP), de mil grãos (P1000) e produtividade (PROD) da cultura do milho em função da dose e da forma de aplicação de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	HIPÓTESES	13
3	REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1	Cultura do milho	14
3.2	Manejo da irrigação	17
3.3	Coefficiente de cultivo (Kc)	20
3.4	Manejo da adubação	21
3.4.1	Nitrogênio	22
3.4.2	Potássio	24
3.5	Quimigação (Fertirrigação)	26
4	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1	Localização e caracterização da área experimental	28
4.2	Preparo do solo e condução da cultura	31
4.3	Sistema de irrigação	33
4.4	Manejo da irrigação e da fertirrigação	34
4.5	Área experimental	36
4.5.1	Experimento I: Lâminas de irrigação (Penman-Monteith)	37
4.5.2	Experimento II: Doses e formas de aplicação de nitrogênio	40
4.5.3	Experimento III: Doses e formas de aplicação de potássio	42
4.6	Variáveis analisadas	43
4.7	Análises estatísticas	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1	Experimento I: Lâminas de irrigação (Penman-Monteith)	46
5.2	Experimento II: Doses e formas de aplicação de nitrogênio	54
5.3	Experimento III: Doses e formas de aplicação de potássio	67
6	CONCLUSÃO	76
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Na região Nordeste do Brasil, em especial no Ceará, a agricultura irrigada vem contribuindo bastante com a produção agrícola nos seguimentos da fruticultura, da olericultura, da horticultura e de grãos. Neste último, a cultura do milho, muito tradicional na Região, apresenta grande importância socioeconômica, sendo a mais cultivada por pequenos, médios e grandes agricultores, contribuindo para fixação do homem no campo e para a geração de emprego e renda.

A produção hoje alcançada está, em muitos casos, associada ao manejo inadequado da irrigação e da adubação, que muitas vezes reflete-se em perda de produtividade nas lavouras. A aplicação de lâminas deficitárias acarreta em maiores riscos de salinização do solo, enquanto que lâminas excessivas podem provocar a lixiviação de nutrientes.

Para que se alcance um manejo racional da irrigação, é necessário conhecimento das propriedades de armazenamento de água no solo e de como essa água é perdida através do processo de evapotranspiração (ET), já que a ET de qualquer cultura é uma das principais informações para o manejo racional da irrigação e para fins de planejamento do uso da água. Dentre as abordagens disponíveis para a estimativa do consumo de água pelas plantas, se destaca o uso do coeficiente de cultura (K_c) associado a estimativa da evapotranspiração de referência.

Uma técnica alternativa para aperfeiçoar os recursos disponíveis, seria o uso da quimigação, mais especificamente da fertirrigação, que é uma técnica de adubação que utiliza a água de irrigação para levar nutrientes ao solo cultivado ou a planta, no caso de adubação foliar. Esta técnica tem como uma de suas principais vantagens: o fornecimento de nutrientes para as plantas sem contato direto com o produto; controle da quantidade de nutriente que a planta precisa e economia nos custos de aplicação desse nutriente.

Nesse contexto, o sistema de irrigação do tipo localizado é o mais apropriado para o uso da fertirrigação. Além disso, mostra-se bastante eficiente quando considera-se que os produtos podem ser aplicados a qualquer momento, ou seja, diferente das aplicações convencionais, os fatores meteorológicos têm pouca interferência, e os produtos podem ser aplicados nas quantidades e no momento em que a planta realmente necessita.

Um dos nutrientes que pode ser aplicado via sistema de irrigação é o nitrogênio, nutriente de grande valor em praticamente todos os ecossistemas, mas que pode se tornar um poluente quando transferido de um ecossistema para outro.

Doses de nutrientes em excesso ou em déficit podem tornar as plantas mais suscetíveis aos ataques de pragas e doenças. Neste contexto, o nitrogênio requer uma atenção especial, pois é um dos principais nutrientes que pode causar problemas ambientais, principalmente por meio da lixiviação do íon nitrato para o lençol freático e para os mananciais de água.

O potássio, que é o cátion mais abundante na planta, e é absorvido em grandes quantidades pelas raízes, também pode ser aplicado com essa técnica. No entanto, sua mobilidade no perfil do solo para profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes, preocupa tanto sob o ponto de vista econômico quanto ambiental.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio aplicadas de forma convencional e por fertirrigação na cultura do milho sob as condições do Litoral do Ceará.

2 HIPÓTESES

O uso de técnicas e manejo adequado da irrigação (lâmina de irrigação), nas condições climáticas de Fortaleza, Ceará, otimizará a produtividade e as variáveis produtivas da cultura do milho.

A redução ou o aumento da dose recomendada da adubação nitrogenada e potássica e a forma de aplicar via água de irrigação (fertirrigação) ou convencional poderá maximizar a produtividade e as variáveis produtivas da cultura do milho, reduzindo os impactos ambientais provocados pela lixiviação dos adubos para o lençol freático.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do milho

A cultura do milho pertencente à família poaceae, sendo originária das regiões da América do Sul e Central, ela é a espécie que apresenta a maior variabilidade genética entre as plantas cultivadas, possuindo ampla adaptação ambiental, e sendo encontrada nas mais diversas condições climáticas, altitudes e latitudes. A cultura do milho ainda possui grande diversidade para caracteres quantitativos e qualitativos, incluindo a composição química dos grãos, reação a doenças, capacidade produtiva, arquitetura de planta, ciclo, entre outros (PATERNIANI *et al.*, 2000).

A cultura do milho (*Zea mays* L.) assume importante papel socioeconômico entre as culturas de interesse econômico no Brasil, em virtude de se constituir em matéria-prima impulsionadora de diversos complexos agroindustriais; atualmente, o grande desafio está em se alcançar maior produtividade, diminuindo os custos de produção por meio da incorporação de novas tecnologias no manejo, como irrigação e plantio direto (PEGORARE *et al.*, 2009 p.2).

Quase todos os países produzem milho. Ao todo, são 160 milhões de hectares e 800 milhões de toneladas anuais. A maior área plantada com milho está situada na Ásia, onde só a China possui quase 30 milhões de hectares. No que se refere à produção mundial, quase a metade ocorre nos EUA, em virtude da altíssima produtividade média, inclusive em sequeiro, de 9 a 10 mil kg ha⁻¹, em pouco mais de 35 milhões de hectares (ABRAMILHO, 2014).

O milho é a terceira cultura mais plantada no mundo. Os maiores produtores mundiais de milho são os Estados Unidos, China e Brasil, com safras que alcançam 273; 208; e 74,9 milhões de toneladas, respectivamente (FAOESTAT, 2014). A produção de milho no Brasil caracteriza-se pela divisão da produção em duas épocas do ano. Os plantios de verão (safra) são realizados durante o período chuvoso, que varia de fins de agosto na região Sul até os meses de outubro/novembro no Sudeste e Centro-Oeste e o plantio "safrinha", ou segunda safra, obtida com cultivo de sequeiro, plantado em fevereiro ou março, quase sempre depois da soja precoce, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná e São Paulo, e no Nordeste este plantio ocorre no início do ano (EMBRAPA, 2011).

No Brasil, consideram-se dois aspectos importantes para o recente aumento de produtividade: O primeiro é o contínuo aumento da área com milho safrinha e a diminuição da área de verão, que, de acordo com o último levantamento (IBGE, 2014), a produção total de milho em grãos no Brasil foi de 74,9 Mg, aumento de 0,6% em comparação ao ano

anterior, e com uma expectativa de safra recorde. Dos 74,9 milhões de toneladas de milho produzidas, 35,5 milhões de toneladas são da 1ª safra e 39,4 milhões de toneladas são da 2ª safra. Outro aspecto é o contínuo aumento de tecnologia e da produtividade, já que há 20 anos a área total de milho é praticamente a mesma, embora a produção mais que dobrou.

O mercado mundial de milho é abastecido basicamente por três países: Estados Unidos da América (46 milhões de toneladas), Brasil (20 milhões de toneladas) e Argentina (17 milhões de toneladas), que detêm as maiores exportações. A principal vantagem dos EUA em relação ao Brasil é a logística eficiente, decorrente, principalmente, da excelente estrutura de transporte. O Brasil nunca produziu e exportou tanto milho como atualmente. Em 2013, foram embarcadas quase 20 milhões de toneladas, mais do que o dobro do exportado em 2011, feito esse ajudado pela quebra da safra norte americana. As 20 milhões de toneladas foram exportadas para países como: Japão, Irã, Coreia do Sul e Marrocos. O Ministério da Agricultura dos EUA chegou a declarar, inclusive, que o Brasil deve tomar dos americanos o primeiro lugar no ranking dos países que mais exportam o grão, o que seria um feito inédito (Globo Rural, 2014).

Atualmente participante deste mercado, o Brasil tem que vencer algumas dificuldades se quiser manter-se um dos maiores exportadores de cereal, como a instabilidade cambial e a deficiência da estrutura de transporte até aos portos, o chamado custo Brasil, que têm prejudicado o país na busca de uma presença mais constante no comércio internacional de milho (EMBRAPA, 2011).

Com relação ao consumo interno de milho, o Brasil acompanha a tendência mundial, com a alimentação animal consumindo 70% do milho produzido, sendo este segmento responsável por aproximadamente 75% da demanda interna. No consumo de milho destinado à produção de ração, estima-se que 51% deste total são direcionados ao setor avícola; 33% à suinocultura; 11% à pecuária, principalmente à de leite, 5% para ração de outros animais. Os outros 25% do consumo interno destinam-se à indústria e ao consumo humano. No Ceará, a expansão do cultivo de milho se deve-se ao aumento da demanda por este produto, que foi impulsionada pelo crescimento da produção de aves no Estado e em Pernambuco (EMBRAPA 2011).

Por suas características fisiológicas, a cultura do milho tem alto potencial produtivo, já tendo sido obtida produtividade superior a 16 t ha⁻¹, em concursos de produtividade conduzidos por órgãos de assistência técnica e de extensão rural ou por empresas produtoras de semente. No entanto, a média nacional para a produtividade é muito baixa, cerca de 3,9 t ha⁻¹, demonstrando que o manejo cultural do milho deve ser ainda

bastante aprimorado, para se obter aumento na produtividade e na rentabilidade que a cultura pode proporcionar (EMBRAPA, 2011).

Em relação as condições climáticas ideias de cultivo da planta, seu período de crescimento e desenvolvimento é limitado pela água, temperatura e radiação solar ou luminosidade, este último em regiões que apresenta dias longos e/ou curtos, o que não se enquadra as condições do Nordeste do Brasil. A cultura do milho necessita que os índices dos fatores climáticos, especialmente a temperatura, precipitação pluviométrica e fotoperíodo, para que o seu potencial genético de produção se expresse ao máximo (CRUZ *et al.* 2006).

No Brasil, o cultivo do milho vem desde antes da chegada dos europeus. Os índios, principalmente os guaranis, tinham o cereal como o principal ingrediente de sua dieta. Com a chegada dos portugueses, o consumo aumentou e novos produtos a base de milho foram incorporados aos hábitos alimentares dos brasileiros. No Nordeste, o milho assume papel de destaque na economia dada a sua larga importância na alimentação humana e animal. A baixa produtividade do milho na região tem como principais fatores a instabilidade pluviométrica, as altas temperaturas e o baixo nível tecnológico dos produtores (CARVALHO *et al.*, 2004).

Ao seu favor o cultivo de milho no Nordeste tem a radiação solar, que de acordo com Cruz *et al.*, (2006), é um dos parâmetros de extrema importância para a planta de milho, sem a qual o processo fotossintético é inibido e a planta é impedida de expressar o seu máximo potencial produtivo. Grande parte da matéria seca do milho, cerca de 90%, provém da fixação de CO₂ pelo processo fotossintético. O milho é uma planta do grupo C₄, altamente eficiente na utilização da luz. Uma redução de 30% a 40% da intensidade luminosa, por períodos longos, atrasa a maturação dos grãos ou pode ocasionar até mesmo queda na produção.

No Ceará, a safra agrícola 2011/2012, aponta para uma produção de 1,5 milhão de toneladas de milho, em uma área plantada de 1,4 milhão de hectares, alcançando uma produtividade média de pouco mais de 1,0 t ha⁻¹, valor inferior à média nacional. Apesar da produtividade, ela é 8,4% maior que a produtividade da safra anterior. O crescimento da produção de milho é consequência, principalmente, do aumento da demanda interna para utilização na avicultura, suinocultura e bovinocultura. O consumo anual de milho no Ceará é estimado em 800 mil toneladas. Desse montante, a avicultura absorve 400 mil toneladas, a suinocultura 50 mil toneladas, o consumo humano 150 mil toneladas, ficando retidas na região produtora (autoconsumo) 200 mil toneladas (CONAB, 2013).

Para Paes (2006) a importância desse cereal está associada à versatilidade em sua utilização, pois é considerado um alimento energético para dietas humana e animal, com potencial para ser aproveitado também como fonte proteica. Em países desenvolvidos, a maior parte da produção de grãos é usada na alimentação animal, diferente de países menos desenvolvidos, onde o milho é largamente utilizado no consumo humano. O grão de milho é rico em amido (70,3%) e pobre em proteínas (9,3%), no embrião da semente é onde se encontra todo seu teor de óleo (4,8%). Ao lado do feijão, o milho possui importância expressiva em todo o Nordeste brasileiro, sendo consumido pelo nordestino de várias formas, inclusive como ingredientes de pratos típicos da Região.

O desenvolvimento da produção e do mercado do milho deve ser analisado, preferencialmente, sob a ótica das cadeias produtivas ou dos sistemas agroindustriais. O milho é insumo para produção de uma centena de produtos, porém na cadeia produtiva de suínos e aves são consumidos aproximadamente 70% do milho produzido no Mundo. No Brasil, esse consumo fica entre 70 e 80% do milho produzido (FORNASIERI FILHO, 2007).

3.2 Manejo da irrigação

Dentre os diversos usos dos recursos hídricos, a irrigação destaca-se pela importância socioeconômica em regiões agrícolas áridas e semiáridas, onde é praticada para suplementar a precipitação natural no atendimento das necessidades hídricas das culturas (FARIAS *et al.*, 2000).

Para se alcançar todos os objetivos da prática de irrigação, os quais englobam a maximização da produção, racionalização do uso da mão-de-obra, energia, água e fertilizante, e a aplicação correta da água, é indispensável adotar um correto manejo da irrigação (MIRANDA; PIRES, 2003).

Na visão integrada, o conceito de manejo de irrigação amplia-se para manejo da agricultura irrigada, [...] considerando outros pontos importantes [...]: avaliação e ajuste do sistema de irrigação, verificação da eficiência de irrigação, possibilidades, etapas e cuidados na implantação da quimigação (fertirrigação e demais aplicações de produtos químicos via água de irrigação), cultura (variedades com altos potenciais de produção, espaçamento, tratamentos culturais, época de plantio, programação da colheita), utilização ampla das informações climáticas, previsão de produtividade etc. (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009, p. 355).

Com relação ao manejo de irrigação, a base para a quantificação da água a ser aplicada as culturas está associada, à capacidade da superfície, solo, e vegetação e atmosfera, de perder água em determinada condição climática. A forma mais usual de se quantificar a

água a ser aplicada ao longo do ciclo da cultura, é considerar os processos de evaporação do solo e de transpiração da planta conjuntamente, no que se denomina evapotranspiração (SILVA; RAO, 2006).

No Brasil, o milho sempre foi cultura típica de sequeiro, mas quando submetida a déficits hídricos causados pelas variações climáticas, é uma cultura cujo rendimento apresenta alta variabilidade, dada a ocorrência de déficits hídricos causados pelas variações da precipitação pluvial. Uma vez que o milho se caracteriza por apresentar um período crítico definido, entre a prefloração e o enchimento de grãos (BERGONCI *et al.*, 2001).

Para Bernardo (2005), também é necessário conhecer o comportamento da cultura em função das diferentes quantidades de água fornecida, e identificar as fases de desenvolvimento de maior consumo hídrico, e os períodos críticos, quando a falta ou o excesso provocaria quedas de produção.

O milho é cultivado em regiões cuja precipitação varia de 300 a 5.000 mm anuais, enquanto a cultura apresenta consumo médio de água durante o ciclo de 600 mm (PEGORARE *et al.*, 2009).

A exigência hídrica do milho é variável, dependendo dos fatores climáticos reinantes no período de desenvolvimento, da variedade e do estágio da cultura. Na ocorrência de escassez de água uma semana após o surgimento das anteras, pode ocorrer uma queda que alcance até 50% na produção (DOORENBOS, 1994).

Cruz *et al.* (2006) relatam que o milho é uma cultura muito exigente em água. No entanto, pode ser cultivado em regiões onde as precipitações vão desde 250 mm até 5000 mm anuais, sendo que a quantidade de água consumida pela planta, durante seu ciclo, está em torno de 600 mm. O consumo de água pela planta nos estádios iniciais de crescimento, num clima quente e seco, raramente excede 2,5 mm dia⁻¹. Durante o período compreendido entre o espigamento e a maturação, o consumo pode se elevar para até 7,5 mm diários. Mas, se a temperatura estiver muito elevada e a umidade do ar muito baixa, o consumo poderá chegar até 10 mm dia⁻¹.

O cultivo do milho irrigado é de suma importância principalmente em sucessão de culturas. Além disso, a produtividade do milho irrigado pode chegar a ser superior, de 30 a 40%, em relação à de sequeiro. O cultivo de milho irrigado pode ser uma opção bastante interessante principalmente quando cultivado na entressafra (BORGES, 2003).

Para Pereira *et al.* (1997), os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), a partir de elementos medidos em estação agrometeorológica, são bastante utilizados. Dentre os métodos empíricos, destacam-se os de Thornthwaite, Camargo,

Hargreaves e Samani, Priestley-Taylor e Penman-Monteith. Consultores da FAO, revisando os métodos de estimativa da ETo, deliberaram que a metodologia de Penman-Monteith deve ser utilizada como padrão na estimativa da ETo, porque é baseado em processos físicos e incorpora parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos (ALLEN *et al.*, 1998).

Segundo Pereira *et al.* (1997), lâminas d'água em excesso podem provocar perdas de água e lixiviação de nutrientes pela percolação abaixo da zona das raízes, favorecer à proliferação de microrganismos patógenos e, em terrenos mal drenados, provocar a saturação do solo. Os autores ainda relatam que a água em quantidade insuficiente para a planta proporciona uma redução da reserva hídrica útil do solo, prejudicando as plantas, desperdiçando recursos valiosos e aumentando os custos da água aplicada, além de poder acentuar os problemas relacionados com a salinização do solo.

Dependendo da cultura, as respostas ao manejo da irrigação podem ser variadas. Em estudos com milho irrigado, Araújo, Sampaio e Medeiros (1999) observaram que o número de espigas por hectare e o rendimento de grãos foram influenciados significativamente pela lâmina de irrigação. Blanco *et al.* (2011) e Pegorare *et al.* (2009) manejando a cultura do milho testando lâminas de irrigação e irrigação suplementar, observaram que o modelo de resposta foi o polinomial de segundo grau, independente do manejo.

Azevedo *et al.* (2005), testaram cinco níveis de irrigação, 25; 50; 75; 100 e 125% da evaporação no tanque Classe "A" (ECA) na cultura da melancia, verificaram que os níveis de irrigação influenciaram as variáveis produtivas da cultura. Sousa *et al.* (2013) avaliando a cultura do amendoim na mesma área experimental desse estudo observaram que o aumento das lâminas de irrigação de 25% a 150% da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET_{OPM}) aplicada via irrigação por gotejamento causa aumento linear nas variáveis de crescimento mas com relação a produtividade o gráfico apresenta tendência a queda após uma lâmina ótima.

Vasconcelos *et al.* (2013), avaliaram cinco lâminas de irrigação, variando de 30% a 150% da ECA, aliadas a quatro doses de adubação potássica e verificaram a interação da maior lâmina com a maior dose influenciou positivamente na produtividade e no peso médio dos frutos de maracujazeiro. Em pesquisa com mamoeiro, Sanches e Dantas (1999) afirmaram que a irrigação acarreta aumento na produtividade, favorecendo os processos de crescimento, floração e frutificação da planta.

Já Azevedo e Bezerra (2008), avaliando a resposta de duas cultivares de bananeira: Prata Anã e Pacovan, submetidas a quatro lâminas de irrigação com base na

evaporação do tanque Classe “A” (1,5 ECA, 1,0 ECA, 0,75 ECA e 0,5 ECA), verificaram resposta linear com relação à produtividade, observando que a produtividade e a massa do cacho diminuíram com a redução da lâmina de irrigação aplicada.

Em experimento com lâminas de irrigação, com base na evaporação de água no tanque Classe “A”, foi observado que lâminas crescentes de irrigação aplicadas a partir do início da floração influenciaram positivamente a massa média de frutos e a produtividade da pimenteira (AZEVEDO *et al.*, 2005). Os resultados acima apresentados só reforçam a importância da pesquisa

3.3 Coeficiente de cultivo (Kc)

A evapotranspiração, seja ela de qual cultura for, é uma das principais informações necessárias para o manejo racional da irrigação e para fins de planejamento do uso da água. Dentre as várias técnicas disponíveis para a estimativa do consumo de água pelas culturas, se destaca o emprego do coeficiente de cultura (Kc) associado à estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). A utilização do Kc, as metodologias e os procedimentos de cálculos, têm sido apresentados e recomendados pela FAO, para que se tenha resultados mais precisos no que diz respeito a quantidade de água a ser fornecida à planta dentro de cada estágio de desenvolvimento da mesma (SILVA e AMARAL 2008).

De acordo com Pereira, Angelocci e Sentelhas (2007), o coeficiente de cultura (Kc), matematicamente, é a razão entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), variando com as fases fenológicas e, também, entre espécies e variedades (cultivares), sendo função do índice de área foliar da cultura (IAF). Em culturas anuais, à medida que a planta se desenvolve o IAF cresce até atingir um valor máximo, decrescendo no período de senescência das folhas. Em culturas perenes, em função do contínuo crescimento das plantas, o valor de Kc é crescente durante os anos que precedem a maturidade, e daí em diante torna-se praticamente constante, com pequenas variações sazonais, função da variação do IAF.

Uma boa forma de se estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) de uma cultura é por meio da utilização de estações meteorológicas, uma vez que esse equipamento, segundo Smith, (1991) ajuda no manejo da irrigação e no cálculo da estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c), de modo a tornar a prática da irrigação mais eficiente, racionalizando-se o uso da água e da energia.

Dentre os vários métodos de estimativa da ETo, a FAO (Food and Agriculture Organization), órgão das Nações Unidas para a agricultura, adotou o método de Penman-Monteith como padrão para a estimativa da evapotranspiração das culturas. Esse método, no entanto, exige um grande número de informações meteorológicas, o que muitas vezes limita sua utilização, sendo empregado principalmente em pesquisas (PEREIRA *et al.*, 1997).

Sentelhas *et al.* (1997) compararam os dados diários de: radiação solar global, temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa do ar e chuva com uma estação convencional e outra automática, quando verificaram que houve, apesar de algumas discrepâncias na precisão dos sensores e frequência de amostragem no cálculo das médias, boa concordância entre os elementos observados pelas duas estações.

No milho, esses valores são influenciados pelas características da variedade ou cultivar empregada, época de semeadura, estágio de desenvolvimento da cultura e condições gerais de clima. A cultura do milho, por ser uma cultura de ciclo curto, pode ter seu desenvolvimento dividido em 4 estádios (estabelecimento da cultura, desenvolvimento vegetativo, período reprodutivo e maturação), para efeito do estudo dos valores de Kc ao longo do tempo (EMBRAPA 2009).

De acordo com Allen *et al.*, (1998), a duração do ciclo fenológico da cultura do milho para produção de grãos, em sua grande maioria, varia de 120 até 180 dias, nas diversas regiões do Mundo, e o valor de Kc para a fase de máxima exigência hídrica pode chegar a 1,29.

3.4 Manejo da adubação

Antes de utilizar a adubação, seja em qual cultura for, sempre é recomendada a realização de análise química do solo, retirando-se amostras da camada arável (0,0 a 0,20 m), e seguir as recomendações de adubação, evidenciando sempre a relação custo/benefício que poderá ser obtida com essa prática.

