



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

**RONNEY MENDES MAGALHÃES DE LIMA**

**REÚSO DE ÁGUA COMO ESTRATÉGIA HÍDRICA E NUTRICIONAL PARA A  
CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI**

**FORTALEZA**

**2015**

RONNEY MENDES MAGALHÃES DE LIMA

REÚSO DE ÁGUA COMO ESTRATÉGIA HÍDRICA E NUTRICIONAL PARA A  
CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI

Dissertação submetida à Coordenação do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra.

Coorientador: prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas

FORTALEZA

2015

---

Página reservada para ficha catalográfica que deve ser confeccionada após apresentação e alterações sugeridas pela banca examinadora.

Para solicitar a ficha catalográfica de seu trabalho, acesse o site: [www.biblioteca.ufc.br](http://www.biblioteca.ufc.br), clique no banner Catalogação na Publicação (Solicitação de ficha catalográfica)

---

**RONNEY MENDES MAGALHÃES DE LIMA**

**REÚSO DE ÁGUA COMO ESTRATÉGIA HÍDRICA E NUTRICIONAL PARA A  
CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI**

Dissertação submetida à Coordenação do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 31 de julho de 2015.

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra(Orientador)**

Universidade Federal do Ceará – UFC

**Prof. Dr. Cley Anderson Silva de Freitas (Coorientador)**

Instituto Federal do Ceará - IFCE

**Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa**

Universidade Federal do Ceará – UFC

A Deus, primeiramente, por estar comigo em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Roberto Luiz e Maria Aurineide pelo apoio, confiança e pela educação formal e moral que me deram mesmo diante das dificuldades.

Ao meu irmão Ronny Mendes e ao meu sobrinho Victor, pela presença, confiança e inspiração para continuar.

## AGRADECIMENTOS

À UFC (Universidade Federal do Ceará), por esta oportunidade.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pelo apoio financeiro.

À Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) pelo apoio físico, logístico e informacional necessário para realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, pela orientação, confiança, ensinamentos e honestidade.

Ao Prof. Dr. Cley Anderson, por toda ajuda e confiança depositada em mim, que guardarei respeito e admiração pro resto da minha vida.

Ao prof. Dr. Alexandre Reuber, pela amizade, ensinamento e ajuda na execução do trabalho.

À minha mulher (Daíse Alves), pelo amor, confiança, paciência e incentivo.

Aos amigos que moram comigo (Pedro, Sérgio), por dividir momentos difíceis e aconselhamentos.

Ao colega de trabalho Cristiano Araújo, pela amizade e força na realização do trabalho.

Aos meus avôs, em especial, vó Benedita.

Aos meus tios, especialmente, tia Rosa.

À Escola Piamarta em nome de Sandra e Helena pelo apoio e compreensão durante realização do experimento.

## RESUMO

LIMA, Ronney Mendes Magalhães de, Universidade Federal do Ceará. Julho de 2015. **Reúso de água como estratégia hídrica e nutricional para a cultura do feijão-caupi**. Orientador: Francisco Marcus Lima Bezerra. Coorientador: Cley Anderson Silva de Freitas. Conselheiro: Carlos Henrique Carvalho de Sousa.

Diante da importância da produção de alimentos, da redução ou até mesmo a substituição da água de abastecimento na irrigação e da mitigação dos fertilizantes agrícolas que comprometem a sustentabilidade, foi avaliada neste trabalho a eficiência hídrica e nutricional do esgoto doméstico tratado na irrigação do feijão-caupi. O experimento foi conduzido na cidade de Tianguá-CE na área da Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Foi utilizado o Delineamento estatístico de blocos casualizados no arranjo de parcelas subdivididas. As parcelas foram representadas pelos tipos de água (esgoto doméstico tratado e água de poço freático). Nas subparcelas, avaliou-se o efeito de quatro lâminas de irrigação baseadas na evaporação do tanque Classe “A” (ECA), e nas subsubparcelas quatro dosagens de NPK (0, 33, 66 e 99%) em função da recomendação nutricional para a cultura de 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, 120 kg de P ha<sup>-1</sup> e 90 kg de K ha<sup>-1</sup>. Para o tratamento do esgoto foi utilizado o sistema de lagoas de estabilização. Foram analisadas as variáveis vegetativas e produtivas da cultura do feijão-caupi bem como a Eficiência de Uso da Água. Para as variáveis vegetativas, verificou-se que o uso do esgoto doméstico tratado não influenciou no número de folhas, porém aumentou significativamente o índice de área foliar da cultura. Apesar da variável número de flores não ter havido diferença significativa quanto aos tipos de água, foi possível constatar que devido às propriedades nutritivas do esgoto doméstico houve um prolongamento do ciclo vegetativo da cultura. Não houve diferença significativa para o número de vagens por planta em relação aos tipos de água, sendo que o NVP diminuiu significativamente quando se utilizou o esgoto doméstico tratado em combinação com maiores níveis de NPK. Para o número de grãos por vagem a utilização de esgoto para irrigação obteve os maiores valores, porém não sendo influenciada pelos níveis de adubação e déficit hídrico. Os maiores valores de potencial produtivo da cultura foram obtidos com o esgoto doméstico tratado sendo 11% superior ao tratamento com a água de poço. Lâminas de irrigação de 435 mm com água de esgoto são as mais indicadas para o

cultivo do feijão caupi, garantido a lixiviação dos possíveis sais presentes nesta água. O uso do esgoto doméstico tratado com níveis de NPK mais baixos do que os recomendados pela cultura diminui os gastos com fertilizante obtendo-se ganhos econômicos e ambientais. O uso do esgoto para irrigação também proporcionou maiores valores de EUA comprovando o potencial hídrico deste recurso.

**Palavras-chave:** *Vigna unguiculata*. Esgoto doméstico. Sustentabilidade.



## ABSTRACT

LIMA, Ronney Mendes Magalhães de, Universidade Federal do Ceará. July 2015. **Water reuse as water and nutrition strategy for the cowpea crop**. Advisor: Francisco Marcus Lima Bezerra. Joint advisor: Cley Anderson Silva de Freitas. Counselor: Carlos Henrique Carvalho de Sousa.

Given the importance of food production, the water supply reduction or even its replacement for irrigation and mitigation of agricultural fertilizers which compromise the sustainability, this dissertation evaluated the water and nutritional efficiency of treated sewage aiming cowpea irrigation. The experiment was conducted in the city of Tianguá – CE, in the Sewage Treatment Plant, property of the Water and Sewage Company of Ceará. In order to arrange split plots, the Statistical Design of randomized blocks method was used. The plots were represented by the type of water (treated sewage and groundwater). In the subplots, it was evaluated the effect of four irrigation blades based on evapotranspiration of the Class A evaporation pan, and in the sub-subplots, four NPK doses (0, 33, 66 e 99%), depending on the nutritional recommendation for the culture of 150 kg of Nha<sup>-1</sup>, 120 kg of Pha<sup>-1</sup> and 90 kg of Kha<sup>-1</sup>. The sewage treatment consisted of a stabilization ponds system. It was analyzed the vegetative and productive variables of cowpea as well as the Water Use Efficiency. Regarding the vegetative variables, it was found that the use of treated sewage did not affect the number of leaves, but it significantly increased the crop leaf area index. Despite the fact that analyzing the flowers number variable, there was no significant change in the types of water, it was noted that because of the nutritional properties of sewage, there was a prolongation of the crop vegetative growth. There was no significant difference in the number of pods per plant regarding the types of water, whereas the NVP decreased when treated sewage was used in combination with increased NPK levels. Concerning the number of seed per pod, the use of treated wastewater for irrigation obtained the highest values, but without the influence of the fertilizer levels or water stress. The greatest productive potential of the crops were obtained using sewage, 11% higher than the well water treatment. Irrigation levels of 435 mm using sewage are the most suitable for the cowpea cultivation, ensuring leaching of salts that can be present in the water. The use of domestic wastewater with lower NPK levels than the generally recommended for the crop reduces spending on fertilizer, resulting in environmental and economic gains. Using wastewater for irrigation also provided larger WUE values, proving the water potential of this resource.

**Keywords:** *Vigna unguiculata*. Domestic wastewater. Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área experimental (imagem obtida pelo Google mapas), Tianguá - CE, 2015.....	30
Figura 2 – Grãos de feijão caupi (a) e estádio produtivo (b) da cultura do feijão-caupi. Tianguá – CE, 2015 .....	32
Figura 3 – Croqui geral ilustrando a distribuição dos tratamentos no campo experimental (A). Representação esquemática dos detalhes da parcela experimental (B). Tianguá – CE, 2015.....	35
Figura 4 – Estação de tratamento da CAGECE. (A) ilustração do campo experimental com a cultura do feijão-caupi e sistema de irrigação com duas tubulações para os dois tipos de água, (B) gotejador, (C) captação da água de reúso com conjunto motobomba à combustão Tianguá – CE, 2015.....	37
Figura 5 – Estação meteorológica do Campus do IFCE, Tianguá, CE, 2015.....	40
Figura 6 – Imagens de feijão-caupi editadas em software Photoshop CS5 Tianguá, CE, 2015.....	43
Figura 7 – Contagem do número de vagens por planta em campo, Tianguá, CE 2015...	44
Figura 8 – Pesagem dos grãos de feijão-caupi para estimativa do potencial produtivo em $\text{kg ha}^{-1}$ , Tianguá, CE, 2015.....	45
Figura 9 – Superfície de resposta do número de vagem por planta do feijão-caupi irrigado com água de esgoto doméstico tratado (A) e água de poço (B) em função das lâminas de irrigação e doses NPK. Tianguá, CE, 2015.....	58
Figura 10 – Superfície de resposta do número de grãos por vagem do feijão-caupi irrigado com água de esgoto doméstico tratado (A) e água de poço (B) em função das lâminas de irrigação e doses NPK. Tianguá, CE, 2015.....	62
Figura 11– Superfície de resposta a massa de 100 sementes irrigada com água de esgoto doméstico tratado (A) e água de poço (B) em função das lâminas de irrigação e doses NPK. Tianguá, CE, 2015.....	66
Figura 12 – Superfície de resposta do potencial produtivo do feijão-caupi irrigado com água de esgoto doméstico tratado (A) e água de poço (B) em função das lâminas de irrigação e doses NPK. Tianguá, CE, 2015.....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos químicos do solo da área experimental, Tianguá, CE, 2015.....	31
Tabela 2 – Tratamentos utilizados em função do tipo de água, lamina de irrigação e a dose de NPK Tianguá – CE, 2015.....	33
Tabela 3 – Análise química da amostra da água do efluente de esgoto Tianguá – CE, 2015.....	38
Tabela 4 – Quantidade de nutrientes (NPK) aportados pela água de esgoto doméstico tratado por lâmina aplicada. Tianguá – CE, 2015.....	47
Tabela 5 – Resumo da análise de variância para os dados de número de folhas sob dois tipos de água (A), quatro lâminas de irrigação (L) e quatro dose de NPK (N). Tianguá – CE, 2015.....	48
Tabela 6 – Resumo da análise de variância para os dados de índice de área foliar sob dois tipos de água (A), quatro lâminas de irrigação (L) e quatro dose de NPK (N). Tianguá – CE, 2015.....	49
Tabela 7 – Médias do Índice de área foliar em função dos dois tipos de água de irrigação. Tianguá – CE, 2015.....	50
Tabela 8 – Resumo da análise de variância para os dados de número de flores sob dois tipos de água (A), quatro lâminas de irrigação (L) e quatro dose de NPK (N). Tianguá – CE, 2015.....	51
Tabela 9 – Médias do Número de flores por planta em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2015.....	52
Tabela 10 – Resumo da análise de variância para os dados de número de vagem por planta (NVP); número de grãos por vagem (NGV); massa de cem grãos (M100G); potencial produtivo (PP) sob dois tipos de água (A), quatro lâminas de irrigação (L) e quatro dose de NPK (N). Tianguá – CE, 2015.....	54
Tabela 11 – Médias do Número de vagens por planta (NVP) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2015.....	56
Tabela 12 – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para o número de vagens por planta, em função das lâminas de irrigações e níveis de NPK. Tianguá, CE, 2015.....	57
Tabela 13 – Médias do Número de grãos por vagem (NGV) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2015.....	60

Tabela 14 – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ) para o número de grãos por vagem, em função das lâminas de irrigações e níveis de NPK. Tianguá, CE, 2015.....	61
Tabela 15 – Médias da massa de 100 grãos (MCG) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2015.....	64
Tabela 16 – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ) para a massa de 100 grãos, em função das lâminas de irrigações e níveis de NPK. Tianguá, CE, 2015. ....	64
Tabela 17 – Médias do Potencial produtivo (PP) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2015.....	69
Tabela 18 – Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ) para o potencial produtivo, em função das lâminas de irrigações e níveis de NPK. Tianguá, CE, 2015.....	70
Tabela 19 – Médias da Eficiência de Uso da Água (EUA) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2015.....	72

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	A cultura do feijão-caupi .....	16
2.1.1	<i>Origem, classificação botânica e dispersão</i> .....	16
2.1.2	<i>Aspectos morfológicos e fisiológicos</i> .....	17
2.1.3	<i>Exigências climáticas</i> .....	18
2.2	Irrigação.....	18
2.3	Feijão-caupi e a disponibilidade hídrica .....	20
2.4	Adubação do feijão-caupi .....	21
2.4.1	<i>Adubação nitrogenada</i> .....	21
2.4.2	<i>Adubação fosfatada</i> .....	22
2.4.3	<i>Adubação potássica</i> .....	23
2.5	Água de reúso.....	24
2.5.1	<i>Tratamento de esgoto doméstico</i> .....	24
2.5.2	<i>Efeitos da água de reúso na agricultura</i> .....	25
2.5.3	<i>Legislação Federal aplicada à água de reúso</i> .....	27
2.5.4	<i>Legislação Estadual aplicada à água de reúso</i> .....	28
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	30
3.1	Caracterização da área experimental.....	30
3.2	Caracterização do solo.....	31
3.3	Material vegetal .....	31
3.4	Delineamento experimental e tratamentos.....	32
3.5	Águas utilizadas na irrigação.....	35
3.6	Instalação e condução da cultura.....	38
3.6.1	<i>Preparo da área e correção do solo</i> .....	38
3.6.2	<i>Semeadura e desbaste</i> .....	38
3.6.3	<i>Sistema e manejo da irrigação</i> .....	38
3.6.4	<i>Controle das plantas infestantes e tratamentos sanitários</i> .....	40
3.7	Variáveis analisadas .....	41
3.7.1	<i>Número de folhas por planta</i> .....	41

3.7.2	<i>Índice de área foliar</i> .....	42
3.7.3	<i>Número de flores</i> .....	42
3.7.4	<i>Número de vagens por planta</i> .....	43
3.7.5	<i>Número de grãos por vagem</i> .....	44
3.7.6	<i>Massa de 100 sementes</i> .....	44
3.7.7	<i>Potencial produtivo</i> .....	45
3.7.8	<i>Eficiência do uso da água</i> .....	45
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	47
4.1	<b>Quantidade de nutrientes aportados pelo esgoto doméstico tratado</b> .....	47
4.2	<b>Número de folhas</b> .....	47
4.3	<b>Índice de área foliar</b> .....	49
4.4	<b>Número de flores</b> .....	51
4.5	<b>Variáveis produtivas</b> .....	53
4.5.1	<i>Número de vagens por planta</i> .....	55
4.5.2	<i>Número de grãos por vagem</i> .....	59
4.5.3	<i>Massa de 100 sementes</i> .....	63
4.5.4	<i>Potencial produtivo</i> .....	67
4.5.5	<i>Eficiência do uso da água</i> .....	72
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	73
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	74

## 1 INTRODUÇÃO

O feijão é cultivado de norte a sul do Brasil e devido à sua qualidade nutricional faz parte da base alimentar do povo brasileiro. A geração de empregos por meio do cultivo de feijão também é imprescindível principalmente para a agricultura familiar, para tanto, as irregularidades pluviométricas, intensificadas nos últimos anos têm tornado a produção de feijão uma incerteza, que só é superada por meio da irrigação.

O favorecimento hídrico permite maximizar a produção da cultura, aumentando o rendimento de grãos por área plantada e pode proporcionar mais de uma colheita anual, intensificando a área agrícola. Sobretudo, os grandes volumes hídricos utilizados na irrigação das culturas agrícolas têm sido questionados, desta forma, vários pesquisadores se destinam a estudar o consumo hídrico das culturas de modo a fornecer apenas o necessário para o desenvolvimento, minimizando os desperdícios de água na produção agrícola.

Assim como a água, a nutrição das plantas também é um fator que pode explicar as baixas produtividades agrícolas do Nordeste de  $330 \text{ kg ha}^{-1}$  quando comparada com a média nacional de aproximadamente  $914 \text{ kg ha}^{-1}$ . A subdosagem dos fertilizantes afeta o desenvolvimento que reflete posteriormente em baixas produtividades, já a super dosagem além de aumentar as despesas agrícolas, pode propiciar a toxicidade da cultura e promover a poluição do meio ambiente. Desta forma, a nutrição de plantas também é uma área de intenso estudo dos pesquisadores.

Diante da importância de se aumentar a produção agrícola de modo a minimizar o uso de água e fertilizantes, o reúso de água tem se mostrado uma fonte estratégica, pois além de fornecimento hídrico a presença de nutrientes pode reduzir a necessidade do uso dos fertilizantes comerciais.

