



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

KENYA GONÇALVES NUNES

**COMPORTAMENTO DA ALFACE-AMERICANA SOB DIFERENTES DOSES DE
COMPOSTO ORGÂNICO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

FORTALEZA

2014

KENYA GONÇALVES NUNES

**COMPORTAMENTO DA ALFACE-AMERICANA SOB DIFERENTES DOSES DE
COMPOSTO ORGÂNICO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.

FORTALEZA

2014

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

-
- N925c Nunes, Kenya Gonçalves.
 Comportamento da alface-americana sob diferentes doses de composto orgânico e lâminas de irrigação / Kenya Gonçalves Nunes. – 2014.
 58 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – 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. Raimundo Nonato Távora Costa.
1. *Lactuca sativa* L. 2. Adubação orgânica. 3. Irrigação. I. Título.

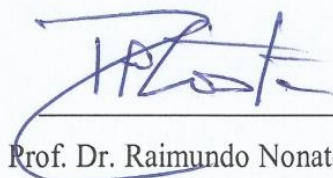
KENYA GONÇALVES NUNES

**COMPORTAMENTO DA ALFACE-AMERICANA SOB DIFERENTES DOSES DE
COMPOSTO ORGÂNICO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

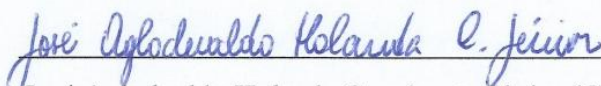
Aprovada em: 22/12/2014.

BANCA EXAMINADORA



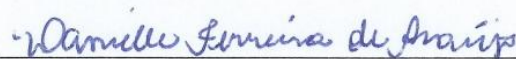
Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. José Aglodualdo Holanda Cavalcante Júnior (Conselheiro)

Instituto Federal de Educação do Ceará – Campus de Crateús



Prof.ª Dr.ª Danielle Ferreira de Araújo (Conselheira)

Universidade de Fortaleza (Unifor)

Ao meu pai, Anizio Nunes.

Meu eterno herói.

AGRADECIMENTOS

À Fátima Gonçalves, minha mãe, pelo amor e apoio. Obrigada por segurar a minha mão durante os meus primeiros passos e por continuar fazendo isto, com tanto amor, até hoje. Um exemplo de mãe e esposa em harmonia com a figura de uma mulher guerreira e, acima de tudo, honesta. Agradeço ainda pela educação e proteção.

Ao meu irmão, Keyson Nunes, por ser um exemplo de humanidade e profissionalismo e por tentar preencher a saudade deixada pelo nosso pai. À minha cunhada, Eveline Farias, e sobrinhos, “Manu” e “Biel”.

Aos demais membros da minha família que sempre estiveram comigo, pelo apoio e confiança.

Ao meu esposo, Gabriel Farias, pelo amor e dedicação. Agradeço o incentivo e apoio incondicional. Obrigada por ter mudado a minha vida e por ser o responsável por tantos momentos felizes. Amo e valorizo tudo o que estamos construindo juntos. Você é o amor da minha vida!

À Gizelda Castro, minha sogra, pelo carinho e apoio. Agradeço também aos demais membros da “Família Castro” pelos bons momentos compartilhados.

Ao meu sogro, José Cleto Farias, pela confiança e apoio.

Ao professor Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, pelos conhecimentos repassados durante o curso de pós-graduação e por sempre procurar evoluir como profissional, sendo considerado por mim um exemplo a ser seguido dentro da universidade. Agradeço também pela orientação durante a execução deste estudo e pela confiança.

Aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo - Semiárido (GPEAS-Semiárido), pelo o empenho durante a realização deste estudo.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e em especial ao coordenador professor Dr. José Antonio Delfino Barbosa Filho, pela compreensão e confiança.

À Universidade Federal do Ceará, por tornar possível o desenvolvimento deste estudo.

Aos professores José Aglodualdo Holanda Cavalcante Júnior e Danielle Ferreira de Araújo, pelas sugestões e atenção dedicada.

Aos amigos; aos que passaram e aos que permanecem em minha vida. Agradeço em especial ao meu cão e amigo, Zuke, pelo carinho, fidelidade e constante alegria em meu lar.

A todos que contribuíram, de forma direta ou indireta, para o meu desenvolvimento pessoal e profissional. Muito Obrigada!

RESUMO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais cultivadas em várias regiões brasileiras e com a crescente demanda de produtos orgânicos pelos consumidores, vários produtores decidiram migrar para este método ecológico de cultivo. Partindo da hipótese de que a cultura da alface apresenta crescimento e produção comercial variáveis, moduladas pelos tratamentos analisados, o estudo objetivou avaliar a produtividade da alface, submetida a diferentes lâminas de irrigação e doses de composto orgânico, com vistas ao manejo adequado da irrigação e da adubação. A produção da alface orgânica é realizada em canteiros, em condições de campo e, entre os diversos tipos cultivados, a alface-americana é um dos que possui maior aceitabilidade, reforçando a necessidade de estudos sobre as suas exigências hídricas e nutricionais. O sistema de irrigação foi por gotejamento. Utilizaram-se cinco lâminas de irrigação que corresponderam a 50, 75, 100, 125 e 150% (W_1 , W_2 , W_3 , W_4 e W_5) da lâmina de irrigação requerida pela cultura e quatro doses de composto, correspondentes a 0,0, 2,0, 4,0 e 8,0 kg m⁻² (C_1 , C_2 , C_3 e C_4). O composto orgânico foi obtido a partir da mistura de bagaço de cana, resíduos de acerola, esterco de gado, esterco de galinha, MB-4 (pó de rocha - fonte de Ca e Mg), fosfato e água. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, no esquema de parcelas subdivididas e quatro repetições, sendo as lâminas de irrigação localizadas nas parcelas e as doses de composto dispostos nas subparcelas. Os resultados deste estudo permitiram as seguintes conclusões: a aplicação dos fatores de produção água e composto orgânico permitiram elevar os níveis médios de produtividade da alface em até 38,3%, sendo a produtividade máxima estimada obtida com uma dose de composto orgânico equivalente a 6,3 kg m⁻². O decréscimo inferior a 6% no nível de produtividade média observada da alface ao se reduzir em 50% a lâmina de irrigação aplicada, demonstra que este fator de produção, além de não ter sido limitante, possibilita o uso da estratégia de irrigação com déficit sem maiores impactos no valor bruto da produção. Os valores médios de produtividade da água incrementaram com o aumento das doses de composto orgânico segundo um modelo quadrático, o qual sugere a aplicação de uma dose equivalente a 6,0 kg m⁻² para fins de uma maior eficiência de aproveitamento do insumo água pela cultura da alface. Considerando o preço atual do quilograma de alface a R\$ 2,00 e os resultados de eficiência do uso do composto orgânico, o custo da tonelada de composto orgânico deve ser inferior a R\$ 90,00 para viabilizar a aplicação deste fator de produção. A dose de composto orgânico economicamente ótima praticamente não foi alterada com a

variação do fator de produção água e da relação entre o preço do composto orgânico e preço do produto variando entre 90 e 110.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L. Adubação orgânica. Controle da irrigação.

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the vegetables cultivated in several regions and nowadays it is easy to see an increase in demand for organic products by consumers, many producers decided to change and start to produce with a new method of cultivation called organic farming. Assuming that lettuce cultivation has some characteristics, like its growth and production variables, according to the different treatments, this study aimed to investigate the lettuce yield under different levels of irrigation and compost, trying to estimate the better management of irrigation and fertilization. The production of organic lettuce is held in beds under field conditions and there are many types, and some have a great acceptance what turns the studies about water and nutrient requirements more important. The irrigation system used was a drip method. Five irrigation levels were used: 50, 75, 100, 125 and 150% (W_1 , W_2 , W_3 , W_4 and W_5) of water depth needed by the crop. Another treatment was consisting of four different applications of compost, 0.0, 2.0, 4.0 and 8.0 kg m⁻² (C_1 , C_2 , C_3 and C_4). The compost is a key in organic farming and for this experiment it was obtained from sugarcane pulp, acerola waste, cattle manure, chicken manure, MB-4 (rock powder - with Ca and Mg), phosphate and water. The experimental design was a randomized block in a split-plot with four replications scheme and irrigation depth located in the plots and the compost arranged as subplots. The results of this study led to the following conclusions: the application of water and compost as production factors allowed raising the average levels of lettuce yield of up to 38.3%, with an estimated maximum yield obtained with a level of compost equivalent to 6.3 kg m⁻². It was observed a decrease lower than 6% in the average level of productivity of lettuce when the level of water was reduce by 50% the depth of irrigation applied, this result shows that this production factor it is not limiting, and it is possible to use an irrigation strategy with deficit without main contributions to the gross value of production. The average values of water productivity increased with the increase in the levels of compost according to a quadratic model, which suggests a level equivalent to 6.0 kg m⁻² of compost for purposes the greater efficiency of utilization of water by lettuce. Considering the current price of a kilogram of lettuce to R\$ 2.00 and the results of the compost use efficiency, the cost of a compost tonne must be less than R\$ 90.00 to enable the application of this input. The best economically level of compost, like an optimal value, practically did not change with vary in water quantity and the relationship between the price of the compost and the product price ranging between 90 and 110.

Keywords: *Lactuca sativa* L. Organic fertilization. Irrigation control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Área experimental no Sítio Carcará, Guaraciaba do Norte, CE.	26
Figura 2 –	Preparo do solo.	29
Figura 3 –	Implantação do sistema de irrigação por gotejamento.	30
Figura 4 –	Croqui da irrigação de um dos blocos do estudo.	31
Figura 5 –	Composto orgânico utilizado no experimento.	32
Figura 6 –	Semeadura indireta da alface (9 DAS).	34
Figura 7 –	Transplântio da alface.	34
Figura 8 –	Croqui da área experimental.	35
Figura 9 –	Croqui da adubação de um dos blocos do estudo.	36
Figura 10 –	Produtividade média da alface em função das doses de composto orgânico.	40
Figura 11 –	Produtividade da água do cultivo da alface em função da lâmina de irrigação aplicada.	43
Figura 12 –	Produtividade da água do cultivo da alface em função da dose de composto orgânico aplicada.	44
Figura 13 –	Eficiência do uso do composto orgânico em função das diferentes doses utilizadas; EUC em kg de alface produzida por kg de composto orgânico aplicado, $\text{kg kg}_{\text{ap}}^{-1}$	45
Figura 14 –	Dose de composto orgânico economicamente ótima em função da relação entre o preço do composto orgânico e o preço da alface.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Atributos físicos e químicos do solo na camada arável (0,0 - 0,2 m).	27
Tabela 2 –	Características químicas da água usada na irrigação da alface; condutividade elétrica (CE) em dS m^{-1}	30
Tabela 3 –	Características químicas do composto orgânico utilizado na cultura da alface.	32
Tabela 4 –	Produtividade da alface, em kg ha^{-1} , em função dos níveis de irrigação e doses de composto orgânico.	38
Tabela 5 –	Resumo da análise de variância do rendimento da alface em função da água e do composto orgânico.	39
Tabela 6 –	Valores médios de produtividade da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) em função dos níveis de irrigação e de composto orgânico para o cultivo da alface.	43
Tabela 7 –	Equações ajustadas da produtividade média da alface em função do composto orgânico, para cada lâmina de irrigação.	46
Tabela 8 –	Produto físico marginal do fator de produção composto orgânico para os diferentes níveis de irrigação.	47
Tabela 9 –	Dose de composto orgânico economicamente ótima (kg m^{-2}) em função da relação entre o preço do composto (PC) e o preço da alface (PY).	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	Agricultura orgânica	15
<i>2.1.1</i>	<i>Agricultura orgânica no nordeste do Brasil</i>	16
2.2	Adubação orgânica	19
<i>2.2.1</i>	<i>O uso da adubação orgânica em hortaliças</i>	19
2.3	A cultura da alface	20
2.4	Necessidades hídricas da cultura da alface	21
2.5	Produtividade dos fatores de produção	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	Caracterização do local do experimento	26
3.2	Condução do experimento	28
3.3	Irrigação	29
3.4	Composto orgânico	32
3.5	Cultura e método de cultivo	33
3.6	Delineamento experimental	35
3.7	Produtividade da água	36
3.8	Eficiência do uso do composto orgânico	36
3.9	Produto físico marginal	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Produtividade comercial da alface em função dos fatores de produção	38
4.2	Produtividade da água	42
4.3	Eficiência de uso do composto orgânico	45
4.4	Dose de composto orgânico economicamente ótima	46
5	CONCLUSÕES	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os consumidores buscam alimentos mais saudáveis, o que ocasiona a expansão da produção orgânica. Com isso, o setor de alimentos precisa se adaptar às mudanças significativas na demanda por estes produtos.

O mercado de produtos orgânicos, considerado atraente financeiramente, possui dificuldades relacionadas à sua expansão, sendo uma das mais importantes a conversão dos sistemas convencionais para sistemas orgânicos. As áreas exploradas com a agricultura convencional, que tem suas defesas apoiadas na utilização de agrotóxicos e adubos minerais ou agroquímicos, costumam gerar dificuldades para o produtor no decorrer do processo de conversão.

Contudo, será que apenas os alimentos produzidos no sistema convencional podem causar danos à saúde dos consumidores? Para que o mercado de produtos orgânicos consiga seguir em desenvolvimento pleno, é fundamental que os programas de certificação sejam mais eficientes, garantindo aos consumidores produtos saudáveis e dentro das normas de segurança alimentar.