Apesar do alto potencial produtivo da cultura do milho, evidenciado por produtividades de 10 e de 70 t ha⁻¹ de grãos e forragem respectivamente, alcançados no Brasil em condições experimentais e por agricultores que adotam tecnologias adequadas, o que se observa na prática é que sua produção é muito baixa e irregular: 2 a 3 t de grãos ha⁻¹ e 10 a 45 t de massa verde ha⁻¹. [...] Esse fato não se deve apenas aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos, mas também ao uso inadequado de calagem e adubações, principalmente com nitrogênio e potássio, e também à alta capacidade extrativa do milho colhido para produção de forragem. A cultura do milho apresenta grandes diferenças no uso de fertilizantes entre as várias regiões do país (COELHO; FRANÇA, 2009).

3.4.1 Nitrogênio

A adubação nitrogenada é um dos fatores de maior importância no que diz respeito à produção agrícola e ao desenvolvimento de estratégias de aplicação de N, sendo de grande importância para melhorar a eficiência de uso desse elemento e também as taxas de lucro dos produtores sem provocar contaminações ambientais. A aplicação racional de N deve equilibrar a eficiência energética e a proteção ambiental, aumentando a lucratividade e a qualidade alimentar (SCHRÖDER et al., 2000).

O nitrogênio é o nutriente mais requerido pelas plantas e o que mais limita o crescimento, e seus efeitos são de mais fácil observação em vegetações verdes e vigorosas. Este nutriente, fisiologicamente, faz parte de proteínas, ácidos nucleicos e muitos outros importantes constituintes celulares, incluindo membranas e diversos hormônios vegetais. O manejo desse nutriente tão requerido e importante para o metabolismo vegetal tem sido uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a sua eficiência de uso, pois 98% do nitrogênio no solo encontrar-se na forma orgânica, ou seja, não está de imediato disponível ao organismo vegetal, sendo necessário ser quebrado pela ação de microrganismos e apenas 2% apresentam-se sob formas inorgânicas de amônio e/ou nitrato (OKUMARA; MARIANO; ZACCHEO, 2011).

As plantas possuem duas formas de absorção de nitrogênio: o amoniacal (NH_4^+) e o nítrico (NO_3^-), esta última a preferida pelos sítios de absorção da raiz. Na realidade, o nitrogênio no solo quando se apresenta na forma catiônica NH_4^+ reduz a absorção de outros cátions, como os de Ca e Mg por competirem pelo mesmo sítio de absorção. Inicialmente, a absorção do nitrogênio pela planta se dá na forma de NO_3^- e NH_4^+ , entretanto a forma oxidada do nitrogênio deve sofrer redução para a entrada no metabolismo vegetal, sendo, por isso, necessária a redução do NO_3^- a NH_4^+ , processo este que ocorre tanto nas folhas como nas raízes (CASTRO *et al.*, 2005).

O nitrogênio 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 causa maiores efeitos nas características da planta relacionadas ao crescimento e desenvolvimento, as quais, direta ou indiretamente, afetam a produtividade da cultura (OKUMARA; MARIANO; ZACCHEO, 2011).

Na planta, o nitrogênio é facilmente redistribuído via floema e as plantas deficientes desse nutriente apresentam os sintomas primeiro nas folhas velhas, em função de ocorrer decréscimo no teor de clorofila. Em função da alta mobilidade do N no interior da planta, a longevidade das folhas pode ser modificada pela falta dele, que se desloca para as partes novas da planta, provocando senescência precoce das partes mais velhas (BUSATO, 2007).

A deficiência de nitrogênio resulta em clorose gradual das folhas mais velhas, que se tornam amareladas no sentido do ápice para o centro, seguindo a nervura central e tomando a forma de “V” invertido. Quando fornecido em excesso, pode atrasar o florescimento e a maturação dos frutos, além de predispor as plantas ao ataque de doenças. No Brasil, os adubos nitrogenados mais consumidos na agricultura são: sulfato de amônia ((NH₄)₂ SO₄) e ureia (NH₂CONH₂) (AQUINO *et al.*, 1993; FORNASIERI FILHO, 2007).

Segundo Taiz e Zeiger (2010), o nitrogênio é constituinte de vários compostos orgânicos nas plantas, dentre eles: ácidos nucleicos, proteínas, enzimas, aminoácidos e clorofilas. No cultivo de milho, ele é exigido em maior quantidade e o que mais limita a produtividade de grãos (LEMAIRE; GASTAL, 1997).

O manejo da adubação nitrogenada é uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a eficiência de uso deste nutriente pela planta. Há essa necessidade, porque a maior parte do nitrogênio do solo encontra-se na forma orgânica, indisponível para os vegetais (MALAVOLTA, 2006).

Os adubos nitrogenados nos solos podem se perder, em parte por volatilização, decomposta pela uréase no solo. Os adubos amoniacais, em solos com pH muito alto, devido à calagem excessiva, também se decompõem, perdendo amônia (NH₃) para a atmosfera. Os nitratos existentes nos adubos nitrogenados ou oriundos da nitrificação dos amoniacais e da própria ureia ou dos adubos orgânicos são arrastados pelas águas das chuvas ou irrigações, e, se atingirem o lençol freático, estarão perdidos. Estes adubos ainda poderão voltar, em parte, para as camadas mais superficiais, subindo pelos capilares do solo quando houver seca (MALAVOLTA; PIMENTEL-GOMES; ALCARDE, 2002).

As exigências em N pela cultura do milho variam consideravelmente com os diferentes estádios de desenvolvimento da planta, sendo mínimas nos iniciais, aumentando com a elevação da taxa de crescimento, e alcançam um pico durante o florescimento até o início de formação dos grãos. O parcelamento da adubação nitrogenada é uma prática muito utilizada, pois esta técnica tende a reduzir as perdas deste nutriente no solo, devendo uma parte ser aplicada no plantio, e o restante ser parcelado, no decorrer do ciclo da cultura. Tanto

a época em que se faz a cobertura nitrogenada, como a possibilidade de parcelar, depende principalmente do tipo de solo, da dose de nitrogênio, se o cultivo é irrigado ou não, e se existe um sistema que possibilite aplicar o nitrogênio via água de irrigação (SOUSA; LOBATO, 2004).

O nitrogênio é um dos mais importantes nutrientes para o crescimento e desenvolvimento de milho. A resposta da cultura do milho ao N é, geralmente, maior do que a outros nutrientes. O nitrogênio aumenta o rendimento em grãos de milho, pois o mesmo exerce importantes funções nos processos bioquímicos da planta (MENGEL, 1996; FORNASIERI FILHO, 2007).

Ohland *et al.* (2004) afirmam que o milho, de um modo geral, é um dos vegetais mais exigentes em fertilizantes, em especial em nitrogênio. Em função disso, a cultura é muito sensível a dosagens desse nutriente, apresentando incrementos em várias características que influenciam a produção final.

Quando se trata das respostas da cultura do milho à adubação nitrogenada, pode-se considerar que são bastante variáveis para as condições brasileiras, pois a magnitude das respostas tem sido, na maioria das pesquisas, significativa a doses de 30, 90 e até mesmo 200 kg ha⁻¹, este fato se deve, em parte, aos níveis de produtividade relativamente baixos alcançados em campo (MELLO *et al.*, 1988).

3.4.2 Potássio

O potássio exerce papel fundamental no crescimento, na conformação e na qualidade dos frutos das plantas, portanto é necessário que no crescimento do fruto o solo possua uma quantidade adequada e disponível para proporcionar um suprimento apropriado para a planta (AQUINO *et al.*, 1993). Este nutriente se caracteriza por não sofrer uma lixiviação tão intensa quanto os adubos nitrogenados, nem são tão fortemente aderidos ao solo quanto os adubos fosfatados, mas o risco de lixiviação do átomo de potássio, que possui carga elétrica positiva, se faz maior em solos arenosos e pobres em matéria orgânica, onde existem poucas cargas negativas para fixá-lo aos colóides do solo (MALAVOLTA; PIMENTEL-GOMES; ALCARDE, 2002).

Para Aquino (2003), doses excessivas de adubo potássico podem acarretar lixiviação do cátion K⁺, provocar um efeito salino no solo e um desequilíbrio catiônico no complexo de trocas do solo, afetando principalmente Ca²⁺ e Mg²⁺, implicando assim em

efeitos depressivos sobre a produção das plantas, uma vez que provoca efeito salino na solução do solo.

Um inadequado fornecimento de potássio à planta, ocasiona um funcionamento irregular dos estômatos, podendo diminuir a assimilação de CO₂, a taxa fotossintética e, por consequência, a produção de fotoassimilados, prejudicando assim a produção. No milho, a deficiência de potássio, no início, caracteriza-se por meio de clorose nas pontas, e quando esta deficiência se agrava, afeta as margens das folhas, seguindo uma necrose e dilaceração dos tecidos; colmos com internódios mais curtos; maior incidência de apodrecimento de raiz e do colmo. Em virtude de possuir uma elevada mobilidade na planta, sua deficiência é primeiramente observado nas folhas mais velhas (FRANÇA, 2007; FORNASIERI FILHO, 2007).

Fisiologicamente o potássio participa no metabolismo de carboidratos, influenciando diretamente na produtividade, e mantém a turgescência das folhas, razão pela qual é essencial no transporte interno de açúcares e no equilíbrio eletroquímico da planta (ANDRIOLO *et al.*, 2010). O K é importante para a formação de carboidratos e tem papel fundamental na translocação dos fotoassimilados produzidos pelas folhas para as diversas partes da planta, principalmente para os frutos (PRADO, 2009).

Existem diversos fertilizantes potássicos disponíveis no mercado, sendo o cloreto de potássio (KCl) a forma mais utilizada pelos agricultores, em função de sua alta solubilidade em água e do preço, sendo a opção mais barata em relação aos outros adubos potássicos. A maior parte do mercado consumidor de KCl está concentrada no estado de São Paulo, com 40% do volume total. O Nordeste representa cerca de 10% do consumo nacional de KCl no Brasil (OLIVEIRA; SOUZA, 2001).

Em geral, os locais de maior concentração de potássio no solo, são aqueles que apresentam um maior teor de umidade, assim sua absorção pelas plantas se dá em decorrência de seu movimento no perfil solo por fluxo de massa. Isto significa que a distribuição de potássio no solo tem relação direta com a distribuição de água no perfil do solo (ZANINI, 1991), fazendo com que o parcelamento deste nutriente seja frequentemente recomendado, objetivando reduzir as perdas do íon potássio (K⁺) por lixiviação e o efeito salino dos adubos sobre as sementes na instalação das culturas, devendo haver maior precaução nos cultivos em solos arenosos (RAIJ *et al.*, 1997; ALVAREZ *et al.*, 1999).

Em experimento para medir a lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade de nutriente no solo, Werle, Garcia e Rosolem (2008) observaram que a movimentação do íon K⁺ no perfil do solo está relacionada com o teor inicial resultante da

adubação potássica anterior no solo, e que o efeito residual da adubação potássica aumenta as quantidades de K^+ percoladas em solos de textura média e argilosa.

3.5 Quimigação (Fertirrigação)

A quimigação consiste em aplicar uma solução, ou calda, de agroquímicos (fertilizante, inseticida, fungicida, CO_2 , produto microbiológico, herbicida ou nematicida) por meio do sistema de irrigação. A injeção dos produtos pode ser efetuada utilizando-se diferentes métodos e equipamentos, no entanto, independentemente do método adotado, a qualidade dos resultados obtidos na quimigação depende do cálculo correto de variáveis como: taxa de injeção, quantidade do produto a ser injetado, volume do tanque de injeção, dose do produto a ser aplicada, concentração do produto na água de irrigação, entre outras (COSTA; BRITO, 1994).

O uso de produtos agroquímicos fornecidos via água de irrigação vem crescendo gradativamente no Brasil. A aplicação de fertilizantes, especificamente, vem tornando-se uma prática rotineira nos sistemas de irrigação, principalmente do tipo localizado (gotejamento e microaspersão). A irrigação localizada é uma tecnologia que vem sendo adotada devido ao fato desta permitir um melhor aproveitamento de água, evitando desperdícios, e concomitantemente aumentando a produtividade. Este sistema baseia-se no princípio da distribuição localizada da água, onde esta é aplicada somente próxima à região radicular permitindo um melhor aproveitamento da água, e de produtos que nela contenha, pelas plantas (MOREIRA; STONE, 1994).

O fornecimento adequado de nutrientes contribui, de forma significativa, no aumento da produtividade e no controle do custo da produção. Nesta situação, a otimização da eficiência nutricional é fundamental para ampliar a produtividade e reduzir o custo de produção. Vários fatores, como clima, solo e suas interações afetam a absorção e a utilização de nutrientes pelas plantas (FRÁGUAS; SILVA, 1998).

A aplicação ocorre no momento em que a planta necessita, apresentando as seguintes vantagens: aplicação do produto em qualquer fase do ciclo da cultura, fácil parcelamento e satisfatório controle, evitando doses excessivas e, conseqüentemente, perdas por lixiviação e escorrimento superficial se chuvas pesadas vierem a ocorrer após a aplicação, minimizando, desta forma, os impactos ambientais. (BRITO; PINTO, 2008, p. 423).

A quimigação, quando realizada via sistema de irrigação por gotejamento, pode apresentar vantagens como economia de mão-de-obra, quando comparada à aplicação convencional, boa uniformidade de aplicação, pouco contato do operador com os produtos, menor dano físico ao solo e à cultura, maximização do uso dos equipamentos de irrigação, redução dos custos, melhor cobertura da superfície do solo. Apesar de a quimigação ser uma técnica aplicada a todos os métodos de irrigação, ela apresenta alguns usos mais apropriados e, em muitos casos, impõe restrições ao tipo de produto químico a ser aplicado. Particularmente, na irrigação por aspersão pode-se aplicar os produtos químicos tanto no solo quanto nas folhas das plantas, enquanto que os sistemas de irrigação por superfície e por gotejamento só permitem aplicações via solo (VIEIRA, 1994).

Uma das vertentes da quimigação que é mais praticada é a fertirrigação. No Brasil, a técnica da fertirrigação vem se solidificando, sendo usada principalmente em propriedades onde exista sistema de irrigação localizada e pivô central, para a aplicação de adubos nitrogenados, enquanto que nos Estados Unidos ela já vem sendo usada há muitas décadas, com um crescente de área em torno de 8% ao ano (COELHO, 2003).

Para Villas Bôas *et al.* (2001), o principal problema encontrado nesta técnica está associado ao manejo incorreto, em razão da falta de informações adequadas e/ou utilização de forma empírica. Em muitas regiões, a adoção rápida desta técnica, de acordo com Andrade Júnior *et al.* (2006), fez com que a prática se adiantasse à investigação, e com isto surgiram problemas. Infelizmente, este fato tem implicado em redução de produtividade e desestímulo ao uso da fertirrigação por parte de alguns produtores. Esses mesmos autores observaram que os parâmetros de qualidade dos frutos de melancia não são afetados pelos níveis de nitrogênio aplicados em fertirrigação, entretanto eles obtiveram aumento significativo na produção total, na produção comercial, nos números de frutos total e comercial com a aplicação de doses de nitrogênio, seguindo um modelo quadrático de resposta.

4 MATERIAL E METODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Estação Meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará (Figura 1), que apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 3° 44'S e 38° 33'W e 19,5 m de altitude.

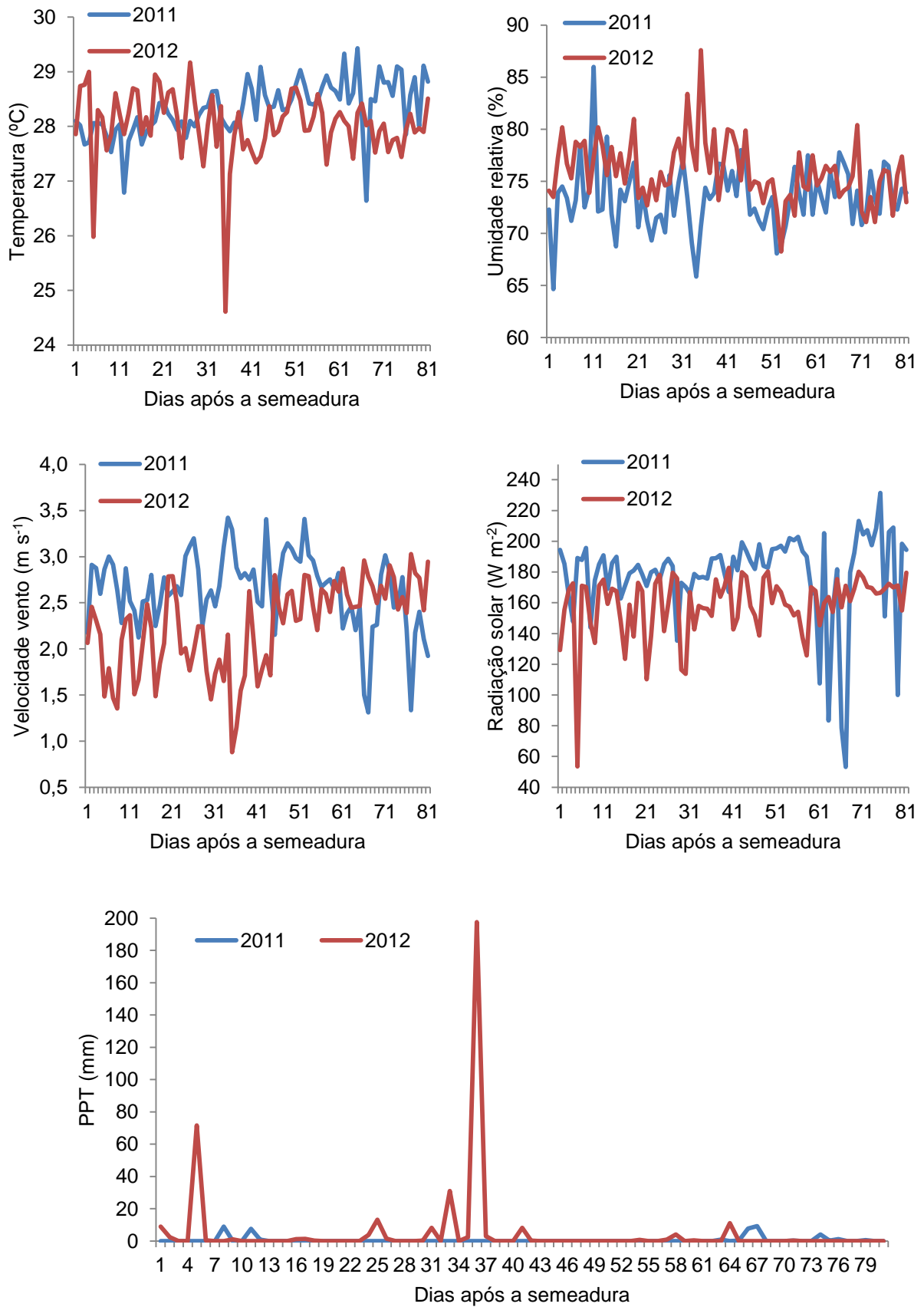
Figura 1 – Vista aérea da área experimental pertencente a estação Agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.



Fonte: Google Earth, 2011.

De acordo com a classificação climática de Thornthwaite, o clima da região é do tipo C₂WA'a', caracterizando-se como úmido a subúmido, com moderada deficiência hídrica no inverno, megatérmico e com a evapotranspiração potencial bem distribuída ao longo do ano. A região também se caracteriza por apresentar as seguintes médias anuais: precipitação de 1.564 mm, temperatura do ar de 27°C e umidade relativa do ar de 80%, de acordo com dados fornecidos pela Estação Agrometeorológica do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, situada contígua à área experimental. Na Figura 2, observa-se o comportamento das médias das variáveis climáticas observadas durante a condução dos experimentos nos anos de 2011 – 2012.

Figura 2 - Dados climáticos observados durante a condução dos experimentos desde o 1º dia após a semeadura (DAS) até a colheita (90 DAS), nos anos de 2011 e 2012, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.



Fonte: Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará.

O solo da região é classificado como um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO de textura areia franca.

Para efeito da caracterização físico-química do solo, antes da instalação dos experimentos, foram retiradas, com auxílio de um trado, vinte amostras de solo na camada de 0,0 a 0,2 m de profundidade. Em seguida, as amostras foram homogêneas e levadas ao Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal do Ceará, onde foram analisadas. Nas Tabelas 1 e 2 é possível observar o resultado da análise físico-química do solo da área experimental nos anos 2011 - 2012.

Tabela 1 - Análise físico-hídrica do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012

Característica físico-hídricas	Profundidade	
	0,0 a 0,2m	
	Ano 2011	Ano 2012
Areia grossa (g kg ⁻¹)	470	494
Areia fina (g kg ⁻¹)	380	324
Silte (g kg ⁻¹)	60	97
Argila (g kg ⁻¹)	90	85
Argila natural (g kg ⁻¹)	30	29
Grau de floculação (g 100g ⁻¹)	70	66
Característica textural	Areia franca	Areia franca
Massa específica do solo (kg dm ⁻³)	1,50	1,55
Massa específica das partículas (kg dm ⁻³)	2,62	2,59
Capacidade de campo (m ³ m ⁻³)	0,187	0,192
Ponto de murcha permanente (m ³ m ⁻³)	0,056	0,066
Umidade de saturação (m ³ m ⁻³)	0,430	0,415
pH (água)	6,6	5,9

Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal do Ceará.

Tabela 2 - Análise química do solo da área experimental na camada de 0,0 a 0,2 m, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012

Prof.	Complexo sortivo (cmol _c dm ⁻³)								(cmol _c dm ³)	(mg dm ⁻³)	(g kg ⁻¹)
	Ano 2011										
(m)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	H ⁺ +Al ²⁺	T	V(%)	Al ³⁺	P	M.O.
0,0-0,2	1,5	1,5	0,23	0,1	3,3	1,15	4,5	74	0,0	8,0	7,03
Ano 2012											
(m)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	S	H ⁺ +Al ²⁺	T	V(%)	Al ³⁺	P	M.O.
0,0-0,2	2,1	1,7	0,07	0,09	3,1	1,15	4,1	76	0,0	8,0	8,1

Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal do Ceará.

P, K, Na: extrator Melich 1; Al, Ca, Mg: extrator KCl; pH em água.

4.2 Preparo do solo e condução da cultura

O preparo do solo na área cultivada com milho constituiu-se inicialmente de uma aração e duas gradagens cruzadas. Logo após as gradagens, procedeu-se a limpeza e o nivelamento manual do terreno, com a utilização de enxada e ciscador, objetivando retirar resto cultural do solo que de alguma forma pudesse comprometer ou interferir na aplicação dos tratamentos e para auxiliar na instalação do sistema de irrigação.

A cultura utilizada no experimento foi o milho híbrido AG 1051, que se caracteriza por apresentar: um ciclo semiprecoce; porte e inserção da espiga considerada alta; o grão dentado e amarelo; empalhamento excelente; qualidade do colmo boa; sistema radicular excelente; tendo como principal finalidade de uso a produção de grãos. Apesar dessas características a escolha desse híbrido para realização dos experimentos também foi por ele ser um dos mais distribuídos para os agricultores por Programas do Governo do Ceará que incentivam a agricultura nesse estado.

Para fins de evitar a competição da cultura com plantas daninhas, principalmente durante o período inicial de seu desenvolvimento, período este o mais crítico para o estabelecimento da cultura em campo, foram realizadas três capinas manuais, em um período de 30 dias após a semeadura (DAS). Com fins de controle fitossanitário, antecedendo ao semeio, foi aplicado em todo o terreno e no entorno da área experimental, um formicida a base de sulfuramida para controle da formiga cortadeira, presente na área experimental.

Após o estabelecimento das plantas, 10 DAS, procedeu-se a aplicação de produtos agrotóxicos, a base de Deltametrina, sobretudo para controle da lagarta do cartucho. Foram um total de quatro aplicações, divididas em duas: as duas primeiras na fase inicial de cultivo e as demais aplicações na fase de pendramento (emissão do pendão, marcando o fim da fase vegetativa e início da fase reprodutiva da cultura do milho). É importante ressaltar que não ocorreram mais pulverizações porque não foi observado esse tipo de praga na área experimental e as pulverizações que ocorreram foram para prevenção do aparecimento da praga.