O uso do esgoto doméstico na produção agrícola já não é novidade em países como Estados Unidos, China e Índia. Em Melbourne na Austrália o esgoto doméstico tratado irriga 10.000 ha de pastos, que são utilizados para alimentação bovina e ovina. No Brasil, as limitadas pesquisas, o preconceito e a falta de políticas de incentivo tem inviabilizado o uso desta fonte hídrica na produção agrícola. O uso do esgoto doméstico tratado pode propiciar a expansão das áreas agrícolas, outrora limitadas pela falta ou irregularidade da água, possibilitando desta forma a geração de empregos no campo. Outra vantagem é o não lançamento direto dos esgotos tratados na calha dos rios que por possuírem nutrientes afetam o equilíbrio do bioma aquático proporcionando, em alguns casos, a eutrofização dos rios.

Diante do exposto, o uso de esgoto doméstico tratado para irrigação da cultura do

feijão-caupi pode ser uma estratégia ambientalmente correta e que permita um aproveitamento mais eficiente da água, aumentando a produção da cultura e a oferta de alimento para a população.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura do feijão-caupi

#### 2.1.1 Origem, classificação botânica e dispersão

O feijão-caupi é uma cultura que tem sua origem no oeste da África, mais precisamente na Nigéria. No Brasil a cultura foi introduzida pelos colonizadores portugueses no século XVI. Chegado ao Brasil, no estado da Bahia, o feijão-caupi foi levado para outros estados do nordeste e para outras regiões do país (FREIRE FILHO, 1988). Trata-se de uma leguminosa cultivada principalmente nos países da África, América Latina e Ásia, onde exerce fundamental importância no suprimento das necessidades nutricionais de seus habitantes.

Vulgarmente o feijão-caupi é conhecido como feijão-de-maçacar ou de macaça,; feijão-da-colônia, feijão-de-praia, feijão-miúdo, e na Região Nordeste, muito conhecido como feijão-de-corda (FREIRE FILHO *et al.*, 2005).

Taxonomicamente, o feijão-caupi é classificado como uma dicotiledônea pertencente à ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae, gênero *Vigna* e espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (ONOFRE, 2008).

De acordo com Smartt (1990), o feijão-caupi tem sua predominância nos trópicos semiárido, úmido e sub-úmido, locais onde o mesmo apresenta-se melhor adaptado. Quanto à adequação da cultura à temperatura, o feijão-caupi se desenvolve satisfatoriamente na faixa de 20 a 30° C (OLIVEIRA; CARVALHO, 1998). Esta cultura pode ser cultivada em diversos tipos de solo. Tal adaptabilidade pode ser atribuída a sua plasticidade fenotípica, bem como sua alta viabilidade genética (FREIRE FILHO *et al.*, 2005).

O feijão-caupi pode ser utilizado na alimentação animal, como adubo verde e principalmente na alimentação humana, podendo ser consumido na forma de vagem verde, cuja colheita é feita quando as mesmas estão bem desenvolvidas e com baixo teor de fibras; na forma de grãos verdes, colhidas no início da maturação e na forma de grão seco, onde as vagens são colhidas secas, no ponto de maturação de campo (VIEIRA *et al.*, 2000). Devido a tantas características faz-se do feijão-caupi um dos produtos mais importantes para a agricultura do nordeste brasileiro (CORDEIRO, 1998; SALES; RODRIGUES, 1988).

### 2.1.2 Aspectos morfológicos e fisiológicos

O feijão-caupi é uma planta herbácea anual propagada por sementes, suas flores possuem órgãos masculinos e femininos, apresentando autofecundação com baixíssima taxa de alogamia ou fecundação cruzada (TEÓFILO *et al.*, 1999).

Trata-se de uma planta com metabolismo fotossintético do tipo C<sub>3</sub>. Plantas C<sub>3</sub> possuem suas taxas de fotossíntese elevadas a todo o momento, tendo em vista que a planta atinge as taxas máximas de fotossíntese em intensidades de radiação solar relativamente baixas.

Seu crescimento é dividido em dois hábitos, determinado e indeterminado, sendo o último característico do genótipo mais predominante cultivado no Brasil, que difere do determinado, pelo fato do caule não produzir um número limitado de nós, continuando a crescer mesmo após a emissão da inflorescência. Quanto ao porte da planta, ocorrem em quatro tipos principais: Ereto, Semi-ereto, Semiprostrado, Prostrado.

O conhecimento do ciclo fenológico do feijão-caupi é muito importante. Segundo Campos *et al.* (2000), tal conhecimento, permite relacionar o estágio de desenvolvimento da planta com a necessidade de alguma prática agrônômica ou ocorrência de algum fator adverso. Segundo o referido autor, o ciclo fenológico do feijão-caupi, apresenta-se da seguinte forma: fase vegetativa (divididas em 9 sub-estádios), tendo início em V<sub>0</sub> (semeadura) e finalizando em V<sub>9</sub> (terceira folha do ramo secundário completamente aberta) e fase reprodutiva que subdivide em 5 sub-estádios, iniciando com R<sub>1</sub> (surtem os primórdios do primeiro botão floral no ramo principal) e por fim R<sub>5</sub> onde se tem maturidade de 90% das vagens da planta.

No que diz respeito à capacidade fotossintética do feijão-caupi, ela é alcançada a partir dos 20 dias de sua formação, quando a mesma atinge sua expansão máxima. Acredita-se que 50 % do nitrogênio das sementes são remanejados dos órgãos vegetativos, especialmente das folhas).

O feijão-caupi apresenta extrema variação no tocante ao início e ao final do seu período reprodutivo. Algumas cultivares florescem aproximadamente 30 dias após a germinação, enquanto outras necessitam de mais de 90 dias para iniciar esta fase (FREIRE FILHO *et al.*, 2005).

### 2.1.3 Exigências climáticas

O cultivo do feijão-caupi é realizado predominantemente em condições de sequeiro. Quando a temperatura noturna é baixa, a data da floração do feijão-caupi é retardada e seu ciclo de crescimento é prolongado, podendo ocorrer a completa inibição do florescimento. Segundo Ahmad *et al.* (1981) temperaturas elevadas à noite induzem a macho-esterilidade, ou seja, a incapacidade da planta produzir pólen funcional, reduzindo assim a sua capacidade de produção.

A luz solar constitui a fonte de energia para conversão fotoquímica do CO<sub>2</sub> atmosférico em carbono orgânico. Como a maioria das espécies vegetais em metabolismo C<sub>3</sub>, o feijão-caupi entra em processo de fotoinibição a partir de 800 mmol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> de fluxo de fótons, valor abaixo da correspondente pela luz solar plena.

O feijão-caupi é considerado como adaptado à seca, principalmente as cultivares ramadoras. Essa adaptação se dá com a planta, evitando ou tolerando a desidratação de seus tecidos. Ela evita a seca pela redução da área foliar, pelo decréscimo da condutância estomática e pela mudança de orientação dos folíolos. O aprofundamento do sistema radicular em busca de água também é uma das maneiras de o feijão-caupi evitar desidratação dos seus tecidos submetidos à deficiência hídrica do solo (FREIRE FILHO *et al.*, 2005).

## 2.2 Irrigação

A irrigação é uma técnica agrícola de fornecimento artificial de água às culturas com o objetivo de suprir suas respectivas necessidades hídricas. Segundo Holanda *et al.* (2010), a prática da irrigação, em várias situações, torna-se a única ferramenta capaz de garantir uma produção agrícola com segurança, principalmente em regiões tropicais de clima quente e seco, como é o caso do Nordeste brasileiro onde as precipitações são escassas e irregulares. Estima-se que, dentre as atividades desenvolvidas pelo homem, a produção agrícola é a que utiliza a maior quantidade de água, sendo responsável por cerca de 70% de todo o consumo mundial (ITABORAHY *et al.*, 2004).

A prática da irrigação é importante para os vegetais por possibilitar a manutenção de um fluxo contínuo de água e de nutrientes do solo até a parte aérea, desencadeando o crescimento e o desenvolvimento de forma plena, acarretando, por conseguinte, aumento da produtividade e da qualidade final do produto (COELHO *et al.*, 2003, SANCHES, 1999). O crescimento populacional e, conseqüentemente, o aumento do consumo de alimentos, dentre

outras atividades, tem contribuído para um aumento da área irrigada, acarretando um maior consumo de água (CARARO; BOTREL, 2007). Portanto, torna-se necessário optar por métodos de irrigação que reduzam o volume de água aplicado ao solo sem comprometimento da produtividade das culturas. A literatura tem reportado que o método de irrigação pressurizado localizado tem apresentado resultados que são favoráveis à economia de água (SOUZA; ANDRADE; SILVA, 2005). Este método tem como objetivo disponibilizar para as plantas, níveis ideais de umidade no solo, assegurando sua produção, a exploração por parte do sistema radicular de forma pontual ou por faixa contínua utilizando-se de baixas vazões e com turno de rega de um a quatro dias (alta frequência) (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008).

Tratando-se do método de irrigação localizado, existem dois principais sistemas, o gotejamento e a microaspersão (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008). O sistema de irrigação por gotejamento tem se mostrado um sistema viável por apresentar uma alta eficiência do uso de água, pois o mesmo se limita a aplicação apenas na proximidade radicular, minimizando diversos tipos de perdas.

Tradicionalmente, no que se diz respeito ao manejo de irrigação, em nível de parcela irrigada, procura-se à máxima produção agrônômica, independente da quantidade de água utilizada, tendo em vista que para a maioria dos irrigantes a água não é considerada um fator de produção limitante ao cultivo, não sendo elencada nos custos de produção (PAZ *et al.*, 2000). O principal motivo que contribui para o insucesso da agricultura irrigada é a falta de adoção de um programa de manejo adequado às especificações de cada irrigante, deixando de lado técnicas ineficientes ou conveniências herdadas de outras gerações (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008). Segundo Mota (2010), a maioria dos produtores prefere irrigar de modo prático, a utilizar métodos racionais de manejo, por acreditarem que os mesmos são de uso complexo. Diante de tais situações, o manejo correto de irrigação aparece no sistema de produção com o objetivo de determinar quando e quanto de água aplicar (GOMES; TEZTEZLAF, 2013). A quantidade de água a ser aplicada na irrigação pode ser estimada quando se tem dados de evapotranspiração da cultura. Segundo Allen *et al.* (1998), quando bem manejado, é possível estimar a evapotranspiração da cultura, tendo por base a lâmina de água evaporada no tanque do tipo classe A. Este método foi desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Americano (U. S. W. B.) sendo bastante usado no Brasil (PEREIRA *et al.*, 1997). Tal instrumento metodológico se destaca por apresentar características como, baixo custo de aquisição, facilidade de operação e possibilidade de instalação nas proximidades da cultura a ser irrigada.

### 2.3 Feijão-caupi e a disponibilidade hídrica

A cultura do feijão é considerada uma espécie com pouca tolerância a estresses hídricos, sendo que 60% do seu cultivo no planeta estão submetidos a estas condições, tornando a seca o maior redutor da produtividade (AGUIAR *et al.*, 2008).

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de verificar a influência dos efeitos do déficit hídrico no feijão, segundo Leite *et al.* (1999) tal conhecimento é fundamental para explicar as perdas de rendimento da cultura. As respostas mais relevantes das plantas ao déficit hídrico são o fechamento estomático, a redução da área foliar, a antecipação da senescência e a abscisão das folhas (TAIZ; ZEIGER 2013).

Segundo Andrade (1998), a cultura do feijão apresenta uma profundidade efetiva do sistema radicular superficial, inferior a 0,40 m, sendo que qualquer déficit de água nesta faixa pode dificultar a absorção de água pela planta. A capacidade fotossintética das folhas pode ser afetada por diversos tipos de estresse abióticos. Quando submetida ao déficit hídrico, a planta de feijão-caupi, tem sua condutância estomática diminuída e ocorre um aumento da resistência difusiva ao vapor de água, fato explicado pelo fechamento dos estômatos, reduzindo assim a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO<sub>2</sub> para a fotossíntese (OLIVEIRA; FERNANDES; RODRIGUES, 2005). A abertura dos estômatos para assimilação de CO<sub>2</sub> está relacionada com a produção de fitomassa, por isso o crescimento e a produção de matéria seca dos vegetais são comprometidos quando não há disponibilidade de água (GHOLZ; EWEL; TESKEY, 1990).

Quando ocorre déficit hídrico mais severamente, momento este em que as concentrações internas de CO<sub>2</sub> estão em níveis bem reduzidos, a planta passa a utilizar dióxido de carbono proveniente da respiração, mantendo assim um mínimo de fotossíntese (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2001). No período em que a cultura está em estágio de rápido desenvolvimento, período este em que as plantas estão com uma maior área foliar, a mesma se torna mais suscetível ao déficit hídrico (PIRES; ARRUDA; SAKAI, 2008). Quando sujeito a esse tipo de estresse, o feijão-caupi tem sua área foliar reduzida drasticamente

(BASTOS *et al.*, 2002). Tal redução trata-se de uma estratégia da planta para reduzir a área disponível para transpiração (CORREIA; NOGUEIRA, 2004).

Segundo Nascimento *et al.* (2011), o feijão-caupi possui certa sensibilidade ao estresse hídrico, seja por déficit ou excesso de água. Quando o déficit hídrico apresenta-se de maneira mais severa, a produtividade da cultura é reduzida. Para Guimarães; Brunini e Stone, (1996), valores acima de 400 mm de lâmina de água são necessários para que se obtenha um máximo de produtividade do feijoeiro irrigado.

Bonanno e Mack (1983) ao analisarem o efeito de diferentes níveis de irrigação no desenvolvimento da cultura, verificaram que a massa seca total de plantas e folhas diminuiu com o aumento do déficit de água do solo. A fase considerada mais crítica do efeito do déficit hídrico para a cultura do feijão-caupi, sobre efeito do déficit hídrico, segundo Cordeiro (1998), é a de enchimento dos grãos. Esta maior vulnerabilidade tem início ainda na floração, de acordo com Kramer e Boyer, (1995) esse efeito é ocasionado principalmente pela redução da taxa de polinização e pelo aborto de óvulos, que causam abscisão dos órgãos reprodutivos.

## **2.4 Adubação do feijão-caupi**

A adubação é uma prática extremamente importante para qualquer cultura explorada comercialmente. Uma adubação adequada e bem equilibrada beneficia o produtor em termos de qualidade, estado fitossanitário e vigor das plantas, bem como sua produtividade (ABREU *et al.*, 2005). O feijão é considerado uma cultura exigente em nutrientes, em função do pequeno e pouco profundo sistema radicular e do ciclo curto. Por isso, é fundamental que o nutriente seja colocado à disposição da planta em tempo e local adequados.

### **2.4.1 Adubação nitrogenada**

O nitrogênio é um macronutriente de bastante interesse por parte dos pesquisadores, por estar presente na composição das mais importantes biomoléculas, clorofila, proteínas e inúmeras enzimas, participando dos processos bioquímicos e fisiológicos tais

como fotossíntese, respiração, crescimento e diferenciação celular (TAIZ; ZEIGER, 2013). Além de indispensável o nitrogênio possui alta mobilidade no solo, tornando-se um desafio mantê-lo disponível na quantidade e no tempo correto para as plantas. Somado a probabilidade da lixiviação e contaminação do lençol freático este nutriente vem sendo bastante pesquisado nas mais diversas culturas (BARROS *et al.*, 2012).

Para Freire Filho (2005) quando se fala sobre a recomendação de adubação do feijão-caupi, o mesmo não recomenda a aplicação de nitrogênio na cultura, pois, além de onerar o custo de produção, não se tem constatado resposta na produção de grãos à aplicação deste nutriente, com exceção de áreas recém-desmatadas e solos com textura arenosa e de baixo teor de matéria orgânica. Para o mesmo autor a aplicação deste nutriente reflete em uma maior produção de massa verde, a qual se correlaciona negativamente com a produção de grãos. O feijão-caupi ainda apresenta uma relação de simbiose eficiente com a população de rizóbio, capaz de atender a sua demanda de nitrogênio, dispensando a suplementação com fertilizantes químicos.

Estudos recentes mostram que o suprimento de N através da adubação mineral afeta o processo de fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. Oliveira *et al.* (2003) diz que as plantas podem absorver diretamente o N presente no solo, pois encontra numa forma mais acessível. Estudos realizados por Xavier (2006) constatou que a crescente dose de nitrogênio diminui a nodulação do feijão caupi e também não houve aumento significativo no acúmulo de matéria seca. Almeida *et al.* (1988), verificaram que o incremento das doses de N provocou um aumento da razão parte aérea/sistema radicular, afetando, assim, no movimento de carboidratos dentro da planta e levando, por consequência, a um desbalanço entre fotossíntese e respiração.

Farinelli *et al.* (2006) testando diferentes doses de nitrogênio em dois anos de cultivo do feijoeiro constataram efeito significativo do incremento da produtividade do feijão em função do aumento das doses de nitrogênio. Já Pelegrine *et al.* (2009) também testando diferentes doses de nitrogênio na cultura do feijoeiro constataram que embora a maior dose 160 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou a máxima produtividade, não houve diferenças significativa entre os tratamentos que receberam doses menores.