As condições do solo são responsáveis por grande parte do sucesso da agricultura orgânica, pois as plantas necessitam das melhores condições para que consigam se desenvolver e resistir, dentro do possível, a quaisquer fatores adversos. Por isso, a adubação orgânica é considerada um fator determinante na capacidade produtiva de áreas ocupadas com sistemas orgânicos. Outro fator, não menos importante, é o manejo adequado da irrigação.

Para o cultivo de hortaliças, o uso da adubação orgânica é fundamental, contribuindo para aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos obtidos. É possível atribuir a ampliação da demanda por hortaliças devido as suas concentrações de vitaminas e sais minerais, substâncias consideradas essenciais ao bom funcionamento do organismo humano.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e possui importância singular na dieta da população brasileira por ser utilizada como elemento principal em saladas, provavelmente devido ao seu sabor, qualidade nutritiva e custo acessível. Entre os diversos tipos cultivados a alface-americana é um dos que possui maior aceitabilidade, o que reforça a necessidade de estudos detalhados sobre as suas exigências hídricas e nutricionais.

Com isso, observa-se a necessidade de estudos voltados para a capacidade produtiva da alface, sendo necessário determinar o manejo adequado para o seu cultivo.

O estudo teve como objetivo avaliar a capacidade produtiva da alface-americana sob diferentes tratamentos de lâminas de irrigação e doses de composto orgânico, tendo como hipótese que a cultura apresenta crescimento e produção comercial variáveis, moduladas pelos tratamentos analisados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Agricultura orgânica

A agricultura orgânica é definida, principalmente, por ofertar produtos saudáveis, isentos de contaminantes intencionais. De acordo com a Lei Nacional nº 10.831, de 23 de dezembro de 2003, é considerado como sistema orgânico de produção agropecuária todo aquele em que se adotam técnicas específicas, mediante a otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis, respeitando a integridade cultural das comunidades rurais e tendo por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, a minimização da dependência de energia não renovável e a proteção do ambiente. Para isto, devem ser empregados métodos culturais, biológicos e mecânicos, quando possível, em contraposição ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiações ionizantes, em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização (BRASIL, 2003).

A agricultura orgânica, segundo Espíndola *et al.* (2006), tem por princípio estabelecer sistemas de produção baseados em tecnologias e processos que são originados a partir de um conjunto de procedimentos, envolvendo a planta, o solo e as condições climáticas. Estes sistemas devem ser capazes de produzir alimentos saudáveis e manter todas as suas características originais, atendendo às expectativas dos consumidores.

Atualmente, os consumidores buscam alimentos mais saudáveis, o que ocasiona a expansão da produção orgânica. A qualidade visual dos produtos orgânicos (tamanho, coloração e formato) não era tão atraente quando comparados aos cultivados na agricultura convencional. Porém, o equilíbrio dos solos garantiu à maioria dos produtos orgânicos, qualidade visual equivalente aos convencionais. Desta forma, a expansão mundial do setor é devido à existência de produtos com origem certificada, com qualidade e sustentáveis (ALMEIDA *et al.*, 2000; SOUZA, 2001).

Alencar (2005) ressaltou que o mercado promissor dos produtos orgânicos fez com que muitos agricultores começassem a produzir, de forma individual ou em associação, produtos sem agrotóxicos. O sucesso deste produto é constatado pela fácil aceitação por parte dos consumidores e pela insuficiência de produção para atender ao mercado. Souza e Resende (2003) reforçaram que a opção por alimentos orgânicos era justificada por possíveis

problemas de saúde ocasionados pela produção em larga escala nos cultivos convencionais, com o uso maciço de agrotóxicos e fertilizantes químicos.

A produção de alimentos orgânicos, impulsionada pela crescente demanda nos mercados americanos e europeus, tem crescido rapidamente em escala global nas últimas décadas. Os países em desenvolvimento com grandes áreas orgânicas certificadas incluem Argentina, Brasil, China e Índia (WILLER; ROHWEDDER; WYNEN, 2009).

Apesar das exigências em relação à adubação, a eficiência ou equilíbrio energético da agricultura orgânica e sustentável, que constitui uma das metas para estes sistemas, deve ser buscada de forma contínua, porém não deve ser um fator excludente para a escolha da produção orgânica (SCHRAMSKI *et al.*, 2013).

2.1.1 Agricultura orgânica no nordeste do Brasil

A agricultura orgânica pode ser definida como um sistema de cultivo que busca seguir a ordem natural do ecossistema, excluindo o uso de agrotóxicos, fertilizantes solúveis, hormônios e quaisquer tipos de aditivos químicos. Os sistemas devem ser considerados economicamente produtivos, usar os recursos naturais com eficiência, respeitar o trabalho e reduzir o uso de insumos externos. Os alimentos oriundos de um sistema orgânico precisam ser livres de resíduos tóxicos, antes e após o processamento. A agricultura orgânica reúne todos os modelos não convencionais de agricultura biodinâmica, natural, biológica, permacultura ou agroecológica, contrapondo o modelo convencional (DAROLT, 2008).

O modelo agrícola de produção orgânica foi implantado no Brasil no início da década de 1970, dentro de um cenário de discussão sobre os impactos causados pela crescente força da agricultura convencional no país. Até o ano de 1995, o desenvolvimento da agricultura orgânica no Brasil incidiu lentamente, porém, após este período, foi observado o aumento de adeptos ao sistema de cultivo orgânico, impulsionados pela crescente demanda (DAROLT, 2002).

A atividade agrícola no Nordeste é caracterizada desde a sua origem por um modelo em que a exploração do solo está em desacordo com a sua sustentabilidade (ICID, 1992). O declínio da produtividade pode ser atribuído a sinais de degradação em grandes áreas, sendo possível verificar casos de desertificação. O extrativismo irrestrito dos recursos florestais, atividades relacionadas às queimadas e os grandes projetos de irrigação são alguns dos fatores que ocasionam degradação (ALENCAR, 2005).

De acordo com Severino (2000), a agricultura orgânica pode ser considerada um ótimo empreendimento para o Nordeste por ser caracterizada como a união de fatores como o benefício social, o respeito ao ambiente e a viabilidade econômica, considerados os três pilares para o desenvolvimento sustentável. O benefício social é atingido pela possibilidade de pequenos produtores, associações e cooperativas produzirem de forma competitiva e terem acesso ao mercado. Os benefícios relacionados ao ambiente são respostas lógicas aos fundamentos do sistema de cultivo orgânico. O fator econômico é considerado uma resposta da sociedade, que corrobora com o incentivo ao desenvolvimento de atividades ambientalmente corretas e que reduzam as desigualdades sociais.

Segundo Alencar (2005), as propriedades orgânicas são diferentes em vários aspectos da propriedade convencional, tais como: o planejamento da propriedade, a diversificação e rotação das culturas, o manejo do solo, a interação com o ambiente, o baixo custo energético dos produtos cultivados e a qualidade de vida dos agricultores, devido não se exporem a contaminação durante a aplicação de agrotóxicos. Vale ressaltar que no sistema de cultivo orgânico a baixa dependência de insumos externos possibilita a autonomia destas propriedades, o que pode ser atribuído à forma organizada e planejada de uso dos recursos existentes na área, recebendo a denominação de sistema integrado de produção.

No Nordeste brasileiro, um exemplo da importância da agricultura orgânica pode ser observado no perímetro irrigado Tabuleiros Litorâneos, localizado no estado do Piauí. A produção da acerola orgânica certificada ocupa a maior área plantada no perímetro e rende, no mínimo, 5750 toneladas por ano, com aproximadamente 80% da produção em sistemas orgânicos. A qualidade dos produtos já é reconhecida em todo o país, sendo adquiridos por grandes empresas que comercializam nas centrais de abastecimento das capitais e nos supermercados do Nordeste, Sul e Sudeste. Vale ressaltar que a produção já atingiu o nível de exportação para a Europa e América do Norte (MARTINS, 2013; TABULEIROS... , 2014).

O investimento de 120 milhões de reais do programa Mais Irrigação foi disponibilizado para a ampliação do perímetro irrigado Tabuleiros Litorâneos e uma das metas do governo é a conversão do sistema de produção de todos os irrigantes para a agricultura orgânica certificada. O sucesso deste projeto fará com que o perímetro tenha a maior área contínua de fruticultura orgânica certificada do Brasil (MINISTÉRIO... , 2014).

De acordo com Shepherd *et al.* (2004), a transição dos sistemas convencionais para orgânicos, procurando manter um baixo aporte de insumos, é geralmente acompanhada por mudanças nas propriedades e nos processos químicos que afetam diretamente a fertilidade do solo. As modificações incluem o uso de culturas de cobertura, esterco e aplicação de

compostos, procurando eliminar o uso de fertilizantes sintéticos. Clark *et al.* (1998) relataram que tais mudanças afetam a disponibilidade de nutrientes para as culturas, pois alteram os mecanismos de liberação dos nutrientes e influenciam as características químicas e físicas do solo.

O Estado do Ceará apresenta aproximadamente 93% de sua área situada no semiárido nordestino, sendo o restante em ambientes úmidos. A maioria das pequenas propriedades é caracterizada por modelos de agricultura de subsistência e tradicional. Já as áreas mais extensas são geralmente destinadas à fruticultura, com o uso maciço de insumos químicos e maquinários. Os sistemas agrícolas considerados alternativos, especialmente os sistemas orgânicos de produção, são implantados em várias áreas, expandindo cada vez mais o número de adeptos da agricultura orgânica, impulsionados pela demanda gerada por um mercado de consumidores que buscam alimentos produzidos sem agrotóxicos. As áreas ocupadas com o sistema orgânico ainda não possuem representatividade marcante em relação ao total de áreas cultivadas no Brasil, contudo, o crescimento anual estimado em 30% pode significar que futuramente exista uma participação maior deste no setor alimentício (DAROLT, 2002).

Algumas iniciativas de sistemas agrícolas alternativos foram implantadas através dos anos em várias áreas do Estado do Ceará, geralmente enfatizando os sistemas de cultivo orgânico. A implantação de uma das primeiras propostas voltadas para a agricultura orgânica no nordeste do Brasil aconteceu no município de Tauá, no Estado do Ceará, no período de 1991 a 1996 (ALENCAR, 2005).

De acordo com Mapurunga (2000), a agricultura orgânica apresentava, no ano de sua pesquisa, desenvolvimento considerável no Ceará, com destaque especial para a região da Chapada da Ibiapaba, principalmente no município de Guaraciaba do Norte, onde alguns agricultores decidiram migrar do cultivo convencional para o sistema orgânico de produção. No mesmo ano, um estudo de Sousa (2000) ressaltou o intenso uso agrícola da região da Ibiapaba, apontando evidências de forte degradação dos recursos vegetais, conduzindo a área a um esgotamento do potencial edáfico e tornando os efeitos de lixiviação mais perceptíveis em áreas escarpadas.

A região da Chapada da Ibiapaba é caracterizada pela produção de olerícolas e o modelo de produção predominante é o convencional, no qual a dependência de aportes energéticos e financeiros elevados gera uma produção final de alto impacto ecológico e baixa margem de lucro aos agricultores. Ainda pode ser considerado como fator negativo, a redução da qualidade de vida dos produtores e consumidores, devido aos possíveis efeitos nocivos dos

agrotóxicos utilizados no manejo das culturas, principalmente, quando utilizados de forma incorreta. Os impactos causados ao ambiente pela agricultura convencional em Guaraciaba do Norte são altamente relevantes, gerando discussões relacionadas à contaminação humana e do ambiente proveniente do uso abusivo de agrotóxicos. Isto posto, é possível entender o maior interesse da opinião pública em virtude da região ser considerada uma grande produtora de hortifrutigranjeiros no Estado do Ceará (ALENCAR, 2005).

2.2 Adubação orgânica

As recentes mudanças na política global, com diretrizes ecológicas, a crescente demanda por produtos orgânicos no mundo e as restrições impostas pelos países importadores referentes à qualidade e segurança alimentar suscitam a necessidade de estudos e técnicas alternativas para a produção de frutos e hortaliças, buscando minimizar a utilização de adubos minerais ou agroquímicos (FONTANÉTTI *et al.*, 2004).

Na agricultura orgânica, os custos com insumos externos geralmente são reduzidos, pois não há uso de pesticidas e fertilizantes minerais, e ocorre aumento considerável da reciclagem de nutrientes, através da adubação verde e compostos orgânicos (OELOFSE *et al.*, 2010).

O composto orgânico atua de forma a aumentar a capacidade de retenção da água, mantém estável a temperatura e os níveis de acidez do solo e dificulta ou impede a germinação de sementes de possíveis plantas invasoras, além de incrementar a matéria orgânica e a atividade biológica do solo, melhorando a sua fertilidade (BULLUCK *et al.* 2002; SANTOS; MACHADO, 2011).

Uma das principais dificuldades no manejo requerido na prática da agricultura orgânica se dá pelo volume de material e custo de transporte do composto orgânico até o local de aplicação. Com isso, novas práticas são estudadas na tentativa de que o produto final possa ser obtido em sua maior parte na propriedade, permitindo maior eficiência no uso dos recursos disponíveis (MASSAD *et al.*, 2010).

2.2.1 O uso da adubação orgânica em hortaliças

As hortaliças reagem de forma satisfatória à adubação orgânica, tanto em produtividade como em qualidade dos produtos obtidos, sendo o esterco bovino a fonte mais utilizada. Para os solos pobres em matéria orgânica é indicada a utilização de composto

orgânico, sendo considerada uma fonte eficiente e econômica para hortaliças (FILGUEIRA, 2008).