A semeadura do milho deu-se com o auxílio de uma máquina plantadeira manual (matraca) a uma profundidade de 0,05 m e espaçamento entre plantas de 0,2 m, em toda extensão das linhas laterais de irrigação. Em seguida, as sementes foram cobertas com uma fina camada de solo. A germinação ocorreu de 4 a 5 dias após o semeio, e o desbaste das plantas aconteceu 15 DAS, objetivando-se manter o espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,2 m entre plantas. As semeaduras foram realizadas em: 15/08/2011 e 18/05/2012.

No 50° DAS ocorreu o início do pendoamento das plantas de milho, e quando as plantas atingiram o 85° DAS foi realizada a colheita manual das espigas. Em seguida, as espigas foram postas para secar em estufa de ventilação forçada por três dias a 65° C. Na Figura 3, é possível observar uma sequência de tratos culturais realizados na cultura do milho.

Figura 3 - Semeadura e adubação de fundação da cultura (A); plantas com 30 DAS, espaçadas em 1,0 x 0,2 m (B); início do florescimento (C), frutificação (D), secagem em estufa (E), Fortaleza, Ceará, 2011 – 2012.



Fonte: Fotos do autor.

A adubação da cultura do milho foi baseada na análise do solo realizada na área experimental, e consistiu basicamente na aplicação de N-P-K na forma de: ureia (45% de N); superfosfato simples (18% P_2O_5); cloreto de potássio (60% K_2O) e micronutrientes. Os adubos foram aplicados de duas formas: convencional e fertirrigação.

Na forma convencional os adubos foram aplicados de duas maneiras:

- 1) Adubação de fundação – os adubos foram fornecidos às plantas em sulcos abertos paralelamente as linhas laterais de irrigação, quando foram aplicados em dosagem única ($90 \text{ kg ha}^{-1} P_2O_5$), na forma do adubo comercial superfosfato simples e a metade do potássio ($30 \text{ kg ha}^{-1} K_2O$), na forma do adubo comercial cloreto de potássio (KCl) e,
- 2) Adubação de cobertura – quando as plantas atingiram o 30° DAS, foram aplicadas a outra metade do potássio ($30 \text{ kg ha}^{-1} K_2O$), também na forma do adubo comercial cloreto de potássio (KCl) e a metade da dose recomendada de nitrogênio (N) (45 kg ha^{-1} de N), na forma do adubo comercial ureia, e no 50° DAS foi aplicada a segunda metade da dose de N (45 kg ha^{-1} de N), também na forma do adubo comercial ureia.

4.3 Sistema de irrigação

Para fins de condução e manejo dos experimentos de lâminas de irrigação e de doses de fertirrigação com nitrogênio ou potássio, foi instalado um sistema de irrigação do tipo localizada por gotejamento.

O sistema de irrigação foi constituído por:

- Conjunto motobomba - trabalhando de forma submersa em um poço profundo.
- Cabeçal de controle e sistema de injeção de fertilizantes – situado no início da área experimental e protegido por um abrigo de alvenaria, era constituído por filtro de discos, registro de gaveta, manômetro de glicerina, calibrado em kgf cm^{-2} . No sistema de injeção de fertilizantes havia um sistema by-pass, contendo um injetor do tipo Venturi e uma motobomba auxiliar, com a função de acelerar a água para passar no Venturi e succionar os fertilizantes com maior eficiência.
- Linha principal - constituída de PVC (PN 40) com diâmetro nominal (DN) de 50 mm, possuía 50 m de comprimento entre a motobomba e o cabeçal de controle.
- Linhas de derivação ou linha secundária – o sistema de irrigação possuía três linhas de derivação, compostas de polietileno (DN 25 mm), cada uma delas com 43 m de

comprimento. No início de cada linha de derivação, foi instalado um registro de gaveta de 25 mm de diâmetro com o objetivo de controlar a pressão e vazão na tubulação;

- Linhas laterais - cada uma das linhas de derivação possuía 43 linhas laterais (DN 16 mm) de 4 m de comprimento. Elas foram espaçadas em 1 m, com gotejadores autocompensantes, espaçados em 0,5 m, de vazão de 2 L h⁻¹ a uma pressão de serviço de 1,0 kgf cm⁻². No início da cada linha lateral, foi instalado um registro de gaveta de 16 mm de diâmetro, com a finalidade de controlar a lâmina de irrigação e a dose de fertilizante para cada tratamento em cada experimento. Na Figura 4, é possível observar a representação esquemática do sistema de irrigação utilizado.

4.4 Manejo da irrigação e da fertirrigação

Uma vez instalado no campo o sistema de irrigação, procedeu-se o teste de uniformidade de distribuição de água (CUD) e o de Christiansen (CUC), utilizando-se a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975) modificada por Denículi *et al* (1980). Também, foi realizado o levantamento das condições de pressão, vazão e lâmina aplicada.

O manejo da irrigação foi realizado utilizando o princípio de lâmina acumulada, de maneira que todos os experimentos foram irrigados com base na reposição da lâmina de água evapotranspirada durante dois dias consecutivos.

O tempo de irrigação utilizado em cada experimento foi quantificado conforme a Equação 01.

$$Ti = \frac{Li * E_L * E_g * F_c}{E_i * q_g} \quad (01)$$

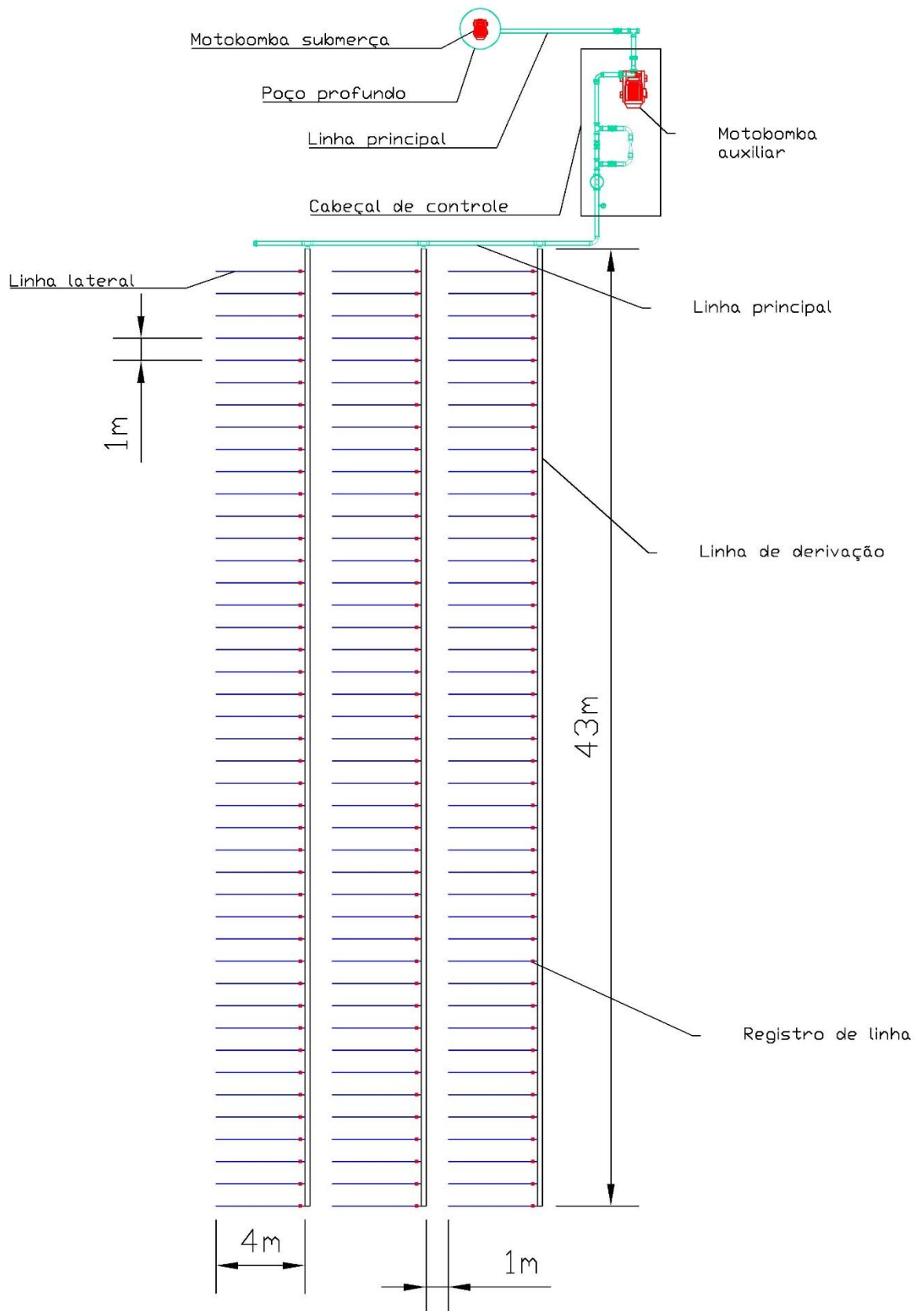
Em que: Ti é tempo de irrigação (h); Li é lâmina de irrigação a ser aplicada (mm·dia⁻¹); E_L é o espaçamento entre linhas de irrigação (m); E_g é o espaçamento entre gotejadores (m); F_c é o fator de cobertura do solo (adimensional); E_i é a eficiência de irrigação (adimensional); q_g é a vazão do gotejador (L·h⁻¹).

A lâmina de irrigação (Li) foi estimada a partir da evapotranspiração de referencia, como sendo (Equação 02).

$$Li = ETo \quad (02)$$

Em que: Li Lâmina de irrigação (mm); ETo é a evapotranspiração de referência (mm·dia⁻¹).

Figura 4 – Layout do sistema de irrigação instalado na área experimental para condução dos experimentos, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.



A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith, tido como referência pela FAO, como descrita pela Equação 03.

$$ET_o = \frac{s}{s \cdot \gamma^*} \cdot (Rn - G) \cdot \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s + \gamma^*) \cdot (T + 273)} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_e) \quad (03)$$

Em que: s é a declividade da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); γ é o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); γ^* é a constante psicrométrica modificada ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Rn é o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); λ é o calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$); T é a temperatura média diária ($^\circ\text{C}$); U_2 é a velocidade do vento a 2 m (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa); e_a é a pressão parcial de vapor (kPa).

Para efeito de manejo da fertirrigação, o cálculo da quantidade de produto a ser injetada no sistema de irrigação foi realizado utilizando-se a Equação 04.

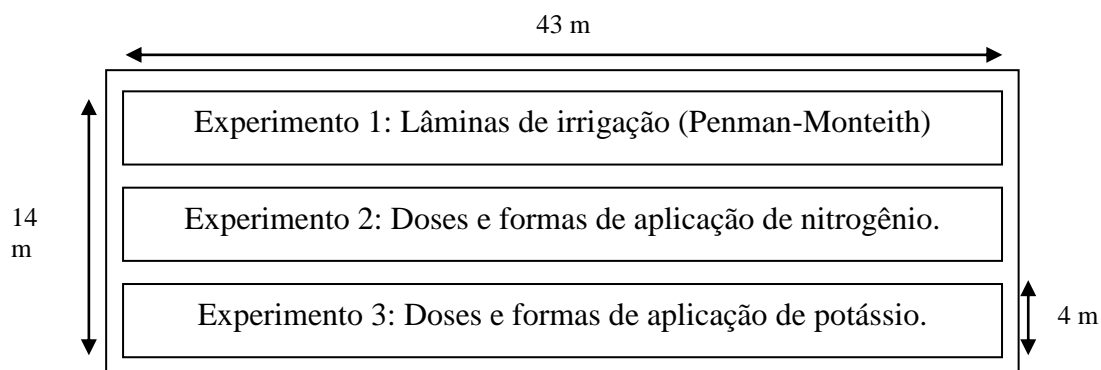
$$Q_i = \frac{E_a \cdot E_l \cdot N_a \cdot P_d}{10.000} \quad (04)$$

Em que: Q_i é a quantidade de produto ou princípio ativo a ser aplicado na linha lateral (kg); E_a é o espaçamento entre emissores (m); E_l é o espaçamento entre linhas laterais (m); N_a é o número de emissores na linha lateral; P_d é a dose recomendada do produto ou princípio ativo.

4.5 Área experimental

A área total do experimento era composta de 720 m^2 , onde foram instalados três distintos experimentos, cada um com uma subárea menor de 172 m^2 , perfazendo assim uma área cultivada com a cultura do milho de 516 m^2 , conforme consta na Figura 5.

Figura 5 - Área dos experimentos com a cultura do milho e suas subdivisões, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012



Fonte: o autor.

4.5.1 Experimento I: Lâminas de irrigação (Penman-Monteith)

As lâminas de irrigação testadas foram estabelecidas com base na evapotranspiração de referência (ET_o) obtida pela metodologia de Penman-Monteith (Equação 03), fazendo uso de dados referentes às variáveis climáticas (radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, precipitação e temperatura do ar) calculados de acordo com a padronização proposta pela FAO, devido sua grande aceitação e facilidade de manuseio (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Os dados empregados nos cálculos foram coletados por meio de uma estação meteorológica automática, situada ao lado da área experimental.

O manejo da adubação no experimento de lâminas de irrigação deu-se em duas etapas, fundação e cobertura, fazendo uso dos nutrientes N-P-K e micronutrientes: Na fundação, foram aplicadas toda a dose do nutriente fosforo 90 kg ha⁻¹ (P₂O₅), na forma do adubo comercial super fosfato simples, e micronutrientes, utilizando o adubo comercial FTE, para ambas aplicada a dose recomendada para a cultura.

Em cobertura foram aplicados os nutrientes, nitrogênio (N) e potássio (K₂O), na forma do adubo comercial ureia e cloreto de potássio (KCl) via fertirrigação e na dose recomendada pela cultura, em um total de seis aplicações distribuídas durante todo o ciclo da cultura, de modo a ser efetuada uma aplicação por semana. A primeira fertirrigação (aplicação) deu-se quando as plantas encontravam-se com 7 DAS e a última aos 80 DAS.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, composto de seis tratamentos (lâminas de irrigação) e cinco blocos. Os tratamentos corresponderam aos níveis de irrigação de: 30, 60, 90, 120, 150 e 180% da ET_o (mm dia⁻¹), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentuais da ET_{oPM} e lâminas de água aplicadas no experimento, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012

Tratamento	ET _o (%)	Lâmina de irrigação (mm)	
		2011	2012
Li ₃₀	30	143,2	153,2
Li ₆₀	60	286,4	306,4
Li ₉₀	90	429,6	459,59
Li ₁₂₀	120	572,7	612,69
Li ₁₅₀	150	715,9	775,99
Li ₁₈₀	180	859,1	919,19

Cada bloco continha seis parcelas com área individual de 4 m² (4 m x 1 m), contendo um total de vinte plantas, no espaçamento de cinco plantas por metro linear. As cinco primeiras e as cinco últimas plantas de cada parcela, assim como as três primeiras linhas laterais as duas do final foram consideradas como bordadura. Também, serviram de bordadura duas fileiras de plantas entre blocos. Portanto, dez plantas úteis (dois metros lineares) por parcela ficaram disponíveis para as análises. Os tratamentos foram casualizados dentro dos blocos mediante sorteio (Figuras 6 e 7).

Figura 6 - Layout de um bloco do experimento de lâminas de irrigação, detalhando os tratamentos distribuídos nas parcelas, as bordaduras e as plantas úteis, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.

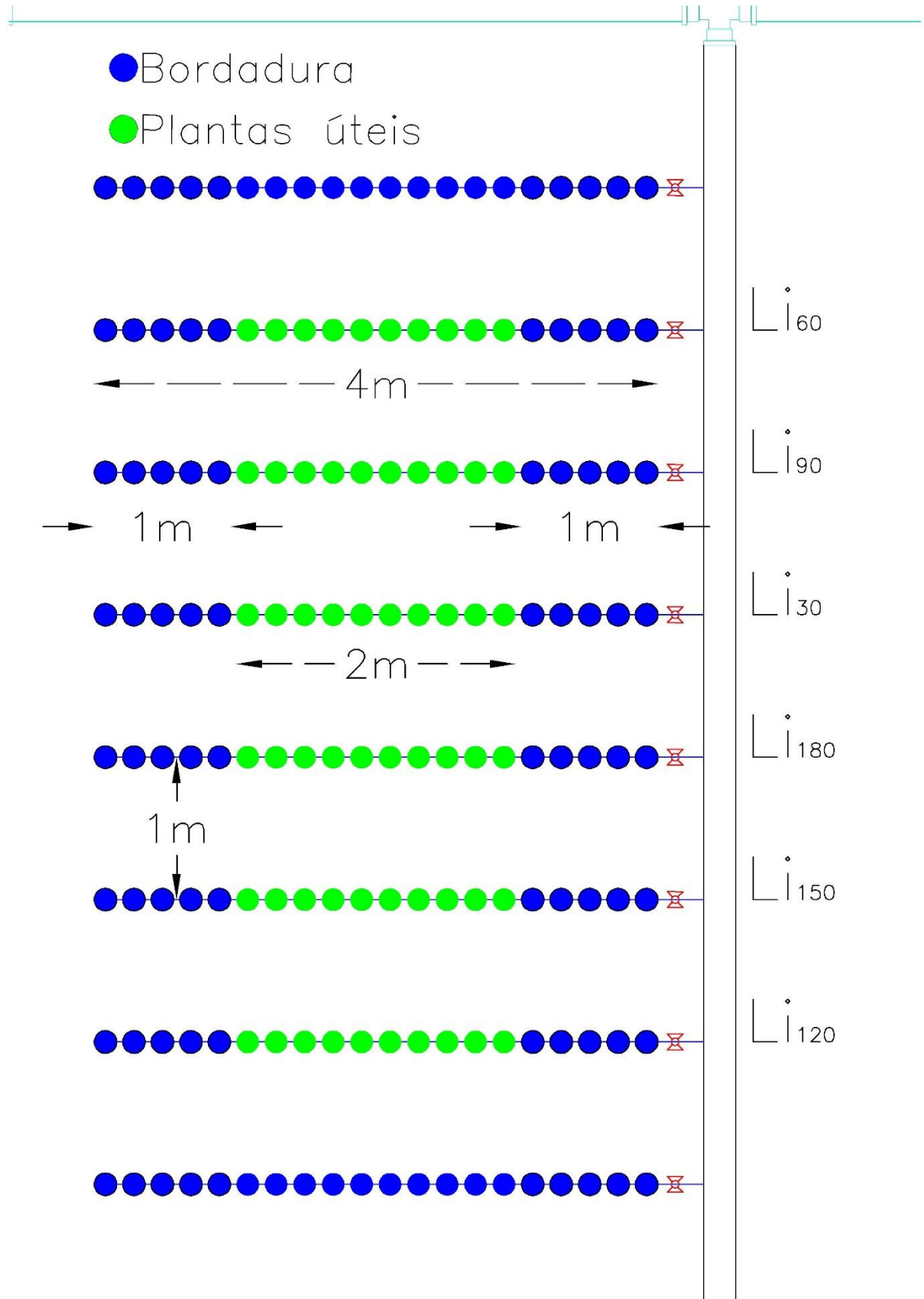


Figura 7 - Detalhe de uma parcela experimental e a forma de identificação, Fortaleza, Ceará, 2011-2012



A estimativa do K_c da cultura, foi realizada com base na Equação 05.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (05)$$

4.5.2 Experimento II: Doses e formas de aplicação de nitrogênio

O delineamento experimental utilizado foi o em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 4x2, com oito tratamentos e quatro repetições. Cada bloco era composto de oito parcelas com área individual de 4 m² (4 m x 1 m), contendo um total de vinte plantas, no espaçamento de cinco plantas por metro linear.

Cada bloco continha oito parcelas com área individual de 4 m² (4 m x 1 m), contendo um total de vinte plantas, no espaçamento de cinco plantas por metro linear. As cinco primeiras e as cinco últimas plantas de cada parcela, assim como as três primeiras e as três linhas laterais do final foram consideradas como bordadura. Também, serviu de bordadura uma fileira de plantas entre blocos. Portanto, dez plantas úteis (dois metros lineares) por parcela ficaram disponíveis para as análises. Os tratamentos foram casualizados dentro dos blocos mediante sorteio.

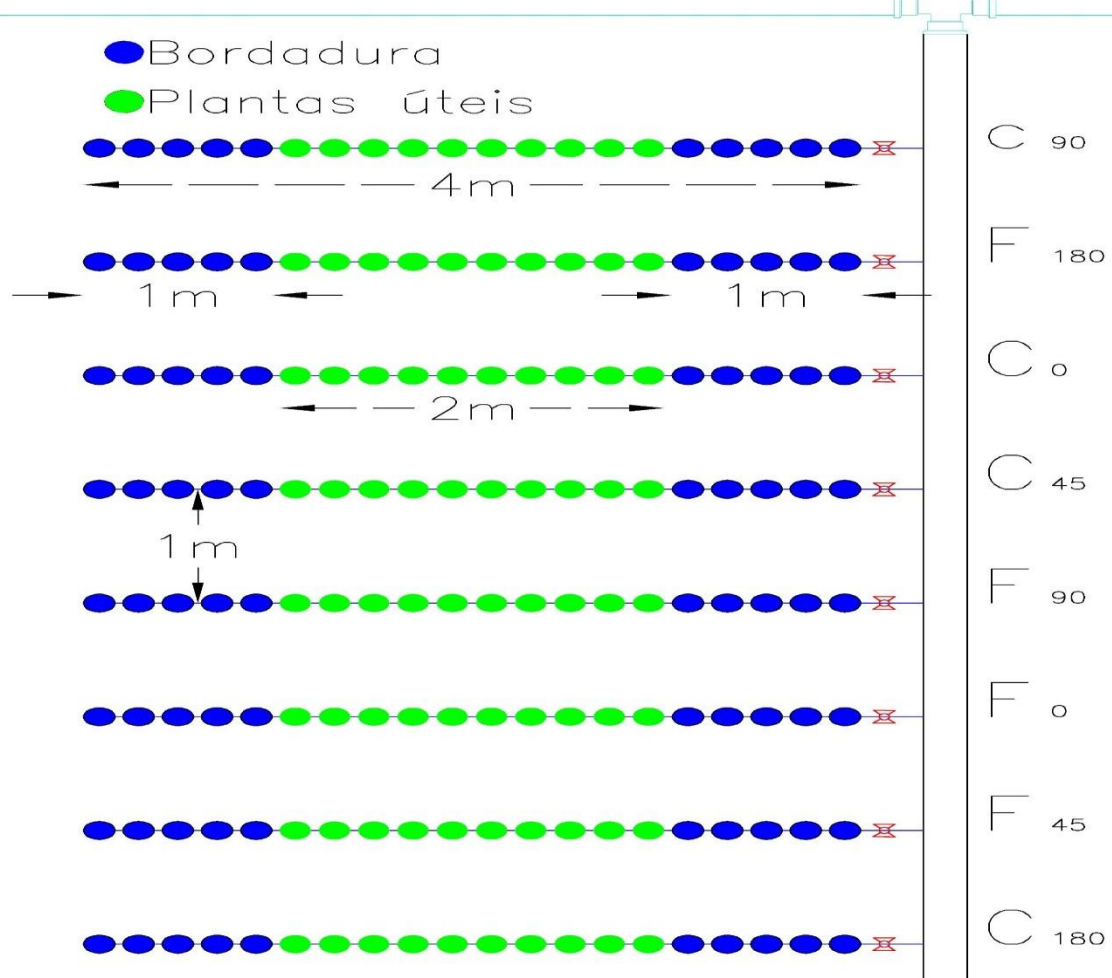
Os tratamentos consistiram-se na avaliação de doses de nitrogênio aplicadas de duas formas: via sistema de irrigação (fertirrigação) e de maneira convencional.

Tabela 4 – Descrição dos tratamentos, quantidades e formas de aplicação de N, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012

Tratamento	Dose de N (kg ha ⁻¹)	Forma de aplicação
C ₀ e F ₀	0	Controle
F ₄₅	45	Fertirrigação
C ₄₅	45	Convencional
F ₉₀	90	Fertirrigação
C ₉₀	90	Convencional
F ₁₈₀	180	Fertirrigação
C ₁₈₀	180	Convencional

O layout do experimento detalhando o posicionamento dos tratamentos e dos blocos em campo pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Layout de um bloco dos experimentos de adubação (fertirrigação e adubação convencional), detalhando os tratamentos, bordaduras e plantas úteis em cada parcela, Fortaleza, Ceará, 2011-2012.