#### **2.4.2 Adubação fosfatada**

O fósforo é o segundo macronutriente que mais limita o crescimento dos vegetais na maioria dos solos. Segundo Cardoso *et al.* (2000) o fósforo apesar de ser extraído pelo

feijão-caupi em quantidades bem menores do que outros macronutrientes, diversos trabalhos demonstram que ele é o principal nutriente limitante na produção da cultura na região Nordeste do Brasil. Assim como o nitrogênio, a adubação fosfatada também é um desafio para os pesquisadores, devido sua baixa eficiência, visto aproximadamente 85% do P adicionado tornar-se imóvel ou não disponível. Em quantidades adequadas o fósforo favorece o desenvolvimento do sistema radicular e absorção de água, intensifica a floração e o rendimento da cultura (FILGUEIRA, 2000). Miranda *et al.* (2000) constataram efeito linear do incremento da produtividade em função do aumento da adubação fosfatada. Silva *et al.* (2010) observaram efeito quadrático do aumento da produtividade do feijoeiro em função o incremento da adubação fosfatada. Ainda segundo os autores a máxima produtividade de 1.177,32 kg ha<sup>-1</sup> foi alcançada para a aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

#### **2.4.3 Adubação potássica**

O potássio participa ativamente nos processos osmóticos da planta, principalmente na abertura e fechamento das células-guarda dos estômatos, regulando a perda de água das plantas e propiciando o turgor das folhas. Além disso, o potássio influencia na síntese de proteínas, na manutenção de sua estabilidade, na permeabilidade da membrana e no controle do pH da planta. O potássio não tem tanta mobilidade quanto o nitrogênio nem tão pouco é fixado quanto o fósforo, porém ele é o nutriente extraído e exportado em maior quantidade pelo feijão-caupi, apesar disto, a cultura raramente responde a adubação potássica.

Oliveira *et al.* (2007) avaliando o potencial produtivo do feijão em função da adubação potássica constataram efeito quadrático do rendimento em função do aumento dos níveis de potássio, tendo obtido o maior rendimento com adubação de 171 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Embora o estudo isolado do efeito de um determinado nutriente sobre o crescimento, desenvolvimento e produção de uma determinada cultura seja importante, nos últimos anos tem se intensificado o número de pesquisas correlacionando níveis de mais de um nutriente sobre o desempenho das culturas. Viana *et al.* (2011) avaliando a correlação entre níveis de adubação nitrogenada e fosfatada na produção do feijoeiro constataram efeito quadrático da produtividade de grãos às diferentes doses de N e P, sendo a máxima produtividade (1.528 kg ha<sup>-1</sup>) alcançada com 98 kg de N ha<sup>-1</sup> e 201 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Ainda segundo os autores, não foi observado interação entre o N e P.



## 2.5 Água de reúso

A água é um recurso essencial à vida e trata-se de um bem finito. O Brasil possui as maiores reservas hídricas do planeta o que o torna um país privilegiado. Entretanto, algumas das bacias hidrográficas estão distantes dos principais centros populacionais, tornando inviável o aproveitamento desses recursos (MANCUSO e SANTOS, 2003). O semiárido nordestino é a região mais afetada pela escassez de água devida sua grande evaporação causada pela elevada média térmica (SEMIÁRIDO, 2013). Desta forma torna-se necessário o emprego de tecnologias que aumentem a oferta de água, como é o caso do reúso de esgoto doméstico tratado.

Reúso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não planejadas. O reúso direto é o uso planejado de esgotos para certas finalidades como agricultura, irrigação, recarga de aquífero e água potável. O reúso indireto ocorre quando a água já usada uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizadas novamente a jusante de forma diluída.

Para Westerhoff (1984) a água de reúso pode ser classificada em duas grandes categorias: reúso potável (direto ou indireto) onde o esgoto após tratamento é injetado no sistema de água potável e reúso não potável, sendo este utilizado para fins agrícolas, industriais, aquicultura, domésticos e recreacionais.

### 2.5.1 Tratamento de esgoto doméstico

O esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. São muitas as substâncias orgânicas encontradas em esgotos, sendo as principais os carboidratos, lignina, gorduras, sabões, detergentes, proteínas e seus produtos de decomposição, além de outras substâncias naturais ou sintéticas, como resíduos de medicamentos (SPERLING, 2011).

O tratamento de esgoto consiste na estabilização da matéria orgânica e remoção de nutrientes e de microrganismos patogênicos. Assim, o tratamento busca transformar a matéria orgânica em inorgânica (mineralização, e consequente redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO). Para a realização do tratamento, não existe um sistema padrão a ser utilizado, estando este influenciado pelos diversos fatores como disponibilidade de área, clima

favorável, característico do esgoto, qualidade desejada para o efluente, capacidade do corpo receptor de receber a carga poluidora e da legislação referente ao local (SPERLING, 2011).

O sistema de lagoa de estabilização constitui de uma forma simples de tratamento de esgoto dependendo unicamente de fenômenos puramente naturais. O esgoto afluente entra em uma extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo desse percurso, que demora vários dias, uma série de eventos contribui para a purificação dos esgotos. As estações de tratamento de esgoto, com lagoa de estabilização constituem-se das seguintes etapas (MOTA; SPERLING, 2009):

**Pré-tratamento:** Nesta etapa o esgoto é submetido ao gradeamento e à caixa de areia, para retirada de sólidos em suspensão de grandes volumes e mais densos, respectivamente. Em seguida a vazão de efluente é medida com auxílio da calha Parshall.

**Tratamento secundário:** Geralmente esta etapa é composta por três lagoas interligadas em série. Na primeira lagoa (lagoa anaeróbica), na qual estão presentes as bactérias anaeróbicas, por meio da fermentação anaeróbia há a floculação dos sólidos suspensos. Em seguida o efluente segue para a lagoa facultativa, onde as algas por meio do processo fotossintético fixam oxigênio no efluente ao mesmo tempo em que, bactérias aeróbicas decantam o carbono orgânico da água e consomem oxigênio da água. Na lagoa de polimento, tem-se o acabamento do efluente, neste processo também há algas e bactérias. A lagoa de estabilização é o sistema de tratamento de esgoto mais utilizado no Ceará.

Após o tratamento no sistema de lagoas de estabilização, a água de reúso atende os principais limites propostos em legislações: máximo de  $10^3$  NMP/100 mL para Coliformes termotolerantes e máximo de 1,0 ovo  $L^{-1}$  para helmintos, para uso em irrigação irrestrita (MOTA; SPERLING, 2009).

### ***2.5.2 Efeitos da água de reúso na agricultura***

Como sabemos a agricultura irrigada utiliza o maior volume do referido recurso natural, ou seja, cerca de 70% de toda água doce captada mundialmente (ITABORAHY *et al.*, 2004). O uso de esgoto doméstico tratado para fins de irrigação permite diminuir o uso de água mais nobre na agricultura, aumentando a oferta para o consumo humano. Segundo Bernardi (2003) como alternativa potencial de racionalização da água, o reúso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

O Brasil ainda não utiliza intensivamente a prática de reúso de esgoto tratado na agricultura. A Jordânia, por exemplo, reutiliza 80% do seu esgoto tratado nas áreas

agricultáveis (Shatanawi e Fayyad, 1996). Outro destaque mundial é Israel que trata os esgotos e aplica 70% destes na agricultura (Feijin *et al.*, 1991).

O reúso de água é uma atividade viável e vários são os benefícios provenientes de sua aplicação na agricultura. A redução dos impactos ambientais é uma realidade do reúso, uma vez que os nutrientes presentes na água de reúso (como o nitrogênio) podem contaminar os aquíferos, provocando o desequilíbrio ambiental. Este problema é minimizado na irrigação das culturas agrícolas, já que as plantas necessitam de grande quantidade de nutrientes. Desta forma, além de minimizar os impactos ambientais, o reúso de água na agricultura pode reduzir os custos com fertilizantes químicos (RAMOS, 2007).

Freitas (2011) defende que além da racionalização do manejo hídrico o reúso de água também é uma estratégia ecologicamente viável para produção sustentável na agricultura. Considerando um consumo médio per capita para o estado do Ceará de 131,0 litros  $\text{hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , BRASIL (2008), uma pequena cidade com 10.000 habitantes poderia produzir efluente suficiente para irrigar uma área de 43 hectares, considerando um consumo hídrico diário de 3 mm de água pela cultura. Segundo Van Der Hoek *et al.* (2002), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária são: conservação da água disponível, grande disponibilidade, possibilitar o aporte e a reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos) e concorrer para a preservação do meio ambiente.

Estudos têm sido realizados no país para avaliar o efeito da utilização de efluentes de esgoto em solo agrícola e sua influência nas plantas. Deon (2010), avaliando a disponibilidade de nutrientes nas camadas do solo constatou que a lâmina de irrigação de 1091,6 mm com esgoto doméstico tratado pode fornecer até 163 kg de N  $\text{ha}^{-1}$ , 14 kg de P  $\text{ha}^{-1}$ , 145 kg de K  $\text{ha}^{-1}$ .

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), no Brasil a prática do reúso de esgotos, principalmente para a irrigação de hortaliças e de algumas culturas forrageiras, é, de certa forma, difundida. O item 5.6.3 NBR 13.969/97 da ABNT, não permite o uso de efluente, mesmo desinfetado, na irrigação de hortaliças e frutas de ramos rastejantes. Porém, pesquisas desenvolvidas por Rego *et al.* (2005), com a irrigação da melancia com efluente tratado, mostraram, em todos os frutos testados, a ausência de Salmonellas e baixos valores de coliformes fecais, independente dos sistemas de irrigação utilizado, atendendo, assim, os limites fixados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2001).

Freitas (2013) conduzindo experimentos com efluentes domésticos tratados na cultura da cana-de-açúcar observou que houve um maior potencial produtivo de etanol com água de reúso.

Piveli e Mendonça (2003) também em experimentos com água de reúso nas culturas de milho e de girassol concluíram que a irrigação com este, aumentou o índice de área foliar, a massa seca da parte aérea e a produtividade de grãos na cultura do milho.

Para que se possa fazer a utilização do esgoto doméstico tratado na irrigação deve-se tomar cuidado principalmente com o aumento de pH e a presença considerável dos íons cloreto e sulfato, que associados ao sódio, são potenciais causadores de salinização do solo. Outro cuidado está relacionada à presença de metais pesados (Cd, Pb e Ni), que apesar de apresentarem-se em baixa concentração, na maioria dos esgotos domésticos tratados, podem causar problemas de contaminação do solo. Tais fatores não impedem que o uso de efluentes seja incentivado, desde que haja monitoramento constante das áreas tratadas (MOTA; SPERLING, 2009).

A seleção do método adequado de irrigação visa à proteção dos agricultores e consumidores, uma vez que a depender do método de irrigação (inundação, sulcos, aspersão, gotejamento e irrigação superficial), pode-se potencializar ou minimizar o contato entre a água residuária e o produto consumido ou até mesmo com o agricultor. (MEHNERT 2003). O método de irrigação por gotejamento apresenta-se como um minimizador deste contato, porém fatores físicos, químicos e biológicos presentes no esgoto podem promover a obstrução dos gotejadores sendo um desafio para o agricultor o seu reparo (RAVINA *et al.*,1997).

Uma das desvantagens do uso da água de reúso citada por Guidolin (2006) é a rejeição da população por produtos oriundos de áreas em que se utilizou o reúso de esgoto.

### ***2.5.3 Legislação Federal aplicada à água de reúso***

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), no uso de suas atribuições, preocupado com o controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente possui entre seus instrumentos a Resolução N° 430, DE 13 DE MAIO DE 2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Nesta resolução o inciso I do Art. 16 define as condições de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora a ser lançada, direta ou indiretamente, nos corpos de água:

I - condições de lançamento de efluentes:

- a) pH entre 5 a 9;

- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas: 1.  
óleos minerais: até 20 mg/L; 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L; f) ausência de materiais flutuantes; e
- g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor;

#### ***2.5.4 Legislação Estadual aplicada à água de reúso***

Considerando a necessidade de estabelecer padrões de qualidade dos efluentes, a Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE), por meio da PORTARIA N°154/2002, criou uma legislação sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras (CEARÁ, 2002).

Dentre as normatizações da PORTARIA N.º154/2002, o Art. 6º trata sobre a utilização de efluentes de origem doméstica em atividades agronômicas (irrigação e drenagem, dessedentação de animais e aquicultura) que deverá obedecer aos seguintes limites:

I – Atividades Tipo 1 : Irrigação de vegetais ingeridos crus e sem remoção de película, dessedentação de animais e aquicultura, conforme se segue:

- a) Coliformes fecais < 1000 CF/100 mL.
- b) Ovos de geohelmintos < 1 ovo/L de amostra.
- c) Condutividade elétrica < 3000µS/cm

II – Atividades Tipo 2 : aquelas não referidas no inciso anterior, conforme se segue:

- a) Coliformes fecais < 5000 CF/100 mL.
- b) Ovos de geohelmintos < 1ovo/L de amostra.

c) Condutividade elétrica < 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$

§1º Os limites da alínea “a”, dos incisos I e II serão auferidos pela média geométrica de amostras coletadas durante 5 (cinco) semanas consecutivas.

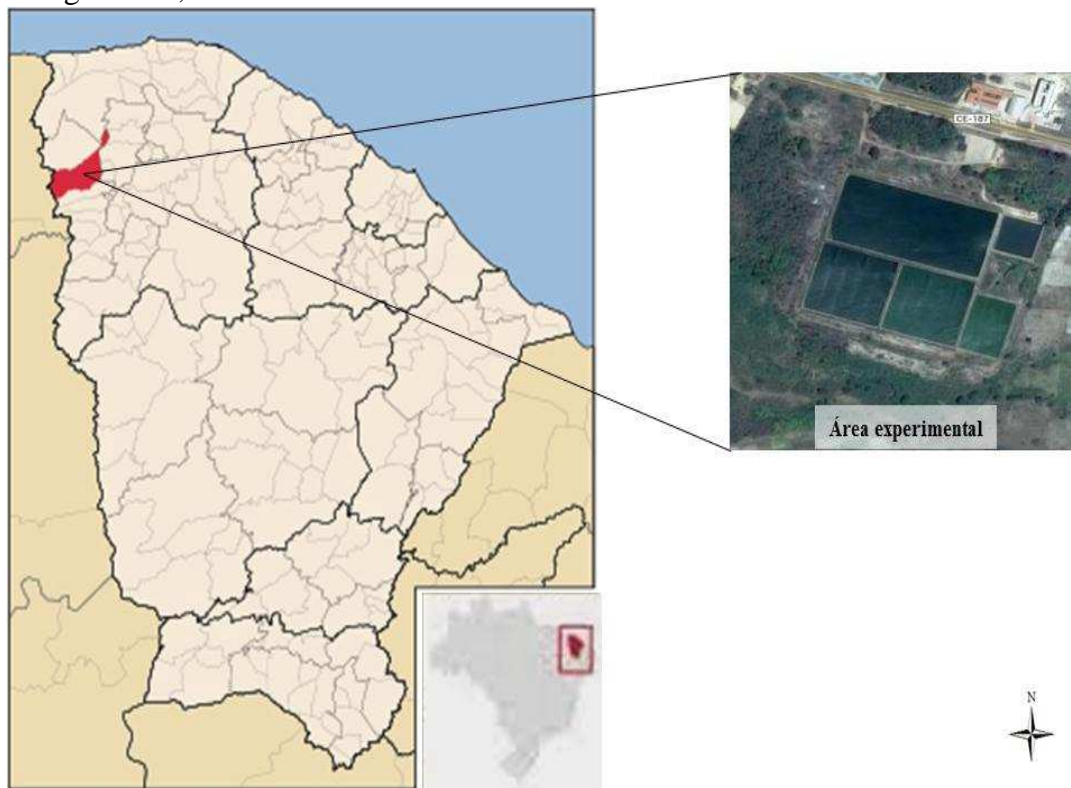
§2º Os limites da alínea “b”. dos incisos I e II, serão auferidos pela média aritmética de amostras coletadas durante 5 (cinco) semanas consecutivas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em campo, entre os meses de outubro e dezembro de 2014, em área pertencente a Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará - CAGECE, situada no município de Tianguá-CE (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área experimental (imagem obtida pelo google mapas), Tianguá - CE, 2015.



Fonte: Software Google Earth.

O município de Tianguá - CE ocupa uma área de aproximadamente 909 km<sup>2</sup> e se encontra localizado na Microrregião da Ibiapaba, Mesorregião do Noroeste Cearense cuja distância até a capital do estado Fortaleza, é de aproximadamente 310 km .

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante é do tipo Aw - Clima tropical com estação seca. Localizado nas coordenadas geográficas 3° 44'16'' de latitude Sul e 40° 59'30'' de longitude oeste e altitude de aproximadamente 740 m de altitude. Com temperatura média máxima de 26 °C e com pluviosidade média anual de 1.350 mm.

### 3.2 Caracterização do solo

Antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo na camada 0 – 0,20 m para determinar as características químicas, obedecendo às orientações prescritas por Aquino *et al.* (1993), percorrendo em zig-zag toda a área experimental coletando subamostras com o auxílio de um trado tipo Holandês obtendo-se uma amostra composta representativa da área experimental.

As amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório da Universidade Federal do Ceará cuja análise química foi realizada pelos métodos descritos em EMBRAPA (1997). Os resultados da análise química estão apresentados nas Tabelas 1.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo da área experimental, Tianguá, CE, 2015.