O uso do composto orgânico resulta em boa produtividade na cultura da alface. Porém, é importante salientar, que o processo de preparo do composto deve ser realizado de forma correta, eliminando possíveis resíduos de contaminação química e de outras substâncias proibidas pela agricultura orgânica (RESENDE *et al.*, 2007).

Yuri *et al.* (2004a), analisando o efeito do composto orgânico na cultura da alface, verificaram que todas as características avaliadas foram influenciadas pelas diferentes doses utilizadas do composto. Araújo *et al.* (2008), também estudando as respostas da cultura, observaram que as menores dosagens dos compostos avaliados também foram consideradas satisfatórias para o desenvolvimento da alface.

Souza *et al.* (2005) afirmaram que com a adubação orgânica não houve apenas o aumento da produtividade da alface. Foi observado que com o aumento da dose de composto orgânico aplicado na cultura da alface os teores de proteína bruta, fósforo, potássio e de magnésio nas folhas também aumentaram. Porém, vale ressaltar, que a alface geralmente apresenta boa resposta à adubação orgânica, no entanto, esta resposta é variável, dependendo da cultivar e da fonte de adubo utilizada (FONTANÉTTI *et al.*, 2006).

2.3 A cultura da alface

As hortaliças são consideradas excelentes fontes de vitaminas e sais minerais, substâncias essenciais ao bom funcionamento do organismo humano. A digestão e o funcionamento dos diversos órgãos são auxiliados pelo consumo das hortaliças, o que as rotulam com alimentos protetores da saúde (MACEDO, 2006).

A alface pertence à família Asteraceae, do gênero *Lactuca* e espécie *Lactuca sativa* L., que se origina de regiões de clima temperado, característico do sul da Europa e Ásia ocidental. É uma planta herbácea delicada, com caule pequeno e folhas que crescem em roseta, existindo variedades lisas e crespas que podem ou não formar cabeça e com coloração em vários tons de verde ou roxa. O sistema radicular é ramificado e superficial, atingindo 0,25 m de profundidade, quando a cultura é transplantada. Já no sistema de semeadura direta, a raiz principal pode atingir até 0,60 m de profundidade, porém as raízes prevalecem na camada mais superficial (FILGUEIRA, 2008; RESENDE *et al.*, 2007).

Lima (2007) afirmou que, geralmente, o ciclo da alface pode variar de 40 até 70 dias, dependendo do sistema (transplântio ou sementeira direta), da época de plantio (verão ou inverno), da cultivar utilizada e do sistema de condução (no campo ou protegido).

Historicamente, o consumo da alface aumentou com a vinda da família real e sua comitiva em 1808 para o Brasil, pois os portugueses sentiram falta das hortaliças que costumavam consumir e passaram a promover a sua produção e o seu consumo. Sobre o valor nutricional é importante destacar que a alface é rica em sais de cálcio e de ferro e contém quantidades razoáveis das vitaminas B1, B2, B6, C e a pró-vitamina A, além de possuir baixo valor calórico, sendo aconselhável em dietas por ser de fácil digestão (BASLAM *et al.*, 2013; FURTADO, 2008; KATAYAMA, 1993; LLORACH *et al.*, 2008; MADEIRA; REIFSCHNEIDER; GIORDANO, 2008).

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil e compõe uma importante parcela na dieta da população brasileira, tanto pelo sabor e qualidade nutritiva quanto pelo custo acessível, sendo considerada componente básico de saladas, tanto em nível doméstico quanto comercial (COMETTI *et al.*, 2004; MORETTI; MATTOS, 2006; SANTOS *et al.*, 2001). Oliveira *et al.* (2004) atribuíram tal fato à facilidade de aquisição e a possibilidade de ser produzida durante o ano inteiro.

Yuri *et al.* (2002) afirmaram: “a alface americana se diferencia dos demais grupos por apresentar folhas externas de coloração verde-escura, folhas internas de coloração amarela ou branca, imbricadas, semelhantes ao repolho e crocantes.”

As mudanças nos hábitos alimentares e a popularização das cadeias de *fast-food* elevam o consumo de alface-americana, a preferida para estes estabelecimentos. Antes do fortalecimento dos setores que demandam a alface-americana, as alfaces consumidas no Brasil eram, predominantemente, do tipo manteiga, lisa e crespa (YURI *et al.*, 2004b).

Por fim, é importante salientar que, atualmente, os consumidores são notavelmente mais exigentes, motivando a produção da alface em quantidade e com qualidade e mantendo a regularidade em seu fornecimento para atender o mercado consumidor durante todo o ano (BEZERRA NETO *et al.*, 2005; OHSE *et al.*, 2001).

2.4 Necessidades hídricas da cultura da alface

A estimativa da necessidade hídrica de uma cultura é realizada através do conhecimento de sua demanda por água (ET_c), que representa a quantidade de água evapotranspirada. A evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) é obtida através do produto

da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente da cultura (K_c). A partir deste conceito é possível concluir que a determinação do consumo de água de uma cultura depende do conhecimento da ET_o , variável que é dependente das condições climáticas do local em que a cultura está implantada e das suas características fisiológicas e morfológicas, representadas pelo seu K_c (DOORENBOS; KASSAM, 1979; OLIVEIRA NETO, 2009; PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Miranda, Gondim e Costa (2006) relataram que a ET_o pode ser mensurada através de métodos diretos ou estimada por meio de informações climáticas. De acordo com Sentelhas (2003), um dos métodos utilizados para obtenção da ET_o é realizado com o uso de evaporímetros e é conhecido como método do tanque classe A. Cintra, Libardi e Saad (2000) ressaltaram que o balanço hídrico funciona como ferramenta para avaliar a intensidade de entradas e saídas de água no solo e depende, principalmente, do conhecimento da cultura, por esta influenciar a interpretação correta dos dados obtidos no balanço hídrico.

A alface é uma cultura exigente em água, tornando importante o manejo adequado da irrigação, o que garante que as necessidades hídricas da cultura sejam supridas e reduz possíveis problemas com doenças e lixiviação de nutrientes, contribuindo ainda com a redução de gastos com água e energia (KOETZ *et al.*, 2006).

De acordo com Gomes e Sousa (2002), a cultura da alface é extremamente exigente em água, o que torna recomendável a utilização de irrigação por gotejamento, devido a facilidade em controlar o teor de água no solo, mantendo-o próximo a capacidade de campo. A irrigação por gotejamento, quando manejada adequadamente, permite uma maior eficiência de aplicação de água, em consequência de um melhor controle da lâmina de irrigação aplicada, menores perdas por evaporação, por percolação e escoamento superficial.

Um estudo realizado por Hamada e Testezlaf (1995) através do monitoramento baseado na evaporação de um tanque classe A para manejar um sistema irrigação por gotejamento, permite observar a produção da cultura da alface quando submetida a diferentes lâminas de irrigação até a fase final de seu desenvolvimento. De acordo com os autores, 80% a 90% da massa fresca foram produzidas nas duas semanas anteriores à colheita e as maiores percentagens foram obtidas pelas maiores lâminas de irrigação. A eficiência no uso da água decresceu à medida que lâminas maiores foram aplicadas, sendo as maiores eficiências observadas no tratamento com aplicação de 60% da evaporação do tanque classe A. O tratamento que era composto por uma aplicação de 120% da evaporação do tanque classe A obteve maior produção e melhor qualidade da alface para comercialização.

Flecha (2004) observou que a produtividade relativa da cultura da alface apresenta correlações lineares negativas com o estresse proveniente do excesso de água no solo. O efeito do excesso de água na cultura pode ser identificado pela redução da altura da planta, do diâmetro e do peso da parte aérea, podendo ocorrer ainda uma redução no diâmetro do caule, porém, entre todas as variáveis analisadas, o peso da parte aérea foi o que apresentou maior sensibilidade.

Martin *et al.* (2012) ressaltaram que atualmente existem modelos que relacionam produção e água, ou seja, técnicas que permitem estimar a produção da cultura em função da água por ela utilizada. Tais técnicas despertam grande interesse em pesquisadores, visto o importante papel que podem desempenhar para auxiliar na gestão e otimização de recursos hídricos, melhorando a gestão da irrigação em condições de déficit hídrico.

2.5 Produtividade dos fatores de produção

Frizzone (1993) definiu função de resposta ou de produção das culturas como uma relação física entre as quantidades de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que podem ser obtidas do produto, de acordo com a tecnologia utilizada. Deste modo, uma relação funcional entre os insumos e o produto é definida com a suposição de que a função de resposta representa o valor máximo que pode ser obtido com o uso de cada combinação de insumos.

De acordo com Monteiro (2004), existem diferentes aplicações das funções de produção, por exemplo, determinar a relação entre a quantidade de água aplicada e os benefícios resultantes, estimar a produção e avaliar as alterações relacionadas ao ambiente e a produção das culturas.

Segundo Frizzone (1986), para a obtenção de uma função de produção é necessária a realização de uma análise de regressão entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes, conforme um modelo estatístico que possa representar esta interação. É importante ressaltar que a natureza desta interação, contudo, é função das condições edafoclimáticas, cultivares e técnicas de manejo utilizadas (FRIZZONE *et al.*, 1996; READMAN; KETTLEWELL; BECKWITH, 2002; SANDHU; ARORA; CHAND, 2002).

Frizzone (1993) ressaltou que para a realização de um estudo econômico de determinada cultura ao uso de insumos é interessante delimitar a região de produção racional

que mostra as diversas combinações dos fatores e dos respectivos rendimentos que são necessários para que seja possível alcançar melhores resultados econômicos.

A água é essencial para a produção das culturas, sendo necessário que o melhor uso da água disponível seja realizado para a obtenção de uma produção satisfatória e com altos rendimentos. Com isso, é importante que seja realizado o estudo correto da aplicação de água, conhecendo os seus efeitos diversos de acordo com cada estágio de crescimento da cultura (MONTEIRO, 2004).

Uma função de produção típica que envolve água e cultura é aquela que relaciona lâmina de água aplicada durante um ciclo da cultura em relação à produtividade comercial. As culturas, o meio e as diferentes práticas de manejo podem influenciar na relação entre a produção agrícola e o consumo de água, o que define a produtividade da água para uma cultura como a razão existente entre a quantidade produzida e a quantidade de água consumida para obter tal produção (BERNARDO, 1998; PERRY *et al.*, 2009).

A gestão dos recursos hídricos em nível da exploração agrícola engloba a adoção de práticas de irrigação apropriadas que conduzam à economia de água, o que requer a determinação de um calendário de irrigação otimizado para condições de aplicação de volume de água limitado (PEREIRA; CORDERY; IACOVIDES, 2009).

De acordo com Playán e Mateos (2006), a produtividade da água pode ser definida como a produtividade agrícola por unidade de volume de água aplicado. O numerador pode ser expresso em termos de rendimento da cultura (kg ha^{-1}) ou alternativamente, expresso em unidades monetárias ($\text{R\$ ha}^{-1}$), que representa o valor bruto da produção em um hectare. Este último é conveniente para que seja realizada a comparação entre diferentes culturas ou diferentes manejos no uso da água. O volume de água por unidade de área ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) pode ser utilizado como denominador, resultando em um indicador de produtividade da água ($\text{R\$ m}^{-3}$).

Perry *et al.* (2009) explicaram que as culturas, o meio e as diferentes práticas de manejo podem influenciar na relação entre a produção agrícola e o consumo de água, definindo a produtividade de água para uma cultura como a razão existente entre a quantidade produzida e a quantidade de água consumida para obter tal produção.

A adição de composto orgânico é considerada um fator positivo para o aumento da produtividade da alface, sendo que todas as características estudadas apresentaram influência pelas doses de composto utilizadas. Estudos concluíram que até mesmo as menores dosagens dos compostos utilizados foram satisfatórias para o desenvolvimento da cultura (YURI *et al.*, 2004a; FONTANÉTTI *et al.*, 2002; ARAÚJO *et al.*, 2008). De acordo com

Fontanétti *et al.* (2006), a alface geralmente apresenta resposta positiva à adubação orgânica, com resposta variável de acordo com a cultivar e a fonte de adubo utilizada.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local do experimento

O estudo foi conduzido no Sítio Carcará, localizado no município de Guaraciaba do Norte, Ceará (Figura 1). O clima da região é caracterizado como clima tropical chuvoso, característico de áreas elevadas. De acordo com os critérios adotados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999), os solos da área são classificados como Neossolos Quartzarênicos, possuindo textura arenosa.

Figura 1 – Área experimental no Sítio Carcará, Guaraciaba do Norte, CE



Fonte: Autora (2014).

O sistema orgânico de cultivo foi iniciado há dezessete anos no Sítio Carcará. Porém, a área utilizada para a implantação do estudo, que se encontrava em extenso pousio, foi escolhida de forma a evitar a influência de culturas e adubações anteriores. Com isso, é possível afirmar que a área estava em ambiente apropriado para o desenvolvimento de um projeto visando estudar o comportamento de uma cultura sob cultivo orgânico, pois a propriedade já era explorada com este método de cultivo durante vários anos. Por outro lado,

a área utilizada para o estudo não apresentava todos os benefícios relacionados aos solos cultivados de forma orgânica devido ao seu extenso pousio.