Nos tratamentos em que as plantas foram submetidas à adubação via fertirrigação, salienta-se que a adubação de fundação, nesse caso, não ocorreu com nitrogênio, pois os tratamentos consistiram na aplicação das doses de N parceladas em 14 aplicações durante todo ciclo da cultura, sendo realizada uma aplicação (fertirrigação) por semana, iniciando a primeira fertirrigação 15 DAS.

Nos tratamentos que receberam a aplicação de nitrogênio de forma convencional, o nutriente foi fornecido a cultura diretamente ao solo em sulcos abertos, no lado oposto as linhas de plantio nas quantidades de 0, 45, 90 e 180 kg ha⁻¹ (Tabela 4), correspondendo, respectivamente, a: 0, 50, 100 e 200% da dose recomendada para a cultura do milho (90 kg ha⁻¹). Como fonte de N, foi utilizado a ureia (45% N). As doses de N foram divididas em duas aplicações: a primeira em fundação, aplicadas por ocasião da semeadura na dosagem de um terço do total (1/3), e os dois terços (2/3) restantes, fornecidos as plantas em cobertura, aplicados aos 40 dias após a semeadura (DAS).

4.5.3 Experimento III: Doses e formas de aplicação de potássio

O delineamento e o arranjo experimental para este ensaio foram semelhantes aos descritos para o Experimento II (Figura 8).

Os tratamentos consistiram na avaliação de doses de potássio aplicadas de duas formas: via sistema de irrigação (fertirrigação) e de maneira convencional.

Nos tratamentos submetidos a fertirrigação, a adubação de fundação com potássio, nesse caso, não ocorreu, uma vez que os tratamentos consistiram na aplicação das doses de K₂O parceladas em 14 aplicações durante todo ciclo da cultura, sendo realizada uma aplicação (fertirrigação) por semana, onde a primeira iniciou-se aos 15 DAS.

Nos tratamentos submetidos a adubação convencional, o nutriente foi fornecido a cultura diretamente em sulcos de plantio abertos paralelamente às covas, nas quantidades de 0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ (Tabela 5), correspondendo, respectivamente, a: 0, 50, 100 e 200% da dose de potássio recomendada para a cultura do milho (30 kg ha⁻¹). Como fonte do nutriente, foi utilizado o adubo comercial cloreto de potássio (60% K₂O). O K₂O correspondente a cada tratamento foi aplicado em duas vezes, 1/3 no plantio (adubação de fundação) e 2/3 aplicados, em cobertura, 30 dias após a semeadura (DAS).

Tabela 5 – Descrição dos tratamentos, quantidades e formas de aplicação de K, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012

Tratamento	Dose de K (kg ha ⁻¹)	Forma de aplicação
C ₀ e F ₀	0	Controle
F ₁₅	15	Fertirrigação
C ₁₅	15	Convencional
F ₃₀	30	Fertirrigação
C ₃₀	30	Convencional
F ₆₀	60	Fertirrigação
C ₆₀	60	Convencional

4.6 Variáveis analisadas

Após a colheita das espigas de milho, no 90º DAS, deu-se início a análise das variáveis produtivas da cultura. Para isso, foi colhido um total de cinco espigas em cada parcela experimental. Elas foram retiradas manualmente de forma aleatória (Figura 9).

As análises consistiram em avaliar as características relacionadas à massa das espigas, dos grãos e da palha das espigas de milho, medidas com uma balança digital com capacidade de medir centésimos de grama, da seguinte maneira:

- Massa da espiga com palha (MECP): consistiu na medição da massa, tendo como base cinco espigas por parcela experimental, ainda com a palha que a recobria.
- Massa da espiga sem palha (MESP): após a medição da variável anterior, ocorreu à retirada da palha e as cinco espigas, agora sem as palhas que a recobriam, foram postas na balança para medição de sua massa, possibilitando calcular a massa por espiga.
- Massa da palha da espiga (MPE): calculada pela diferença entre a MECP e a MESP.
- Massa de mil grãos (M1000): As cinco espigas foram debulhadas, e em sequência realizada uma amostra de mil grãos, que foram levados à balança para medir a massa.
- Produtividade de grãos (PROD): essa variável é uma estimativa, em quilogramas por hectare (kg ha⁻¹), da produtividade da cultura do milho com base na produção média das cinco espigas debulhadas, tendo em conta o espaçamento utilizado neste estudo (0,2 x 1,0 m)

Figura 9 - Espigas de milho colhidas aos 90 DAS e submetidas à avaliação, Fortaleza, Ceará, 2011-2012



4.7 Análises estatísticas

Os resultados obtidos, provenientes das diversas variáveis avaliadas, foram submetidos à análise de variância aplicando-se o teste F, como consta na Tabela 6 (delineamento em blocos casualizados) e na Tabela 7 (delineamento em blocos casualizados em arranjo fatorial). Os dados médios dos experimentos foram comparados pelo teste de Tukey, para verificar a existência de diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 6 - Análise de variância pelo teste F experimento I, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012

FV	GL	SQ	QM	F	F>1 (5%)
Blocos (B)	r-1	SQ _B	SQ _B /GL _B	QM _B /QM _R	F _{Tabelado}
Tratamentos (T)	t-1	SQ _T	SQ _T /GL _T	QM _T /QM _R	F _{Tabelado}
Resíduo (R)	(t-1)·(r-1)	SQ _R	SQ _R /GL _R	-	-

Tabela 7 - Análise de variância pelo teste F, experimentos II e III, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012

FV	GL	SQ	QM	F	P<0,05
Fator (A)	i-1	SQ _A	SQ _A /GL _A	QM _A /QM _R	F _{Tabelado}
Fator (B)	j-1	SQ _B	SQ _B /GL _B	QM _B /QM _R	F _{Tabelado}
Interação AxB	(i-1)(j-1)	SQ _{AxB}	SQ _{AxB} /GL _T	QM _{AxB} /QM _R	F _{Tabelado}
Resíduo (R)	ij(k-1)	SQ _R	SQ _R /GL _R	-	-

Para o experimento I, dentre as lâminas de irrigação, e para os experimentos II e III, quando se isolou um único método de aplicação, objetivando-se encontrar a equação que melhor representasse a relação entre as variáveis analisadas e as lâminas e doses de nitrogênio e potássio, quando o teste F foi significativo, os dados foram submetidos à análise de regressão. A análise de variância da regressão foi obtida pelo método dos polinômios ortogonais Tabela 8.

Tabela 8 - Análise de variância da regressão, Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012

FV	GL	SQ	QM	F	P<0,05
Regressão linear (RL)	1	SQ _{RL}	SQ _{RL} /GL _{RL}	QM _{RL} /QM _R	F _{Tabelado}
Regressão quadrática (RQ)	1	SQ _{RQ}	SQ _{RQ} /GL _{RQ}	QM _{RQ} /QM _R	F _{Tabelado}
Regressão exponencial (RE)	1	SQ _{RE}	SQ _{RE} /GL _{RE}	QM _{RE} /QM _R	F _{Tabelado}
Resíduo (R)	(t-1)·(r-1)	SQ _R	SQ _R /GL _R	-	-

Os modelos de regressão testados foram o linear, o quadrático, o logarítmico e o exponencial. As equações que melhor se ajustaram aos dados foram eleitas com base na significância dos coeficientes de regressão a p<0,05 de probabilidade pelo teste F.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos aplicativos Microsoft Office Excel (2010) e do software Assistat.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento I: Lâminas de irrigação (Penman-Montheith)

Nas Tabelas 9 e 10 tem-se o resumo da análise de variância para as variáveis: massa da espiga com palha (MECP), massa da espiga sem palha (MESP), massa da palha da espiga (MPE), massa de 1000 grãos (M1000) e a produtividade (PROD) da cultura do milho em função da lâmina de irrigação (30, 60, 90, 120, 150 e 180 da ETo de Penman-Montheith, na cultura do milho), para os cultivos realizados nos anos de 2011 e 2012, respectivamente.

Observa-se na Tabela 9, que as lâminas de irrigação apresentaram efeito significativo, com $P < 0,01$, para as variáveis: MECP, MESP, M1000 e PROD. A variável MPE não apresentou efeito significativo.

Tabela 9 - Análise de variância dos dados das massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP) e da palha da espiga (MPE), massa de mil grãos (M1000) e produtividade (PROD.) do milho, submetido a distintas lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2011

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		MECP	MESP	MPE	M1000	PROD
Tratamento	5	2.608,32**	2.193,47**	75,15ns	30,03**	3.510.082**
Bloco	4	1.436,33**	963,45**	40,14ns	14,25ns	1.480.365**
Resíduo	20	264,46	200,52	34,94	6,93	257.752
CV(%)	-	13,68	14,71	26,16	8,13	13,11

GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; * significativo ao nível de $P < 0,05$ de probabilidade pelo teste F; ** significativo ao nível de $P < 0,01$ de probabilidade pelo teste F; ns - não significativo pelo teste F.

Quando se observa a Tabela 10, verifica-se que as lâminas de irrigação apresentaram efeito significativo, com $P < 0,01$ para as variáveis: MECP, MESP, M1000 e PROD. A variável MPE não sofreu influência significativa dos tratamentos aplicados.

Em razão da natureza dos tratamentos serem de caráter quantitativo realizou-se, para as variáveis que apresentaram diferença significativa, análise de regressão para verificar o efeito dos tratamentos nas parcelas avaliadas.

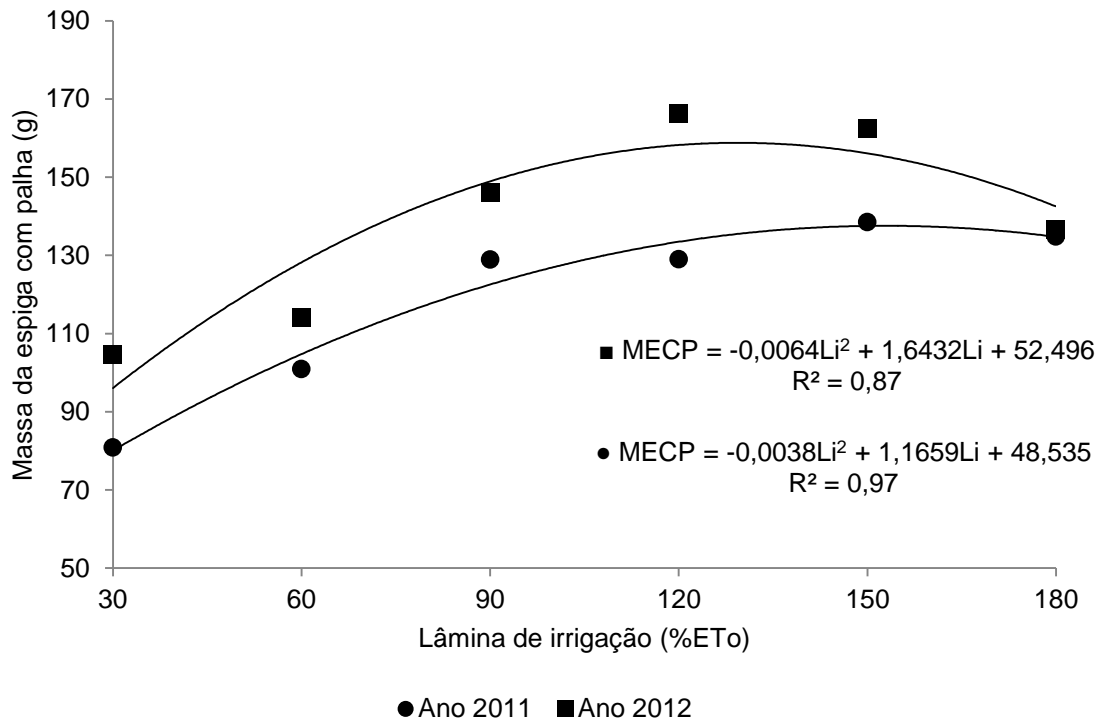
O comportamento da variável MECP nos dois anos de cultivo (2011 e 2012) pode ser verificado na Figura 10, onde se pode observar um comportamento semelhante para esta variável, independente do ano de cultivo, ajustando-se ao modelo polinomial quadrático com R^2 de 0,97 e 0,86, para os cultivos em 2011 e 2012, respectivamente.

Tabela 10 - Análise de variância dos dados das massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP) e da palha da espiga (MPE), massa de mil grãos (M1000) e produtividade (PROD.) da cultura do milho, submetido a distintas lâminas de irrigação, Fortaleza, Ceará, 2012

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio				
		MECP	MESP	MPE	M1000	PROD
Tratamento	5	3.150,73*	2.929,39*	60,68ns	6,31*	901,783*
Bloco	4	6.225,50**	3.852,48**	26,49ns	441,34**	11.702,094**
Resíduo	20	911,14	953,04	27,20	15,40	2.314,061
CV(%)	-	21,82	27,53	18,18	10,95	35,23

GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; * significativo ao nível de $P < 0,05$ de probabilidade pelo teste F; ** significativo ao nível de $P < 0,01$ de probabilidade pelo teste F; ns - não significativo pelo teste F..

Figura 10 - Massa da espiga com palha em função da lâmina de irrigação com base na ET_{OPM} , Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.



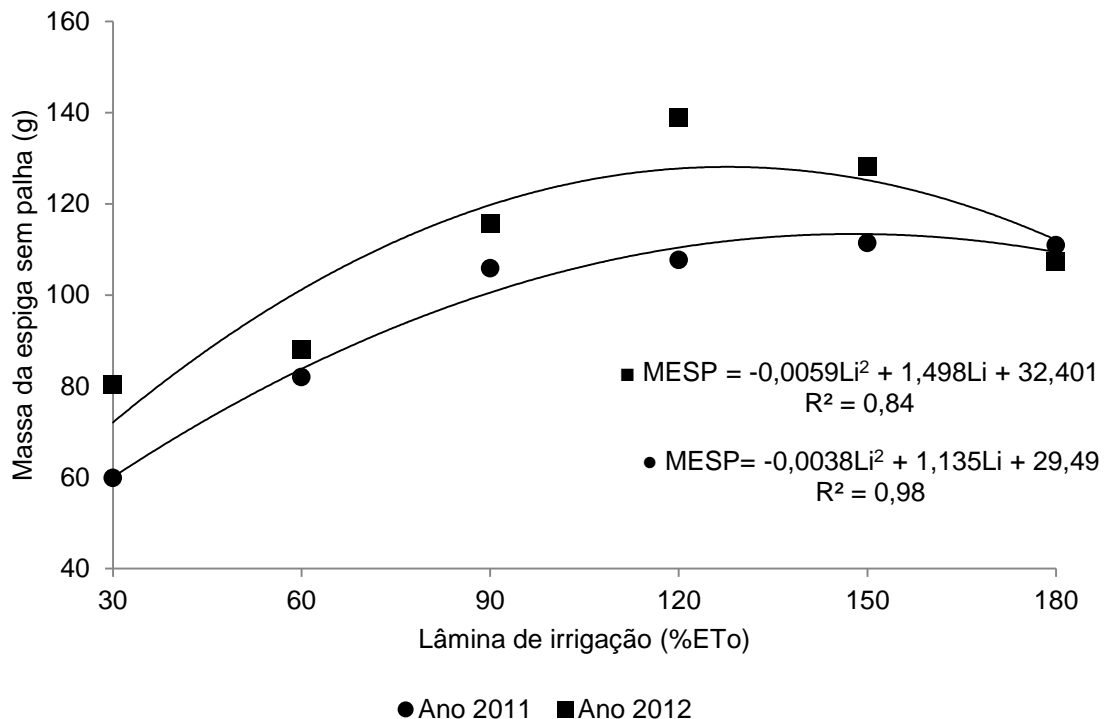
Segundo a estimativa do modelo estatístico empregado, a variável MECP sofre incrementos em sua massa à medida em que se aumenta a quantidade de água aplicada à cultura. Quando considera-se apenas o cultivo realizado em 2011, estima-se um valor ótimo para a MECP de 138 g, se aplicada uma lâmina de 153,4% da evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith (ET_{OPM}). Já para o cultivo realizado em 2012, o valor máximo estimado para essa variável, foi de 158 g, na ocasião da aplicação de uma lâmina ótima de 128,4% (ET_{OPM}).

Quando se observa os dois anos agrícolas (2011 – 2012), é possível perceber claramente que a lâmina de irrigação aplicada em 2011 foi cerca de 19,5% maior que a

aplicada no cultivo em 2012, e este fato foi refletindo na MECP, cerca de 14% maior em 2012 em comparação a 2011. Esse fato é explicado por Magalhães e Durães (2006) ao afirmarem que o excesso de umidade abaixo da superfície do solo, causa redução no potencial produtivo da cultura e se persistindo, pode matar a planta em poucos dias.

Na Figura 11, encontra-se o comportamento da variável MESP em função da lâmina de irrigação nos dois anos de cultivo (2011 e 2012). Verifica-se, de acordo com a análise de variância realizada para a regressão, que o modelo que melhor explica o comportamento desta variável é o polinomial de 2º grau, com R^2 de 0,97 e 0,83, respectivamente para os cultivos realizados em 2011 e 2012, respectivamente.

Figura 11 - Massa da espiga de milho sem palha em função da lâmina de irrigação com base na ET_{OPM} , Fortaleza, Ceará, 2011 - 2012.



Da mesma forma como foi observado para a variável anterior, a massa média das espigas sem palha (MESP) no cultivo realizado em 2012 apresentou valores maiores. O modelo empregado sugere um aumento na massa média por espiga em função do fornecimento crescente de água a cultura até uma lâmina ótima estimada em 149,3% da ET_{OPM} , obtendo-se a estimativa de 114,2 g para a máxima MESP no cultivo de 2011. Para o cultivo em 2012 a lâmina ótima estimada foi de 126,9% da ET_{OPM} para uma máxima MESP estimada em 127,5 g. No comparativo entre os dois anos de cultivo, a lâmina aplicada em 2011 foi 17,7% maior que a aplicada no cultivo de 2012.

Apesar disso, essa água aplicada a mais não se traduziu em massa uma vez que o cultivo realizado em 2012 a massa das espigas possuía, cerca de 10% mais massa. Isso indica que volumes maiores de água aplicada na cultura não se refletiram, necessariamente, em ganhos produtivos, podendo estar diretamente relacionado à textura arenosa do solo (Tabela 1) que favorece o rápido escoamento da água no perfil do solo.

Blanco, Veloso e Cardoso (2009), em experimento conduzido no campo experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, testaram cinco lâminas de irrigação (50, 75, 100, 125 e 150%) na cultura do milho híbrido AG-1051, observando que a massa das espigas cresceu linearmente com a lâmina de irrigação. Os autores obtiveram massa mínima e máxima de 192 e 399 g para a espiga com palha, e de 112 e 284 g para a espiga sem palha, respectivamente.

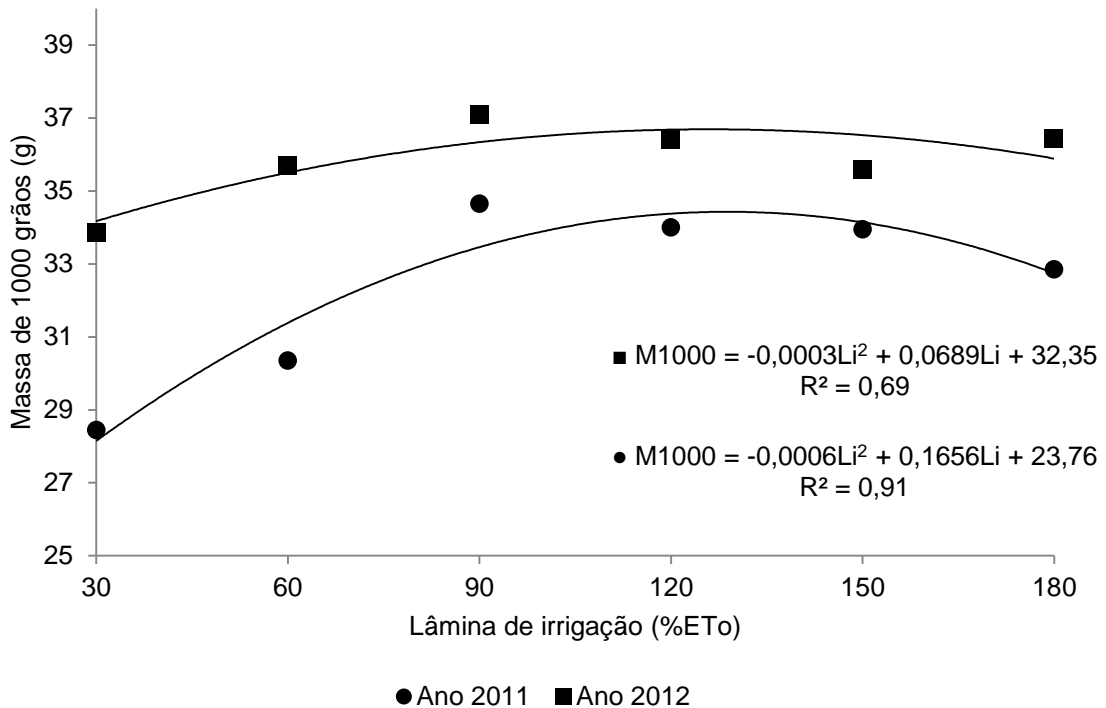
Os resultados para as variáveis MECP e MESP estão dentro do intervalo da pesquisa de Blanco, Veloso e Cardoso (2009), no entanto mais próximos dos valores mínimos, possivelmente influenciados pela diversidade de clima. Cruz et al. (2006) afirmam que a cultura do milho sofre grande influência dos fatores climáticos, principalmente da temperatura e da precipitação.

Assim como as duas variáveis descritas anteriormente (MECP e MESP), a massa M1000 também sofreu influência dos tratamentos. Sua variação, nos dois anos de cultivo, pode ser observada na Figura 12. De acordo com a análise de regressão, e independente do período de cultivo, o modelo quadrático é o que melhor explica o comportamento da dessa variável, que apresentou R^2 de 0,90 e 0,68, para os cultivos de 2011 e 2012, respectivamente.

O modelo sugere um crescente ganho na massa dos grãos quando se aumenta a lâminas de irrigação, atingindo uma M1000 máxima de 35,2 g se aplicada uma lâmina estimada de 138% da ET_{OPM} , para o cultivo em 2011 e 36,3 g se aplicada uma lâmina estimada de 114% da ET_{OPM} no cultivo de 2012. Este resultado apresenta uma diferença, entre o 1º e o 2º ciclo de apenas 3%, em relação a massa dos grãos, onde no 2º ciclo obteve-se grãos de maior massa, com uma economia de água, em torno de 17,4%.

Durães *et al.* (1993) relatam que a falta ou excesso de água afetam a síntese, acumulação, partição e translocação de produtos fotoassimilados e influenciam nos componentes de produção de grãos da cultura do milho, reduzindo assim seu potencial de produção.

Figura 12 – Massa de 1.000 grãos de milho em função da lâmina de irrigação com base na ET_{oPM} , Fortaleza, Ceará, 2011-2012.