Características químicas	0 – 0,20	Caracterização
Matéria orgânica g/Kg	16,96	-
P (mg dm <sup>-3</sup> )	2	Baixo
K <sup>+</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,21	Baixo
Ca <sup>+2</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	17	Médio
Mg <sup>+2</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	9	Médio
Al <sup>+3</sup> (mmolc dm <sup>-3</sup> )	0,5	-
pH	5,5	-
CE (dS/m)	0,33	-

Extratores: P, Na e K – Mehlich: Ca, Mg e Al – KCl: H+Al – Acetato de Cálcio. pH – água (1:2,5)

Fonte: Laboratório da Universidade Federal do Ceará.

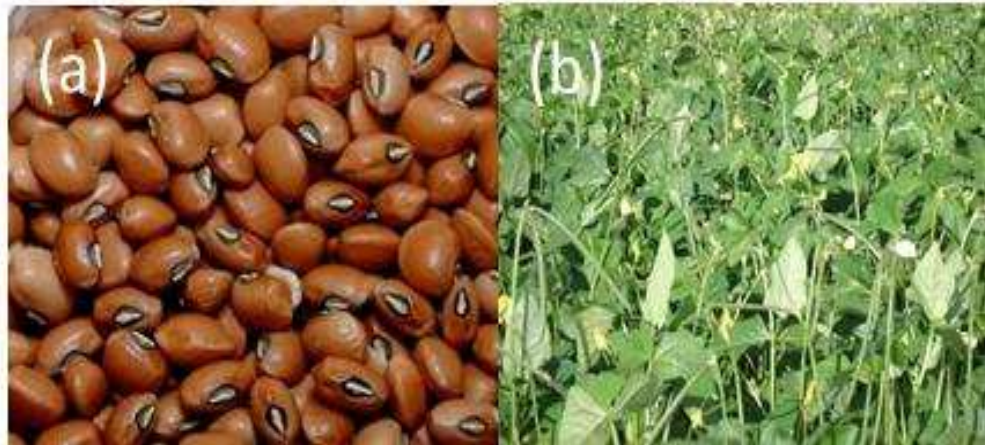
### 3.3 Material vegetal

O experimento foi realizado com a cultura do Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*), cultivar BRS Marataoã, obtida do cruzamento da cultivar Seridó, procedente do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, com a linhagem TVx 1836-013J, introduzida do International Institute of Tropical Agriculture - IITA, em Ibadan, Nigéria.

Entre as características da cultivar BRS Marataoã é que a mesma possui seu crescimento indeterminado e porte semiprostrado.



Figura 2 – Grãos de feijão-caupi(a) e estágio produtivo (b) da cultura de feijão-caupi. Tianguá – CE, 2015.



Fonte: Acervo próprio.

### 3.4 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento obedeceu ao delineamento estatístico de blocos ao acaso com parcelas subdivididas com quatro repetições. As parcelas foram representadas pelos tipos de água (esgoto doméstico tratado e água de poço freático). Nas subparcelas, avaliou-se o efeito de quatro lâminas de irrigação (50%; 75%; 100% e 125% ETc) baseadas na evaporação do tanque Classe “A” (ECA). Os coeficientes de cultura (Kc) utilizados para o cálculo da ETc foram: 0,5 para fase vegetativa; 0,8 para a fase de floração; 1,05 para a fase de reprodução e 0,75 para a fase de maturação. Nas subsubparcelas avaliou-se o efeito de quatro doses de NPK (0, 33, 66 e 100%) em função da recomendação nutricional para a cultura de 150 kg de N ha<sup>-1</sup>, 120 kg de P ha<sup>-1</sup> e 90 kg de K ha<sup>-1</sup> (Barbosa Filho; Fagéria; Silva, 2003). Na Tabela 2 tem-se os tratamentos do experimento.

Tabela 2 -Tratamentos utilizados em função do tipo de água, lamina de irrigação e a dose de NPK. Tianguá – CE, 2015

<b>Tratamento</b>	<b>Tipo de água</b>	<b>Lâmina de irrigação*</b>	<b>Dose de NPK**</b>
<b>T1</b>	Esgoto tratado	50% ETc	0
<b>T2</b>	Esgoto tratado	50% ETc	33%
<b>T3</b>	Esgoto tratado	50% ETc	66%
<b>T4</b>	Esgoto tratado	50% ETc	100%
<b>T5</b>	Esgoto tratado	75% ETc	0
<b>T6</b>	Esgoto tratado	75% ETc	33%
<b>T7</b>	Esgoto tratado	75% ETc	66%
<b>T8</b>	Esgoto tratado	75% ETc	100%
<b>T9</b>	Esgoto tratado	100% ETc	0
<b>T10</b>	Esgoto tratado	100% ETc	33%
<b>T11</b>	Esgoto tratado	100% ETc	66%
<b>T12</b>	Esgoto tratado	100% ETc	100%
<b>T13</b>	Esgoto tratado	125% ETc	0
<b>T14</b>	Esgoto tratado	125% ETc	33%
<b>T15</b>	Esgoto tratado	125% ETc	66%
<b>T16</b>	Esgoto tratado	125% ETc	100%
<b>T17</b>	Água de poço	50% ETc	0
<b>T18</b>	Água de poço	50% ETc	33%
<b>T19</b>	Água de poço	50% ETc	66%
<b>T20</b>	Água de poço	50% ETc	100%
<b>T21</b>	Água de poço	75% ETc	0
<b>T22</b>	Água de poço	75% ETc	33%
<b>T23</b>	Água de poço	75% ETc	66%
<b>T24</b>	Água de poço	75% ETc	100%
<b>T25</b>	Água de poço	100% ETc	0
<b>T26</b>	Água de poço	100% ETc	33%
<b>T27</b>	Água de poço	100% ETc	66%
<b>T28</b>	Água de poço	100% ETc	100%
<b>T29</b>	Água de poço	125% ETc	0
<b>T30</b>	Água de poço	125% ETc	33%
<b>T31</b>	Água de poço	125% ETc	66%
<b>T32</b>	Água de poço	125% ETc	100%

\*Lâmina de irrigação determinada em função a evapotranspiração da cultura ETc;

\*\*Dose de NPK de acordo com a fertilidade do solo e recomendação da EMBRAPA, 2003.

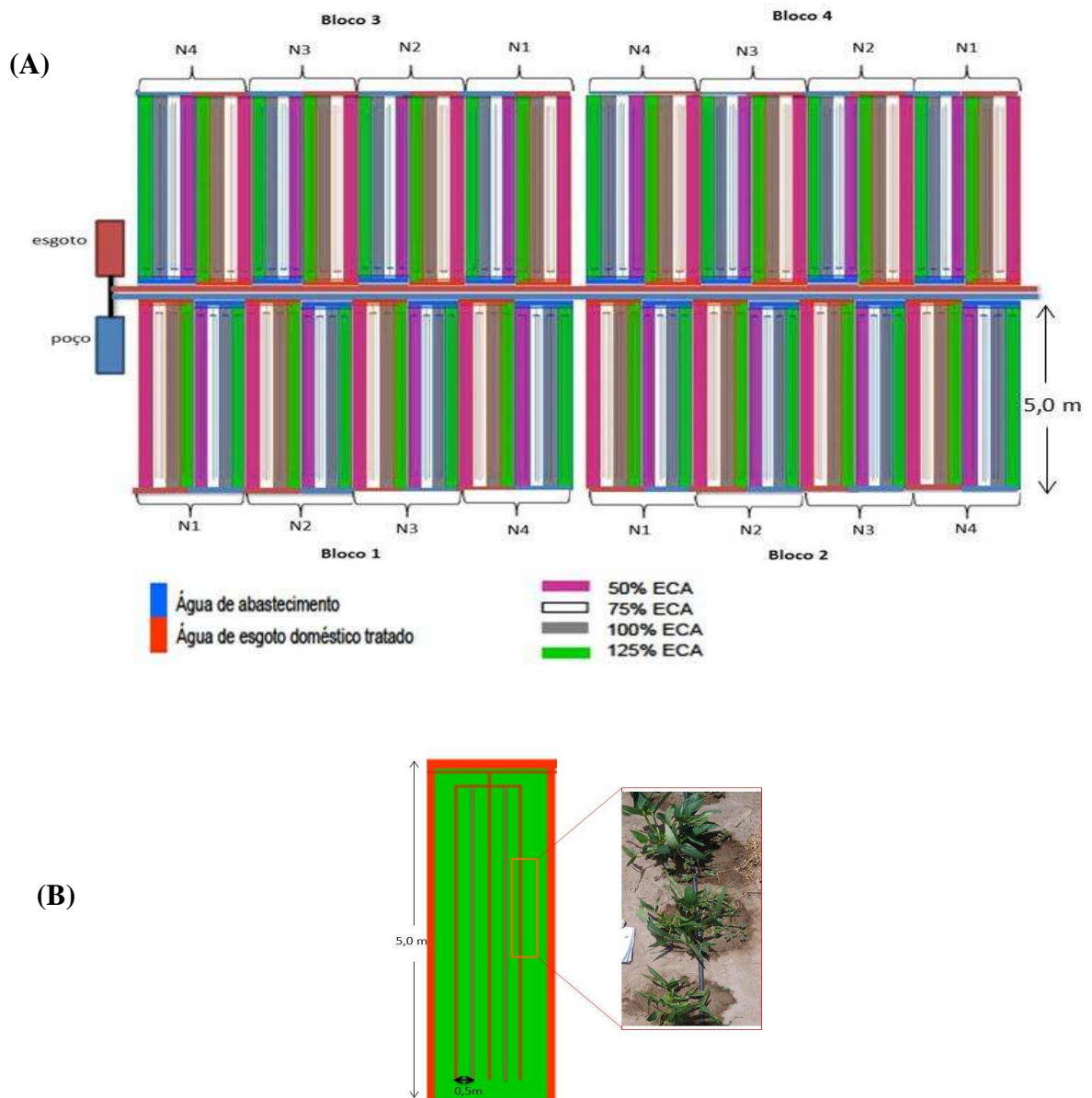
Cada subsubparcela foi formada por cinco linhas de planta, sendo que cada linha

ocupou uma área de 2,5 m<sup>2</sup> (0,5 m x 5,0 m), e continham 34 plantas cada.

Somente as fileiras centrais foram avaliadas. As fileiras das extremidades que circundaram toda área útil do experimento serviram para eliminar os eventuais efeitos de bordadura, assim como a primeira e última planta de cada unidade experimental.

Na Figura 3 está apresentado o croqui geral da área experimental, indicando o esquema distribuição dos tratamentos no campo.

Figura 3 - Croqui geral ilustrando a distribuição dos tratamentos no campo experimental (A). Representação esquemática dos detalhes da parcela experimental (B). Tianguá – CE, 2015



Fonte: elaborado pelo autor.

### 3.5 Águas utilizadas na irrigação

A água utilizada para abastecimento do sistema de irrigação foi proveniente de duas fontes a depender da parcela, uma do efluente de esgoto e a outra de poço freático.

A água de esgoto doméstico utilizada foi proveniente de domicílios do município de Tianguá - CE. Para o tratamento do esgoto foi utilizado o sistema de lagoas de estabilização. Após a chegada do esgoto na estação de tratamento, o mesmo passa por um gradeamento, para retirada de impurezas não biodegradáveis; em seguida, na caixa de areia as partículas mais densas, como os metais, ficam retidas. Posteriormente, a Calha Parshall registra a vazão do esgoto; estes processos em conjunto são denominados de tratamento preliminar. Em seguida, o esgoto segue para o tratamento secundário composto por um conjunto de lagoas em série.

Na primeira lagoa (lagoa anaeróbica) de menor espelho d'água e mais profunda, bactérias anaeróbias atuam com a floculação e decantação das partículas sólidas. Na segunda (lagoa facultativa), caracterizada pelo grande espelho d'água e pouco profunda, tem-se a ação de bactérias anaeróbias e aeróbias, algas e radiação solar para o tratamento da água. A terceira, quarta e quinta lagoa são denominadas de lagos de maturação. Ao verter o efluente é lançado em um corpo receptor.

O esgoto doméstico tratado foi captado, através de conjunto motobomba a combustão, do corpo receptor (figura 4) onde as suas características físicas e químicas atendem a portaria 154 da SEMACE que dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras.

Figura 4 - Estação de tratamento da CAGECE. (A) ilustração do campo experimental com a cultura do feijão-caupi e sistema de irrigação com duas tubulações para os dois tipos de água, (B) gotejador, (C) captação da água de reúso com conjunto motobomba à combustão. Tianguá – CE, 2015



Fonte: Software Google Earthe e acervo próprio.

O resultado da análise química da qualidade da água de irrigação proveniente do efluente de esgoto é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise química da amostra da água do efluente de esgoto. Tianguá – CE, 2015

Resultados			
Itens	Parâmetros	Métodos Analíticos	Resultados
1	pH	Potenciométrico	7,7
	condutividade		
2	elétrica (us/cm)	Condutivimétrico	1040,0
	sólidos totais		
3	(mg/l)	Gravimétrico – Secagem a 103°C - 105°C	742,0
	Sólidos Suspensos	Gravimétrico – Filtração em membrana de	
4	Totais (mg/L)	0,45µm de poro - Secagem a 103°C - 105°C	68,0
	Sólidos		
	Dissolvidos Totais	Gravimétrico – Filtração em membrana de	
5	(mg/L)	0,45µm de poro - Secagem a 103°C - 105°C	674,0
	Alcalinidade Total		
6	(mgCaCO3/L)	Titulométrico com leitura em potenciômetro	224,1
7	Cálcio (mg/L)	Titulométrico - Complexação com EDTA	11,9
8	Magnésio (mg/L)	Titulométrico - Complexação com EDTA	15,8
9	Cloretos (mg/L)	Titulométrico - Argentométrico	217,4
10	Sódio (mg/L)	Fotometria de chama	164,6
11	Potássio (mg/L)	Fotometria de chama	36,4
	Amônia Total		
12	(mgN/L)	Nesslerização direta	7,5
13	DQO (mg/L)	Titulométrico - digestão por refluxação fechada	324,3
	Fósforo Total		
14	(mg/L)	Espectrofotométrico - ácido ascórbico 7,4	7,4

Fonte: Laboratório de Saneamento ambiental IFCE, Campos Juazeiro do Norte.

### **3.6 Instalação e condução da cultura**

#### ***3.6.1 Preparo da área e correção do solo***

A área de plantio foi preparada de forma convencional com uma aração, duas gradagens cruzadas e abertura de covas espaçadas 0,30 m entre plantas e 0,50 m entre linhas de plantio.

Foi aplicado calcário dolomítico na área em função dos atributos químicos do solo, conforme a recomendação do Manual de Recomendações de Calagem e Adubação para o Estado do Ceará (1993) e incorporado a 0,20m de profundidade.

#### ***3.6.2 Semeadura e desbaste***

Em cada cova foram semeadas três sementes de feijão-caupi com matraca. O desbaste foi realizado manualmente onde às plantas foram arrancadas rente ao solo, deixando-se apenas duas plantas por cova, de forma a se obter o estande de plantas almejado pelo experimento.

#### ***3.6.3 Sistema e manejo da irrigação***

O método de irrigação adotado foi o localizado, com sistema do tipo gotejamento, com gotejadores tipo autocompensantes, modelo katif, com vazão de 3,75 L h<sup>-1</sup> na pressão de serviço de 100 KPa, espaçados de 0,3 m na linha.

O manejo da irrigação foi feito por meio do tanque Classe A. Os dados climatológicos (evaporação e precipitação) foram obtidos por meio do tanque classe “A” e pluviômetro instalados em estação meteorológica próxima da área experimental (Figura 5).



Figura 5 – Estação meteorológica do Campus do IFCE, Tianguá, CE, 20015.



Fonte: Acervo próprio.

As lâminas de irrigação foram estimadas a partir da evapotranspiração potencial da cultura (eq. 1), sendo obtida pelo produto entre a evapotranspiração de referência  $E_{To}$  obtida por meio de equação do tanque classe “A”, que foi instalado nas proximidades da área experimental e o coeficiente de cultivo  $K_c$ , de acordo com as equações abaixo:

$$ET_{pc} = K_c E_{To} \quad (\text{eq. 1})$$

em que,

$E_{Tc}$  – Evapotranspiração potencial da cultura,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$E_{To}$  – Evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

A evapotranspiração de referência será calculada pela equação 2.

$$E_{To} = K_t ECA \quad (\text{eq.2})$$

sendo:

$ECA$  – Evaporação medida no Tanque Classe “A”,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$K_t$  – Coeficiente de ajuste do tanque (adimensional), será retido da tabela do boletim da FAO 24, com os dados meteorológicos locais obtidos com auxílio de uma estação meteorológica

DAVIS modelo 651.

O tempo de irrigação para cada tratamento será determinado em função da irrigação total necessária, espaçamento da cultura, vazão do gotejador e coeficiente de ajuste do tratamento. Será determinado pela equação 3.

$$T_i = \frac{ITN S_1 S_2 F_t}{q_e} \quad (\text{eq.3})$$

em que,

t – Tempo de irrigação em função dos tratamentos, L1, L2, L3 e L4, h;

ITN – Irrigação total necessária, mm, obtido pela equação 4.