Os atributos físicos e químicos do solo da área foram determinados no Laboratório de Solos e Água do Departamento de Ciências do Solo, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará. As amostras utilizadas para as análises foram coletadas na camada de 0,0 m a 0,2 m, cujos resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos do solo na camada arável (0,0 - 0,2 m)

Análise Química	(0,0 - 0,2 m)	Análise Física	(0,0 - 0,2 m)
PO ₄ ³⁻ (mg dm ⁻³)	36	Areia fina (g kg ⁻¹)	396
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,09	Areia grossa (g kg ⁻¹)	474
Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,70	Silte (g kg ⁻¹)	83
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,04	Argila (g kg ⁻¹)	47
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,40	Argila natural (g kg ⁻¹)	32
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,30	Densidade do solo (kg m ⁻³)	1440
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,2	Densidade das partículas (kg m ⁻³)	2610
M.O. (g kg ⁻¹)	9,72	Floculação (g 100g ⁻¹)	32
C/N	11	Água útil (g 100g ⁻¹)	2,08
pH	5,8	Classe textural	Areia franca
CE (dS m ⁻¹)	0,23		

Fonte: Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará (2014).

Filgueira (2008) orienta que, para a maior eficiência do desenvolvimento e, conseqüentemente, da produção da alface, o pH deve ser mantido entre 6,0 e 6,8. A análise das amostras revelou que o pH está praticamente no limite inferior do ideal.

Stockdale *et al.* (2002), estudando as diferenças existentes entre os solos manejados em sistemas orgânicos e convencionais, observou acréscimo nos teores de matéria orgânica. Porém, outras propriedades apresentaram mudanças mais variáveis, fato que foi justificado pelas diferenças climáticas, técnicas de rotação de culturas, tipos de solos e período em que o solo permaneceu com o manejo orgânico. Em geral, foi observado que o pH é maior e a disponibilidade de nutrientes, particularmente o potássio, pode ser mais elevada em sistemas de cultivo orgânico.

Yan, Schubert e Mengel (1996) destacaram a descarboxilação dos aminoácidos como principal processo responsável pelo incremento do pH nos solos cultivados de forma orgânica. Já Stockdale *et al.* (2002) defenderam que os mecanismos envolvidos na elevação do pH em sistemas orgânicos incluem a adsorção de H⁺ na superfície dos materiais

adicionados, as condições que propiciam maior atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica, a substituição de hidroxilas da superfície dos sesquióxidos por ânions orgânicos, a adição de cátions básicos e a produção de amônia durante a decomposição.

Sobre os teores de fósforo, Alencar (2005) observou que a adição sistemática de material orgânico, principalmente na forma de compostos, esterco e resíduos orgânicos nos sistemas orgânicos de produção proporcionou acréscimos consideráveis nos teores de fósforo em relação aos originalmente encontrados, o que acontece de forma mais discreta nos sistemas convencionais.

As aplicações sistemáticas de compostos orgânicos e a incorporação de culturas de cobertura possibilitam maior aporte de bases trocáveis (cálcio, magnésio, potássio e adicionalmente sódio) nos solos ocupados com sistemas orgânicos de cultivo ou até mesmo com menor uso de insumos (CLARK *et al.*, 1998; MADER *et al.*, 2002; STOCKDALE *et al.*, 2002). De acordo com Hussain, Olson e Ebelhar (1999), o prevailecimento de maiores teores de cálcio e magnésio nos sistemas de manejo orgânico, especialmente nas camadas superficiais, decorre dos efeitos proporcionados pela ciclagem da matéria orgânica do material adicionado que proporciona a liberação dos nutrientes e o aumento da CTC do solo.

Em relação aos teores de potássio, foi observado incremento com o aporte contínuo de material orgânico no solo, prática comum nos sistemas orgânicos de cultivo (REGANOLD, 1992; STOCKDALE *et al.*, 2002). Clark *et al.* (1998), concluíram que após quatro anos de produção os solos cultivados de forma orgânica exibiam maiores teores de potássio em relação aos cultivados em sistema convencional.

Oliveira *et al.* (2002) explicaram que o aporte periódico de material orgânico em solos sob sistema de cultivo orgânico costumam apresentar menor atividade química de alumínio quando comparada a observada em sistemas convencionais, isto é justificado pela maior quantidade de ligantes orgânicos na solução do solo e maior força iônica da solução.

3.2 Condução do experimento

O preparo do solo foi realizado através de técnicas de aração e gradagem e, posteriormente, os canteiros foram levantados e foi realizado o coveamento (Figura 2).

Figura 2 – Preparo do solo



Fonte: Autora (2014).

O controle de plantas daninhas foi realizado através de capina manual (conforme a necessidade). Algumas práticas agroecológicas eram adotadas na propriedade, tais como barreiras de ventos naturais e faixas homeostáticas, para o controle de pragas. Para a cultura da alface é importante manter o canteiro livre de plantas daninhas e com boa aeração, o que é possível realizar com as ferramentas utilizadas nas capinas (enxadas, rastelos ou até mesmo manualmente). Aos 49 dias após o transplântio (DAT) foi efetuada a colheita para que fosse realizada a análise da produtividade (kg ha^{-1}).

As variáveis foram analisadas estatisticamente através de análise de variância. Quando significativas em nível de 5% pelo teste F, foram realizadas análises de regressão, para que fosse possível ajustar as equações através do software Sanest, sendo selecionado o modelo de maior nível de significância e coeficiente de determinação (r^2).

3.3 Irrigação

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi localizado tipo gotejamento. Nas linhas laterais foram utilizadas fitas gotejadoras da marca NaanDanJain, com vazão de $1,70 \text{ L h}^{-1}$ e pressão de serviço de 100 kPa ($1,0 \text{ kgf cm}^{-2}$), não autocompensantes.

Em cada canteiro foram utilizadas duas fitas gotejadoras com diâmetro nominal de 16 mm e os gotejadores seguiram o espaçamento de 0,30 m (Figura 3). O sistema era abastecido por um riacho, única fonte hídrica próxima à área em que o estudo fora realizado, cuja água foi classificada como C₁S₁ (Tabela 2), o que indicou ausência de riscos referentes à salinização ou sodificação.

Figura 3 – Implantação do sistema de irrigação por gotejamento



Fonte: Autora (2014).

Tabela 2 – Características químicas da água usada na irrigação da alface; condutividade elétrica (CE) em dS m⁻¹

Cátions (mmol _c L ⁻¹)					Ânions (mmol _c L ⁻¹)					pH	RAS	CE	Classificação
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	Σ				
0,4	0,8	0,2	0,1	1,5	1,0	-	0,4	-	1,4	6,2	0,3	0,13	C ₁ S ₁

Fonte: Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará (2014).

O manejo da irrigação foi realizado com base na reposição da lâmina de água evapotranspirada durante um dia, a partir da evaporação de água do tanque classe A. O tempo de irrigação utilizado em cada tratamento foi determinado conforme a Equação 1:

$$T_i = \frac{ECA \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_r \cdot A_p}{N \cdot q_e} \quad (1)$$

em que:

T_i : tempo de irrigação, h;

ECA : evaporação do tanque classe A, mm;

K_t : coeficiente do tanque;

K_c : coeficiente de cultivo da cultura;

K_r : coeficiente de redução da evapotranspiração;

A_p : área útil por planta, m²;

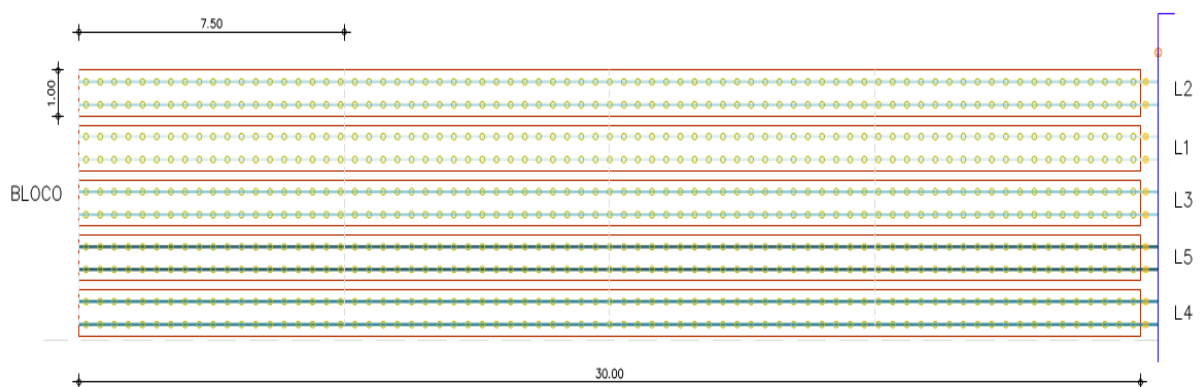
q_e : vazão do emissor, L h⁻¹;

N : número de emissores.

É importante ressaltar que, para as características do solo da área utilizada, as diferentes lâminas de irrigação analisadas dentro de um bloco não ofereceram riscos de comprometer os dados do experimento, relativos à interferência entre tratamentos, devido à estimativa de dimensões de bulbo molhado em irrigação por gotejamento superficial (MAIA; LEVIEN, 2010).

As diferentes lâminas de irrigação utilizadas no estudo foram dispostas dentro de cada bloco, conforme sorteio. O croqui da irrigação pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Croqui da irrigação de um dos blocos do estudo



Fonte: Autora (2014).

3.4 Composto orgânico

O composto orgânico utilizado no estudo foi totalmente obtido na propriedade a partir da mistura de bagaço de cana, resíduos de acerola, esterco de gado, esterco de galinha, MB-4 (pó de rocha - fonte de Ca e Mg), fosfato e água (Figura 5). As características químicas do composto podem ser observadas na Tabela 3.

Figura 5 – Composto orgânico utilizado no experimento



Fonte: Autora (2014).

Tabela 3 – Características químicas do composto orgânico utilizado na cultura da alface

g kg ⁻¹								mg kg ⁻¹			
N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn
14,8	3,6	8,2	7,4	9,0	7,6	4,0	-	1697	23,6	81,9	228,2

Fonte: Laboratório de Solos e Água da Universidade Federal do Ceará (2014).

Leite (2002) defendeu que apesar dos elevados teores de fósforo comumente encontrados em áreas com cultivos orgânicos, é necessário enfatizar o possível predomínio de formas orgânicas de fósforo em tais circunstâncias, o que revelaria um residual deste elemento que poderia ser transformado e liberado com a sucessão dos cultivos.

A disponibilidade de fosfatos no solo é aumentada pela adição de material orgânico, com a participação de diversos processos. As reações envolvidas no aumento da

disponibilidade de fósforo em solos com sistemas orgânicos incluem a liberação do fósforo indisponível através da ação de ácidos orgânicos e outros quelatos produzidos durante a decomposição dos resíduos e excreções radiculares, o aumento na taxa de decomposição e a com mineralização do fósforo, entre outras (STEVENSON, 1986; BALDOCK; NELSON, 2000).

De acordo com Kleper e Anghinoni (1995), o maior acúmulo de potássio na superfície de solos cultivados de forma orgânica depende de fatores diretamente relacionados com o tipo de solo, textura e mineralogia da argila, da umidade e da quantidade de matéria orgânica adicionada na adubação.

O material orgânico adicionado nas frequentes adubações utilizadas no manejo orgânico dos solos não interfere de forma impactante na disponibilidade de ferro, porém pode corrigir eventuais deficiências, conforme a aplicação, melhorando a solubilidade do nutriente (BALDOCK; NELSON, 2000).

Segundo Clark *et al.* (1998) observaram que quantidades elevadas de materiais orgânicos proporcionaram, em algumas ocasiões, deficiências de cobre, o que foi justificado por reações químicas do elemento com compostos orgânicos e outras substâncias originárias durante a decomposição. O cobre possui elevada afinidade pela matéria orgânica, o que pode reduzir a sua disponibilidade para as plantas.

Os solos utilizados com sistemas orgânicos de cultivo tem capacidade elevada de fixação de zinco, o que é atribuído ao potencial das frações da matéria orgânica sobre a complexação desse elemento. O zinco é capaz de formar complexos estáveis com os componentes orgânicos do solo, aumentando a sua adsorção. Porém, os resultados costumam variar de acordo com as características e a quantidade do material orgânico adicionado (BALDOCK; NELSON, 2000; WATSON *et al.*, 2002).

De acordo com Baldock e Nelson (2000), o efeito promovido pela matéria orgânica na disponibilidade de manganês tem relação com as diferentes transformações deste elemento no solo, formando complexos que reduzem a atividade em solução.

3.5 Cultura e método de cultivo

Para a realização do estudo foi escolhida a alface-americana (*Lactuca sativa* L.), cv. Lucy Brown, caracterizada por possuir plantas volumosas, formando cabeça de tamanho grande e tolerante ao pendoamento. Foi adotado o sistema de semeadura indireta, com bandejas plásticas com 200 células, utilizando húmus de minhoca como substrato (Figura 6).

O transplântio foi realizado quando as mudas apresentaram, em média, sete folhas definitivas (Figura 7).

Figura 6 – Semeadura indireta da alface (9 DAS)



Fonte: Autora (2014).

Figura 7 – Transplântio da alface



Fonte: Autora (2014).

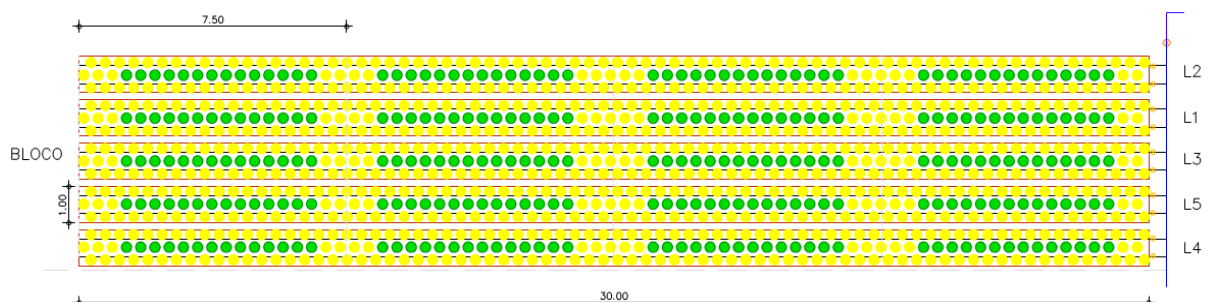
No canteiro, foi seguido o espaçamento de 0,35 m entre linhas e 0,45 m entre plantas. Os canteiros possuíam 1,0 m de largura e 30 m de comprimento, com espaçamento de 0,2 m entre canteiros, contendo três fileiras de plantas em cada um.