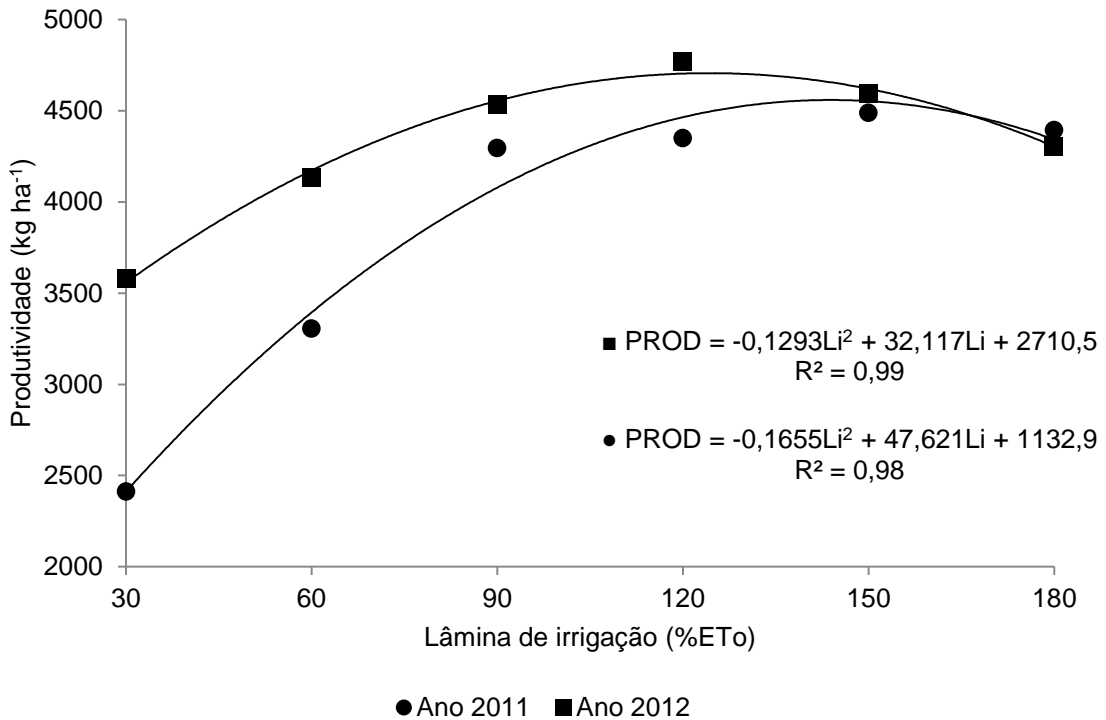
Seriam esperadas respostas iguais da cultura, independente do ciclo produtivo, mas isso não foi o observado, onde o cultivo no ano de 2011 apresenta-se com resultados inferiores aos de 2012. Uma possível explicação para este fato, pode estar relacionado ao que foi relatado por Silva (1992), indicando que sucessivos métodos de preparo de solo levam a modificações no perfil, influenciando o crescimento radicular, que por sua vez afeta o desenvolvimento e a produção da planta. Pois, por mais que o preparo do solo tenha sido o mesmo, sempre há uma diferença de um ano para o outro. Além disso, como a lâmina de irrigação é dependente dos fatores climáticos (umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar, precipitação, entre outros), e estes não são iguais de um ano para outro, ocorre sempre uma variação, como foi observado neste estudo e verifica-se na Figura 2.

Com relação à produtividade da cultura (Figura 13), observa-se para esta variável a mesma tendência verificada com as variáveis estudadas anteriormente. De acordo com a análise de variância da regressão, o modelo que melhor explica o comportamento dos dados é o polinomial de 2º grau, apresentando R^2 de 0,99 e 0,97 para os cultivos realizados em 2011 e 2012, respectivamente.

Nota-se uma tendência crescente na produtividade da cultura, à medida em que se aumenta a lâmina de irrigação aplicada ao cultivo. O modelo estatístico empregado estima uma produtividade máxima para o milho de $4.558,5 \text{ kg ha}^{-1}$ se aplicada a lâmina de irrigação

ótima estimada em 143,9% da ET_{OPM} , quando se analisa o cultivo realizado em 2011. Para o cultivo realizado em 2012 verifica-se produtividade máxima de 4.704,9 $kg\ ha^{-1}$ ao fornecer a lâmina estimada em 124,2% da ET_{OPM} . É importante destacar a tendência de queda na produtividade após o emprego da lâmina ótima estimada, independente do ano de cultivo.

Figura 13 – Produtividade da cultura do milho em função da lâmina de irrigação com base na ET_{OPM} , Fortaleza, Ceará, 2011-2012.



No comparativo entre os dois anos de cultivo, a lâmina ótima aplicada no cultivo em 2011 foi cerca de 13% maior que a aplicada em 2012, apesar disso, essa maior lâmina não se converteu em aumento de produtividade, uma vez que em 2011 a produtividade máxima foi cerca de 3,5% menor que a de 2012.

Assim, ficou evidente que o comportamento de todas as variáveis analisadas foi semelhante, indicando claramente que a produtividade da cultura, em grãos, está diretamente relacionada às demais, uma vez que, as lâminas de irrigação que maximizaram a MECP, a MESP e a M1000 seguem um mesmo padrão de proximidade dentro de cada ciclo produtivo.

De maneira geral, o milho expressou os menores potenciais de produção nos tratamentos com os menores níveis de irrigação, fato este diretamente relacionado às condições de déficit hídrico sofrido, já que as plantas se valem do mecanismo de fechamento dos estômatos, a fim de se protegerem das perdas de água por transpiração, acarretando uma redução na taxa fotossintética (TAIZ; ZEIGER, 2010).

O comportamento oposto também foi observado, já que as plantas responderam ao incremento das lâminas de irrigação até um determinado nível, e a partir desse valor tiveram um decréscimo nas variáveis analisadas, reduzindo seu potencial. Esse comportamento, em parte, pode ser explicado em função da textura do solo, pois apresenta um alto percentual de areia grossa e fina e baixo percentual de argila (Tabela 1), assim o excesso de água pode ter lixiviado parte dos nutrientes.

Para Allen *et al.* (1998), lâminas d'água em excesso podem provocar perdas de água e lixiviação de nutrientes, por meio da percolação abaixo da zona das raízes. Pires, Soprano e Cassol (2002) afirmam que o excesso hídrico tem como consequência principal a diminuição da concentração de oxigênio no solo, dificultando a respiração radicular e acarretando vários problemas, dentre eles: a drástica redução do processo ativo de absorção de nutrientes e ocorrência de respiração anaeróbia, tanto pela planta como os microrganismos do solo, causando acúmulo de substância tóxica na planta e no solo.

Em relação ao déficit, quantidades insuficientes de água favorecem a redução da reserva útil do solo, prejudicando as plantas, principalmente no que tange a divisão das células e conseqüentemente seu crescimento além de aumentar os custos da água aplicada em ambos os casos, tanto no déficit quanto no excesso de água (ALLEN *et al.*, 1998).

Com relação ao Kc da cultura, levando em conta a ET_{OPM} que maximiza a produtividade do cultivo em 2011 (143,4%), pode ser estimado um Kc de 1,43. Já, para o cultivo realizado em 2012 (124,2%), pode ser estimado em 1,24. Assim, percebe-se que no cultivo de 2011 a cultura do milho apresentou uma evapotranspiração maior do que em 2012. Esse fato é visível quando se observa o comportamento das variáveis climáticas (Tabela 2).

Allen *et al.* (1998) afirmam que, em diversas regiões do mundo, o valor de Kc para a fase de máxima exigência hídrica da cultura do milho pode chegar a 1,29. Nesse caso, o valor de Kc encontrado para o cultivo realizado em 2012 está próximo, mais ainda assim abaixo do valor encontrado na literatura para o milho. O mesmo não se pode dizer do Kc de 2011 que apresentou valor mais elevado (1,43).

Entretanto, Mesquita *et al.* (2013), trabalhando com a cultura do gergelim na mesma área onde foi realizado esse trabalho, verificaram que a lâmina de irrigação que maximizou a produtividade do gergelim foi estimada em 117%, também com base na ET_{OPM} e isso corresponde a um Kc de 1,17, ou seja, menor que o encontrado no experimento, embora para uma cultura diversa. Carvalho *et al.* (2006), estudando o Kc do milho para o estado do Rio de Janeiro, encontraram que o valor médio para a máxima demanda de 0,97, afirmando

ainda que o conhecimento desse valor é de vital importância para melhor se dimensionar sistemas agrícolas irrigados.

Albuquerque e Andrade (2001), utilizando a metodologia adaptada de Allen *et al.* (1998), estabeleceram valores máximos de Kc, em função de uma classificação da demanda hídrica, onde consideraram: baixa ($ET_o < 2,5$ mm) e Kc máximo de 1,14; moderada (2,5 a 5 mm) e Kc de 1,23; alta (5 a 7,5 mm) e Kc de 1,29; e muito alta ($>7,5$ mm) e Kc de 1,36. Assim, os valores de Kc encontrados no presente estudo podem se enquadrar na classificação alta, no caso do cultivo de 2012 e muito alta, para o cultivo de 2011.

5.2 Experimento II: Doses e formas de aplicação de nitrogênio

Nas Tabelas 11 e 12 verifica-se um resumo da análise de variância para as variáveis: massa da espiga com palha (MECP), massa das espigas sem palha (MESP), massa da palha da espiga (MPE), massa de 1000 grãos (M1000) e Produtividade (PROD da cultura do milho em função da forma de adubação (convencional ou fertirrigação) e da dose de nitrogênio (45, 90 e 180 kg ha⁻¹), para o primeiro e segundo ciclo produtivo (2011 e 2012).

Na Tabela 11, observa-se que não houve efeito significativo da interação entre a forma e a dose da adubação nitrogenada. No entanto, ocorreu efeito significativo, a probabilidade de (P<0,05) e (P<0,01), de maneira isolada para as variáveis MECP, MESP e PROD. Para as demais variáveis não foi observado efeito significativo.

Tabela 11 – Resumo da análise de variância das variáveis: massa da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP), da palha da espiga (MPE), mil grãos (M100) e produtividade (PROD) do milho em função da dose e da forma de aplicação de, Fortaleza, Ceará, 2011.

FV	GL	Quadrado médio				
		MECP	MESP	MPE	M1000	PROD
Formas (F)	1	965,26**	708,64**	25,14ns	0,16ns	793.338*
Doses (D)	3	1.291,80**	791,38**	88,26ns	20,36ns	1.423.694**
F x D	3	90,06ns	36,40ns	6,01ns	6,77ns	308.799ns
Blocos	3	278,38**	120,48ns	29,85ns	23,94ns	139.305ns
Resíduo	21	70,43	81,13	52,34	10,23	113.889
CV%	-	7,14	9,38	32,14	10,50	9,20

GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; * significativo ao nível de (P<0,05) de probabilidade pelo teste F; ** significativo ao nível de (P<0,01) de probabilidade pelo teste F; ns - não significativo ao nível de (P<0,05) de probabilidade.

Na Tabela 12, é possível verificar que houve interação significativa (P<0,05), para as variáveis MESP e PROD. As variáveis MECP e MPE também sofreram diferença estatística a 5% e 1% (P<0,05 e P<0,01), mas somente em função da dose de nitrogênio aplicada. A variável M1000 não apresentou diferença estatística em função dos tratamentos estudados.

Como os tratamentos com doses de nitrogênio são de caráter quantitativo, foi aplicado o teste de regressão às variáveis estudadas, quando a variância foi significativa. O resultado da análise de regressão, para os anos agrícolas 2011 e 2012, realizados para a variável MECP, pode ser observado na Figura 14 e 15. No comparativo entre os dois anos agrícolas, verifica-se a tendência linear dos dados para a forma de adubação convencional, com coeficiente de determinação de 0,78 e 0,66, respectivamente. No que diz respeito à forma

fertirrigada, os dados apresentaram uma tendência linear em 2011 e polinomial de segunda ordem em 2012, com R^2 de 0,98 em ambos. O esperado é que uma variável apresente a mesma tendência de resposta sob condições semelhantes de solo, clima, lâmina de irrigação e etc., o que neste caso não pode ser observado, pois possivelmente os fatores externos diferenciados, destacando a precipitação excessiva no ano de 2012 pode ter provocado esta resposta diferenciada, no que diz respeito a esta variável.

Tabela 12 – Resumo da análise de variância das variáveis: massa da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP), da palha da espiga (MPE), mil grãos (M100) e produtividade (PROD) do milho em função da dose e da forma de aplicação de N, Fortaleza, Ceará, 2012.

FV	GL	Quadrado médio				
		MECP	MESP	MPE	M1000	PROD
Formas (F)	1	475,79ns	660,62ns	100,36ns	0,0913ns	54.276ns
Doses (D)	3	5.717,94**	3.243,58**	328,85ns	17,72ns	8.183.426**
F x D	3	822,26ns	581,35*	113,40ns	9,14ns	102.087*
Blocos	3	91,40ns	300,97ns	94,68	34,08ns	526.605ns
Resíduo	21	528,62	167,46	107,80	13,05	266.275
CV%	-	25,02	19,77	48,03	11,18	19,55

GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; * significativo ao nível de ($P < 0,05$) de probabilidade pelo teste F; ** significativo ao nível de ($P < 0,01$) de probabilidade pelo teste F; ns - não significativo ao nível de ($P < 0,05$) de probabilidade.

Analisando a Figura 14, verifica-se a superioridade da fertirrigação em relação à adubação convencional. Para ambas as formas de fertilização, observa-se uma tendência sempre crescente na MECP, sem tendência a queda, em função do aumento da dose de nitrogênio fornecida a cultura, até a dose máxima fornecida de 180 kg ha^{-1} (dobro da dose recomendada). Essa dose propiciou maior MECP, sendo a adubação via fertirrigação apresentando massa cerca de 5% maior em relação à forma convencional.

Quando se observa o comportamento da MECP no ano agrícola 2012 (Figura 15), nota-se um comportamento diferenciado na resposta da cultura em relação as doses de nitrogênio fornecidas, onde a adubação convencional apresentou comportamento linear, com ganhos na MECP à medida que se aumenta a dose de N sem tendência a queda, e a fertirrigação ajustou-se ao modelo polinomial do segundo grau, com incrementos crescentes na massa das espigas à medida que se aumenta a dose de N, obtendo-se espigas com massa máxima de $123,9 \text{ g}$ para uma dose ótima estimada em $135,1 \text{ kg ha}^{-1}$, no entanto após esta dose a planta respondeu negativamente aos incrementos de dosagens com produtividades cada vez menores.

É importante destacar que a adubação convencional, mesmo na dosagem mais elevada (180 kg ha^{-1}) obteve uma massa de espigas reduzida ($118,8 \text{ g}$) em relação a fertirrigação. Esse resultado sugere que a fertirrigação foi mais eficiente que a adubação convencional em promover maior massa as espigas com um consumo menor de N. Se compararmos apenas as melhores doses de cada método de adubação nitrogenada teremos que a fertirrigação usou, cerca de 45 kg ha^{-1} a menos de N para produzir espigas de maior massa.

Figura 14 - Massa da espiga de milho com palha em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2011.

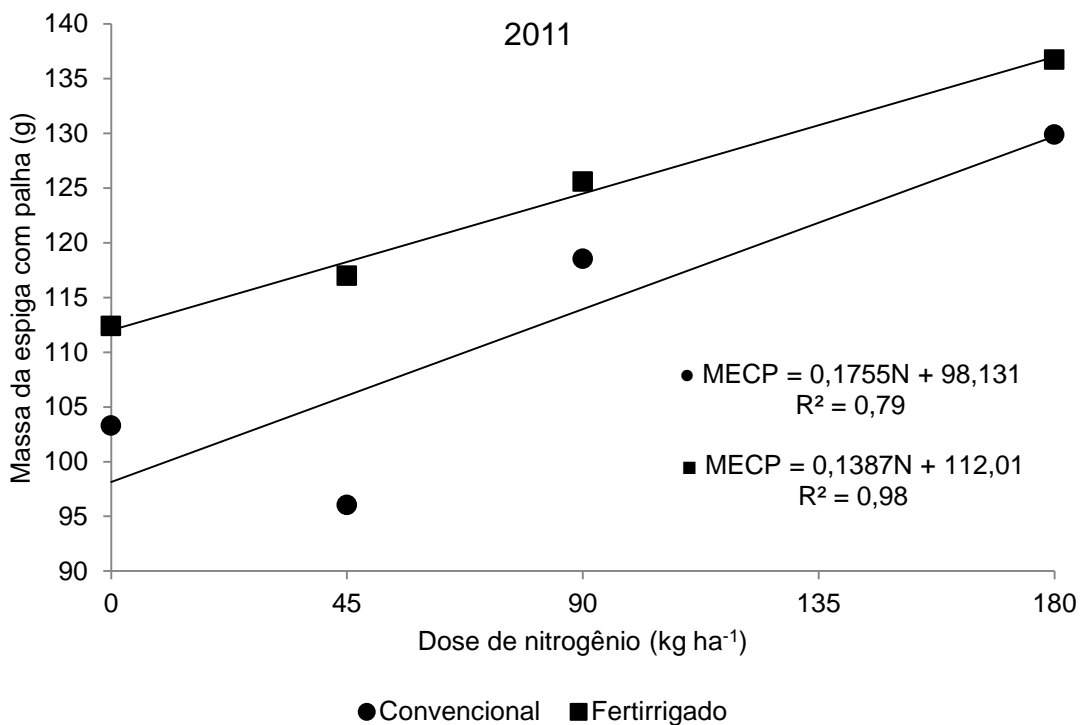
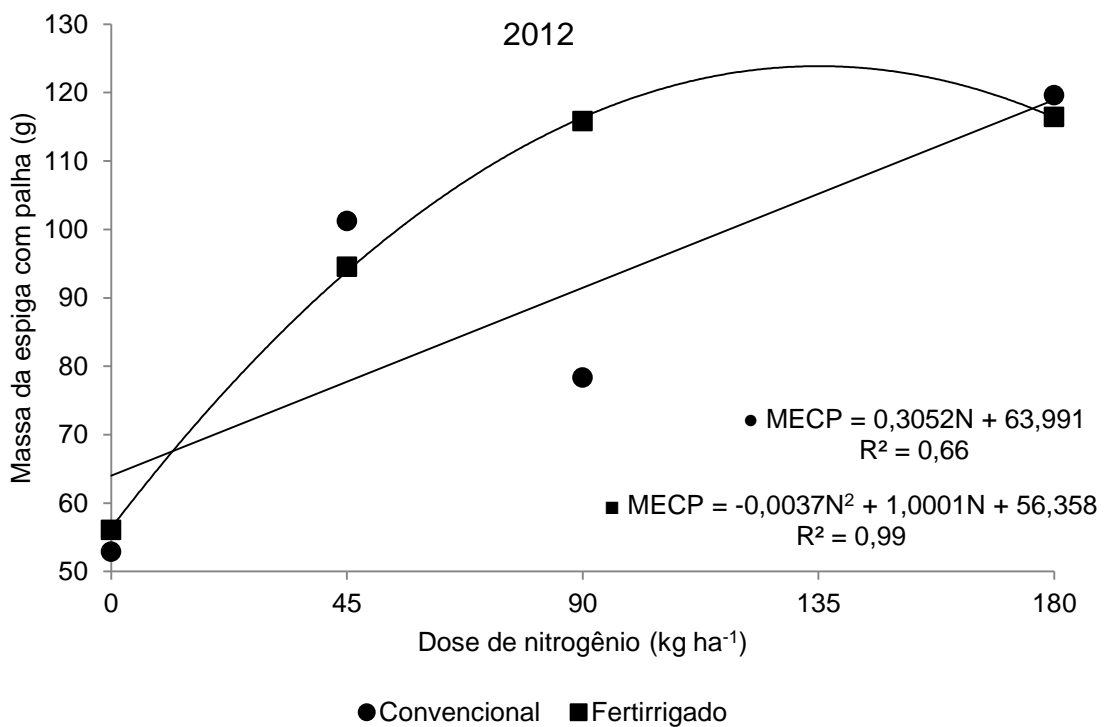


Figura 15 - Massa da espiga de milho com palha em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2012.

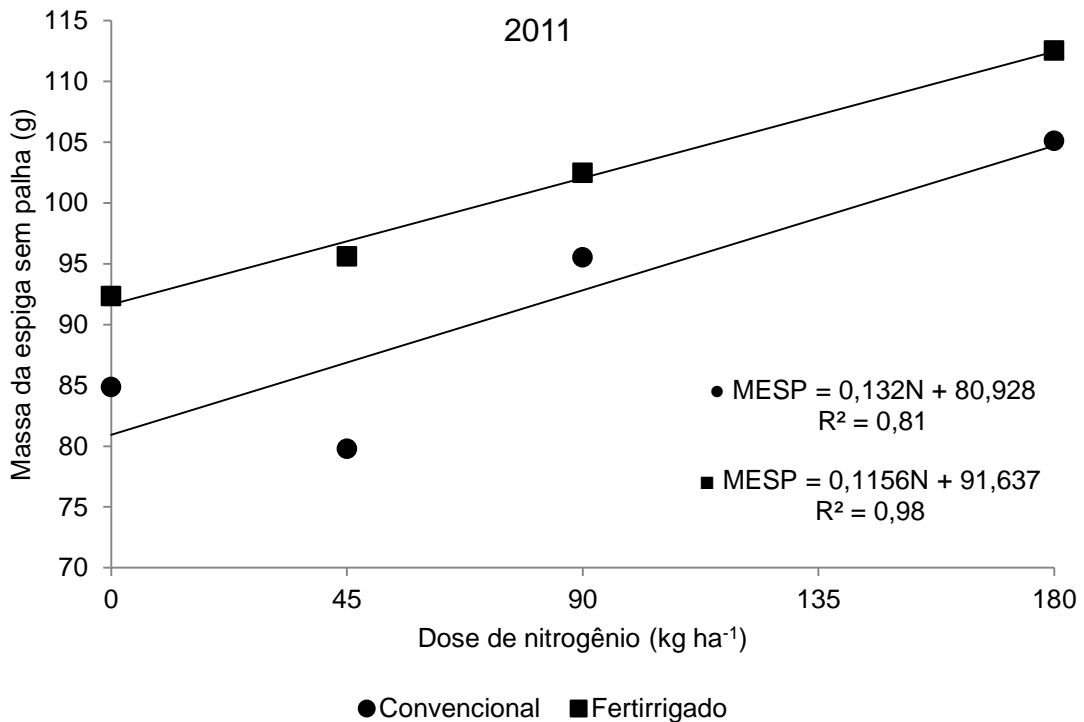


Uma das funções do nitrogênio no metabolismo vegetal é promover aumento de parte aérea, mas em excesso este nutriente se torna tóxico, provocando redução do acúmulo de fitomassa, e refletindo também no custo metabólico de energia associado às adaptações ao estresse salino, síntese de solutos orgânicos, manutenção da integridade das membranas celulares, regulação do transporte e distribuição iônica em vários órgãos e dentro das células (WILLADINO; CAMARA, 2004).

Amado, Mielniczuk e Aita (2002) relatam que o nitrogênio, por ser o nutriente requerido em maior quantidade pelas gramíneas, é muitas vezes suprido insuficientemente, e em anos que apresentem condições climáticas ideais ao desenvolvimento da cultura a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha⁻¹.

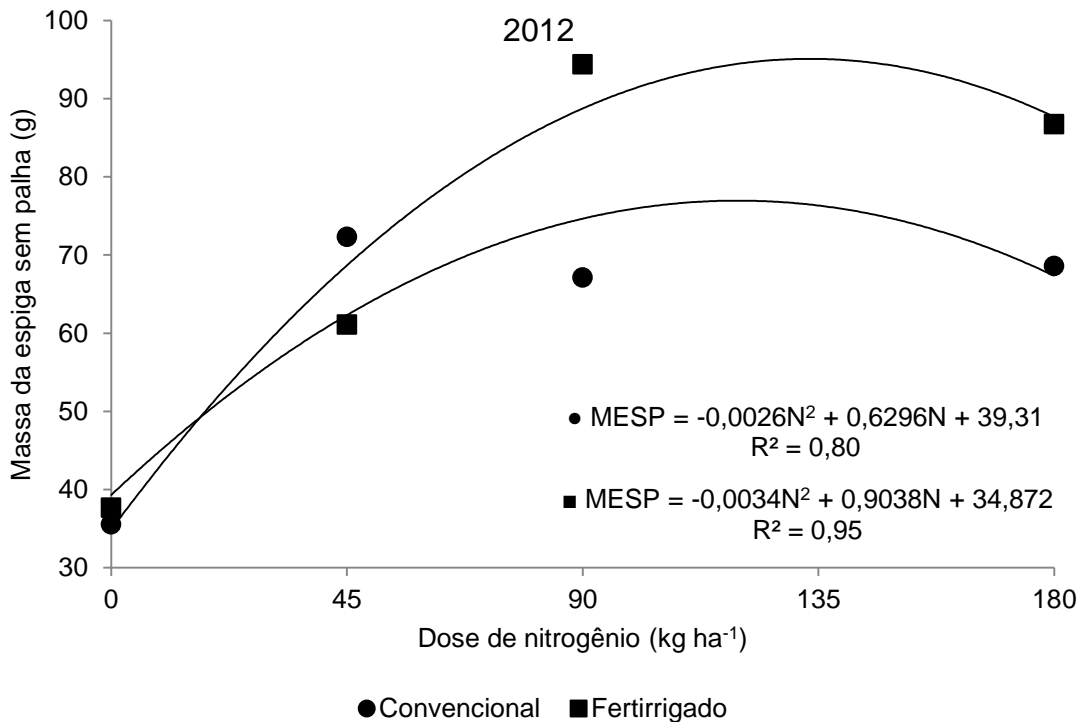
Já no que se refere ao comportamento da variável MESP, seu comportamento pode ser verificado nas Figuras 16 (cultivo 2011) e 17 (cultivo 2012), assim como na Tabela 12 (cultivo 2012). A princípio, quando verificamos os dois anos de cultivos, percebe-se que no realizado em 2011, ambas as formas de adubação ajustaram-se ao modelo estatístico linear de distribuição dos dados, por outro lado, no cultivo realizado em 2012, essa tendência não se confirmou, com os dados ajustando-se ao modelo polinomial do segundo grau.