S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub> – espaçamentos da cultura entre plantas e entre fileiras de plantas, respectivamente, em metros;

F<sub>t</sub> – fator de aplicação da água em função do tratamento. Os valores de F<sub>t</sub> utilizados serão 0,50; 0,75; 1,00 e 1,25;

q<sub>e</sub> – vazão média dos emissores, em L h<sup>-1</sup>, obtido no teste de avaliação do sistema.

$$ITN = \frac{ET_{pc} TR PAM}{CUD} \quad (\text{eq. 4})$$

sendo,

*ET<sub>c</sub>* – *Evapotranspiração potencial da cultura, mm dia<sup>-1</sup>*;

*CUD* – *Coefficiente de uniformidade de distribuição, obtido no teste de avaliação do sistema*;

*PAM* – *Porcentagem de área molhada (Valor adotado 0,40)*;

*TR* – *Turno de rega, que será adotado de 3 dias*;

### **3.6.4 Controle das plantas infestantes e tratamentos fitossanitários**

Durante o ciclo da cultura foram realizadas capinas manuais e com auxílio de enxadas, com o objetivo de eliminar as plantas infestantes e evitar a concorrência das mesmas com a cultura por água e nutrientes.

Antes da sementeira as sementes de feijão-caupi passaram por um tratamento químico a fim de evitar o ataque da Lagarta Elasm (*Elasmopalpus lignosellus*)

Durante o ciclo da cultura a mesma apresentou problemas de fitossanidade, sendo o pulgão-preto a principal praga, para seu controle foi feita aplicação de inseticidas agrícolas.

Entre as doenças ocorrentes na cultura destaca-se o oídio. Para esta doença não houve controle.

### **3.7 Variáveis analisadas:**

#### ***3.7.1 Número de folhas***

O feijão-caupi possui folhas primárias simples e folhas definitivas compostas constituídas de três folíolos (trifolioladas).

O número de folhas por planta foi determinado pela contagem do número total de folhas simples e compostas totalmente abertas. A coleta foi realizada três vezes durante o ciclo da cultura, sendo a primeira a partir do 10º DAS e posteriormente em intervalos de 14 dias entre uma coleta e outra. Os resultados foram expressos em número de folhas por planta

#### ***3.7.2 Índice de área foliar***

Durante o ciclo da cultura foi avaliado o IAF ( $\text{cm}^2$  de folhas/ $100\text{cm}^2$  de solo). Para a realização desta análise foram retiradas fotografias aéreas da cultura com máquina fotográfica digital e auxílio do software Siarcs. Esta análise foi feita quatro vezes em um intervalo de 14 dias durante o ciclo vegetativo do feijão-caupi.

As fotografias digitais obtidas em campo foram inicialmente tratadas com o software Photoshop CS5 da qual a ferramenta pincel foi utilizada para pintar a área representada pela cultura (figura 6).

Figura 6 – Imagens de feijão-caupi editadas em software Photoshop CS5 Tianguá, CE, 20015.



Fonte: Acervo próprio.

Após esse procedimento as fotos foram editadas por um Photo Editor (Fast Stone Photo Resizer) com o objetivo de salvá-las em 256 cores (8 bits), que é o formato aceito pelo SIARCS 3.0.

No SIARCS, foi feita a seleção da área referente às folhas e no menu filtros realizou-se a binarização da foto. A binarização é uma espécie de filtragem que faz com que os pixels selecionados sejam destacados em preto e o restante da imagem em branco, separando assim a cor de fundo do objeto selecionado. Através do menu análise, determinou-se o IAF na imagem, com o auxílio da ferramenta contagem.

### ***3.7.3 Número de flores***

Realizada mediante contagem direta de flores aos 45 dias após a semeadura (DAS)

### ***3.7.4 Número de vagens por planta***

Mediante a contagem direta do número de vagens de 6 plantas de cada tratamento inseridas na área útil do experimento.

Figura 7 – Contagem do número de vagens por planta em campo, Tianguá, CE 2015.



Fonte: Acervo próprio

### ***3.7.5 Número de grãos por vagem***

Mediante a contagem direta do número de grãos encerrados em 5 vagens de cada tratamento.

### 3.7.6 Massa de cem grãos

A massa de 100 grãos, obtida aleatoriamente através da contagem e pesagem em balança de precisão de 100 grãos oriundos das vagens retiradas em cada parcela.

### 3.7.7 Potencial produtivo

O Potencial produtivo foi estimado pela pesagem dos grãos secos (após debulha das vagens), obtidos das plantas da área útil de cada unidade experimental e transformada de g parcela<sup>-1</sup> para Kg ha<sup>-1</sup>. As produtividades de grãos de feijão-caupi em kg ha<sup>-1</sup> foram obtidas extrapolando-se a produção de grãos da área útil para a área correspondente a um hectare.

Figura 8 – Pesagem dos grãos de feijão-caupi para estimativa do potencial produtivo em Kg/há. Tianguá, CE, 2015.



Fonte: Acervo próprio

### ***3.7.8 Eficiência do uso da água***

A eficiência do uso da água foi determinada em função da produção de grãos do feijão-caupi, onde foi calculada pela razão entre a produção total de grãos e a lâmina total de água utilizada durante todo ciclo da cultura. Os valores de EUA foram obtidos em  $\text{kg m}^{-3}$ .

### **3.8 Análise estatística**

Os dados obtidos das variáveis avaliadas foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 1 e 5% de probabilidade. Quando denotado efeito significativo na análise de variância, os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa foram comparados usando o teste de Tukey em nível de 1 e 5% de probabilidade e os de natureza quantitativa, foram submetidos ao estudo de regressão, buscando-se ajustar equações com significados biológicos, sendo selecionado o modelo matemático que apresentou melhores níveis de significância e maior valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio dos softwares Microsoft Excel® (versão 2007), ASSISTAT® (versão 7.6 beta) e STATISTICAL® (versão 7.0).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Quantidade de nutrientes aportados pelo esgoto doméstico tratado

A tabela 4 mostra a quantidade de nutrientes (NPK) que foram aportados pelo esgoto doméstico tratado de acordo com as lâminas aplicadas durante todo o experimento.

Tabela 4 – Quantidade de nutrientes (NPK) aportados pela água de esgoto doméstico tratado por lâmina aplicada. Tianguá – CE, 2015

Lâminas		Nutrientes (kg/ha)		
		N	P	K
L1	174mm	13,05	12,8	63,3
L2	275mm	20,06	20,3	100,01
L3	348mm	26,1	25,7	126,6
L4	435mm	32,6	32,2	158,3

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 4.2 Número de folhas

O resumo das análises das variâncias para o número de folhas referentes a três coletas pode ser observado na tabela 4. Pelos resultados apresentados não se verificou efeito significativo do tipo de água para as três coletas. No tratamento lâminas de irrigação e níveis de NPK, só não houve efeito significativo na segunda coleta. Na interação A x L não houve efeito significativo. Já na interação A x N houve efeito significativo para os três dias de coleta. Na interação L x N houve efeito significativo para a segunda e terceira coleta. Para interação A x L x N houve efeito significativo no terceiro dia de coleta.



Tabela 5 – Resumo da análise de variância para os dados de número de folhas sob dois tipos de água (A), quatro lâminas de irrigação (L) e quatro doses de NPK (N). Tianguá – CE, 2015

Fonte de variação	G.L	Quadrados médios		
		1° DIA	2° DIA	3° DIA
Bloco	3	23,31445ns	2,54948ns	259,63563**
Trat. (A)	1	0,43945ns	4,88281ns	3,31531ns
Res. A	3	3,554	0,883	1,433
Trat. (L)	3	27,76237**	1,84115ns	254,85021**
Int. A x L	3	2,63737ns	1,591ns	9,48094ns
Res. L	18	2,630	0,633	15,260
Trat. (N)	3	18,19466**	2,36198ns	81,42313**
Int. A x N	3	7,23633**	4,36198 **	53,26427*
Int. L x N	9	1,59049ns	2,18142*	32,89569*
Int. A x L x N	9	0,80230ns	0,93142 ns	34,3674*
Res. N	72	1,087	0,890	14,04

Fonte: elaborada pelo autor.

Não houve efeito significativo do número de folhas em função do tipo de água. Os valores encontrados na presente pesquisa são superiores aos encontrados por Rebouças *et al.* (2010) também avaliando o feijão-caupi irrigado com esgoto doméstico tratado. Para os autores, o número médio de folhas por planta foi de 8,67 folhas planta<sup>-1</sup>, valor este abaixo do encontrado neste trabalho para irrigação com o mesmo tipo de água que é de 12,05 folhas planta<sup>-1</sup>.

Resultado semelhante, quanto ao uso do esgoto doméstico em culturas agrícolas, foram encontrados por Tavares *et al.*(2005), onde verificaram que o efeito do esgoto doméstico secundário na produção de alface, não apresentou diferenças significativas para variável número de folhas.

Diferente dos resultados apresentados por este trabalho, Freitas *et al.* (2012) em trabalhos com água de reúso na cultura do girassol observaram uma maior média para o número de folhas quando se usou a água de reúso. Os referidos autores não encontraram diferença significativa para esta variável quanto à disponibilidade hídrica e doses de nitrogênio. O mesmo ocorreu em trabalhos desenvolvidos por Mota *et al.*(2011), onde também constataram efeito significativo da água residuária em mudas de melancia para esta variável.

Pode-se verificar pelo modelo proposto que a partir da terceira coleta (45 DAS) houve um decréscimo na produção de folhas. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato

da cultura a partir deste momento encerrar seu estágio vegetativo e dar início a um novo estágio ocorrendo o processo de senescência das folhas. Freire Filho *et al.* (2005) trabalhando com feijão-caupi, verificaram um crescimento do número de folhas até o período do florescimento, entre 43 e 47 dias corroborando com o presente trabalho.

### 4.3 Índice de área foliar

O resumo das análises das variâncias para o índice de área foliar referentes às três coletas pode ser observado na tabela 6. Pelos resultados apresentados não se verificou efeito significativo do tipo de água apenas para a terceira coleta. No tratamento lâmina de irrigação e níveis de NPK houve efeito significativo em todas as três coletas. Na interação A x L não houve efeito significativo. Já na interação A x N houve efeito significativo somente para a terceira coleta contrário da interação L x N. Para interação A x L x N só não ocorreu efeito significativo na primeira coleta.

Tabela 6 – Resumo da análise de variância para os dados de índice de área foliar sob dois tipos de água (A), quatro lâminas de irrigação (L) e quatro doses de NPK (N). Tianguá – CE, 2015

Fonte de variação	G.L	Quadrados médios		
		1º DIA	2º DIA	3º DIA
Bloco	3	19,542ns	556,61643*	8775,60632**
Trat. (A)	1	378,523*	681,63550*	197,46806ns
Res. A	3	24,689	37,00072	134,2585
Trat. (L)	3	119,0246**	551,85751**	668,52491**
Int. A x L	3	11,66548ns	68,07363ns	64,51531ns
Res. L	18	9,67883	41,5870	98,95058
Trat. (N)	3	34,3326*	305,73586**	166,36289*
Int. A x N	3	27,75259ns	95,09090ns	180,51764 *
Int. L x N	9	24,5467*	118,01731**	20,37010ns
Int. A x L x N	9	13,795ns	107,98546**	120,09294*
Res. N	72	11,134	39,558	49,853

Fonte: elaborada pelo autor.

A tabela 7 mostra as médias do índice de área foliar para os tipos de água (esgoto e poço) referente aos três dias de coleta.

Tabela 7 – Médias do Índice de área foliar em função dos dois tipos de água de irrigação. Tianguá – CE, 2015

Tipo de água	Índice de área foliar		
	1° Coleta	2° Coleta	3° Coleta
Esgoto	13,27b	37,75a	51,46a
Poço	16,71a	33,13b	48,98a

Fonte: elaborada pelo autor.

O uso do esgoto doméstico tratado para irrigação aumentou o índice de área foliar da cultura do feijão-caupi, apresentando diferença significativa ( $P < 0,05$ ) para a primeira e segunda coleta. O esgoto doméstico tratado influenciou positivamente na produção de massa verde da cultura. Para Ribeiro *et al.* (2012) A irrigação diária com água residuária estimula o desenvolvimento vegetativo das culturas. Tal comportamento está atribuído às características do efluente quanto aos nutrientes diluídos presentes no mesmo, em especial o nitrogênio.

Rebouças *et al.* (2010) trabalhando com a mesma cultura e irrigação com águas residuárias também encontraram maiores valores de área foliar do caupi quando se utilizou o esgoto tratado, sendo este tratamento superior ao tratamento com água de abastecimento e adubação mineral.

Como pode ser observado, somente a partir da 2° coleta (30 DAS), o uso do esgoto doméstico superou a irrigação com água de poço. Silva *et al.* (2005), em estudos com o milho, relataram que a absorção de nutrientes, em especial o nitrogênio, ocorre em todo seu ciclo vegetativo, porém em menor quantidade na fase inicial da cultura. Haag *et. al* (1967) trabalhando com a determinação da marcha de absorção de nutrientes para a cultura do feijão verificaram que a absorção de nutrientes pela cultura se intensifica a partir dos 50 dias.

As lâminas de irrigação são preponderantes para esta variável, sendo verificado diferença significativa ( $P < 0,01$ ) em todos os dias de coleta. Para Taiz e Zeiger (2013) a limitação na área foliar pode ser considerada como uma primeira reação das plantas em relação ao déficit hídrico, os mesmos, também relataram que, o estresse hídrico age na planta não só limitando o tamanho de folhas individuais, mas também no número de folhas por diminuir o número e a taxa de crescimento dos ramos. Para Santos & Carlesso (1998), sob déficit hídrico a planta é induzida, tanto a reduzir o tamanho das folhas individuais, como diminuir a produção das mesmas.

#### 4.4 Número de flores

O resumo da análise da variância para o número de flores pode ser observado na tabela 8. Pelos resultados apresentados não se verificou efeito significativo do tipo de água utilizada para esta variável. Também não houve diferença significativa para os níveis de NPK. No tratamento lâmina de irrigação houve diferença significativa. Nas interações A x L, A x N e A x L x N não houve efeito significativo. Na interação L x N houve efeito significativo.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância para os dados de número de flores sob dois tipos de água (A), quatro lâminas de irrigação (L) e quatro dose de NPK (N). Tianguá – CE, 2015

Fonte de variação	GL	Q.M
Bloco	3	188,04948ns
Trat. (A)	1	173,44531ns
Res. A	3	35,07031
Trat. (L)	3	358,32031**
Int. A x L	3	12,38281ns
Res. L	18	41,2474
Trat. (N)	3	46,17448ns
Int. A x N	3	19,77865ns
Int. L x N	9	46,55642*
Int. A x L x N	9	20,21645ns
Res. N	72	20,50608

Fonte: elaborada pelo autor.

O número médio de flores por planta obtidos foram de 4,89 e 7,22 para água de esgoto e poço, respectivamente, figura 9.

Tabela 9 – Médias do Número de flores por planta em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2015

Tipos de água	Lâminas de irrigação (mm)		Níveis de NPK				MÉDIAS
			N1	N2	N3	N4	
			Número de flores				
Esgoto	L1	174	0,25	0,75	1,00	1,50	0,88c
	L2	275	1,50	2,50	3,75	2,75	2,63bc
	L3	348	7,50	8,75	5,75	5,75	6,94ab
	L4	435	15,25	6,00	6,75	8,50	9,13a
	Médias		6,13A	4,50A	4,31A	4,63A	<b>4,89a</b>
Água de poço	L1	174	3,50	3,50	2,50	9,75	4,81c
	L2	275	7,50	3,25	5,50	4,00	5,06bc
	L3	348	6,25	6,00	5,75	13,50	7,88ab
	L4	435	16,75	7,50	11,50	8,75	11,13a
	Médias		8,50A	5,06A	6,31A	9,00A	<b>7,22a</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

Apesar de não ter havido diferença significativa ( $P < 0,05$ ) é considerável a diferença entre os dois tipos de água. Rebouças *et al.* (2010) trabalhando com a cultura do feijão-caupi e água residuária divergem deste trabalho ao encontrar maiores valores médios de número de flores por planta quando utilizada irrigação com água residuária. Sabendo-se que a contagem do número de flores foi realizada aos 45 dias após a semeadura, os resultados encontrados por este trabalho podem estar atribuídos ao fato de que as propriedades químicas presentes na água de reúso, como a quantidade nitrogênio, fizeram com que houvesse um maior prolongamento do ciclo vegetativo, sendo assim, as plantas de feijão-caupi que receberam os tratamentos com água de esgoto não haviam ainda iniciado completamente a fase de floração. Calvache *et al.* (1997) em estudos com o feijão e adubação relatam que a adubação nitrogenada prolonga o ciclo da cultura do feijão. O mesmo é relatado por Rodrigues *et al.* (2009) em que o uso do esgoto doméstico tratado pode aumentar o crescimento vegetativo, retardar a maturação ou provocar colheitas de baixa qualidade.

Deve-se ressaltar que, embora o N seja o elemento exigido em maior quantidade pelas plantas, o manejo das aplicações de fontes de N deve ser feito com cautela em função da possibilidade de poluição das águas subterrâneas com nitrato, ânion de grande mobilidade no solo (MATOS, 2006) e presente como forma final no processo de tratamento das águas

residuárias.

Quanto à disponibilidade hídrica pode-se observar que quanto maior a lamina utilizada maior foi o número de flores por planta. As laminas de irrigação abaixo da requerida pela cultura ocasiona um maior abortamento das flores (HOSTALÁCIO; VÁLIO 1984).