3.6 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados, no esquema de parcelas subdivididas e quatro repetições, sendo as lâminas de irrigação localizadas nas parcelas e as doses de composto orgânico dispostas nas subparcelas. Foram consideradas 20 plantas centrais por parcela, sendo cinco plantas úteis por subparcela, compondo 20 parcelas com 1,0 m de largura por 30,0 m de comprimento (30,0 m²) e 80 subparcelas, medindo 1,0 m de largura por 7,5 m de comprimento (7,5 m²).

Foram utilizadas cinco lâminas de irrigação que corresponderam a 50, 75, 100, 125 e 150% (W_1 , W_2 , W_3 , W_4 e W_5) da lâmina de irrigação requerida pela cultura, com base no observado na evaporação de água diária do tanque classe A (ECA mm dia⁻¹), constituindo os tratamentos primários e quatro doses de composto orgânico, tratamentos secundários, correspondentes a 0,0, 2,0, 4,0 e 8,0 kg m⁻² (C_1 , C_2 , C_3 e C_4). Os tratamentos primários foram controlados por meio de registros localizados no início das linhas laterais e as doses de composto orgânico foram aplicadas de forma convencional, a lanço, sobre os canteiros e levemente incorporadas (Figuras 8 e 9).

Figura 8 – Croqui da área experimental



Fonte: Autora (2014).

Figura 9 – Croqui da adubação de um dos blocos do estudo

	0 t/ha	40 t/ha – 30kg	20 t/ha – 15kg	80 t/ha – 60kg	L2
	80 t/ha – 60kg	0 t/ha	20 t/ha – 15kg	40 t/ha – 30kg	L1
BLOCO	40 t/ha – 30kg	0 t/ha	80 t/ha – 60kg	20 t/ha – 15kg	L3
	80 t/ha – 60kg	20 t/ha – 15kg	0 t/ha	40 t/ha – 30kg	L5
	0 t/ha	40 t/ha – 30kg	20 t/ha – 15kg	80 t/ha – 60kg	L4

Fonte: Autora (2014)

3.7 Produtividade da água

A produtividade da água (PA) foi obtida pela relação entre a produtividade comercial da cultura e a quantidade de água aplicada, conforme Equação 2:

$$PA = \frac{Y}{I} \quad (2)$$

em que:

PA: produtividade da água, kg m⁻³, R\$ m⁻³ ou kg ha⁻¹ mm⁻¹;

Y: produtividade, kg ha⁻¹;

I: volume de água aplicado via irrigação por unidade de área, m³ ha⁻¹ ou mm.

3.8 Eficiência do uso do composto orgânico

A eficiência de uso do composto orgânico foi calculada através da divisão do incremento da produtividade pela quantidade de composto orgânico aplicado em um determinado tratamento, conforme Equação 3:

$$EUC = \frac{Y_t - Y_0}{C_t} \quad (3)$$

em que:

EUC: eficiência do uso do composto orgânico, em kg de alface produzida por kg de composto aplicado, kg kg_{ap}⁻¹;

Y_t: produtividade de alface no tratamento “t”, kg ha⁻¹;

Y_0 : produtividade de alface no tratamento mantido como controle, kg ha^{-1} ;

C_i : quantidade de composto orgânico aplicado no tratamento “t” por unidade de área, kg ha^{-1} .

3.9 Produto físico marginal

O produto físico marginal de um determinado fator representa o incremento no rendimento ao se adicionar uma unidade a mais do fator considerado. O produto físico marginal é obtido através da derivada primeira da função de produção, em relação ao fator considerado, sendo representado pela seguinte equação geral (Equação 4):

$$PMg(f) = \frac{dY}{df} \quad (4)$$

em que:

$PMg(f)$: produto físico marginal do fator considerado;

dY/df : derivada da função em relação ao fator considerado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produtividade comercial da alface em função dos fatores de produção

Os dados de produtividade comercial foram submetidos a um teste de homocedasticidade, para que fosse verificada a normalidade dos dados. Através do teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov foi possível constatar que os dados se ajustam a uma distribuição normal.

Os valores médios de produtividade da alface em função dos tratamentos com diferentes lâminas de irrigação e doses de composto orgânico estão disponíveis na Tabela 4.

Tabela 4 – Produtividade da alface, em kg ha⁻¹, em função dos níveis de irrigação e doses de composto orgânico

Níveis de irrigação (%)	Doses de composto orgânico (kg m ⁻²)				Médias
	C ₁ 0,0	C ₂ 2,0	C ₃ 4,0	C ₄ 8,0	
W ₁ 50,0	3310	4635	4475	4913	4333
W ₂ 75,0	4008	4250	5358	4778	4598
W ₃ 100,0	3215	5069	5129	4982	4599
W ₄ 125,0	3551	4312	4767	4467	4274
W ₅ 150,0	3688	3964	4023	5430	4276
Médias	3554	4446	4750	4914	

Fonte: Autora (2014).

O tratamento W₅C₄ obteve a máxima produtividade total média observada, equivalente a 5430 kg ha⁻¹, composta por 150% da lâmina de água requerida pela cultura e 8,0 kg m⁻² de composto orgânico aplicado. Considerando todos os tratamentos referentes às lâminas de água aplicadas (W₁, W₂, W₃, W₄ e W₅), as menores produtividades da alface foram obtidas para o tratamento C₁, correspondente ao tratamento sem aplicação de composto orgânico, comprovando a importância e o efeito do composto na produtividade da cultura.

As variações nos níveis de produtividade observados por outros autores, comparados aos níveis obtidos nesta pesquisa, podem ser explicadas pelo potencial genético de cada cultivar, pelas variações nos teores de água no solo durante a realização dos ensaios e pelas condições climáticas das regiões nas quais foram cultivadas.

A Tabela 5 contém o resumo da análise de variância da produtividade da alface. A respectiva análise revelou que a água não influenciou significativamente a produtividade da cultura com Prob > F de 86,56%. Já o composto orgânico foi significativo em nível de 0,062%, porém, para a interação entre os fatores água e composto orgânico, os resultados não foram significativos em nível de 5%.

A probabilidade de erro foi estimada em 0,062 e 68,71% ao se afirmar que o composto orgânico ou a interação entre os fatores água e composto orgânico, respectivamente, influenciaram o rendimento da cultura. É importante salientar que o efeito do composto orgânico sobre a produtividade da alface foi mais evidente do que a influência da água, quando analisados de forma isolada.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância do rendimento da alface em função da água e do composto orgânico

Causas da Variação	GL	Teste F	Prob > F
Lâminas de irrigação	4	0,3101	0,86560
Regressão linear	1	0,21023	0,65814
Regressão quadrática	1	0,56743	0,52838
Composto orgânico	3	7,4078	0,00062
Regressão linear	1	16,65271	0,00038
Regressão quadrática	1	5,25349	0,02509
Água x Composto orgânico	12	0,7604	0,68706
CV% (Água)	13,671		
CV% (composto orgânico)	22,561		

Fonte: Autora (2014).

Ao analisar o efeito das lâminas de irrigação sobre o rendimento da alface, através da análise de regressão, foi possível constatar que nenhum dos modelos avaliados apresentou efeito significativo.

Lima (2007) observou resultados semelhantes em relação ao comportamento da alface referente às diferentes lâminas de irrigação aplicadas e atribuiu tais resultados ao fato das condições estarem favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Por isso, mesmo com a aplicação de diferentes lâminas, o teor de água no solo permaneceu ideal para todos os tratamentos.

De acordo com Flecha (2004), além dos dados similares, relatou a sensibilidade da alface em relação ao excesso de irrigação e discorreu sobre os efeitos causados na planta: redução da altura, do diâmetro, do peso da parte aérea e do diâmetro do caule, porém a maior

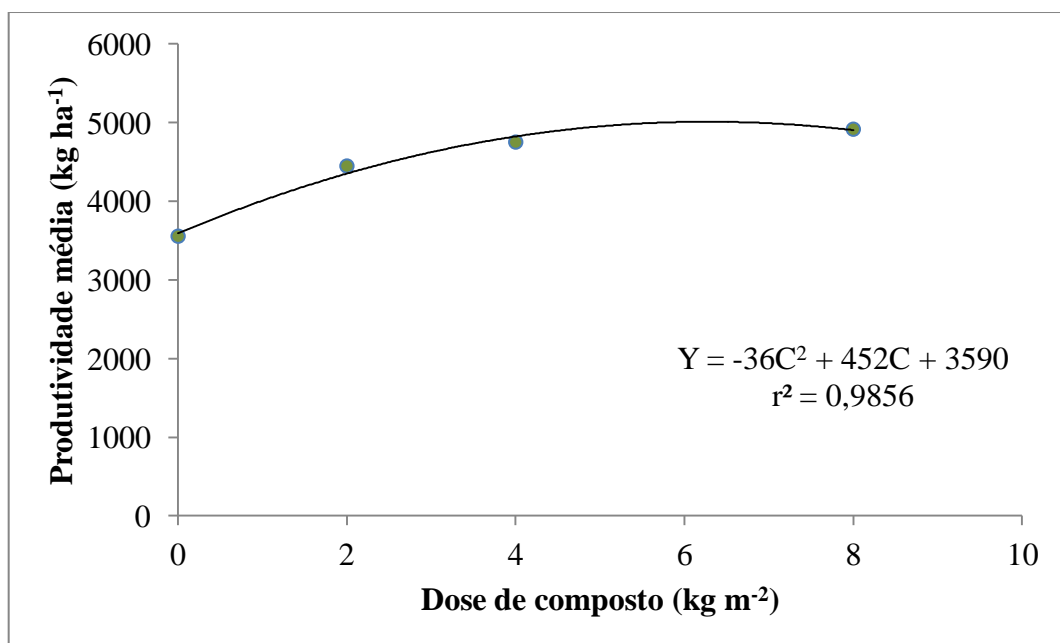
sensibilidade foi determinada no peso da parte aérea, o que está diretamente relacionado com a produtividade da cultura.

Andrade Júnior, Duarte e Ribeiro (1992), por outro lado, analisaram o efeito de quatro lâminas de irrigação aplicadas na alface em um Latossolo Amarelo. As lâminas foram de 50, 75, 100 e 125% da lâmina de irrigação requerida pela cultura, com base no observado na evaporação diária no tanque classe A e a produtividade apresentou resposta quadrática em relação às diferentes lâminas aplicadas, atingindo os maiores valores com 75%.

Hamada e Testezlaf (1995), corroborando com os resultados obtidos neste estudo, observaram que as análises de variância indicaram que os dados não apresentaram diferença estatística, a 5% de significância, do efeito das diferentes lâminas de irrigação aplicadas sobre os fatores de produção avaliados para a cultura da alface. Com isso, baseados em estudos anteriores, os resultados foram considerados como fatores intrínsecos da cultura.

Por outro lado, para o composto orgânico foram obtidos resultados significativos e o efeito das diferentes doses do composto sobre o rendimento médio da alface pode ser explicado, conforme análise de variância da regressão, por um modelo quadrático (Figura 10), com efeito significativo em nível inferior a 5%.

Figura 10 – Produtividade média da alface em função das doses de composto orgânico



Fonte: Autora (2014).

A equação ajustada permite a estimativa da máxima produtividade, equivalente a 5008,8 kg ha⁻¹, obtida com a aplicação de uma dose de composto orgânico de 6,3 kg m⁻², conforme Equação 5:

$$Y = -36C^2 + 452C + 3590 \quad (5)$$

em que:

Y : produtividade da alface, kg ha⁻¹;

C : dose de composto orgânico, kg m⁻².

Santos (2011), avaliando a influência do composto orgânico para a cultura da alface constatou o valor médio de 69,8 g planta⁻¹ de folhas comestíveis, utilizando uma dose de composto orgânico de 9,0 kg m⁻², valores próximos aos observados nesta pesquisa, que foi de 65,5 g planta⁻¹ utilizando uma dose de composto orgânico de 8,0 kg m⁻².

Yuri *et al.* (2004a), estudando a resposta da alface-americana a diferentes doses de composto orgânico (0,0, 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 kg m⁻²) verificaram que todas as características avaliadas foram influenciadas pelas doses utilizadas. A produtividade máxima foi obtida com a dose de 5,94 kg m⁻² do composto orgânico. Já Fontanétti *et al.* (2002) observaram que a melhor resposta em termos de rendimento foi obtida com a dose de 4,0 kg m⁻².

De acordo com Santos *et al.* (1994), a máxima produtividade foi obtida com a aplicação de 6,57 kg m⁻² de composto orgânico, ocorrendo decréscimos com o incremento das doses.

As hortaliças folhosas respondem muito bem à adubação orgânica e ao aumento da produtividade da alface, relacionada com a aplicação de adubos orgânicos, afirmam diversos autores (FONTANÉTTI *et al.*, 2002; NICOULAUD; MEURER; ANGHINONI, 1990; OLIVEIRA *et al.*, 2010; RICCI, 1994; TRANI *et al.*, 2000; YURI *et al.*, 2004a). De acordo com Araújo *et al.* (2008), estudando as respostas da cultura, relataram que as menores dosagens dos compostos utilizados também foram satisfatórias para o desenvolvimento da alface.