Figura 16 - Massa da espiga de milho sem palha em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2011.



Ao analisar isoladamente a Figura 16 esse comportamento linear sugere que a cultura responde com incrementos na massa das espigas, à medida que se aumenta a dose de N fornecida à cultura do milho e sem observar tendência a queda, chegando a um ponto máximo quando a adubação é realizada com o dobro da dose recomendada, independente da forma de adubação. Com relação aos métodos de adubação, a fertirrigação obteve destaque ao mostrar-se superior, conferindo a cultura maior massa por espiga, em média, 7% mais quando adubada com 180 kg ha⁻¹, o dobro da dose recomendada para a cultura. Em comparação a dose controle (sem aplicação de N) esses incrementos foram maiores cerca de 23% e 18%, respectivamente para as formas de adubação convencional e fertirrigação.

Figura 17 - Massa da espiga de milho sem palha em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2012.



Agora, analisando apenas o cultivo realizado em 2012, percebe-se que a MESP apresentou interação significativa entre os fatores doses e formas de aplicação de N (Tabela 12). Na Tabela 13, verifica-se a análise comparativa das médias por meio do teste de Tukey, para as doses de nitrogênio dentro de cada método de aplicação, convencional e fertirrigação.

Comparando as doses de N, dentro das formas de aplicação de N, observa-se que não há diferença entre os valores médios dessa variável quando da aplicação do tratamento controle (0 kg ha⁻¹), metade da dose recomendada (45 kg ha⁻¹) ou o dobro da dose recomendada (180 kg ha⁻¹). Entretanto, quando se aplica a dose recomendada para a cultura (90 kg ha⁻¹), se observa diferença entre as médias, evidenciando a fertirrigação como mais eficiente, produzindo espigas por planta de maior massa, em detrimento da forma convencional alcançando uma massa média por espiga na ordem de 40% mais (Tabela 13).

Mendonça *et al.* (1999), trabalhando com a cultura do milho, observaram que a fertirrigação nitrogenada apresentou influência positiva sobre cultura, apresentando diferenças significativas nas variáveis de crescimento da cultura, como teor de matéria seca e nas variáveis produtivas como a massa média das espigas e a produtividade média total da cultura.

Tabela 13 - Valores médios das interações significativas da massa da espiga sem palha (MESP) da cultura de milho submetida a adubação pelo método convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2012

MESP (g)	Dose de N (kg ha ⁻¹)			
	0	45	90	180
Forma de aplicação				
Convencional	35,5 a	72,3 a	67,1 b	68,6 a
Fertirrigação	37,7 a	61,1 a	94,4 a	86,7 a

Teixeira, Quaggio e Mellis (2011), afirmam que a fertirrigação favorece aumentos de eficiência na adubação em relação à adubação convencional, e que em seus estudos a superioridade da fertirrigação foi de aproximadamente 36%.

Ainda no que diz respeito a MESP, agora analisando a Figura 17, verifica-se, para ambas as formas de adubação, um comportamento semelhante na tendência dos dados, seguindo um modelo quadrático de resposta, com R^2 de 0,80 e 0,95 para a forma convencional e fertirrigada, respectivamente. Em relação à adubação convencional, é possível estimar uma dose ótima de N de 121,1 kg ha⁻¹ que maximiza a massa da espiga para 77 g. Quando se verifica o comportamento da fertirrigação, o modelo sugere que uma dose ótima de 132,9 kg ha⁻¹, produzirá espigas com maior massa média de 94,9 g por planta. Comparando as duas estimativas de massa, a fertirrigação aparece como a que produzirá espigas de maior massa, ou seja, a massa das espigas fertirrigadas é quase 25% maior em detrimento as espigas que foram adubadas de maneira convencional.

A princípio, este resultado pode estar diretamente relacionado às características da fertirrigação, favorecendo a disponibilidade de água e nutrientes em quantidade ideal para o crescimento e produtividade da cultura (FERNANDES; ARAUJO; CORÁ, 2002), ao contrário da adubação convencional, já que nesta técnica o nutriente permanece no solo por mais tempo, aumentando o risco de ser perdido por lixiviação ou volatilização, duas maneiras mais comuns quando se trata de adubação nitrogenada com ureia.

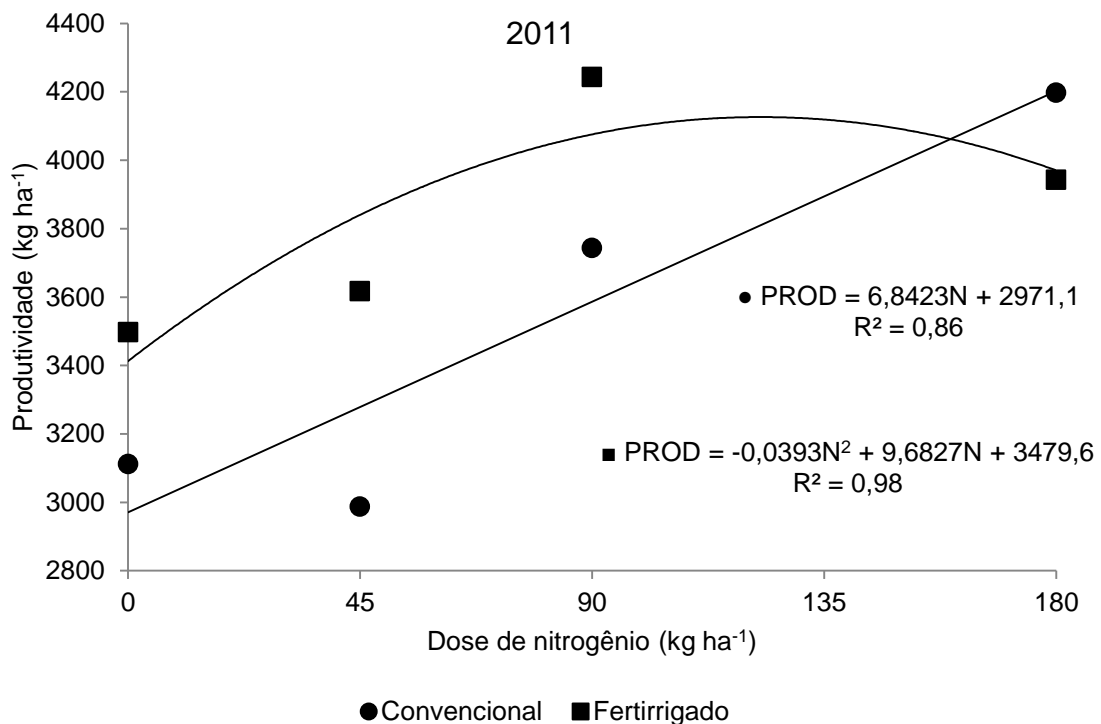
O decréscimo na MESP com a aplicação de doses mais elevadas de nitrogênio é observado tanto na adubação convencional quanto na fertirrigação. Borges, Caldas e Lima (2006) relatam que este comportamento pode ser atribuído à função do nitrogênio no crescimento vegetativo, resultando em alta produção de folhas e diminuição do número de flores.

No que diz respeito à produtividade da cultura do milho, levando em consideração os dois anos de cultivos, observa-se uma resposta semelhante em relação à forma de adubação com N, independente do período de cultivo, onde a adubação convencional se caracteriza por apresentar um modelo linear de resposta e a fertirrigação comporta-se seguindo um modelo

polinomial de segunda ordem. Esse comportamento pode ser uma característica de cada tipo de adubação para as condições de realização do experimento, haja visto que foi a única variável a apresentar o mesmo comportamento para os cultivos realizados em 2011 e 2012.

Discutindo isoladamente os resultados obtidos no ano de 2011, na Figura 18 observa-se o resultado da análise de regressão para a produtividade (PROD) da cultura do milho. Nota-se, que com relação a forma de adubação a curva resposta, para cada forma, apresentou comportamento diferenciado, ajustando se ao modelo linear, quando a adubação efetuada de forma convencional e polinomial de segundo grau quando via fertirrigação, com R^2 de 0,86% e 98%, respectivamente.

Figura 18 - Produtividade da cultura do milho em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2011.



A tendência linear sugere claramente um incremento na produtividade da cultura à medida que se aumentou a dose de N fornecida, estimando uma produtividade máxima de 4.197,5 kg ha⁻¹ quando fornecida a cultura a maior dose de N testada (180 kg ha⁻¹), sem haver sinais de queda de produtividade quando aumentar a dose de N fornecida a planta.

Quando se analisa a adubação via fertirrigação, percebe-se que o modelo sugere que à medida que se aumenta a dose de N fornecida à cultura, obtém-se ganho na produtividade da mesma, até um valor máximo, estimado em 4.076 kg ha⁻¹ para uma dose

ótima de N de 123,2 kg ha⁻¹, cabe ressaltar que após esse valor o modelo indica haver declínio de produtividade ao se aumentar as doses de N.

De modo geral, levando em consideração os valores totais das estimativas de produtividade, obtidos na adubação convencional e na fertirrigação, verifica-se que a adubação convencional obteve produtividade maior que a fertirrigação, muito embora esta diferença não foi maior que 3%. No entanto o que deve-se levar em consideração é a eficiência de cada método, uma vez que a adubação convencional obteve sua maior produtividade (4.197,5 kg ha⁻¹) quando da aplicação da maior dose testada no experimento (180 kg ha⁻¹) e a forma fertirrigada necessitou apenas de 123,2 kg ha⁻¹ de N para encontrar uma produtividade 3% inferior a primeira 4.076 kg ha⁻¹, portanto pode-se considerar que a fertirrigação foi entorno de 31% mais eficiente.

Esta resposta evidencia a eficiência da fertirrigação, em detrimento da adubação convencional, no que diz respeito à economia do insumo (ureia) e à preservação do meio ambiente, uma vez que o adubo fornecido de maneira parcelada para a cultura pode evitar acúmulo de grandes quantidades no solo, que podem ser facilmente carregadas para o lençol freático, por ocasião de chuvas mais intensas.

Quando analisa-se o comportamento da produtividade (PROD) da cultura do milho no ano de 2012, verifica-se a interação significativa entre os fatores estudados (doses e formas de aplicação de N). Na Tabela 14 têm-se o comparativo das médias, em relação ao teste de Tukey, em relação as formas de aplicação de N dentro de cada dose aplicada.

Tabela 14 - Valores médios das interações significativas da produtividade (PROD) da cultura do milho submetida a adubação pelo método convencional e por fertirrigação, Fortaleza, Ceará, 2012

Forma de aplicação	Dose de N (kg ha ⁻¹)			
	0	45	90	180
Convencional	1.287,1 a	2.903,3 a	2.656,6 b	3.543,3 a
Fertirrigação	1.150,0 a	2.666,6 a	3.770,0 a	3.433,3 a

Nota-se não haver diferença significativa entre as médias, ao nível dos tratamentos controle (0 kg ha⁻¹), metade da dose recomendada (45 kg ha⁻¹) e assim como o dobro da dose recomendada (180 kg ha⁻¹). Já o tratamento onde aplicou-se a dose recomendada para a cultura (90 kg ha⁻¹), verifica-se diferença estatística entre as medias com a fertirrigação superior a adubação convencional apresentando uma produtividade cerca de 40% maior.

A princípio pode parecer que a fertirrigação sempre apresenta resultados melhores que a adubação convencional, mas não é bem assim. A cultura também é importante, uma vez

que respondem de maneiras diferentes ao manejo empregado, daí a importância da pesquisa. Fernandes (2007) comparou várias fontes de adubos nitrogenados, tanto em fertirrigação quanto em aplicação convencional, em cafeeiro, e não encontraram diferença significativa em termos de produtividade, e tão pouco no que diz respeito à qualidade final do café. Já, Teixeira, Natale e Martins (2007), estudando o comportamento da bananeira em função da adubação convencional e da fertirrigação, concluíram que a fertirrigação possibilitou reduzir a dose de nitrogênio em relação à adubação convencional, sem prejuízo na produção de frutos.

Este mesmo comportamento foi observado, em parte, por Andrade Júnior *et al.* (2006), que, verificaram, em melancia, a produtividade seguindo um modelo polinomial quadrático de resposta à medida que se aumentava as doses de N aplicada, mas que no entanto, outros parâmetros estudados na pesquisa como os de qualidade dos frutos não foram afetados pelas doses de nitrogênio aplicada via fertirrigação. Duenhas *et al.* (2005), em pesquisa com laranjeira, não observaram diferenças entre a fertirrigação e a adubação convencional, no que diz respeito à produtividade e à qualidade do fruto.

O comportamento dos dados de produtividade do milho, para o cultivo no ano de 2012, submetidos à análise de regressão, pode ser verificado na Figura 19. Mais uma vez, observa-se um comportamento diferenciado dos dados obtidos com a fertirrigação e adubação convencional. Na fertirrigação os dados se ajustaram a um modelo polinomial de 2º grau, com R^2 0,97, e na adubação convencional a um modelo linear, com R^2 de 0,88.

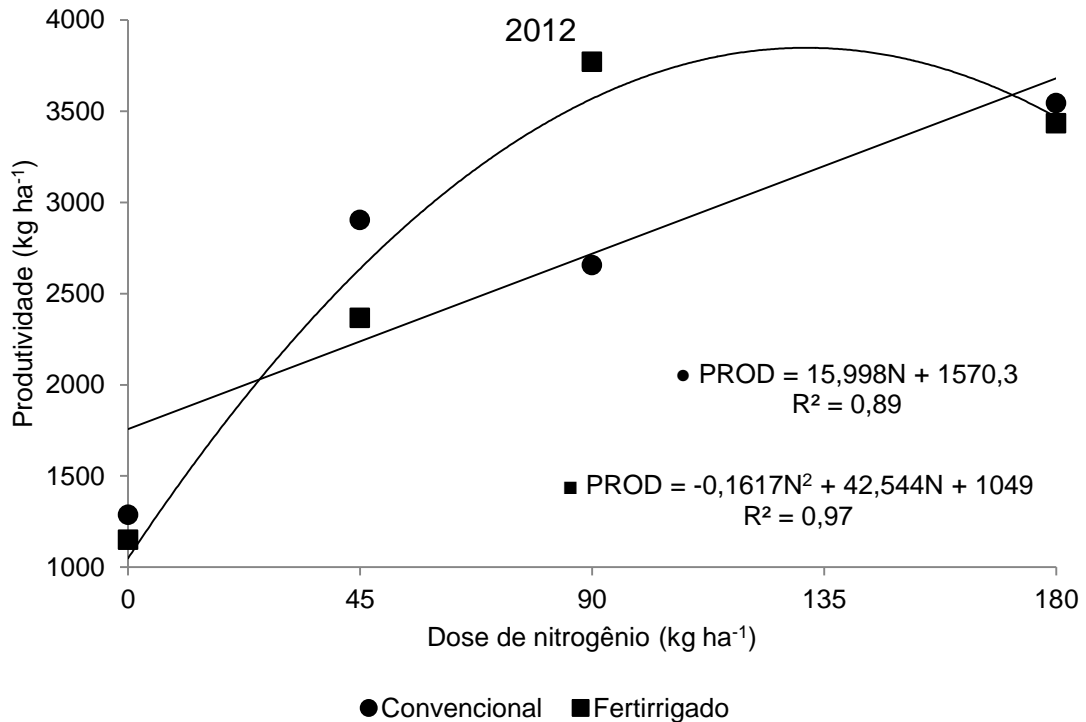
Quando a adubação foi realizada de forma convencional, à medida que se aumentou a dose de N foi verificado um aumento na produtividade (PROD), alcançando seu valor máximo (3.543,3 kg ha⁻¹) com a maior dose estudada (180 kg ha⁻¹). Já na fertirrigação, o modelo sugere que à medida que se aumenta a dose de N fornecida à cultura, a mesma responde com acréscimos na PROD, até o ponto de máxima produtividade, estimada em 3.847,40 kg ha⁻¹ para uma dose de 131,6 kg ha⁻¹. Após este ponto, a cultura passa a apresentar produtividade cada vez menor.

A tendência na queda após um ponto de máxima produção foi observada por Pinto (2011), com o sorgo cultivado sob diferentes doses de nitrogênio aplicadas de maneira convencional. Já, Von Pinho *et al.* (2008), trabalhando com adubação nitrogenada na cultura do milho, encontraram um comportamento linear para a altura da planta e inserção da primeira espiga em função da dose de nitrogênio.

Fernandes *et al.* (2005), estudando doses de N e eficiência de uso desse nutriente, em seis cultivares de milho na região do cerrado, verificaram que a eficiência do uso do nitrogênio de todos os híbridos diminuiu quando se aumentou a dose de N. Também

observaram que as doses de N influenciaram principalmente a massa de 100 grãos e a produtividade.

Figura 19 - Produtividade da cultura do milho em função da dose de nitrogênio, Fortaleza, Ceará, 2012.



Analisando o comportamento da cultura do milho, nos dois anos de cultivo, nota-se claramente que em 2011 a cultura apresentou caracteres produtivos mais elevados, no que diz respeito à MECP, à MESP e à PROD em relação ao ano de 2012. Este fato pode estar diretamente relacionado às condições meteorológicas enfrentadas pela cultura durante a realização dos experimentos, principalmente à precipitação ocorrida no ano de 2012. Esse comportamento pode ser explicado analisando a Figura 2, que dentre outras variáveis climatológicas, é possível observar o volume precipitado desde a semeadura até a colheita.

Nota-se que o volume de chuvas no ano de 2012 foi superior ao de 2011. E, percebe-se claramente a ocorrência de, pelo menos, dois picos de chuvas em 2012, um no início do ciclo, quando se realizou a adubação de fundação (comum às duas formas de adubação) e outro no meio do ciclo, quando do pendoamento e início da polinização, chegando a chover volumes próximos a 80 e 200 mm em um período de 2 dias.

Por se tratar de dois eventos com volumes grandes de água, em especial o segundo (200 mm) podem ter interferido diretamente na lixiviando dos nutrientes presentes no solo, por ocasião da adubação convencional e fertirrigação, uma vez que essa lixiviação pode ter sido facilitada em função do solo apresentar um textura arenosa. Com menos

nutriente para o desenvolvimento as plantas não puderam mostrar todo o seu potencial assim produziram menos que a safra anterior.

Cruz *et al.*, (2006) também afirmam que a radiação solar é um dos parâmetros de extrema importância para a o milho, e que a redução de 30% a 40% da intensidade luminosa atrasa a maturação dos grãos e pode ocasionar queda na produção. Na Figura 2, percebe-se uma diferença em relação a radiação durante os cultivos em 2011 e 2012, com o cultivo em 2012 recebendo menos radiação que o cultivo em 2011.

Aguiar e Moura (2003) encontraram produtividade do milho híbrido AG-1051 de 4.210 kg ha⁻¹. A temperatura ótima para muitos processos fisiológicos no milho, como respiração e translocação de carboidratos, obedece a uma faixa em que seu desempenho, na determinação do número de grãos por planta, não é afetado e em áreas tropicais, esse é o principal parâmetro responsável pelas maiores oscilações de produtividade da cultura (LAFITTE *et al.*, 1997).

A forma predominante de nitrogênio em solos onde não há deficiência é o nitrato (NO₃⁻), e em função do maior número de cargas negativas na camada arável do solo sua absorção eletrostática é muito baixa, o que favorece o processo de lixiviação deste nutriente. A lixiviação é a principal causadora da perda de nitrogênio no solo, além disso, o tipo de solo também pode ser responsável pela perda de N no processo de lixiviação. Solos argilosos apresentam maior capacidade de retenção de N do que solos arenosos (MALAVOLTA; PIMENTEL-GOMES; ALCARDE, 2002), como o solo presente na área experimental, classificado como areia franca (Tabela 1).

Esse fato, muito provavelmente, pode ter facilitado à lixiviação do nitrogênio, em fases críticas para as plantas, principalmente no estabelecimento da cultura em campo e no início da reprodução, fazendo com que a cultura do milho apresentasse variáveis produtivas distintas nos ciclos produtivos 2011 e 2012.

Ritchie *et al.* (1993) consideram que, na cultura do milho, no início do crescimento pequenas quantidades de N são necessárias, uma vez que um sistema radicular pouco desenvolvido explora uma quantidade de solo também reduzida. Por este motivo, grandes concentrações de N são necessárias próximas ao sistema radicular para atender à demanda da cultura, já que é neste período que há a diferenciação das partes da planta, os tamanhos finais das folhas, espigas e outras. Assim, a deficiência de N neste período pode reduzir o rendimento de grãos da cultura do milho.

Pavinato *et al.* (2008), testando doses de N em dois anos agrícolas consecutivos (02/03 e 03/04) também obteve respostas diferentes no que se refere a produtividade da

cultura, onde o ano agrícola (03/04) mostrou apresentar uma produtividade significativamente maior que o primeiro (02/03). Os autores afirmaram que tal diferença se dá porque a cultura do milho sofreu influência da adubação nitrogenada plantada na área anteriormente, a aveia. No caso do presente estudo não se pode fazer tal analogia, a não ser se tomarmos os fatores climáticos, principalmente a precipitação como principal fator de discrepância dos dois anos de cultivo. Os resultados do trabalho destes autores mostraram que, em geral, doses entre 120 e 160 kg ha⁻¹ de N podem ser tomadas como base para altas produtividades de grãos na cultura do milho.

Este fato é corroborado nos estudos realizados por Silva *et al.* (2005) com doses e épocas de aplicação de N sob condições de sequeiro. Os autores mostraram que a máxima eficiência produtiva foi alcançada com a dose de 126 kg ha⁻¹ de N, aplicando-se metade na semeadura e metade no estágio de 4 a 6 folhas.

5.3 Experimento III: Doses e formas de aplicação de potássio

Nas Tabelas 15 e 16 estão dispostos os valores de quadrados médios da análise de variância para MECP, MESP, MPE, M1000 e PROD da cultura do milho em função das formas de adubação convencional e fertirrigada e doses de potássio, respectivamente para o primeiro e segundo ciclo produtivo (2011 e 2012).

Tabela 15 - Resumo da análise de variância para as massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP), da palha da espiga (MPE), de mil grãos (M1000) e produtividade (PROD) da cultura do milho em função da dose e da forma de aplicação de potássio, Fortaleza, Ceará, 2011.