#### **4.5 Variáveis produtivas**

O resumo da análise da variância para os dados de número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem sementes (MCS), potencial produtivo (PPO) podem ser observados na Tabela 10. Pelos resultados apresentados, verificou-se efeito significativo do tipo de água (AP – Água de poço e E - esgoto doméstico tratado) para número de grãos por vagem e potencial produtivo. No tratamento lâmina de irrigação, houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas (NVP, NGV, M100G e PPO). Quanto às doses nitrogenadas, também se verificou efeito significativo para todas as variáveis analisadas (NVP, NGV, M100G e PPO). Na interação A x L houve efeito significativo para as variáveis NVP e NGV. Na interação A x N, houve efeito significativo para todas as variáveis analisadas ((NVP, NGV, M100G e PPO). Já na interação L x N houve efeito significativo para as variáveis NGV e M100G. Na interação tripla A x L x N houve efeito significativo para todas as variáveis MC, MA, PP e PPO. Para a EUA houve efeito significativo para todos os tratamentos. O efeito significativo nas interações revela dependência entre estes fatores.

Tabela 10 – Resumo da análise de variância para os dados de número de vagem por planta (NVP); número de grãos por vagem (NGV); massa de cem grãos (M100G); potencial produtivo (PP) sob dois tipos de água (A), quatro lâminas de irrigação (L) e quatro dose de NPK (N). Tianguá – CE, 2015

Fonte de variação	GL	Quadrados médios				
		NVP	NGV	M100G	PP	EUA
bloco	3	2,54021*	5,01128**	8,12312ns	278108,58952*	2,76231**
Trat. (A)	1	1,70534ns	4,12398**	0,43854ns	279038,48954*	5,95341**
Res. A	3	0,24	0,058	2,435	14.796,30	0,09306
Trat. (L)	3	45,21009**	4,203**	4,65002*	1744471,9733**	13,03018**
Int. A x L	3	2,84459*	1,13121*	1,54495ns	59255,37918ns	2,32108**
Res. L	18	0,666	0,231	1,177	36.036,50	0,25648
Trat. (N)	3	3,89304**	5,54322**	11,55631**	434321,58517**	7,62000**
Int. A x N	3	10,68305**	15,23509**	11,42914**	979570,37061**	10,49979**
Int. L x N	9	1,15456ns	3,14224**	6,31708**	96602,37313ns	2,63363**
Int. A x L x N	9	4,74701**	2,46952**	4,33992*	225632,53106**	2,12713**
Res. N	72	0,856	0,814	1,832	63.605,00	0,61625

A – Tipo de água; L – Lâmina de irrigação; N – Níveis de NPK; ns – não significativo; \* – significativo a 5% de probabilidade; \*\* – significativo a 1% de probabilidade

Fonte: elaborada pelo autor.

#### **4.5.1 Número de vagens por planta**

As médias para o número de vagens por planta, quando comparados os tipos de água utilizada, não se diferenciaram significativamente ( $p < 0,05$ ).

O maior Número de Vagens por Planta foi constatado com a lâmina L4 (125% Etc) para as duas fontes hídricas. Isso mostra que a utilização de uma lâmina maior do que a requerida pela cultura aumentou o potencial de produção de vagens pela cultura. A Etc normalmente obtida no projeto do sistema de irrigação é o valor crítico para uma determinada cultura e situação edafoclimática, dentro de um nível de probabilidade de ocorrência de valores menores ou iguais ao preestabelecido. Isso quer dizer que ao utilizar a Etc como referência para irrigação é necessário superestimar tal valor para que não ocorra déficit hídrico (ALBUQUERQUE 2013).

Arf *et al.* (2004) em Selviria-MS discorda dos achados neste trabalho quando destaca que o excesso de água pode prejudicar o desenvolvimento e a produtividade da cultura, não se devendo exceder a dose de rega recomendada.

Na variação das doses de nutrientes a maior média alcançada foi com água de esgoto (5,94) e com o nível 1 de NPK. Tal comportamento mostra que as propriedades de fertilidade contidas na água de esgoto foram positivas suprimindo a falta de nutrientes no solo. Souza *et al* (2005) em estudo com a cultura do feijoeiro e águas residuárias encontraram resultados semelhantes aos deste trabalho ao verificarem diferença significativa entre as doses de nutrientes em interação com a água de esgoto, sendo que a utilização da dose referente a 58 % da adubação recomendada foi a que promoveu um maior número de vagens por planta.



Tabela 11 – Médias do Número de vagens por planta (NVP) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2005

Tipos de água	Lâminas de irrigação (mm)		Níveis de NPK				MÉDIAS
			N1	N2	N3	N4	
			Número de vagens por planta				
Esgoto	L1	174	5,22	5,07	3,25	2,83	4,09c
	L2	275	5,07	4,15	3,36	3,20	3,94c
	L3	348	6,11	5,83	3,38	4,46	4,94b
	L4	435	7,4	4,70	6,50	5,46	6,00a
	Médias		5,94A	4,93B	4,12C	3,98C	<b>4,74a</b>
Poço	L1	174	4,02	2,76	2,57	2,81	3,04c
	L2	275	3,09	3,67	4,13	3,75	3,66c
	L3	348	3,96	4,40	6,71	5,28	5,08b
	L4	435	5,45	7,5	6,19	5,96	6,27a
	Médias		4,13A	4,58A	4,9A	4,45A	<b>4,5a</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

A partir da análise de regressão dos dados de número de vagens por planta em função das lâminas de irrigação e níveis de NPK, foi determinado o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados (Tabela 8); verificou-se que o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados foi o modelo polinomial quadrático com efeito significativo ( $P < 0,01$ ) para o NVP do feijão-caupi irrigado com água de esgoto e poço, respectivamente. Locatelli *et al.* (2014) estudando os componentes do feijão-caupi sob lâminas de irrigação também encontrou o modelo polinomial quadrático como sendo o mais adequado para justificar o comportamento desta variável. Para o mesmo, o número de vagens por planta aumentou com o incremento das lâminas de irrigação obtendo a máxima eficiência com uma lâmina acima da requerida com base na ETc.

Tabela 12 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para O número de vagens por planta, em função das lâminas de irrigações e níveis de NPK. Tianguá, CE, 2015.

Tipo de água	nome	coeficiente	$R^2$
Esgoto	Modelo		
	$Y = 4,0919 + 1,01146X_1 - 1,00121X_2 + 0,6795X_1^2 + 0,49781X_2^2 + 0,32271X_1X_2$		
	constante		4,0919
	LAM		1,01146
	LAM <sup>2</sup>		0,6795
	NPK		-1,00121
	LAM*NPK		0,32271
Poço	Modelo		
	$Y = 4,626852 + 1,670028X_1 + 0,190207X_2 + 0,318038X_1^2 - 0,510371X_2^2 + 0,357618X_1X_2$		
	constante		4,626852
	LAM		1,670028
	LAM <sup>2</sup>		0,318038
	NPK		0,190207
	LAM*NPK		0,357618

Fonte: elaborada pelo autor.

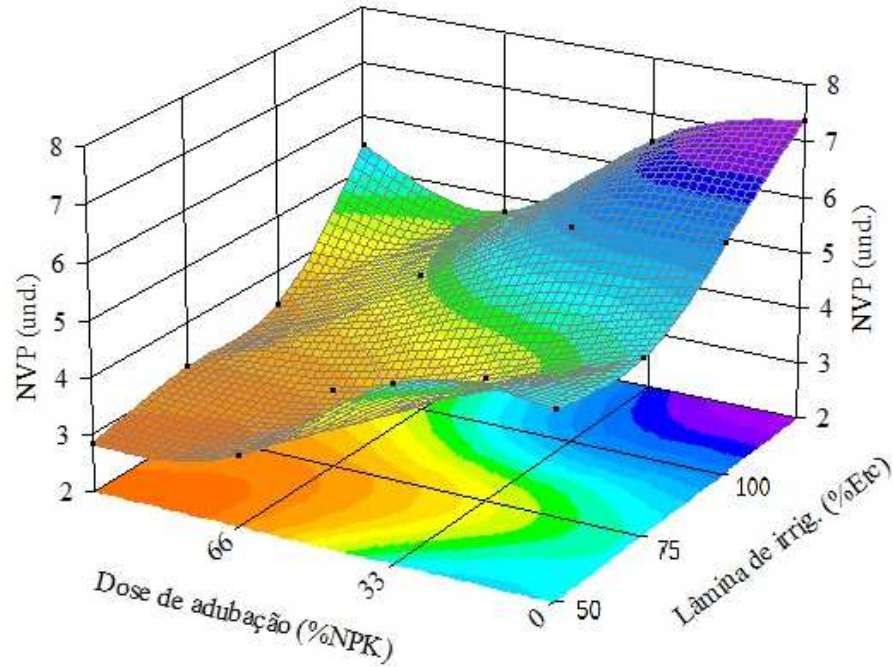
Andrade Junior *et al.* (2002), em experimento com o feijão-caupi BR 14 Mulato sob diferentes lâminas de irrigação, verificaram que, para as lâminas de irrigação houve uma queda no NVP com comportamento quadrático, semelhante a este trabalho.

Nas Figuras 11 A e B, estão expostas as superfícies de resposta estimadas do Número de vagens por planta em função das lâminas de irrigação e níveis de NPK. Os maiores valores de NVP foram de 7,5 vagens por planta obtido com o tratamento T30 (125% da Etc e 33% de NPK) irrigado com água de poço e 7,4 vagens/planta com o tratamento T13 (125% da Etc e 0% de NPK) irrigado com água de esgoto.

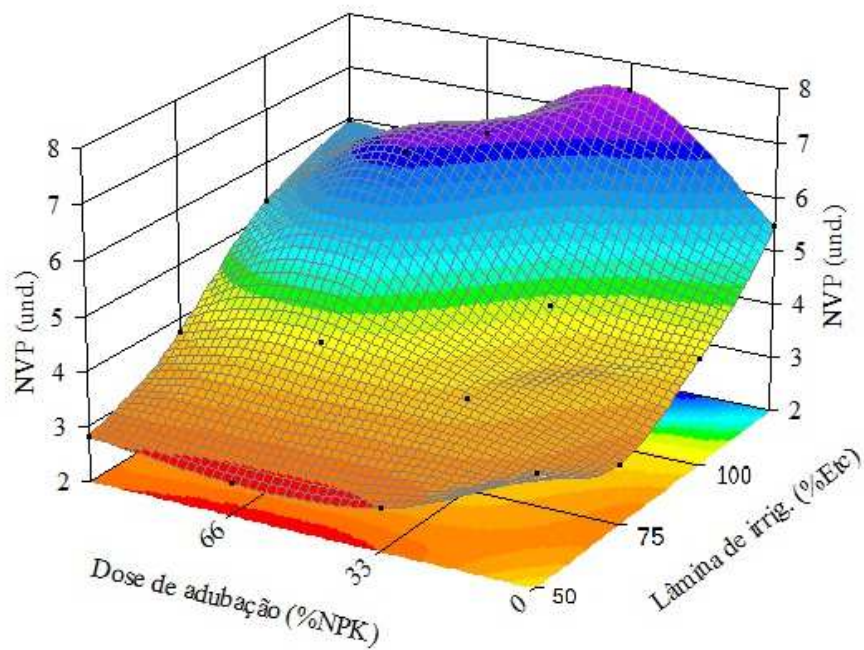
Para o esgoto doméstico tratado à medida que se aumentaram as doses de NPK o número de vagens foi decrescendo, isto mostra que o esgoto deve ser utilizado na irrigação em combinação com níveis mais baixos de NPK. Souza *et al.* (2005) relata que o excesso de sais, provocado pela aplicação de fertilizantes em combinação com a água residuária é o responsável pela queda no número de vagens por planta na cultura do feijão. Outra causa provável para este comportamento decrescente do NVP quando se utilizou o esgoto doméstico tratado em combinação com o aumento das doses de NPK é devido à redução do pH ocasionado pelo processo de nitrificação, incrementado pela adição de fertilizante nitrogenado mineral (SILVA *et al.*, 2007). Resultados de estudos desenvolvidos tem demonstrado que o uso contínuo de fontes nitrogenadas por períodos prolongados tem ocasionado a elevação da acidez do solo.

Figura 9 - Superfície de resposta do número de vagem por planta do feijão-caupi irrigado com água de esgoto doméstico tratado (A) e água de poço (B) em função das lâminas de irrigação e doses NPK. Tianguá, CE, 2015.

(A)



(B)



#### **4.5.2 Número de grãos por vagem**

Ao comparar as médias do número de grãos por vagem. Observou-se uma diferença significativa entre os tipos de água, sendo a água de esgoto tratado com uma média maior em relação à água de poço. Esse resultado pode ser visto claramente no melhor desempenho que a cultura obteve com a água de esgoto quando a mesma recebeu doses de nutrientes abaixo da recomendada pela cultura. É possível que devido às características nutricionais da água de reúso, a mesma tenha suprido a falta de NPK nos tratamentos com menor nível de NPK.

Apesar da água de reúso ter superado a água de poço em relação ao número de grãos por vagem, a mesma ficou abaixo da quantidade de grãos por vagem estabelecidas para esta cultivar. Andrade Júnior *et al.* (2002) estudando níveis de irrigação em feijão-caupi, encontrou resultado médio de 15,7 grãos por vagem.

O número de grãos por vagem pouco se alterou com a disponibilidade hídrica do solo. Andrade *et al.* (1998), comentam que o número de grãos por vagem é uma característica de alta herdabilidade genética, sendo pouco influenciada pelo ambiente.

Nos tratamentos em que se utilizou a água de esgoto doméstico tratado não houve diferença significativa para os níveis 1, 2 e 3 de NPK. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza *et al.* (2005) em experimentos com o feijoeiro, onde os mesmos também não verificaram diferença significativa para esta variável ao avaliar o uso de água de reúso na irrigação e níveis de nutrientes.

Tabela 13 – Médias do Número de grãos por vagem (NGV) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2005

Tipos de água	Lâminas de irrigação (mm)		Níveis de NPK				MÉDIAS
			N1	N2	N3	N4	
			Número de grãos por vagem				
Esgoto	L1	174	13,03	12,76	11,79	11,16	12,19a
	L2	275	13,65	13,51	12,06	10,93	12,54a
	L3	348	13,66	13,38	11,02	10,62	12,17a
	L4	435	13,57	12,13	13,47	11,53	12,68a
	Médias		13,48A	12,95A	12,09A	11,06B	<b>12,39a</b>
Água de poço	L1	174	13,22	11,54	11,86	12,06	12,17a
	L2	275	10,72	11,93	13,27	12,69	12,15b
	L3	348	10,63	12,23	12,00	10,31	11,29b
	L4	435	11,51	12,00	13,06	13,48	12,51a
	Médias		11,52B	11,93B	12,55A	12,14A	<b>12,03b</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

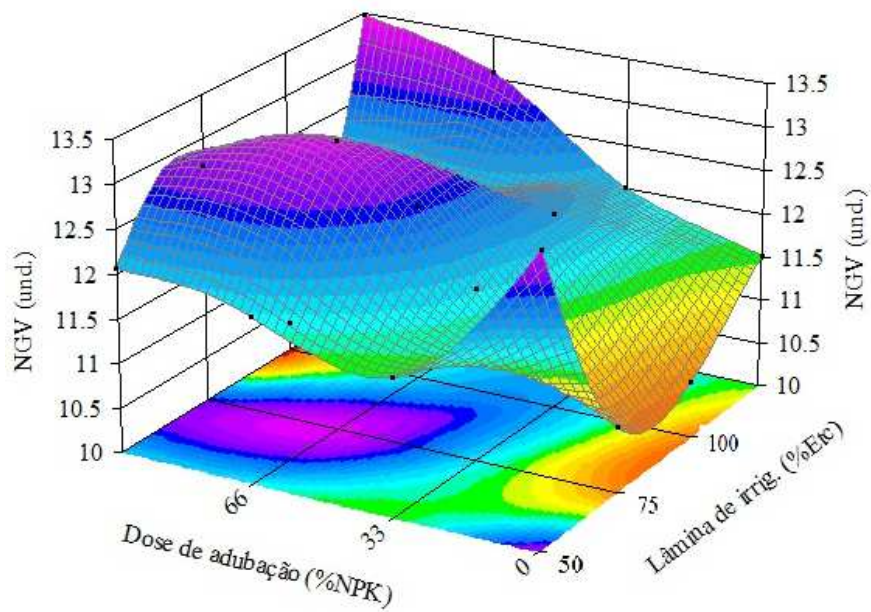
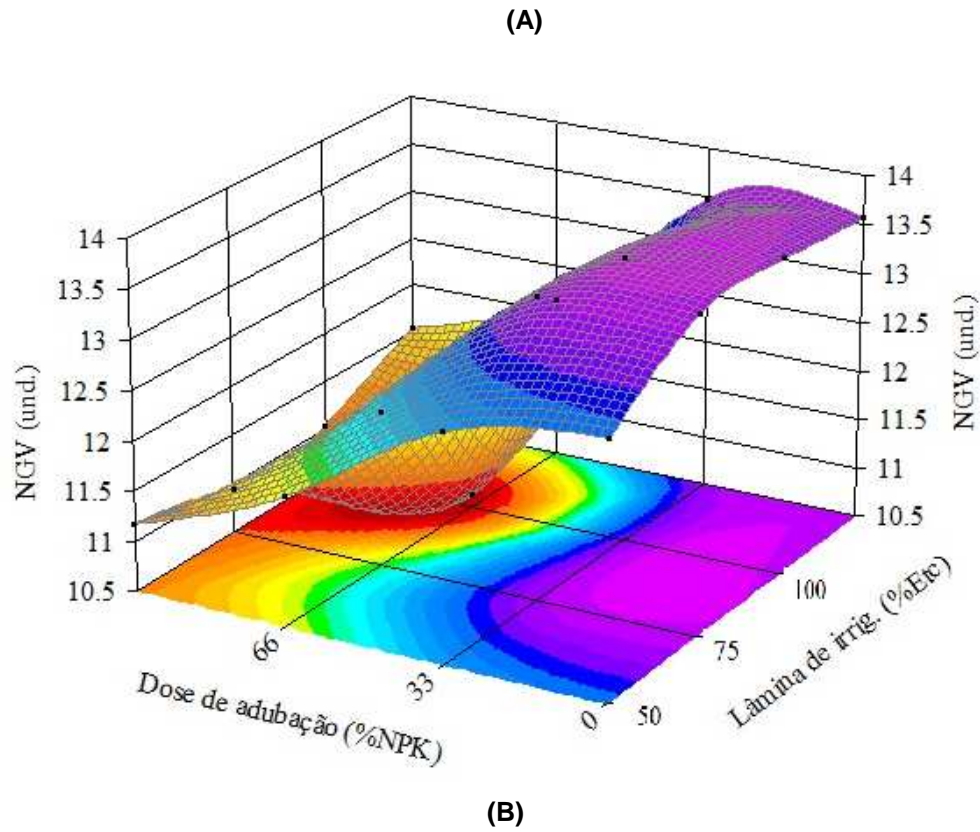
A partir da análise de regressão, dos dados de número de grãos por vagem em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas, foi escolhido o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados, sendo o modelo polinomial quadrático quem melhor se ajustou para irrigação com o esgoto doméstico tratado (Tabela 14). Para a irrigação com a água de poço não houve um modelo que se ajustasse aos dados. O maior número de grãos por vagem estimado de 12,8, de acordo com o modelo, foi obtido com os tratamentos L4 (222,48 mm) e N1 (0 Kg ha<sup>-1</sup> de NPK).