Vidigal *et al.* (1995) afirmaram que a matéria orgânica adicionada ao solo na forma de adubos orgânicos, de acordo com o grau de decomposição dos resíduos, pode ter resposta imediata ou residual no solo, ou ambas. Corroborando com o estudo realizado por Vidigal *et al.* (1995), Rodrigues e Casali (1999) avaliaram a aplicação de adubos orgânicos em alface e constataram aumentos na produção e nos teores de nutrientes nas plantas.

A produtividade da alface pode estar relacionada às funções que os adubos orgânicos exercem sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, aumentando os teores de macro e micronutrientes, visto que eles apresentam efeitos condicionadores e aumentam a capacidade do solo em armazenar nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas (ABREU, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2010; PIMENTEL; DE-POLLI; LANA, 2009).

Fontanétti *et al.* (2006) afirmaram que a alface geralmente apresenta boa resposta à adubação orgânica, com resposta variável de acordo com a cultivar e a fonte de adubo utilizada.

Souza *et al.* (2005) afirmaram que com a adubação orgânica não houve apenas o aumento da produtividade da alface. Foi observado que com o aumento da dose de composto orgânico aplicado na cultura da alface os teores de proteína bruta, fósforo, potássio e de magnésio nas folhas também aumentaram.

Santos (2011) concluiu que a aplicação de composto orgânico ao solo favoreceu o desenvolvimento da alface, em comparação ao tratamento testemunha. Para o autor, os resultados podem ser explicados pela mineralização de parte do composto orgânico e, conseqüentemente, aumento da fertilidade do solo, além de melhorar a capacidade de preservar a umidade do solo e aumento da atividade microbiana. Os menores resultados foram verificados no tratamento testemunha, gerando como premissa, a deficiência nutricional das plantas.

4.2 Produtividade da água

Os valores médios de produtividade da água ou eficiência de uso da água relacionada à cultura da alface em função dos níveis de água e de composto orgânico, expressos em $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ podem ser observados na Tabela 6. O aumento das doses de composto orgânico gerou incremento nos valores médios de produtividade da água em todos os níveis de irrigação.

A máxima produtividade da água, $40,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ (ou $4,0 \text{ kg m}^{-3}$), foi obtida com a menor lâmina de irrigação aplicada e a dose de composto orgânico de $8,0 \text{ kg m}^{-2}$. Já a menor produtividade da água foi obtida no tratamento correspondente a maior lâmina de irrigação e menor dose de composto orgânico.

O decréscimo nos valores de produtividade da água com o incremento da lâmina de irrigação aplicada é uma decorrência da redução na taxa de aproveitamento da água pela

cultura, considerando as perdas que ocorrem no sistema à medida que se aumenta a aplicação deste insumo.

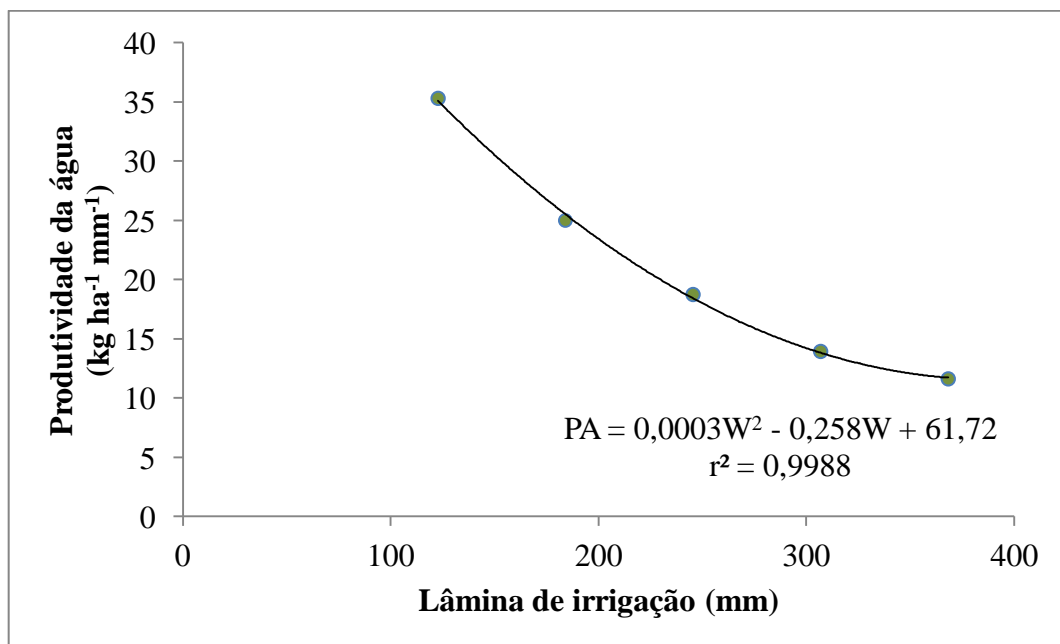
Tabela 6 – Valores médios de produtividade da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) em função dos níveis de irrigação e de composto orgânico para o cultivo da alface

Lâminas de irrigação (mm)	Doses de composto orgânico (kg m^{-2})				Médias	
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄		
	0,0	2,0	4,0	8,0		
W ₁	122,8	26,95	37,74	36,44	40,01	35,29
W ₂	184,1	21,77	23,09	29,10	25,95	24,98
W ₃	245,5	13,10	20,65	20,89	20,29	18,73
W ₄	306,9	11,57	14,05	15,53	14,56	13,93
W ₅	368,3	10,01	10,76	10,92	14,74	11,61
Médias		16,68	21,26	22,58	23,11	

Fonte: Autora (2014).

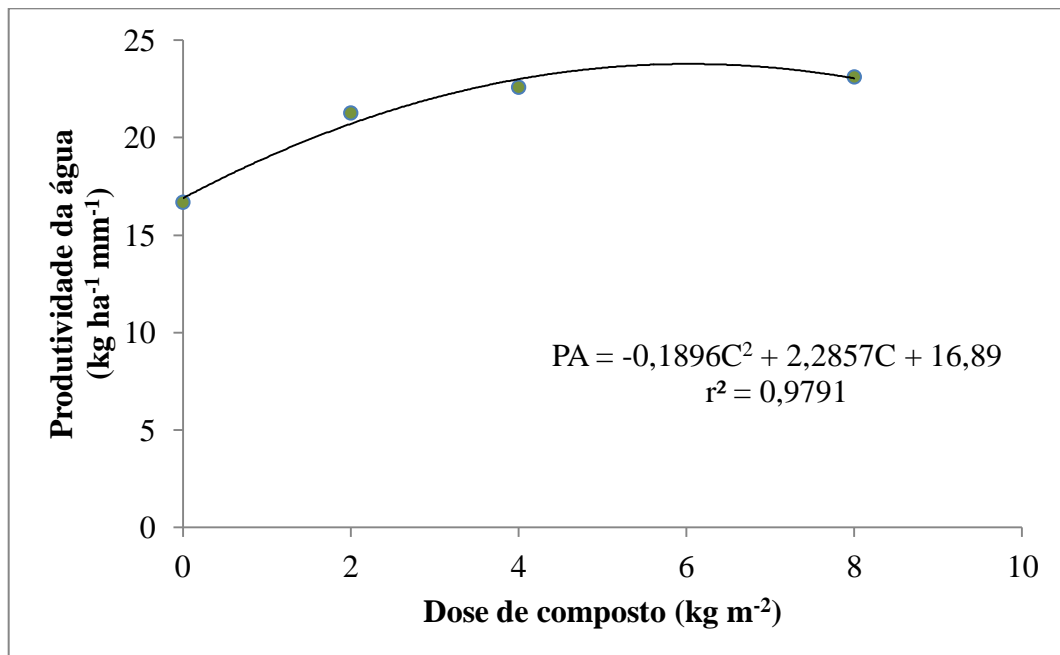
Os modelos estatísticos que melhor se ajustaram à produtividade da água em função dos fatores de produção água e composto orgânico são apresentados nas Figuras 11 e 12, respectivamente.

Figura 11 – Produtividade da água do cultivo da alface em função da lâmina de irrigação aplicada



Fonte: Autora (2014).

Figura 12 – Produtividade da água do cultivo da alface em função da dose de composto orgânico aplicada



Fonte: Autora (2014).

Lorite, Mateos e Fereres (2004), analisando variações de lâminas de irrigação, concluíram que a produtividade da água foi mais elevada para culturas hortícolas e frutíferas. Santos e Pereira (2004), avaliando o comportamento da alface, observaram que os tratamentos com maior lâmina de irrigação aplicada também tenderam a apresentar menor eficiência no uso da água.

Gomes e Sousa (2002) observaram uma maior eficiência de uso da água em relação à produção total e comercial da alface para as lâminas com base em 25% e 50% da evaporação do tanque classe A, resultados semelhantes aos obtidos neste estudo, em que a maior produtividade da água observada no tratamento em que foi utilizada a lâmina correspondente a 50%.

Lima Junior *et al.* (2012), estudando o comportamento da alface-americana submetidas a diferentes lâminas de irrigação, verificaram que a medida que os níveis irrigação aumentaram, houve um decréscimo na eficiência no uso da água.

Boas *et al.* (2007) observaram o mesmo comportamento na cultura da alface e complementaram relatando que com a utilização de lâminas maiores a eficiência tende a decrescer até seu ponto mínimo, atingido seu máximo com lâminas menores.

Lima *et al.* (2012) ressaltaram que a irrigação com déficit é considerada eficaz no aumento da produtividade da água para diversas culturas sem causar graves reduções de

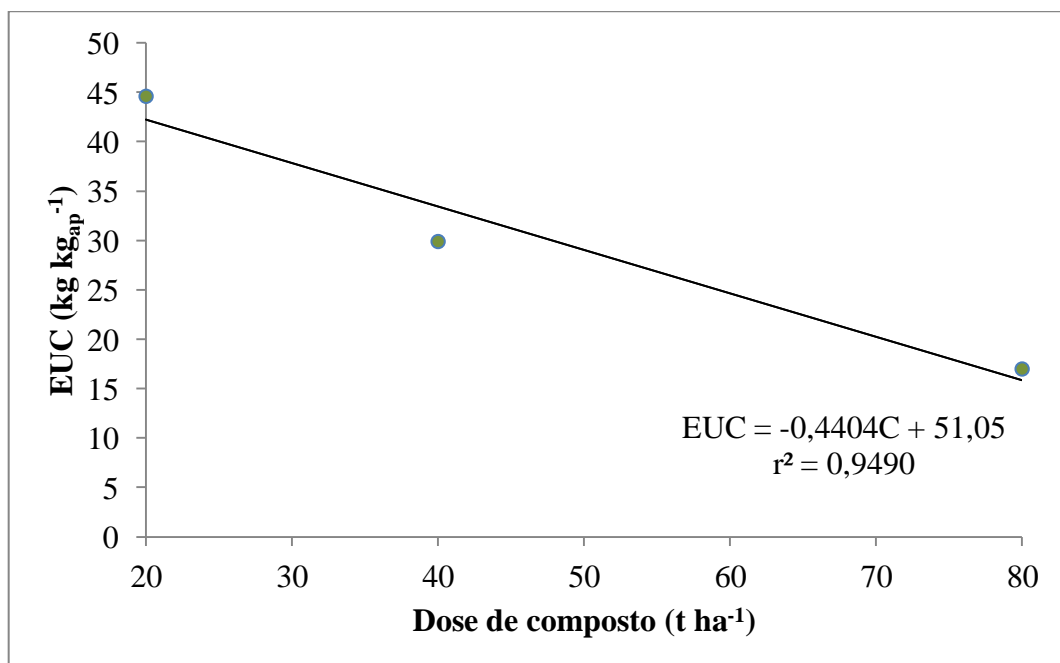
rendimento. Porém, esta técnica exige profundo conhecimento da resposta da cultura ao estresse hídrico, pois a tolerância varia de acordo com as suas características.

4.3 Eficiência de uso do composto orgânico

A eficiência de uso do composto orgânico para os tratamentos C₂, C₃ e C₄ são de 44,6, 29,9 e 17,0 quilogramas de alface por tonelada de composto orgânico aplicado, respectivamente. A ocorrência de valores decrescentes conforme o aumento da dose de adubação sugere que a cultura é capaz de alcançar a estabilidade, sendo necessário encontrar o nível ótimo de adubação para evitar perdas. A Figura 13 ilustra a relação existente entre a eficiência do uso do composto orgânico em função das diferentes doses utilizadas.

Considerando o custo de aquisição de 1,0 t de composto orgânico no valor de R\$ 200,00 e o preço de venda de 1,0 kg de alface no valor de R\$ 2,00, verifica-se que do ponto de vista exclusivamente financeiro, só há racionalidade na aplicação deste fator de produção para uma eficiência de uso superior a 100 quilogramas de alface por tonelada de composto orgânico aplicado.

Figura 13 – Eficiência do uso do composto orgânico em função das diferentes doses utilizadas; EUC em kg de alface produzida por kg de composto orgânico aplicado, $\text{kg kg}_{\text{ap}}^{-1}$



Fonte: Autora (2014).

Quadros (2010), estudando o efeito da variação de doses de composto orgânico na produção da alface verificou o mesmo comportamento descrito: diminuição da eficiência de uso do composto orgânico conforme aumento das doses analisadas.