FV	GL	Quadrado médio				
		MECP	MESP	MPE	M1000	PROD
Formas (F)	1	113,63ns	5,81ns	56,82ns	0,26ns	73.080ns
Doses (D)	3	5.123,76**	4.406,64**	140,85ns	45,91ns	8.534.848**
F x D	3	38,09ns	168,10ns	53,74ns	16,20ns	287.269ns
Blocos	3	111,85ns	128,72ns	4,87ns	15,92ns	924.891*
Resíduo	21	79,33	87,60	57,99	18,98	193.571
CV%	-	7,98	10,02	44,06	12,03	12,29

GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16 - Resumo da análise de variância para as massas da espiga com palha (MECP), sem palha (MESP), da palha (MP), de mil grãos (P1000) e produtividade (PROD) da cultura do milho em função da dose e da forma de aplicação de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012

FV	GL	Quadrado médio				
		MECP	MESP	MPE	M1000	PROD
Formas (F)	1	1.181,36*	692,94*	64,75*	506,99ns	925.662ns
Doses (D)	3	1.026,61**	591,46*	84,45**	669,73ns	1.179.432*
F x D	3	153,99ns	130,59ns	10,11ns	684,74ns	419.390ns
Blocos	3	43,08ns	8,17*	27,35ns	477,26ns	82.757ns
Resíduo	21	188,15	151,95	14,30	658,25	259.989
CV%	-	19,56	22,88	23,28	104,22	24,08

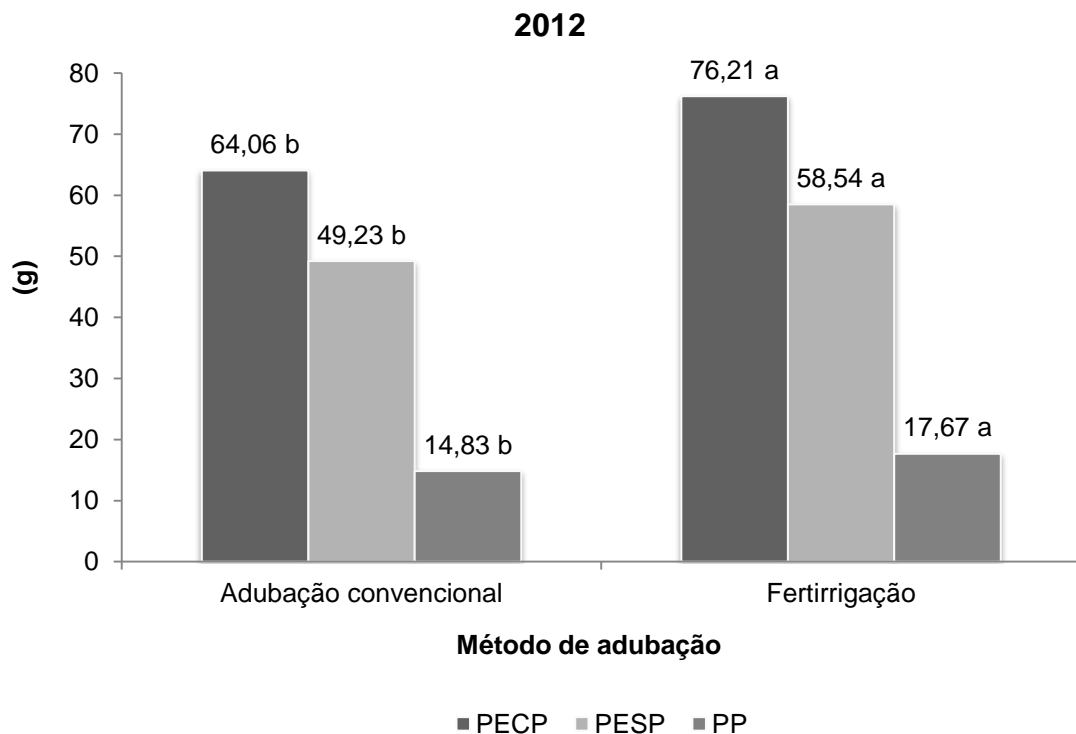
GL - grau de liberdade; CV - coeficiente de variação; * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F; ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se para o primeiro ciclo que não houve efeito significativo no que diz respeito às formas de adubação, e a interação entre as formas e doses, sendo constatado efeito significativo a 1% ($P < 0,01$) das diferentes doses de potássio somente para as variáveis MECP, MESP e PROD.

Já para o segundo ciclo (2012) as formas de adubação influenciaram significativamente a 5% ($P < 0,05$) as variáveis MECP, MESP e MPE, não tendo proporcionado efeito para o M1000 e para a PROD. Com relação à interação entre as formas e doses o comportamento foi semelhante ao encontrado no primeiro ciclo, não tendo sido constatado interação significativa entre os fatores, enquanto que as doses de potássio influenciaram significativamente a 5% ($P < 0,05$) a MESP e a 1% ($P < 0,01$) a MECP, MPE e PROD.

Na Figura 20 pode-se observar que das variáveis influenciadas pelas formas de adubação, no segundo ciclo, a fertirrigação foi a que proporcionou maiores valores quando comparada com a adubação convencional, com uma superioridade em torno de 19, 18,9 e 19,2%, respectivamente, para as variáveis MECP, MESP e MPE.

Figura 20 – Massa da espiga de milho com palha (MECP) e sem palha (MESP) e da palha da espiga (MPE) em função da forma de aplicação de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.



A diferença estatística entre os métodos de adubação, observada apenas para o segundo ciclo produtivo pode ser explicado ao analisarmos o comportamento das precipitações nos dois anos de cultivo no campo (Figura 2).

Observa-se que no primeiro ano (2011), ocorreram apenas pequenas precipitações durante o cultivo do milho, enquanto que no segundo ano, 2012, observam-se alguns picos de precipitações de maior intensidade. Assim, pode-se afirmar que o parcelamento da dose do

adubo, quando foi aplicado pela fertirrigação, favoreceu uma menor perda por lixiviação aumentando a disponibilidade do nutriente para a planta resultando num melhor aproveitamento pela cultura.

Pode-se afirmar ainda que o contrário ocorreu para a adubação convencional uma vez que a intensificação das chuvas se deu no período entre 31 e 37 dias após a semeadura (DAS) logo após a aplicação da segunda parcela dos tratamentos que se deu aos 30 DAS, o que provavelmente deve ter proporcionado a lixiviação e/ou erosão de boa parte do adubo aplicado.

Esse resultado corrobora com a afirmativa de Teixeira *et al.* (2007), ao afirmarem que uma das principais vantagens da fertirrigação está relacionada a aplicação regular de fertilizantes implicando na disponibilidade dos nutrientes fazendo com que os mesmos se mantenham mais constantes ao longo do ciclo, e eventuais precipitações de alta intensidade, causadoras de erosão ou lixiviação, provocando um menor impacto sobre o crescimento das plantas.

Da mesma forma Rosa *et al.* (2006) afirmam que com a fertirrigação, é passível ao fracionamento da aplicação dos fertilizantes atendendo às diferentes etapas de desenvolvimento das plantas, resultando em uma melhor assimilação dos nutrientes e permitindo maior eficiência e economia deste insumo.

Segundo Konrad (2002) os nutrientes de potássio quando são lixiviados no perfil do solo, atingem o lençol freático contaminando o lençol freático e também os mananciais de água potável.

Nas Figuras 21 e 22 observa-se o comportamento da variável MECP em função das diferentes doses de potássio aplicada convencionalmente e via fertirrigação, respectivamente, para o primeiro e segundo ciclo de produção.

Para todos os casos o modelo polinomial quadrático apresentou-se como o mais adequado, apresentando coeficientes de determinação (R^2) de 0,98 e 0,93, no primeiro ciclo, e (R^2) de 0,75 e 0,71, no segundo ciclo, respectivamente para adubação convencional e fertirrigada. Com os modelos encontrados estimaram-se os máximos valores para a variável, sendo de 139,37 g para uma dose ótima de 98,55 kg ha⁻¹ de K e 132,59 g para 93,58 kg ha⁻¹, no primeiro ciclo, e de 70,45 g referente a 87,78 kg ha⁻¹ de K e 90,83 g para 74,29 hg ha⁻¹, no segundo ciclo, respectivamente para convencional e fertirrigada.

Figura 21 – Massa da espiga de milho com palha em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2011.

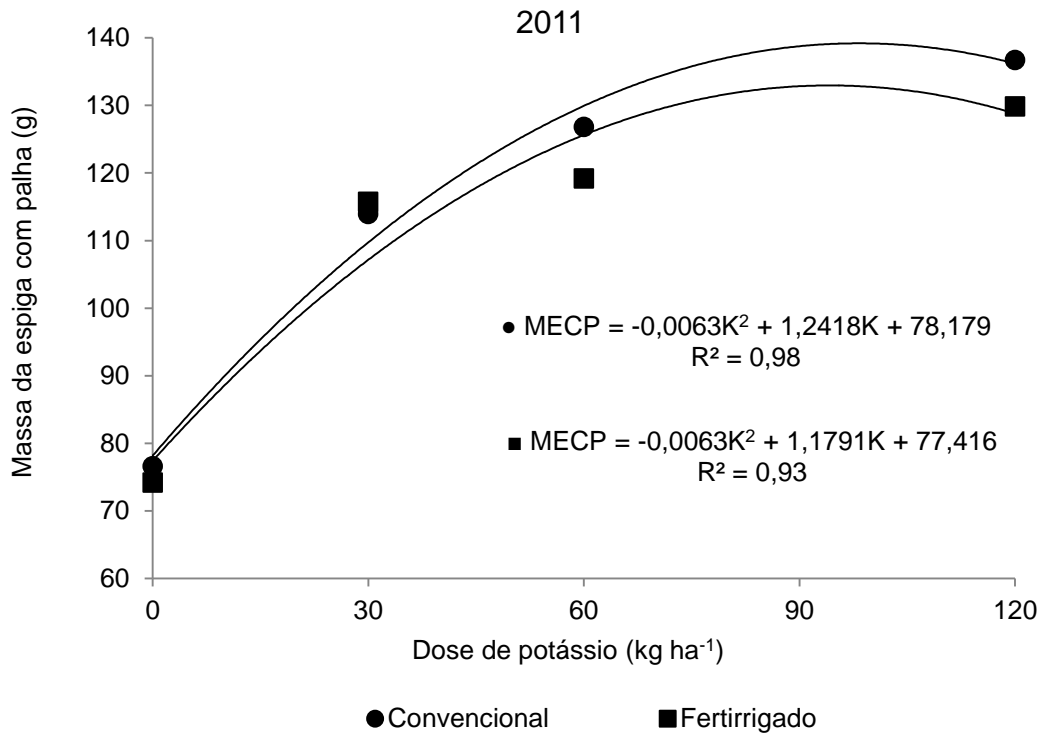
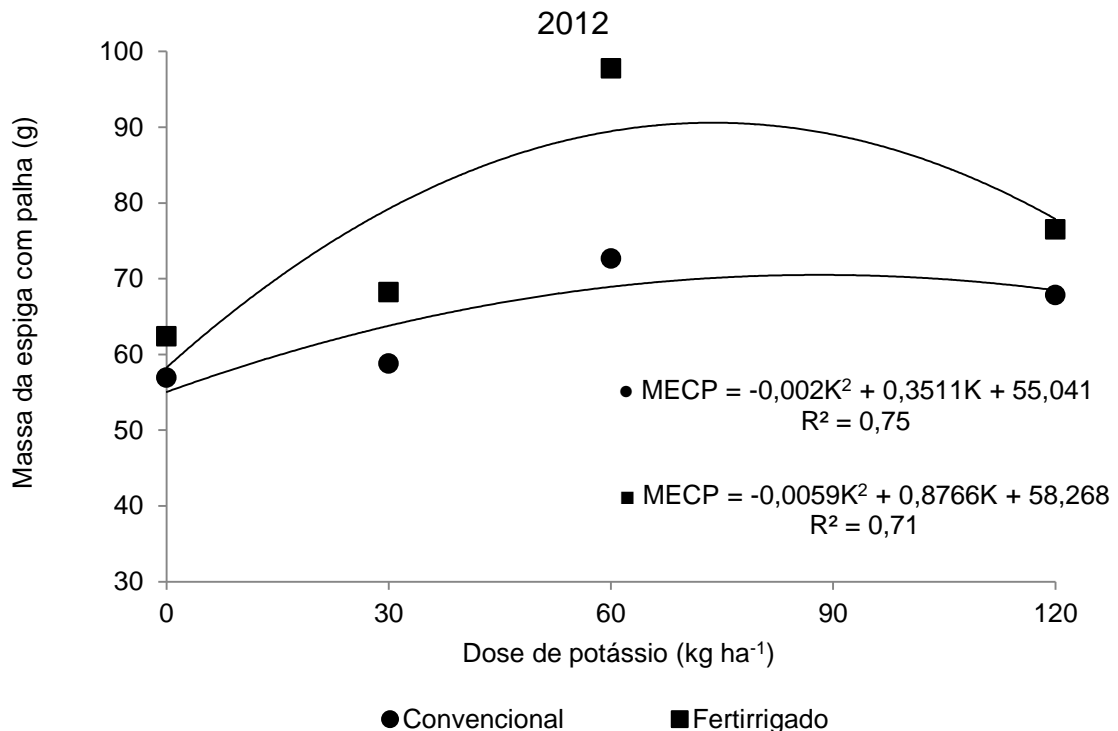


Figura 22 – Massa da espiga de milho com palha em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.



Comportamento semelhante ao encontrado para essa variável foi encontrado por Sousa *et al.* (2013) ao trabalharem na mesma área com a cultura do amendoim testando diferentes doses de potássio aplicadas pelo método convencional e via fertirrigação. Os autores obtiveram respostas polinomiais quadráticas para a massa das vagens em função da

diferentes doses para ambas as formas de adubação, sendo que, as doses de potássio que proporcionaram a maximização da massa de vagem (4,0 g) e (4,1 g) foram estimadas em 58,4 e 62,0 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente para adubação convencional e fertirrigação.

O efeito positivo do potássio sobre a MECP deve estar condicionado às várias funções que esse cátion exerce no metabolismo vegetal, como referenciam Prado, (2009), Melo *et al.* (2010) e Albuquerque *et al.* (2011). Para esses pesquisadores o potássio atua como ativador de enzimas durante o processo de fotossíntese, respiração e síntese de proteínas, na regulação de abertura estomática e no transporte via floema.

Nas Figuras 23 e 24 observa-se, respectivamente para o primeiro e segundo ciclo de produção, o comportamento da variável MESP em função das diferentes doses de potássio aplicada convencionalmente e via fertirrigação. Para maioria dos casos o modelo polinomial quadrático apresentou-se como o mais adequado, com exceção do da adubação convencional no segundo ano (2012) que apresentou comportamento linear crescente. Os coeficientes de determinação encontrados para os modelos foram (R²) de 0,99 e 0,91, no primeiro ciclo, e (R²) de 0,55 e 0,60, no segundo ciclo, respectivamente para adubação convencional e fertirrigada.

Com os modelos encontrados estimaram-se os máximos valores para a variável, sendo de 118,19 g para uma dose ótima de 95,96 kg ha⁻¹ de K₂O e 114,14 g para 91,62 kg ha⁻¹, no primeiro ciclo, e de 55,21 g referente a 120 kg ha⁻¹ de K₂O e 68,68 g para 70,74 kg ha⁻¹, no segundo ciclo, respectivamente para convencional e fertirrigada.

Os íons de potássio na solução do solo podem ser adsorvidos ao solo, absorvidos pelas plantas ou lixiviados. Assim, perdas de potássio causadas pelo fenômeno da lixiviação são importantes pelo fato de significar baixas eficiências de utilização de nutrientes pelas culturas e, baixos rendimentos (COSTA *et al.* 1999).

Na Figura 25 visualiza-se o comportamento da variável MPE em função das diferentes doses de potássio aplicadas de modo convencional e via fertirrigação para o segundo ciclo produtivo onde a mesma sofreu efeito significativo. O modelo polinomial quadrático apresentou-se como o mais adequado para ambos os métodos de fertilização, apresentando coeficientes de determinação (R²) de 0,99 para adubação convencional e 0,97 para a fertirrigação. Com o modelo encontrado estimou-se o máximo valor para a variável, sendo de 18,1 g para uma dose ótima de 69,2 kg ha⁻¹ de K₂O e 21,7 g para 79,9 kg ha⁻¹ de K₂O, respectivamente para convencional e fertirrigada.

Figura 23 – Massa da espiga de milho sem palha em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2011.

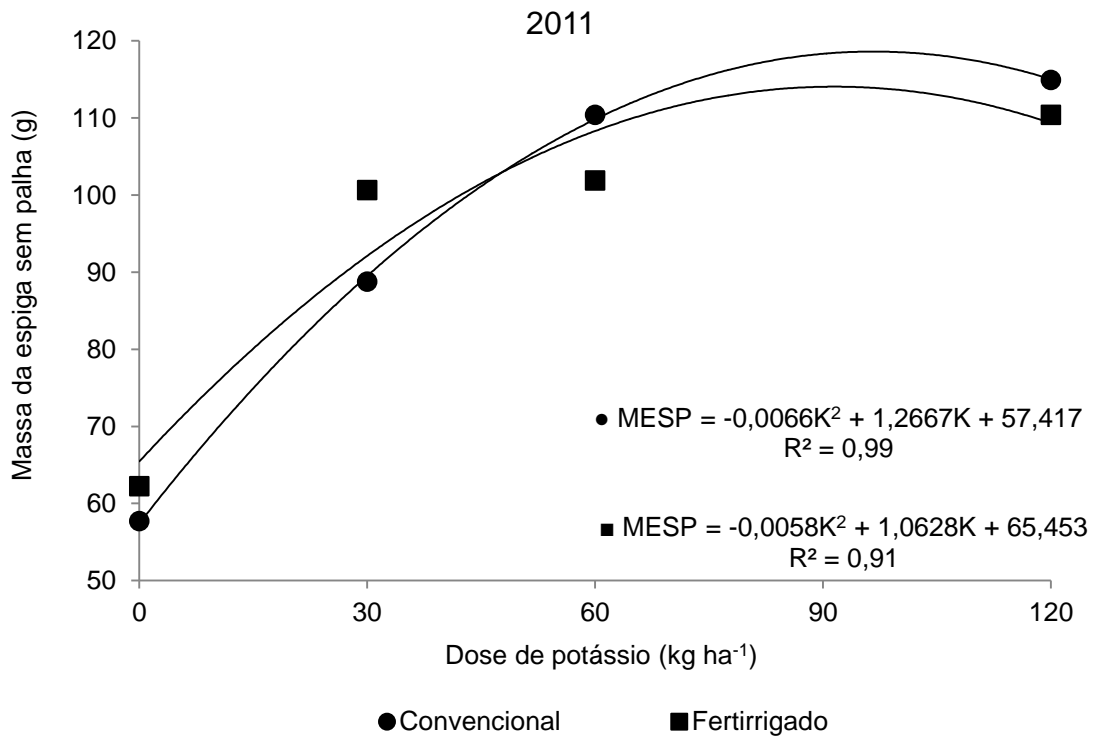


Figura 24 – Massa da espiga de milho sem palha em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.

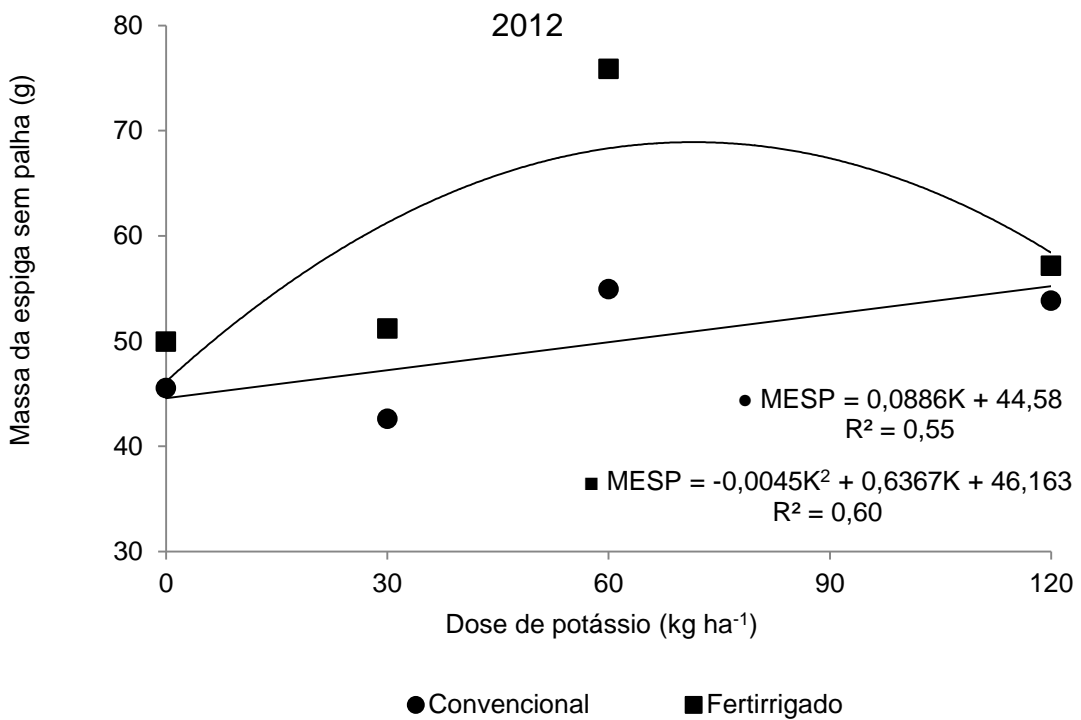
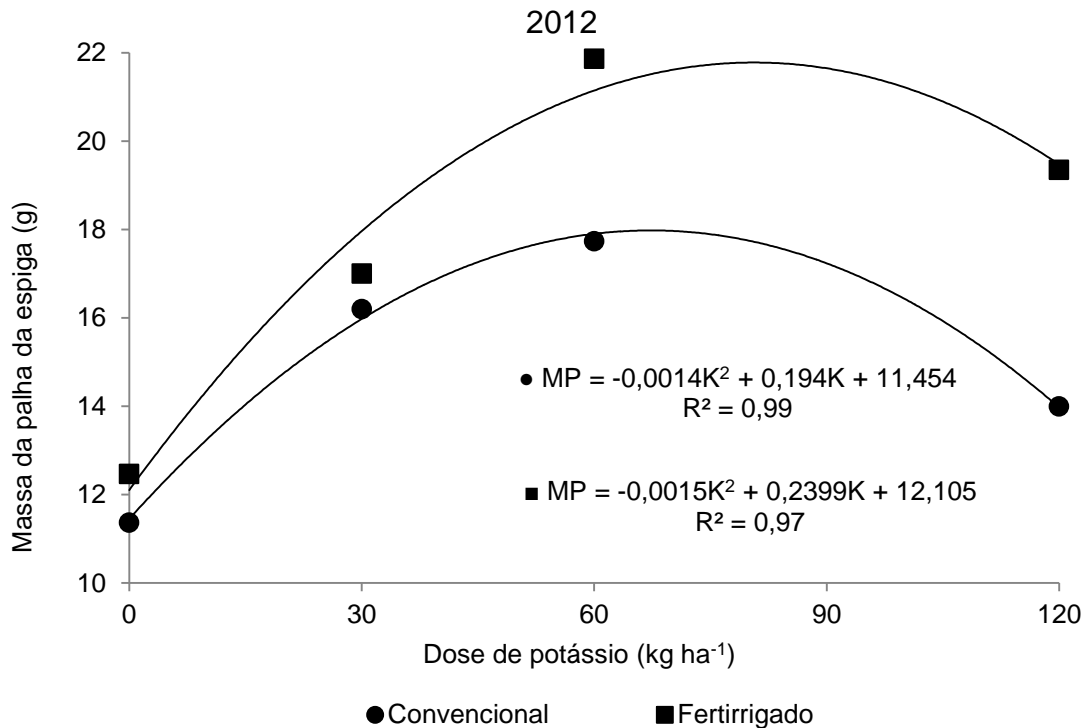


Figura 25 – Massa da palha da espiga da cultura do milho em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.



Nas Figuras 26 e 27 observa-se, respectivamente para o primeiro e segundo ciclo de produção, o comportamento da produtividade em função das diferentes doses de potássio aplicadas por meio de adubação convencional e fertirrigação. Para todos os casos estudados o modelo polinomial quadrático apresentou-se como o mais adequado, apresentando coeficientes de determinação (R^2) de 0,99 e 0,94, no primeiro ano e 0,99 e 0,62, no segundo ano, respectivamente para convencional e fertirrigada.

Com os modelos encontrados estimaram-se os máximos valores para a variável, sendo de 4.830,7 kg ha⁻¹ de milho para uma dose ótima de 82,0 kg ha⁻¹ de K₂O e 4.498,7 kg ha⁻¹ para 76,4 kg ha⁻¹ de K₂O, no primeiro ciclo, e de 2.181,3 kg ha⁻¹ para uma dose de 75,1 kg ha⁻¹ de K e 2.814,7 kg ha⁻¹ de milho para 71,0 kg ha⁻¹ de K, no segundo ciclo, respectivamente para os tratamentos com adubação convencional e com fertirrigação. Estes resultados sugerem que a divisão da adubação pela fertirrigação possibilitou melhor aproveitamento dos nutrientes pela cultura.

Verifica-se para os dois anos de estudo que produtividade cresceu com o aumento da dose de potássio aplicada, até atingir um ponto máximo de onde passou então a decrescer com o incremento da dose adubação potássica, comportamento também semelhante entre os métodos de adubação.

Figura 26 - Produtividade da cultura do milho em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2011.