Tabela 14 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para O número de grãos por vagem, em função das lâminas de irrigações e níveis de NPK. Tianguá, CE, 2015.

Tipo de água	Nome	Coeficiente	$R^2$
Esgoto	Modelo		
	$Y = 12,49149 + 0,16912X_1 - 1,21415X_2 + 0,08061X_1^2 - 0,26717X_2^2 + 0,07298X_1X_2$		
	constante	12,49149	0,73
	LAM	0,16912	
	LAM <sup>2</sup>	0,08061	
	NPK	-1,21415	
	NPK <sup>2</sup>	-0,26717	
LAM*NPK	0,07298		
	Modelo		
	$Y = 11,93769 + 0,03339X_1 + 0,36444X_2 + 0,67612X_1^2 - 0,48141X_2^2 + 0,48978X_1X_2$		

Fonte: elaborada pelo autor.

Figura 10 - Superfície de resposta do número de grãos por vagem do feijão-caupi irrigado com água de esgoto doméstico tratado (A) e água de poço (B) em função das lâminas de irrigação e doses NPK. Tianguá, CE, 2015.



Fonte: elaborada pelo autor.

#### 4.5.3 Massa de 100 grãos

As médias para a massa de 100 grãos, quando comparados o tipo de água utilizada, não se diferenciaram significativamente. As médias para ambos os tipos de água foram superiores aos encontrados por Freire Filho *et al.* (2005) para esta cultivar que foi de 15,5 gramas. Santos *et al.* (2010), trabalhando com a cultura do gergelim sob dois tipos de água de irrigação, água de poço e esgoto tratado, também não observaram diferença estatística para esta mesma variável. Freitas *et al.* (2012) avaliando a massa de 1000 aquênios na cultura do girassol sob irrigação com esgoto doméstico tratado também não observaram diferença significativa para esta variável em função do tipo de água utilizado.

Para a variação da disponibilidade hídrica a diferença entre as médias das lâminas foi muito suave, podendo se considerar que a disponibilidade hídrica não possui forte influência sobre a massa de cem grãos. Para Bezerra *et al.* (2003) em estudos com o feijão caupi e o déficit hídrico observou que a variável massa de 100 grãos não é influenciada pela disponibilidade hídrica na cultura. Segundo Ferreira *et al.* (1991), esse componente de produção, normalmente, resiste às modificações induzidas por estresse ambiental.

Quanto à variação da dose de NPK, apesar da sutil diferença entre os tratamentos, a maior média foi obtida quando se utilizou para irrigação o esgoto doméstico tratado com dose 0% de NPK e a água de poço com dose de 33,3% dos nutrientes. Em experimento com feijão comum e doses de fósforo Valderrama *et al.* (2009) não verificaram diferença para a MCG.

Souza *et al.* (2005) também trabalhando com água residuária e variação dos níveis de NPK não encontrou diferença significativa para esta variável.



Tabela 15 – Médias da massa de 100 grãos (MCG) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2005

Tipos de água	Lâminas de irrigação (mm)	Níveis de NPK				MÉDIAS	
		N1	N2	N3	N4		
		Massa de cem grãos					
Esgoto	L1	174	19,9	20,41	18,04	19,02	19,34a
	L2	275	20,28	19,95	18,12	17,26	18,9ab
	L3	348	19,6	19,6	19,39	16,71	18,83b
	L4	435	20,33	18,58	19,82	18,54	19,32ab
		Médias	20,03A	19,64A	18,84AB	17,88B	<b>19,10a</b>
Água de poço	L1	174	19,36	20,29	17,65	20,16	19,37a
	L2	275	17,99	18,87	21,58	17,68	19,28ab
	L3	348	16,91	20,53	17,02	18,15	18,15b
	L4	435	18,56	19,19	19,43	19,32	19,12ab
		Médias	18,20B	19,97A	18,92B	18,83B	<b>18,98a</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

A partir da análise de regressão dos dados de massa de cem grãos em função das lâminas de irrigação e doses nitrogenadas, foi determinado o modelo matemático que melhor se ajustou aos dados (Tabela 12).

Tabela 16 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) para A massa de 100 grãos, em função das lâminas de irrigações e níveis de NPK. Tianguá, CE, 2015.

Tipo de água	Nome	Coeficiente	R <sup>2</sup>
Esgoto	Modelo		
	$Y = 18,97311 - 0,02305X_1 - 1,08677X_2 + 0,52262X_1^2 - 0,30398X_2^2 + 0,10209X_1X_2$		
	constante	18,97311	0,62
	LAM	-0,02305	
	LAM <sup>2</sup>	0,52262	
	NPK	-1,08677	
	NPK <sup>2</sup>	-0,30398	
	LAM*NPK	0,10209	
Modelo			

\* R<sup>2</sup> – Coeficiente de determinação; LAM – Lâmina de irrigação; NPK – Níveis de NPK

Fonte: elaborada pelo autor.

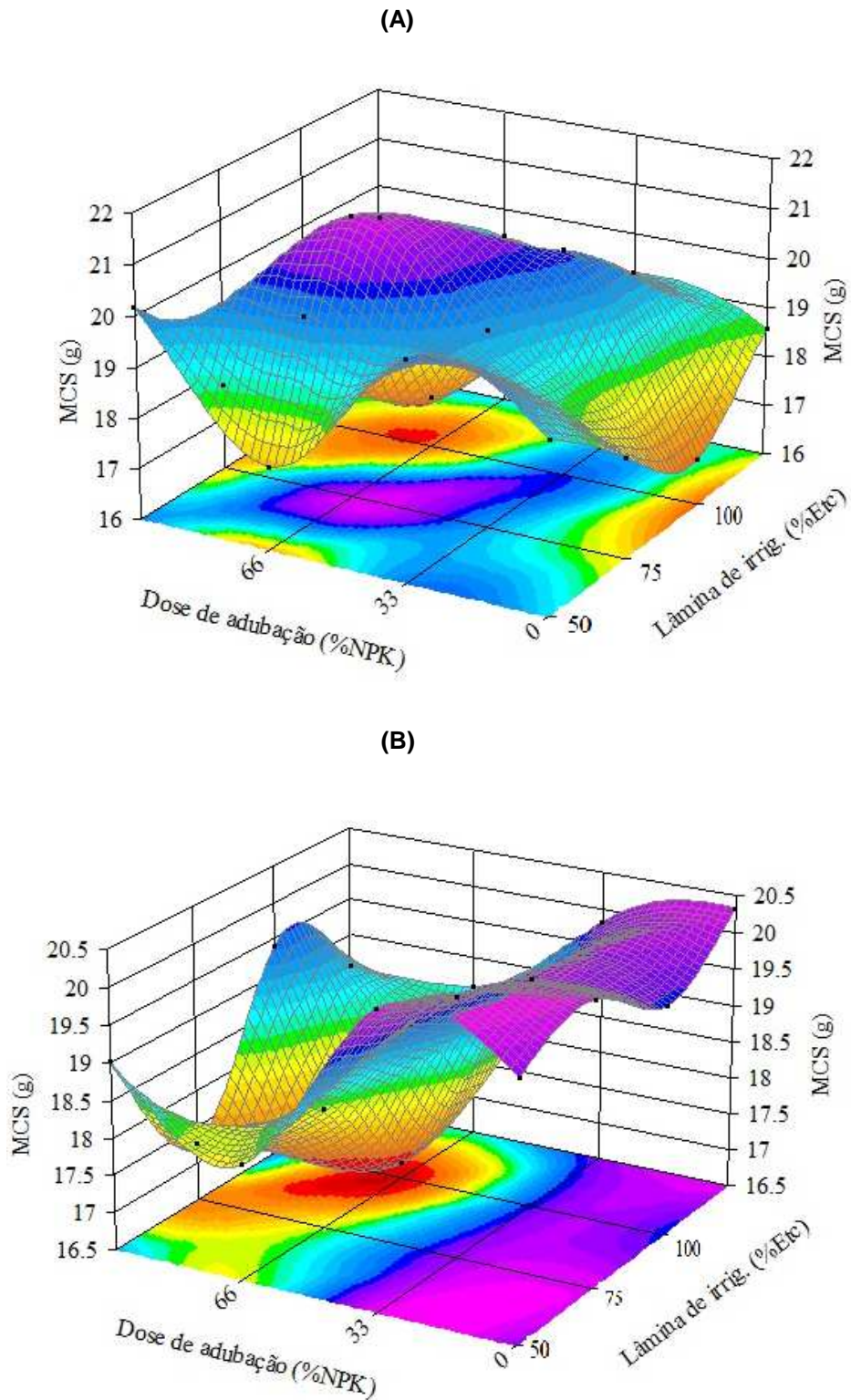
O modelo polinomial quadrático foi quem melhor se ajustou aos dados de massa de cem grãos do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação e níveis de NPK quando se irrigou com o esgoto doméstico tratado. Para irrigação com água de poço não houve um modelo que se ajustasse aos dados. Locatteli *et al.* (2014) divergem do mesmo ao encontrar

um modelo polinomial linear da mesma cultura em função das lâminas de irrigação.

A Figura 13 A e B representa a superfície de resposta da massa de cem grãos estimada em função das lâminas de irrigação e níveis de NPK, do feijão-caupi irrigado com água de esgoto e poço respectivamente. De acordo com o modelo matemático escolhido, observa-se o incremento da massa de 100 grãos com o aumento das lâminas de irrigação, porém o mesmo não aconteceu quando se aumentou o nível de NPK.

Resultado semelhante foi encontrado por Oliveira *et al.* (2009), que, trabalhando com a cultura do feijoeiro em Mato Grosso do Sul sob diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio, observaram efeito significativo do aumento da massa de cem sementes em função das lâminas de irrigação, contudo, o mesmo não foi observado em função das doses de nitrogênio.

Figura 11 - Superfície de resposta da massa de 100 grãos irrigada com água de esgoto doméstico tratado (A) e água de poço (B) em função das lâminas de irrigação e doses NPK. Tianguá, CE, 2015.



Fonte: elaborada pelo autor.

#### 4.5.4 Potencial produtivo

As maiores médias de potencial produtivo ( $935,8 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foram obtidas para o esgoto doméstico tratado, diferenciando-se estatisticamente ( $p < 0,05$ ) da média ( $842,4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) obtida para água de poço freático, o que representa um aumento de aproximadamente 11%. Freitas (2012) trabalhando com reúso na cultura do girassol constatou um aumento de aproximadamente 7% para o potencial produtivo de aquênios quando se utilizou água de esgoto em relação à água de poço freático.

Quanto à disponibilidade hídrica, O feijão-caupi não se mostrou tolerante ao déficit hídrico, de acordo com Taiz & Zeiger (2013), uma das explicações para a redução da produtividade de grãos, em decorrência do déficit hídrico, é que, nessa condição, a planta sofre uma redução da condutância e da transpiração foliar, como consequência, há um aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução na produtividade de grãos. Quando considerado uma lâmina de 125% da Etc (435mm) a cultura do feijão-caupi obteve os maiores valores de potencial produtivo tanto para o esgoto doméstico tratado quanto para a água de poço. Ramos *et al.* (2012) obtiveram resultados satisfatórios em produtividade de grãos do feijão-caupi utilizando lâminas de água no intervalo de 300 a 430 mm. Apesar da interação entre os tipos de água e as lâminas de irrigação não serem significativas, pode-se observar que entre as lâminas L4 e L1, houve uma redução do potencial produtivo de 51% para água de poço e 34% para o esgoto doméstico tratado. Isto evidencia as propriedades da água de reúso como uma alternativa hídrica para a cultura.

Para a variação dos níveis de NPK foi constatado que o esgoto doméstico tratado e os níveis 1 e 2 (0% e 33% de NPK) obtiveram os maiores valores de potencial produtivo, sendo superiores aos tratamentos com água de poço. Os diversos nutrientes presentes nas águas de reúso podem ter exercido papel fundamental no incremento do potencial produtivo, já que são fornecidos de forma parcelada durante toda irrigação. A importância do esgoto tratado no fornecimento de nutrientes em comparação ao seu fornecimento via adubação mineral é destacada por outros autores, a exemplo de Rebouças *et al.* (2010) que afirmam que os solos irrigados com esgoto tratado conseguem suprir as necessidades nutricionais do feijão-caupi mesmo na ausência de adubação mineral.

Souza *et al* (2005) concluíram em seu trabalho que o uso da água residuária proporcionou altas produtividades para a cultura do feijoeiro mesmo com a utilização de menores doses de adubos químicos o que confirma o aporte de nutrientes que o efluente traz ao solo. Azevedo *et*

*al.* (2007) observaram que a irrigação apenas com água residuária promoveu um incremento na produtividade do milho forrageiro híbrido AG 1051 em relação à produção alcançada quando se utilizou somente a água de abastecimento

Santos *et al.* (2006) relatam que a produtividade de quiabo irrigado com esgoto doméstico tratado são similares àqueles obtidos com água comum e adubo mineral. Costa (2006) que, utilizando esgoto tratado para irrigação de melancia observou que a produtividade da cultura irrigada com esgoto foi equivalente àquela obtida sob condição de irrigação com água de poço mais adubação química.

No que se refere a íons específicos como Sódio e Cloreto, considerados elementos mais propensos a causarem toxidez as plantas sensíveis a sais, os níveis de concentração da água apresentaram altos valores 164,6 e 217,4 (mg L<sup>-1</sup>) respectivamente.

Quanto ao cálculo de Razão de adsorção de sódio foi obtido o valor de 15,27 considerado segundo Vieira e Ramos (1999) como dano severo para a irrigação.

Para este trabalho acredita-se que não houve toxicidade dos elementos sódio e cloreto. Segundo Ayers e Westcot (1999) os efeitos de toxicidade de Sódio e ou do Cloreto nas plantas sensíveis a sais podem ser amenizados, se o método de aplicação da água for dirigido ao solo. Ademais, solo arenoso de alta permeabilidade com baixa capacidade de adsorção de íons favorece a lixiviação dos sais no perfil do solo, diminuindo os riscos de salinização do solo em vista da redução de acúmulo de sais nas partículas do solo. Qadir; Oster (2004), afirmam que a salinização ou a sodificação do solo pelo uso dos esgotos domésticos tratados da irrigação normalmente não acontece já que normalmente estas condutividades elétricas são menores que 1 dS m<sup>-1</sup>.

Um dos fatores possíveis, para que os tratamentos com esgoto tratado e as maiores doses de NPK tenham apresentado um menor potencial produtivo pode estar associado ao possível excesso de nitrogênio no solo. Xavier (2006) relata que o suprimento de N através da adubação mineral afeta o processo de fixação biológica de nitrogênio em leguminosas. (TSAI *et al.*, 1993) recomenda, o uso apenas de pequenas doses de nitrogênio para melhorar o crescimento das plantas e promover o efeito sinérgico sobre a nodulação. A estabilização e queda no rendimento de vagens de grãos verdes e de grãos secos nas doses mais elevadas de nitrogênio, pode ter sido decorrente do efeito tóxico do amônio proveniente da uréia, reduzindo a absorção de outros cátions, isto é, exercendo forte efeito competitivo sobre os cátions (K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>) de tal forma que a absorção destes seria reduzida pela planta (CARNICELLI *et al.*, 2000).