Os ensaios de Yuri *et al.* (2004a) com alface-americana também revelaram o mesmo comportamento da cultura a diferentes doses de composto orgânico, fixadas em 0,0, 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0 kg m⁻².

4.4 Dose de composto orgânico economicamente ótima

As equações ajustadas da produtividade média da alface (kg ha⁻¹) em função das doses de composto orgânico (kg m⁻²), para cada um dos tratamentos referentes às lâminas de irrigação aplicadas, estão contidas na Tabela 7. As equações foram obtidas através de uma análise de regressão e possuem como variável independente a dose de composto orgânico aplicada (C) e como variável dependente a produtividade da alface (Y).

Tabela 7 – Equações ajustadas da produtividade média da alface em função do composto orgânico, para cada lâmina de irrigação

Lâminas de irrigação aplicadas (mm)	Equações ajustadas	Coefficientes de determinação (r ²)
122,8	$Y = -37,528C^2 + 476,91C + 3452,2$	0,8347
184,1	$Y = -44,989C^2 + 480,68C + 3860,9$	0,7549
245,5	$Y = -78,938C^2 + 829,13C + 3354,5$	0,9072
306,9	$Y = -46,545C^2 + 488,19C + 3543$	0,9990

Fonte: Autora (2014).

As equações dos produtos físicos marginais do fator de produção composto orgânico para as lâminas de irrigação analisadas foram obtidas a partir da derivada das equações de produtividade (Y) em função das doses de composto orgânico (C) para cada nível deste fator, conforme as Equações 6, 7, 8 e 9 abaixo relacionadas:

$$\frac{dY}{dC} = -75,056C + 476,91 = \frac{PC}{PY} \quad (6)$$

$$\frac{dY}{dC} = -89,978C + 480,68 = \frac{PC}{PY} \quad (7)$$

$$\frac{dY}{dC} = -157,876C + 829,13 = \frac{PC}{PY} \quad (8)$$

$$\frac{dY}{dC} = -93,09C + 488,19 = \frac{PC}{PY} \quad (9)$$

A partir destas equações obtiveram-se os produtos físicos marginais (Tabela 8). Os produtos físicos marginais foram maiores para as menores doses de composto orgânico, decrescendo de acordo com o aumento das doses de composto aplicadas. Os produtos físicos marginais negativos indicam que não é racional utilizar a dose de composto orgânico correspondente a 8,0 kg m⁻² para os níveis de irrigação analisados.

Tabela 8 – Produto físico marginal do fator de produção composto orgânico para os diferentes níveis de irrigação

Doses de composto orgânico (kg m ⁻²)	Lâmina de irrigação aplicada (mm)			
	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
	122,8	184,1	245,5	306,9
C ₁ 0,0	476,91	480,68	829,13	488,19
C ₂ 2,0	326,798	300,724	513,378	302,01
C ₃ 4,0	176,686	120,768	197,626	115,83
C ₄ 8,0	-123,538	-239,144	-433,878	-256,53

Fonte: Autora (2014).

A dose de composto orgânico economicamente ótima é aquela que conduz a uma produtividade que proporciona a máxima receita líquida, satisfazendo a condição do produto físico marginal do composto orgânico se igualar ao quociente entre o preço do composto orgânico (PC) e o preço do produto (PY). A dose de composto orgânico economicamente ótima foi determinada considerando diferentes valores de PC/PY, devido a possibilidade de variação do valor desta relação (Tabela 9).

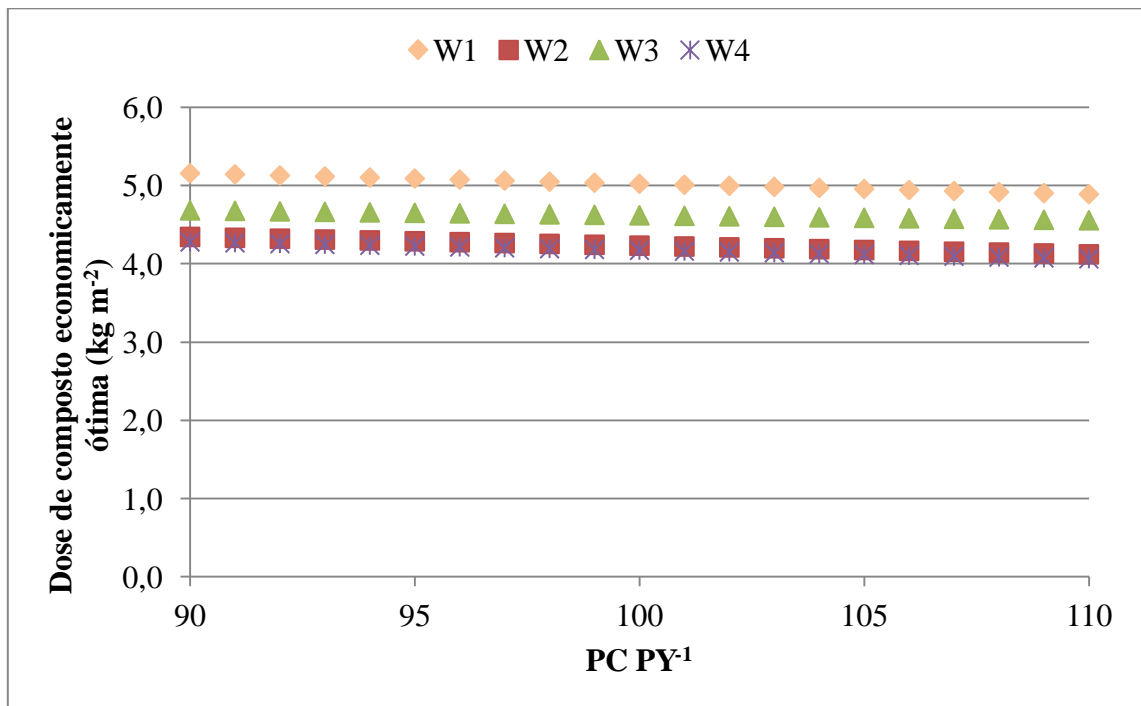
Na Figura 14 é possível observar que praticamente não houve variação na dose de composto orgânico economicamente ótima, com a variação da relação PC/PY. Os tratamentos W₂, W₃ e W₄ tiveram comportamento semelhante e foi possível observar uma elevação na dose de composto orgânico economicamente ótima no tratamento com a menor lâmina de irrigação aplicada.

Tabela 9 – Dose de composto orgânico economicamente ótima (kg m^{-2}) em função da relação entre o preço do composto (PC) e o preço da alfaca (PY)

PC/PY	Lâminas de irrigação aplicadas (mm)			
	122,8	184,1	245,5	306,9
90	5,1550	4,3420	4,6817	4,2775
91	5,1416	4,3308	4,6754	4,2667
92	5,1283	4,3197	4,6690	4,2560
93	5,1150	4,3086	4,6627	4,2452
94	5,1017	4,2975	4,6564	4,2345
95	5,0883	4,2864	4,6500	4,2238
96	5,0750	4,2753	4,6437	4,2130
97	5,0617	4,2642	4,6374	4,2023
98	5,0484	4,2530	4,6310	4,1915
99	5,0350	4,2419	4,6247	4,1808
100	5,0217	4,2308	4,6184	4,1701
101	5,0084	4,2197	4,6120	4,1593
102	4,9951	4,2086	4,6057	4,1486
103	4,9817	4,1975	4,5994	4,1378
104	4,9684	4,1864	4,5930	4,1271
105	4,9551	4,1752	4,5867	4,1163
106	4,9418	4,1641	4,5804	4,1056
107	4,9285	4,1530	4,5740	4,0949
108	4,9151	4,1419	4,5677	4,0841
109	4,9018	4,1308	4,5614	4,0734
110	4,8885	4,1197	4,5550	4,0626

Fonte: Autora (2014).

Figura 14 – Dose de composto orgânico economicamente ótima em função da relação entre o preço do composto orgânico e o preço da alface



Fonte: Autora (2014).

5 CONCLUSÕES

1. A aplicação dos fatores de produção água e composto orgânico permitiram elevar os níveis médios de produtividade da alface em até 38,3%, sendo a produtividade máxima estimada obtida com uma dose de composto orgânico equivalente a $6,3 \text{ kg m}^{-2}$.
2. O decréscimo inferior a 6% no nível de produtividade média observada da alface ao se reduzir em 50% a lâmina de irrigação aplicada, demonstra que este fator de produção, além de não ter sido limitante, possibilita o uso da estratégia de irrigação com déficit sem maiores impactos no valor bruto da produção.
3. Os valores médios de produtividade da água incrementaram com o aumento das doses de composto orgânico segundo um modelo quadrático, o qual sugere a aplicação de uma dose equivalente a $6,0 \text{ kg m}^{-2}$ para fins de uma maior eficiência de aproveitamento do insumo água pela cultura da alface.
4. Considerando o preço atual do quilograma de alface a R\$ 2,00 e os resultados de eficiência do uso do composto orgânico, o custo da tonelada de composto orgânico deve ser inferior a R\$ 90,00 para viabilizar a aplicação deste fator de produção.
5. A dose de composto orgânico economicamente ótima praticamente não foi alterada com a variação do fator de produção água e da relação entre o preço do composto orgânico e preço do produto variando entre 90 e 110.

REFERÊNCIAS

- ABREU, I. M. de O. **Produtividade e qualidade microbiológica de alface sob diferentes fontes de adubos orgânicos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, DF, 2008.
- ALENCAR, G. V. de. **Caracterização sócio-ambiental de sistemas de cultivo orgânico e convencional na chapada da Ibiapaba, Ceará**. 2005. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, MG, 2005.
- ALMEIDA, D. L.; AZEVEDO, M. S. F. R.; CARDOSO, M. O.; DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M.; MEDEIROS, C. A. B.; NEVES, M. C. P.; NÚNES, M. U. C.; RODRIGUES, H. R.; SAMINEZ, T. C. O.; VIEIRA, R. C. M. **Agricultura Orgânica: instrumento para a sustentabilidade dos sistemas de produção e valoração de produtos agropecuários**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 2000. 22 p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; DUARTE, R. L. R.; RIBEIRO, V. Q. **Níveis de irrigação na cultura da alface**. Embrapa, Teresina, UEPAE, 1992.
- ARAÚJO, F. F.; PEREIRA, W. C. G.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S. Utilização de compostos orgânicos semicurados na produção da alface (*Lactuca sativa*). **Caatinga**, v. 21, n. 4, p. 113-117, 2008.
- BALDOCK, L. A.; NELSON, F. N. **Soil organic matter**. In: SUMNER, M. E., Handbook of Soil Science, Boca Raton, CRC Press, p. 25-84, 2000.
- BASLAM, M.; MORALES, F.; GARMENDIA, I.; GOICOECHEA, N. Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed as salads. **Scientia Horticulturae**, v. 151, p. 103-111, 28 fev. 2013.
- BERNARDO, S. **Irrigação e produtividade**. Manejo de irrigação. Poços de Caldas: SBEA/UFLA, p. 117-132, 1998.
- BEZERRA NETO, F.; ROCHA, R. H. C.; ROCHA, R. C. C.; NEGREIROS, M. Z.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; NUNES, G. H. S.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; QUEIROGA, R. C. L. F. Sombreamento para produção de mudas de alface em alta temperatura e ampla luminosidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p. 133-137, 2005.
- BOAS, R. C. V.; CARVALHO, J. A.; GOMES, L. A. A.; SOUZA, K. J.; RODRIGUES, R. C.; SOUSA, A. M. G. Efeito da irrigação no desenvolvimento da alface crespa, em ambiente protegido, em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 11, n. 4, p. 393-397, 2007.
- BRASIL. Lei nº 10.831, de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 dez. 2003. Seção 1, p. 8.
- BULLUCK, L. R.; BROSIUS, M. G.; EVANYLO, K.; RISTAINO, J. B. Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. **Applied Soil Ecology**, v. 19, p. 147-160, 2002.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para portaenxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.

CLARK, M. S.; HORWATH, W. R.; SHENNAN, C.; SCOW, K. M. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. **Agronomy Journal**, v. 90, p. 662-671, 1998.

COMETTI N. N.; MATIAS, G. C. S.; ZONTA, E.; MARY, W.; FERNANDES, M. S. Composto nitrogenado e açúcares solúveis em tecidos de alface orgânica, hidropônica e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 748-753, 2004.

DAROLT, M. R. **Agricultura orgânica**: conheça os principais procedimentos para uma produção sustentável. Curitiba: Instituto Agrônômico do Paraná. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, Pinhais, PR, 2008.

DAROLT, M. R. **Agricultura orgânica**: inventando o futuro. IAPAR, Londrina, PR, 2002. 250 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. GHEYI, H. R.; SOUSA, A. A. de; DAMASCENO, F.A.V.; MEDEIROS, J. F. de. (Tradutores). Campina Grande: UFPB, (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 33), 1979, 306 p.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

ESPÍNDOLA, J. A.; ALMEIDA, D. L. de; MENEZES, E. de L. A.; GUERRA, J. G. M.; NEVES, M. C. P.; FERNANDES, M. do C. de A.; RIBEIRO, R. de L.; ASSIS, R. L.; PEIXOTO, R. T. dos G.; NASCIMENTO NETO, F. do. (organizador). **Recomendações básicas para a aplicação das boas práticas agropecuárias e de fabricação na agricultura familiar**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 243 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

FLECHA, P. A. N. **Sensibilidade das culturas da batata (*Solanum tuberosum* L.) a da alface (*Lactuca sativa* L.) ao excesso de água no solo**. 2004. Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2004.