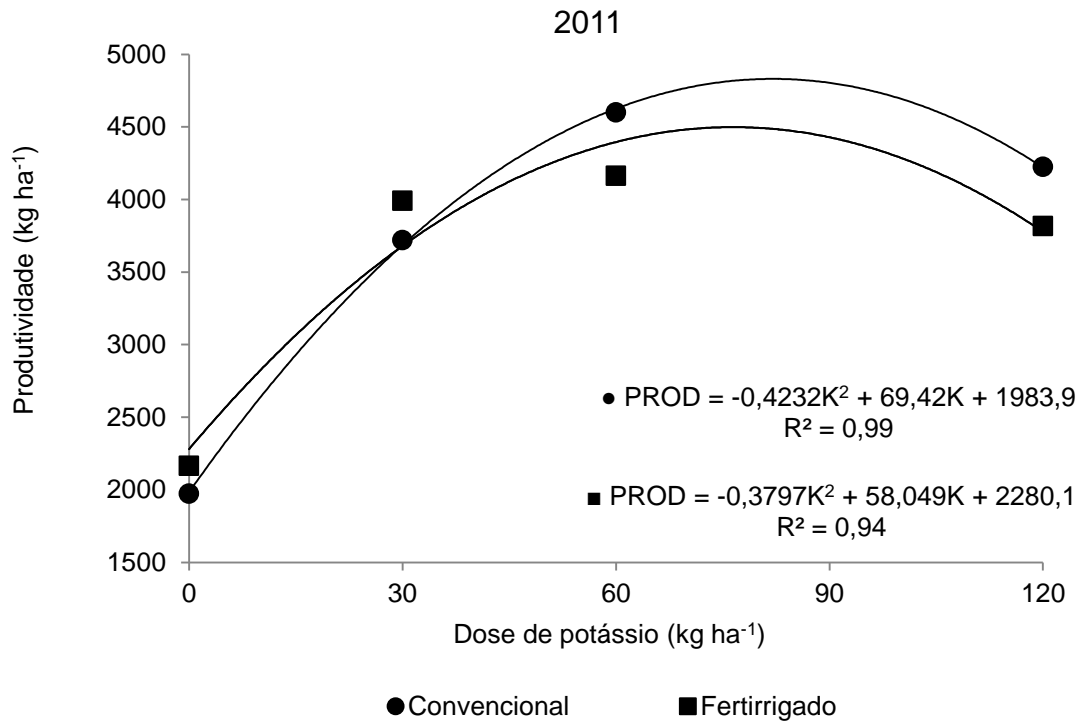
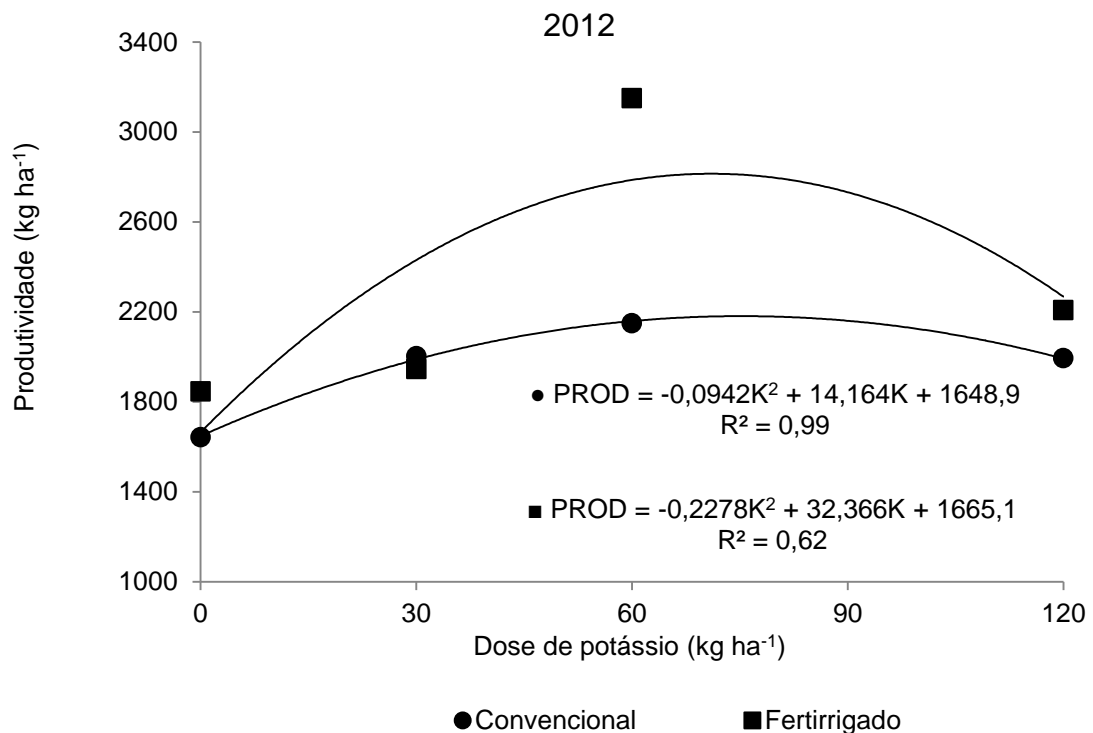


Figura 27 - Produtividade da cultura do milho em função da dose de potássio, Fortaleza, Ceará, 2012.



Com relação a resposta observada, outros estudos na mesma área tiveram resposta semelhante para a adubação potássica. Pinto (2008) ao estudar o cultivo do sorgo EA 955 sob diferentes doses de potássio com cloreto de potássio, obteve também resposta polinomial quadrática com uma produtividade máxima de 3.170,01 kg ha⁻¹ de grãos para uma dose de

86,35 kg ha⁻¹ de K₂O. Da mesma forma, Vasconcelos (2011) estudando o comportamento do girassol em função de diferentes doses de potássio também obteve resposta quadrática com produtividade máxima de 3.312,09 kg ha⁻¹, obtida com a dose de 61,24 kg ha⁻¹ de K₂O.

A baixa produtividade obtida para as menores doses pode estar associada à ocorrência de deficiência de K que proporciona o funcionamento irregular dos estômatos, podendo diminuir a assimilação de CO₂ e a taxa fotossintética, assim como reduzir o transporte de fotoassimilados para os grãos (CECÍLIO FILHO; GRANGEIRO, 2004; PRADO, 2009).

O potássio tem ainda impacto na qualidade da cultura e influência positiva sobre a massa individual de grãos e número de grãos por espiga (BÜLL, 1993). Por outro lado o excesso de potássio nas doses elevadas pode ter ocasionado a competição entre o íon K⁺, e os íons Ca²⁺ e Mg²⁺ cálcio e magnésio durante o processo de absorção radicular, uma vez que esses nutrientes utilizam os mesmos sítios de absorção (ANDREOTTI *et al.*, 2001; BARROSO *et al.*, 2011). Os mesmos autores ainda afirmam que a competição entre Ca, Mg e K pelo mesmo sítio de troca, no processo de absorção, pode resultar no menor acúmulo de um desses elementos, chegando, muitas vezes, a causar a deficiência, tendo como consequência menor produtividade de grãos decorrente do menor desenvolvimento da planta.

Outro fator que provavelmente contribuiu para a resposta encontrada pode estar relacionado a aumentos iniciais na concentração salina junto às raízes nos tratamentos com maiores doses, posteriormente, reduzida com as irrigações, e pela lixiviação e/ou volatilização dos nutrientes, restringindo o rendimento. No trabalho de Faria *et al.* (2009), percebe-se que a aplicação de elevadas quantidades de potássio aumenta a salinidade do meio prejudicando o desenvolvimento das plantas. Quando aplicado em excesso, o potássio, segundo Prado (2009), provoca sintomas que se confundem com os danos causados pela salinidade.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos e as condições de realização dos experimentos permitiram as seguintes conclusões:

As lâminas de irrigação, cuja diferenciação deu-se a partir do décimo quinto dia após o plantio, influenciaram significativamente a massa da espiga com palha, a massa da espiga sem palha, a massa de mil sementes e a produtividade da cultura do milho, variedade AG-1051.

A lâmina de irrigação que maximizou a produtividade da cultura do milho foi estimada em 124% da evapotranspiração de referência calculada com a metodologia de Penman-Monteith no cultivo realizado no ano de 2012, correspondendo a um Kc de 1,24.

A fertirrigação, comparada à adubação convencional, foi a forma mais eficiente em fornecer nitrogênio à cultura do milho, e a dose de nitrogênio que maximizou a produção do milho foi de 123,2 kg ha⁻¹. Portanto, em condições similares, os produtores da Região podem adotar uma adubação maior que a recomendada na literatura, com o intuito de obter uma maior produtividade, fazendo uso da técnica da fertirrigação e reduzindo os riscos ambientais.

Ao adubar a cultura do milho nas condições do estudo, resultados similares são obtidos com adubação convencional ou fertirrigação. A dose de potássio que maximizou a produtividade da cultura do milho foi de 82 kg ha⁻¹, na forma convencional, superando em 37% a dose recomendada. Desta forma, os produtores da Região podem acrescentar 50% na dose recomendada do nutriente e fazer opção pelo método (convencional ou fertirrigação) que for mais econômico, apresentar maior praticidade ou menor risco ambiental.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. das C. F.; MOURA, E. G. de. Crescimento e produtividade de duas cultivares de milho de alta qualidade proteica em solo de baixa fertilidade. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 429-435, 2003.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; ANDRADE, C. L. T. Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2001. 14 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 10).
- ALBUQUERQUE, F. C.; SILVA, E. F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; NUNES, M. F. F. N. Crescimento e rendimento de pimentão fertigado sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 686-694, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.S.; PAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 328 p. 1998. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 21-25, 1999.
- ANDRADE JUNIOR, A. S.; DIAS, N. S.; FIGUEIREDO JÚNIOR, L. G. M.; RIBEIRO, V. Q.; SAMPAIO, D. B. Produção e qualidade de frutos de melancia à aplicação de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 836-841, 2006.
- ANDRIOLO, J.L.; JANISCH, D.I.; SCHMITT, O.J.; DAL PICIO, M.D.; CARDOSO, F.L.; ERPEN, L. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, p. 267-272, 2010.
- ANDREOTTI, M.; RODRIGUES, J. D.; CRUSCIOL, C. A. C.; SOUZA, E. C. A.; BULL, L. T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 145-150, 2001.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK J; AITA C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 241-248, 2002.
- AQUINO, A. B.; AQUINO, B. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; COSTA, R. I. da. UCHOA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: UFC, v. 1, 1993. 247 p.
- AQUINO, B. F. **Adubos e Adubação**. Fortaleza: UFC. 241p. 2003.

ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, R. A.; MEDEIROS, R. D. Irrigação e adubação nitrogenada em milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 909-914, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MILHO (ABRAMILHO). **A dimensão do milho no mundo**. Disponível em:

<<http://www.abramilho.org.br/noticias.php?cod=975>>. Acesso em: 14 out. 2014.

AZEVEDO, B. M. de; BASTOS, F. G. C.; VIANA, T. V. A.; RÊGO, J. L.; D'ÁVILA, J. H. T. Efeitos de níveis de irrigação na cultura da melancia. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 36, n. 1, p. 9-15, 2005.

AZEVEDO, J. H. O.; BEZERRA, F. M. L. Resposta de dois cultivares de bananeira a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 1, p. 28-33, 2008.

BARROSO, A. A.; VIANA, T. V. A.; MARINHO, A. B.; COSTA, S. C.; AZEVODO, B. M. de. Teores de macronutrientes em folhas de bananeira cv. Pacovan Apodi, sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 529-538, 2011.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A. O.; FRANÇA, S.; RADIN, B. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 949-956, 2001.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 7 ed. Atualizada e ampliada. Universidade Federal de Viçosa, UFV, 625p. 2005.

BLANCO, F. F.; CARDOSO, M. J.; FREIRE FILHO, F. R.; VELOSO, M. E. DA C.; NOGUEIRA, C. C. P.; DIAS, N. DA S. Milho verde e feijão caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 524-530, 2011.

BLANCO F. F.; VELOSO, M. E. C.; CARDOSO, M. J. Crescimento e produção do milho verde sob lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, 2009.

BORGES, A. L.; CALDAS, R. C.; LIMA, A. de A. Doses e fontes de nitrogênio em fertirrigação no cultivo do maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 301-304, 2006 .

BORGES, I. D. **Avaliação de épocas de aplicação da cobertura nitrogenada, fontes de nitrogênio e de espaçamento entre fileiras na cultura do milho**. 2003. 73 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho**: Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. 301 p.

BRITO, R. A. L.; PINTO, J. M. P. Aplicação de produtos químicos via água de irrigação (quimigação). In: **ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (Ed.)**. Uso e manejo da irrigação. Brasília: EMBRAPA, 2008. 447 p.

- BUSATO, C. **Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2007.
- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, A.; PERES, L. E. P. **Manual de fisiologia vegetal**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 2005. 640 p.
- CARVALHO, H. W. L.; SANTOS, M. X.; SILVA, A. A. D.; CARDOSO, M. J.; SANTOS, D. M.; TABOSA, J. N.; MICHEREFF FILHO, M.; LIRA, M. A.; BONFIM, M. H. C.; SOUZA, E. M.; SAMPAIO, G. V.; BRITO, A. R. M. B.; DOURADO, V. V.; TAVARES, J. A.; NASCIMENTO NETO, J. G.; NASCIMENTO, M. M. A.; TAVARES FILHO, J. J.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; CARVALHO, B. C. L. **Caatingueiro – Uma variedade de milho para o semiárido nordestino**. Aracaju, Embrapa – Tabuleiros Costeiros, 2004. (Comunicado Técnico, 29).
- CARVALHO, D. F. de; CRUZ, E. S. da; SILVA, W. A. da; SOBRINHO, T. A. Demanda hídrica do milho de cultivo de inverno no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande. v. 10, n. 1, 2006. p. 112-118.
- CECÍLIO FILHO, A. B.; GRANGEIRO, L. C. Qualidade de frutos de melancia sem sementes em função de fontes e doses de potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 570-576, 2004.
- COELHO, A. M. Fertirrigação em culturas anuais produtoras de grãos In: **Revista Trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem – ABID**. n. 58, p 44-54, 2003.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. **Nutrição e adubação do milho**, disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/deficiencia/deficiencia.html>>. Acesso em 05/09/2009.
- CONAB. - Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de milho no Ceará**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_03_10_47_52_milho_em_graos_-_safra_2012_-_ceara.pdf>. Acesso em: 02/01/2013.
- COSTA, E.F.; BRITO, R.A.L. Métodos de aplicação de produtos químicos e biológicos na irrigação pressurizada. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 315 p.
- COSTA, S.N.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T.; RAMOS, V.B.N. Mobilidade do nitrato em colunas de solo sob condições de escoamento não permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p.190-194, 1999.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA M. F.; SANTANA, D. P. **Manejo da cultura do milho**. Circular Técnica 87, sete lagoas, MG, 12 p. 2006.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÉBAUT, J.T.L.; SEDIYAMA, G.C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 27, n. 150, p 155-162, 1980.

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

DUENHAS, L. H.; VILAS BOAS, R. L.; SOUZA, C. M. P.; OLIVEIRA, M. V. A. M.; DALRI, A. B. Produção, qualidade dos frutos e estado nutricional da laranja valência sob fertirrigação e adubação convencional. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 154-160, 2005.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, A. C.; FRANCELLI, A. L.; COSTA, J. D. Partição de fitomassa e limitação de rendimento de milho (*Zea mays* L.) relacionados com a fonte-dreno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 4, Fortaleza, SBFV/UFCE, 1993. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 90, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA Milho e Sorgo. **Cultivo do milho**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_4ed/plantio.htm>. Acesso em: 30 jan. 2011.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 02 jan. 2014.

FARIA, F. H. de S.; LIMA L. A. RIBEIRO, M. S.; REZENDE, F. C.; CARVALHO, J. G. Efeito de parcelamento da fertirrigação com N e K e salinidade do solo no crescimento inicial de cultivares de cafeeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 145-157, 2009.

FARIAS, R. A.; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. Demanda de irrigação suplementar para a cultura do milho no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 4, n. 1, p. 46-50, 2000.

FERNANDES, C; ARAÚJO, J.A.C.; CORÁ, J.E. Impacto de quatro substratos e parcelamento da fertirrigação na produção de tomate sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 559-563, 2002.

FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L. C. D.; OLIVEIRA, C. B. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 159-166, 2007.

FERNANDES, F. C. S.; BUZZETI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C.; Doses, eficiência e uso do nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. 1ª ed. Jaboticabal: Funep, 2007. 574 p.

FRÁGUAS, J. C.; SILVA, D. J. Nutrição e adubação da videira em regiões tropicais. **Informe Agropecuário**. v. 19, n. 194, p.70-75, 1998.

FRANÇA, L. V. **Efeitos da fertirrigação nitrogenada no carbono da biomassa microbiana do solo e nos componentes de produção de genótipos de cevada**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

GLOBO RURAL. **Brasil pode se tornar maior exportador mundial de milho em 2013**. Disponível em: < <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2013/03/brasil-pode-se-tornar-maior-exportador-mundial-de-milho-em-2013.html>>. Acesso em: 20 out. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Produção agrícola 2013 – cereais, leguminosas e oleaginosas. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201303comentarios.pdf>. Acesso em: 14 out. 2014.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 133 p. 1975.

KONRAD, M. **Efeito de sistemas de irrigação localizada sobre a produção e qualidade da acerola (Malpighia spp) na região da Nova Alta Paulista**. 2002. 134 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, São Paulo, 2002.

LAFITTE, H.R.; EDMÉADES, G.O.; JOHNSON, E.C. Temperature responses of tropical maize cultivars selected for broad adaptation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.49, p. 215-229, 1997.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G. **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, p. 3-43, 1997.
MAGALÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 2006. 10 p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 76).

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo, Editora Nobel, 2002. 220 p.

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

MELO, A. S.; FERNANDES, P. D.; SOBRAL, L. F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M. Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 417-426, 2010.

MELLO, F. A. F.; ARZOLA, S.; KICHL, J. C.; BRITO NETO, J. Efeito das doses e modos de aplicação de ureia na produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 269-274, 1988.

MENDONÇA, F.C.; MEDEIROS, R. D. de; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Adubação nitrogenada do milho em um sistema de irrigação por aspersão em linha. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1035-1044, 1999.

MENGEL, D. **Manejo de nutrientes na cultura de milho de alta produtividade**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 73, 1996.

MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. de M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. 703 p.

MESQUITA, J. B. R. de; AZEVEDO, B. M. de; CAMPELO, A. R.; FERNANDES, C. N. V.; VIANA, T. V. de A. Crescimento e produtividade da cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.) sob diferentes níveis de irrigação. **Revista Irriga**, Botucatu, v.18, n. 2, p.364-375, 2013.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F. Calibração. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 315 p.

OHLAND, R. A. A. SOUZA, L. C. F.; HERNANI, L. C.; MARCHETTI, M. E.; GONÇALVES, M. C. Culturas de cobertura do solo e adubação nitrogenada no milho em plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 538-544, 2004.

OKUMARA, R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Londrina, v. 4, n. 2, 2011.

OLIVEIRA, L. A. M.; SOUZA, A. E. **Potássio**: Balanço Mineral Brasileiro, 2001. 17 p.

PAES, M.C.D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 6 p. (Circular Técnica, 75).

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

PATERNIANI, E.; NASS, L. L.; SANTOS, M. X. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil. In: UDRY, C. V.; DUARTE, W. **Uma história brasileira do milho**: o valor dos recursos genéticos. Brasília: Parelelo 15, p. 11-41, 2000.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho "safrinha" sob plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 262-271, 2009.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba, SP: ed. Revista e ampliada, 2007. 184 p.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ/USP, 1997. 183 p.

PINTO, O. R. O de; AZEVEDO, B. M. de O.; MARINHO, A. B.; FERNANDES, C. N. V.; VIANA, T. V. de A.; BRAGA, E. S.; Adubação nitrogenada na cultura do sorgo granífero pelo método convencional e por fertirrigação. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v.32, n. 1, p 132–140, 2011.

PINTO, O. R. de O. **Manejo do sorgo granífero submetido a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas pelo método convencional e por fertirrigação**. 2008. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PIRES, J. L. F.; SOPRANO, E.; CASSOL, B. adaptações morfofisiológicas da soja em solos inundados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 1, p. 41-50, 2002.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo. UNESP, 2009. 408 p.

RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. e FURLANI, A.M.C., **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, Fundação IAC, 1997. 279 p.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.; BENSON, G.O. **How a corn plant develops**. Ames, Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1993. 25 p.

ROSA, R. C. C.; MONNERAT, P. H.; SANTOS, A. L.; PIRES, A. A.; PINHO, L. G. R.; MARTINS, A. O. Doses de nitrogênio e potássio em fertirrigação em maracujazeiro amarelo consorciado com coqueiro-anão verde, na região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 113-116, 2006.

SANCHES, N.F.; DANTAS, J.L.L. **O cultivo do mamão**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999. 105 p. (Circular Técnica, 34).

SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in corn production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, v. 66, p. 151-161, 2000.

SENTELHAS, P. C.; MORAES, S. O.; PIEDADE, S. M. S.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 215-221, 1997.

SILVA, E.C.; BUZETTI, S.; GUIMARÃES, G. L.; LAZARINI, E.; SÁ, M. E. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p.353- 362, 2005.

SILVA, J.G. **Ordens de gradagem e sistemas de aração do solo: desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1992. 180 f. (Tese de Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1992.

- SILVA, M. T.; AMARAL, J. A. B. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do amendoim irrigado em condições edafoclimáticas na região do Cariri do estado do Ceará. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 76-84, 2008.
- SILVA, L. C.; RAO, T. V. R. Avaliação de métodos para estimativa de coeficientes da cultura de amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 128-131, 2006.
- SOUSA, G. G.; AZEVEDO, B. M. de; OLIVEIRA, J. R. R.; MESQUITA, T. O.; VIANA, T. V. A.; Ó, L. M. G. Adubação potássica aplicada por fertirrigação e pelo método convencional na cultura do amendoim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 17, n. 10, p.1055–1060, 2013.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação com nitrogênio. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília, DF. Embrapa, 2004. 416 p.
- SOUZA, V. F. de; AGUIAR NETO, A. O.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Manejo da irrigação através do balanço de água no solo**. Teresina. EMBRAPA-CPAMN, 1997. 36 P. (EMBRAPA-CPAMN, Documentos, 23).
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome: FAO. 1991. 45 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 819 P.
- TEIXEIRA, L. A. J.; NATALE, W.; MARTINS, A. L. M. Nitrogênio e potássio via fertirrigação e adubação convencional-estado nutricional das bananeiras e produção de frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 153-160, 2007.
- TEIXEIRA, L.A.J.; QUAGGIO, J.A.; MELLIS, E.V. Ganhos de eficiência fertilizante em bananeira sob irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 272-278, 2011.
- VIEIRA, R. F. Introdução à quimigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1994. 447 P.
- VON PINHO, R. G.; GROSS, M. R.; STEOLA, A. G.; MENDES, M. C. Adubação nitrogenada, densidade e espaçamento de híbridos de milho em sistema plantio direto na região sudeste do Tocantins. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.733-739, 2008.
- VASCONCELOS, D. V. **Manejo da cultura do girassol submetida a diferentes níveis de irrigação, doses e formas de aplicação de nitrogênio e potássio**. 2011. 88 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- VASCONCELOS, D. V.; SOUSA, V. F. de; VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de; SOUSA, G. G. de; CAVALCANTE JUNIOR, J. A. H. Interação entre níveis de irrigação e fertirrigação potássica na cultura do maracujazeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 160-170, 2013.

VILLAS BÔAS, R.L.; ANTUNES, C.L.; BOARETO, A.E.; SOUSA, V.F.; DUENHAS, L.H. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Eds.). **Fertirrigação: Flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, v. 2, p. 71-103, 2001.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Minas Gerais, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

WILLADINO, L.; CÂMARA, T. R. Origen y naturaleza de los ambientes salinos. In: Reigosa, M. J.; Pedrol, N.; Sánchez, A. (ed.). **La ecofisiología vegetal - Una ciencia de síntesis**. Madrid: Thompson, 2004. p.303-330.

ZANINI, J. R. Distribuição de água e do íon K^+ no solo, aplicados por fertirrigação em gotejamento. II - Teores de K^+ no bulbo molhado. **Item - Irrigação e Tecnologia Moderna**, v. 46, p. 24-38, 1991.