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J.; GOMES, L. A. A.; ALMEIDA, K.; MORAES, S. R. G.; TEIXEIRA, C. M. Adubação verde na produção de orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 146-150, 2006.

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J. de; MORAIS, A. R. de; ALMEIDA, K. de; DUARTE, W. F. Adubação verde no controle de plantas invasoras nas culturas de alface-americana e de repolho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 967- 973, 2004.

FONTANÉTTI, A.; ALMEIDA, K.; SOUZA, A. V.; CARVALHO, G. J. Adubação orgânica e química com e sem aplicação de resíduo siderúrgico, na produção de alface americana. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, 2002.

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

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, Piracicaba, SP, 1993. 42 p.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1986.

FURTADO, L. F. **Vazões de aplicação de solução nutritiva, teor de nitrato em alface sob cultivo hidropônico e aceitabilidade sensorial**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2008.

GOMES, E. P.; SOUSA, A. de P. Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) em função dos valores de lâminas de água aplicados por gotejamento superficial e subsuperficial. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 7, n. 1, 2002.

HAMADA, E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento e produtividade da alface submetida a diferentes lâminas de água através da irrigação por gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 9, p. 1201-1209, set. 1995.

HUSSAIN, I.; OLSON, K. R.; EBELHAR, S. A. Long term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 1335-1341, 1999.

ICID. **Desenvolvimento e meio ambiente no semiárido**. Fundação Grupo Esquel Brasil, Brasília, DF, 1992. 166 p.

KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface chicória e almeirão. *In*: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE HORTALIÇAS. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 1993.

KLEPER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 395-401, 1995.

KOETZ, M.; COELHO, G.; COSTA, C. C. C.; LIMA, E. P.; SOUZA, R. J. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface-americana em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 730-737, 2006.

LIMA, M. E. de. **Avaliação do desempenho da cultura da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em sistema orgânico de produção, sob diferentes lâminas de irrigação e coberturas do solo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Seropédica, RJ, 2007.

LEITE, L. F. C. **Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo Modelo Century**. 2002. 146 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

LIMA, S. C. R. V.; FRIZZONE, J. A.; MATEOS, L.; FERNANDEZ, M. S. Estimativa da produtividade de água em uma área irrigada no sul da Espanha. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 1, p. 51-60, 2012. ISSN 1982-7679.

LIMA JUNIOR, J. A. de; PEREIRA, G. M.; GEISENHOFF, L.O.; BOAS, R. C. V.; SILVA, W. G. da; SILVA, A. L. P. da. Produtividade da alface americana submetida a diferentes lâminas de irrigação. **Semina**, Ciências Agrárias, Londrina, PR, v. 33, p. 2681-2688, 2012.

LLORACH, R.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, A.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; GIL, M. I.; FERRERES, F. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. **Food Chemistry**, p. 1028-1038, 2008.

LORITE, I. J.; MATEOS, L.; FERERES, E. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. II. Variability among crops and farmers. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 23, p. 85-92, 2004.

MACEDO, P. B. **Curso de hortaliças**. Uruçuca: EMARC, 2006.

MADEIRA, N. R.; REIFSCHNEIDER, F. J. B.; GIORDANO, L. B. Contribuição portuguesa à produção e ao consumo de hortaliças no Brasil: uma revisão histórica. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 4, 2008.

MADER, P.; FLIESSBACH, A.; DUBOIS, D.; GUNST, L.; FRIED, P.; NIGGLI, U. Soil fertility and biodiversity in organic farming. **Science**, v. 296, p. 1694-1697, 2002.

MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A. Estimativa de dimensões de bulbo molhado em irrigação por gotejamento superficial aplicando modelo de superfície de resposta. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 40, n. 6, p. 1302-1308, 2010. ISSN 0103-8478.

MAPURUNGA, L. F. **Análise da sustentabilidade da agricultura orgânica: um estudo de caso**. 2000. 132 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2000.

MARTIN, J. D.; CARLESSO, R.; AIRES, N. P.; GATTO, J. C.; DUBOU, V.; FRIES, H. M.; SCHEIBLER, R. B. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 192 - 205, 2012. ISSN 1808-3765.

MARTINS, E. de A. **Rentabilidade da produção de acerola orgânica sob condição determinística e de risco**. 2013. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, CE, 2013.

MASSAD, M. D.; OLIVEIRA, F. L.; FÁVERO, C.; DUTRA, T. R. Acúmulo de nutrientes na cultura do milho em pré-cultivo com crotalária, na região do Vale do Jequitinhonha – MG. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, jul. 2010. S3676-S3684.

MINISTÉRIO da Integração Nacional destaca produção orgânica no Piauí. **Agricultura Rural BR**, Piauí, PI, jan. 2014. Disponível em: <
<http://agricultura.ruralbr.com.br/noticia/2014/01/ministerio-da-integracao-nacional-destaca-producao-organica-do-piaui-4386984.html>>. Acesso em: 29 out. 2014.

- MIRANDA, F. R.; GONDIM, R. S.; COSTA, C. A. G. Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (*Capsicum frutescens* L.). **Agricultural Water Management**, v. 82, p. 237-246, 2006.
- MONTEIRO, R. O. C. **Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e adubação nitrogenada no Vale do Curu, CE**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.
- MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M. **Processamento mínimo de alface crespa**. Embrapa, Brasília, DF, dez. 2006. ISSN 1414-9850.
- NICOULAUD, B. A. L.; MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Rendimento e absorção de nutrientes por alface em função de calagem e adubação mineral e orgânica em solo “areia quartzosa hidromórfica”. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 8, n. 2, p. 6-9, 1990.
- OELOFSE, M.; HOGH-JENSEN, H.; ABREU, L. S.; ALMEIDA, G. F.; HUI, Q. Y.; SULTAN, T.; NEERGAARD, A. de. Certified organic agriculture in China and Brazil: market accessibility and outcomes following adoption. **Ecological Economics**, v. 69, p. 1785-1793, 15 jul. 2010.
- OHSE, S.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; SANTOS, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v. 58, n. 1, p. 181-185, 2001.
- OLIVEIRA, A. C. B.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; GARCIA, N. C. P.; GARCIA, S. L. R. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 26, n. 2, p. 211-217, 2004.
- OLIVEIRA, E. Q. de; SOUZA, R. J. de; CRUZ, M. do C. M. da; MARQUES, V. B.; FRANÇA, A. C. Produtividade de alface e rúcula, em sistema consorciado, sob adubação orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 36-40, 2010.
- OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. **Fertilidade do solo no sistema plantio direto**. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 393-486. 2002.
- OLIVEIRA NETO, D. H. de. **Necessidade hídrica, função de resposta e qualidade da beterraba (*Beta vulgaris* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e coberturas do solo em sistema orgânico de cultivo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Seropédica, RJ, 2009.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, SP, FEALQ, 1997. 183 p.
- PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Coping with water scarcity. Addressing the challenges. **Springer**, Dordrecht, 2009.

PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R. G.; BURT, C. M. Increasing productivity in irrigated agriculture: agronomic constraints and hydrological realities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1517–1524, 2009.

PIMENTEL, M. S.; DE-POLLI, H.; LANA, A. M. Q. Atributos químicos do solo utilizando composto orgânico em consórcio de alface-cenoura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 39, n. 3, p. 225-232, 2009. ISSN 1517-6398.

PLAYÁN, E.; MATEOS, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. **Agricultural Water Management**, v. 80, p. 100-116, 2006.

QUADROS, B. R. de. **Doses de composto orgânico, com e sem fósforo adicionado ao solo, na produção e qualidade de sementes de alface**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2010.

READMAN, R. J.; KETTLEWELL, P. S.; BECKWITH, C. P. Effects of spray application of urea fertilizer at stem extension on winter wheat yield. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 139, n. 1, p. 1-10, 2002.

REGANOLD, J. P. **Effects of alternative and conventional farming systems on agricultural sustainability**. Food & Fertilizer Technology, 1992.

RESENDE, F. V.; SAMINÉZ, T. C. O.; VIDAL, M. C.; SOUZA, R. B.; CLEMENTE, F. M. V. **Cultivo de alface em sistema orgânico de produção**. Embrapa, Circular Técnica 56. Brasília, DF, 2007.

RICCI, M. S. F. Produção de alface adubadas com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 12, n. 1, p. 56-58, 1994.

RODRIGUES, E. T.; CASALI, V. W. D. Rendimento e concentração de nutrientes em alface, em função das adubações orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 125-128, jul. 1999.

SANDHU, K. S.; ARORA, V. K.; CHAND, R. Magnitude and economics of fertilizer nitrogen response of wheat in relations to amount and timing of water inputs. **Experimental Agriculture**, London, v. 38, n. 1, p. 65-78, 2002.

SANTOS, A. G. dos. **Produtividade da alface cv. Isabela cultivada sob diferentes níveis de composto orgânico e de biofertilizante**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2011.

SANTOS, L. L. T.; MACHADO, V. Os impactos socioeconômicos e ambientais do uso da compostagem em pequenas propriedades agrícolas: o caso do assentamento Sumaré – SP. **Tekhne e Logos**, Botucatu, SP, v. 2, n. 3, jun. 2011.

SANTOS, R. H. S.; SILVA, F. da; CASALI, V. W. D.; CONDÉ, A. R. Conservação pós-colheita de alface cultivada com composto orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 521-525, mar. 2001.

SANTOS, R. H. S.; CASALI, V. W. D.; CONDE, A. R.; MIRANDA, L. C. G. Qualidade de alface cultivada com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 29-32, 1994.

SANTOS, S. R. dos; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 569-577, 2004.

SCHRAMSKI, J. R.; JACOBSEN, K. L.; SMITH, T. W.; WILLIAMS, M. A.; THOMPSON, T. M. Energy as a potential systems-level indicator of sustainability in organic agriculture: case study model of a diversified, organic vegetable production system. **Ecological Modelling**, p. 102-114, 2013.

SENTELHAS, P.C. Class A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.

SEVERINO, L. S. **Desenvolvimento da agricultura orgânica no Nordeste**. Banco do Nordeste, Fortaleza, CE, 2000. 22 p.

SHEPHERD, M.; PEARCE, B.; CORMACK, B.; PHILIPPS, L.; CUTTLE, S.; BHOGAL, A.; COSTIGAN, P.; UNWIN, R. An assessment of the environmental impacts of organic farming. **Soil Use and Management**, Defra-funded project OF0405, may 2004.

SOUSA, M. N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, Fortaleza, CE, 2000.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa: Aprenda Fácil, Viçosa, MG, 2003. 564 p.

SOUZA, M. C. M. Certificação de produtos orgânicos e legislação pertinente. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 68-72, 2001.

SOUZA, P. A.; NEGREIROS, M. Z.; MENEZES, J. B.; NET, F. B.; SOUZA, G. L. F. M.; CARNEIRO, C. R.; QUEIROGA, R. C. F. Características químicas de folhas de alface cultivada sob efeito residual de adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 754-757, 2005.

STEVENSON, F. J. **Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients**. New York, John Wiley & Sons Inc, 1986. 380 p.

STOCKDALE, E. A.; SHEPHERD, M. A.; FORTUNE, S.; CUTTLE, S. P. Soil fertility in organic farming systems – fundamentally different? **Soil Use and Management**, v. 18, p. 301-308, 2002.

TABULEIROS Litorâneos se destaca na produção de orgânicos. **Ministério da Integração Nacional**, Brasília, DF, jan. 2014. Disponível em: <
http://www.integracao.gov.br/pt/web/guest/noticias/-/asset_publisher/xW1t/content/tabuleiros-litoraneos-se-destaca-na-producao-de-organicos;jsessionid=5F953783767B466C34B709C443F37657.lrl1?redirect=http%3A%2F%2Fwww.integracao.gov.br%2Fpt%2Fweb%2Fguest%2Fnoticias%3Bjsessionid%3D5F9537837>

67B466C34B709C443F37657.lrl%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_xW1t%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-4%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 29 out. 2014.

TRANI, P. E.; TAMISO, L. G.; TESSARIOLI NETO, J.; HASS, F. J.; TAVARES, M.; BERTON, R. S. Adubação orgânica da alface de verão sob cultivo protegido. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2000, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SOB/FCAV-UNESP, 2000. p. 762-764.

VIDIGAL, S. M.; RIBEIRO, A. C.; CASALI, V. W. D.; FONTES, L. E. F. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica. II. Ensaio de casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 42, n. 239, p. 89-97, 1995.

WATSON, C. A.; ATKINSON, D.; GOSLING, P.; JACKSON, L. R.; RAYNS, F. W. Managing soil fertility in organic farming systems. **Soil Use and Management**, v. 18, p. 239-247, 2002.

WILLER, H.; ROHWEDDER, M.; WYNEN, E. Organic agriculture worldwide: current statistics. WILLER, H.; KILCHER, L. (Organizadores), **The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2009**. IFOAM. ITC, Geneva, p. 25-58, 2009.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 617-624, 1996.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M. de; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J. de. Efeito de composto orgânico sobre a produção e características comerciais de alface americana. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 1, p. 127-130, 2004a.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M. de; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J. de; FREITAS, S. A. C. de; RODRIGUES JÚNIOR, J. C. Comportamento de cultivares de alface americana em Santana da Vargem. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 2, p. 249-252, 2004b. ISSN 0102-0536.

YURI, J. E.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J. de; RESENDE, G. M. de; FREITAS, S. A. C. de; RODRIGUES JÚNIOR, J. C. **Alface americana: cultivo comercial**. 1. ed. Lavras: UFLA, 2002. 51 p.