Outro fator importante a se observar é quanto aos teores de potássio, já que o mesmo se encontra em boa quantidade em efluentes de esgoto doméstico. Este elemento em alta concentração causa efeito antagonístico sobre a absorção do cálcio e magnésio (FAGÉRIA 2001). Este autor afirma que a diminuição da absorção de cálcio pelo potássio deve-se à competição decorrente de propriedades fisiológicas destes cátions. Já a influencia do potássio sobre o magnésio advém da competição por compostos ligantes do metabolismo vegetal.

Tabela 17 – Médias do Potencial produtivo (PP) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2005

Tipos de água	Lâminas de irrigação (mm)	Níveis de NPK				MÉDIAS	
		N1	N2	N3	N4		
		Potencial produtivo					
Esgoto	L1	174	1.084,45	1.056,22	572,08	482,84	798,90c
	L2	275	1.130,34	895,42	613,49	482,82	780,52c
	L3	348	1.312,84	1.225,00	609,14	637,34	946,08b
	L4	435	1.625,30	885,85	1.383,38	976,36	1.217,72a
	Médias		1.288,23A	1.015,62B	794,52BC	644,84C	<b>935,80a</b>
Água de poço	L1	174	823,54	519,68	450,09	543,61	584,23c
	L2	275	522,94	719,96	938,25	673,96	713,78c
	L3	348	573,46	887,87	1.177,85	824,68	865,97b
	L4	435	951,22	1.372,76	1.256,98	1.241,96	1.205,73a
	Médias		717,79B	875,07B	955,79A	821,05AB	<b>842,43b</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

A partir da análise de regressão, dos dados de potencial produtivo em função das lâminas de irrigação e níveis de NPK, foi determinado o modelo matemático que melhor se ajustasse aos dados (Tabela 12).

Tabela 18 - Equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para O potencial produtivo, em função das lâminas de irrigações e níveis de NPK. Tianguá, CE, 2015.

Tipo de água	Nome	Coeficiente	$R^2$
Esgoto	Modelo		
	$Y = 803,26 + 213,541X_1 - 322,859X_2 + 163,138X_1^2 + 72,667X_2^2 + 47,182X_1X_2$		
	constante	803,269	0,78
	LAM	213,541	
	LAM <sup>2</sup>	163,138	
	NPK	-322,859	
	NPK <sup>2</sup>	72,667	
	LAM*NPK	47,182	
Modelo			
$Y = 868,443 + 303,104X_1 + 58,249X_2 + 118,245X_1^2 - 164,859X_2^2 + 120,55X_1X_2$			
Poço	constante	868,443	0,79
	LAM	303,104	
	LAM <sup>2</sup>	118,245	
	NPK	58,249	
	NPK <sup>2</sup>	-164,859	
	LAM*NPK	120,55	

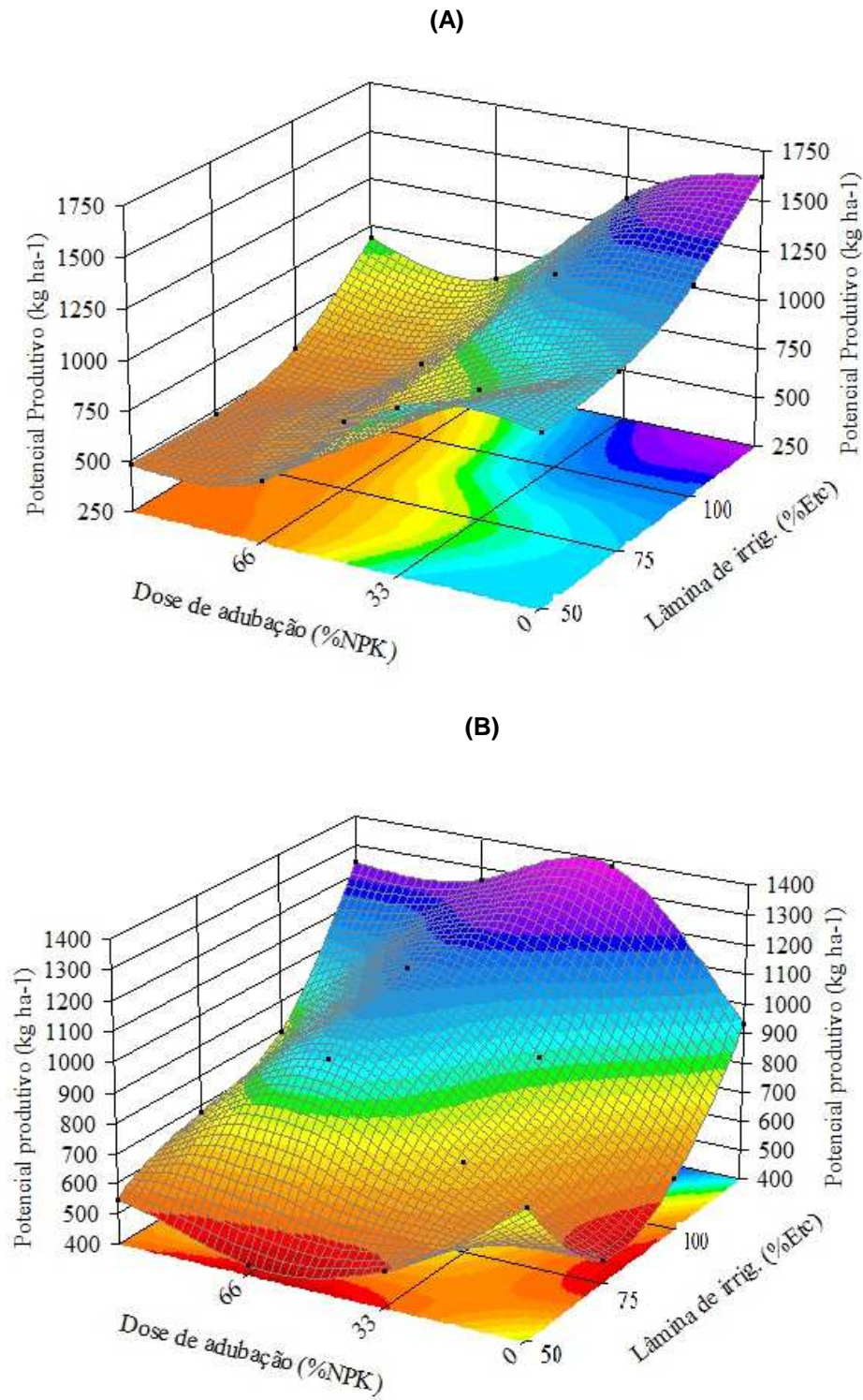
Fonte: elaborada pelo autor.

O modelo polinomial quadrático foi quem melhor se ajustou aos dados de potencial produtivo, sendo o tratamento com a lamina de água L4 e nível de NPK N1, quem obteve maior valor pela cultura que foi de 1325 kg ha<sup>-1</sup>.

Andrade Junior *et al.* (2002), em experimento com o feijão-caupi BR 14 Mulato sob diferentes lâminas de irrigação, também verificaram comportamento quadrático para a produtividade da cultura.

Ao observar as superfícies de resposta para potencial produtivo, verifica-se um comportamento similar ao das superfícies de resposta do número de vagens por planta. Nascimento *et al.* (2011) relatam que o número de vagens por planta é a variável que mais influencia a produtividade da cultura.

Figura 12 - Superfície de resposta do potencial produtivo do feijão-caupi irrigado com água de esgoto doméstico tratado (A) e água de poço (B) em função das lâminas de irrigação e doses NPK. Tianguá, CE, 2015.



Fonte: elaborada pelo autor.



#### 4.5.5 Eficiência do uso da água

Ao comparar as médias de Eficiência do uso da água. Observou-se uma diferença significativa entre os tipos de água, sendo a água de esgoto tratado com uma média maior em relação à água de poço comprovando a eficiência hídrica da prática de reúso. A interação entre o tipo de água e as lâminas de irrigação foi significativa de forma que a maior média foi obtida quando se utilizou a menor lâmina de esgoto doméstico tratado  $0,45 \text{ kg m}^{-3}$ . Ao analisar a interação entre o tipo de água e os níveis de NPK foi observado uma maior média para a irrigação com esgoto doméstico tratado e o nível 1 de NPK (0% de NPK). Calvache *et al.* (1997) utilizando dose de  $80 \text{ kg de N ha}^{-1}$  e lâmina de irrigação ideal para a cultura do feijoeiro, obtiveram EUA de  $0,72 \text{ kg m}^{-3}$ . Oliveira *et al.* (2012) relata que plantas bem supridas nutricionalmente apresentam menores necessidades hídricas.

Culturas que apresentam maior eficiência do uso da água são de suma importância quando se fala em economia dos recursos hídricos, pois as mesmas possibilitam um rendimento maior por  $\text{m}^3$  de água. Oliveira *et al.* (2012) em experimento com a cultura da melancia verificaram uma máxima eficiência do uso da água quando se utilizou uma dose de potássio de  $60 \text{ kg/há}$ , este comportamento é semelhante aos achados neste trabalho quando se utilizou a mesma dose do referido nutriente e irrigação com água de poço.

Tabela 19 – Médias da Eficiência de Uso da Água (EUA) em função dos dois tipos de água, quatro lâminas de irrigação e quatro níveis de adubação com NPK. Tianguá, CE, 2005

Tipos de água	Lâminas de irrigação (mm)		Níveis de NPK				MÉDIAS
			N1	N2	N3	N4	
			EUA ( $\text{kg m}^{-3}$ )				
Esgoto	L1	174	0,62	0,6	0,33	0,28	0,46 a
	L2	275	0,41	0,33	0,22	0,18	0,28 b
	L3	348	0,38	0,35	0,18	0,18	0,27 b
	L4	435	0,37	0,2	0,32	0,22	0,28 b
		Médias	0,45 A	0,37 B	0,26 C	0,21 C	<b>0,32 a</b>
Água de poço	L1	174	0,47	0,3	0,26	0,31	0,34 a
	L2	275	0,19	0,26	0,34	0,24	0,26 b
	L3	348	0,16	0,25	0,34	0,24	0,25 b
	L4	435	0,22	0,32	0,29	0,29	0,28 b
		Médias	0,26 A	0,28 A	0,31 A	0,27 A	<b>0,28 b</b>

Fonte: elaborada pelo autor.

## 5 CONCLUSÃO

O uso do esgoto doméstico tratado na irrigação não influencia no número de folhas do feijão-caupi, porém aumenta significativamente o índice de área foliar da cultura devido a maior produção de massa verde.

O número de vagens por planta e a massa de cem grãos não apresentaram valores significativamente diferentes quanto ao tipo de água. O número de grãos por vagem pouco se altera em situações de irrigação com déficit, mostrando que tal variável é de grande herdabilidade genética.

A utilização do esgoto doméstico tratado proporciona maiores valores de potencial produtivo do feijão-caupi, sendo recomendado o uso do mesmo sem complementação da adubação ou em níveis mais baixos do que o recomendado.

Em geral a utilização do esgoto doméstico tratado mostra-se como alternativa tanto hídrica como nutricional, fazendo com que se tenha economia com fertilizantes químicos, utilização racional da água e dando ao efluente um destino ambientalmente correto.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, N.A.A.; MENDONÇA, V.; FERREIRA, B.G.; TEIXEIRA, G.A.; SOUZA, H.A.; RAMOS, J.D. Crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) em substratos com utilização de superfosfato simples. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.6, p.1117-1124, 2005.
- AGUIAR, R. S.; MODA-CIRINO, V.; FARIA, R. T.; VIDAL, L. H. I. Avaliação de linhagens promissoras de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes ao déficit hídrico. Seminário: Ciências Agrárias, Londrina, v. 29, n. 1, p. 1-14, 2008
- AHMAD, M. H.; EAGLESHAM, A. R.J.; HASSOUNA, S.; SEAMAN, B.; AYANABA, A.; MULONGOY, K.; PULVER, E. L. Examining the potential for inoculant use with cowpea in West African soils. **Tropical Agriculture**, Guildford, Inglaterra, v. 58, n. 4, p. 325-335, 1981.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; **Estratégias de Manejo de Irrigação: Exemplos de Cálculo**. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG 2013, 24p. (Embrapa. Circular Técnica, 136).
- ALLEN, R. G. et. al. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **FAO, Irrigation and Drainage** n° 56, Roma, 1998. 301p.
- ALMEIDA, A. A. F.; LOPES, N. F.; OLIVA, M. A. Desenvolvimento e partição de assimilados em *Phaseolus vulgaris* submetido a três doses de nitrogênio e três níveis de luz. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.23, n.8, p.837-847, ago. 1988.
- ANDRADE, M. J. B. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. de; BORÉM, A. (Ed.). Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 83-97.
- ANDRADE JUNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N., FRIZZONE, J. A. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, 2002, p. 17-20.
- ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo de solo, água e nitrogênio na cultura do feijão. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 2, p. 131-138, 2004.
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. A qualidade de água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1
- AZEVEDO, M. R. Q. A. *et al.* Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro. **Revista brasileira de ciências agrárias**, v. 02, n. 01, p. 63-68, 2007.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGÉRIA, N. K.; SILVA O. F. da. **Cultivo do Feijoeiro Comum**: Calagem e Adubação. Goias, GO: Embrapa Arroz e Feijão: Sistemas de Produção.2003.Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/ad>

ubacao.htm>. Acesso em: 10 fevereiro 2014.

BARROS, M. M.; ARAÚJO, W. F.; NEVES, L. T. B. C.; CAMPOS, A. J. de; TOSIN, J. M. Produção e qualidade da melancia submetida a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.10, p.1078–1084, 2012

BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B.H.N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; CARDOSO, M. J. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sobre diferentes regimes hídricos. **Engenharia agrícola** v.22, n.1, p.43-50, 2002.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para agricultura**. 2003. 625 f. Monografia (Especialização em Planejamento Estratégico) – Fundação Getúlio Vargas, Brasília, 2003.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625 p.

BONANNO, A. R.; MACK, H. J. Water relations and growth of snap beans as influenced by differential irrigation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, v.108, p.837-44, 1983.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **A irrigação no Brasil: situação e diretrizes**. Brasília: IICA, 2008. 132 p.

BRASIL – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001**. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. Disponível em: <<http://www.anvisa.org.br>>. Acesso em: 16 Agosto. 2015.

CALVACHE, A. M. *et al.* Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão. **Scientia Agrícola**, v. 54, n. 03, p. 232-240, 1997.

CAMPOS, F. L.; FREIRE FILHO, F. R.; LOPES, A. C. de A.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, R. Q. B. da; ROCHA, de M. R. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**. V., n.2, 2000. p.110-116.

CARARO, D.C.; BOTREL, T.A. Uso de cloração e ar comprimido no controle de entupimento de gotejadores ocasionado pela aplicação de água residuária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.336-345, 2007.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. de B.; **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Embrapa/Meio-Norte. Teresina, PI. 2000. 264 p. (Circular técnica, 28).

CARNICELLI, J.H.; PEREIRA, P.R.G.; FONTES, P.C.R.; CAMARGO, M.I. Índices de nitrogênio na planta relacionados com a produção comercial de cenoura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, Suplemento, p. 808-810, 2000.

COELHO, E. F. **Irrigação do mamoeiro**. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. (Ed.). A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção. Vitória, ES: Incaper, 2003.

CORDEIRO, L.G.; **Influência do déficit hídrico em diferentes estágios fenológicos sobre a produção do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Fortaleza, 1998. 58p. Dissertação (M. S.) - Universidade Federal do Ceará.

CORREIA, K. G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. *Revista de Biologia e Ciência da Terra*, v.4, n.2, 2004.

COSTA, M. C. Avaliação dos aspectos sanitários, agrônômicos e de qualidade em melancias irrigadas **com esgoto tratado**. Fortaleza: UFC, 2006. 105p. Dissertação Mestrado  
DEON, M. D. **Reciclagem de água e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de estação de tratamento de esgoto**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

EPA – Environmental Protection Agency, **Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical / Chemical Methods – SW 846**. Richmond: EPA / National Technical Information Service, 1996.

FARINELLI, R.; LEMOS, L.B.; PENARIOL, F.G.; EGÉA, M.M. & GASPAROTO, M.G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.41, n.2, p.307-312, 2006.

FEIGIN, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE, I. M. de. Estresse hídrico nas fases vegetativas e reprodutivas de duas cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.7, p.1049-1055, 1991.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**, Viçosa, 2000, 402 p.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q.; Feijão-caupi: avanços tecnológicos – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

FREIRE FILHO, F. R. CowpeataxonomyandintroductiontoBrazil. In: WATT, E. E.; ARAÚJO, J. P. P. **Cowpea research in Brazil**. IITA, EMBRAPA, Brasília, p.3-10, 1988.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ALCÂNTARA, J. P.; BELARMINO FILHO, J.; ROCHA, M. M. BRS Marataoã: nova cultivar de feijão-caupi com grão tipo sempre-verde. **Revista Ceres**, v. 52, n. 303, p. 771-777, 2005.

FREITAS, C. A. S. de; **Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação de culturas destinadas à produção de biocombustível**. 2011. 287 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

FREITAS, C. A. S. de; SILVA, A. R. A. DA; BEZERRA, F. M. L.; ANDRADE, R. R. de; MOTA, F. S. B.; AQUINO, B. F. de. Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v.16, n.10, p.1031-1039, 2012.

FREITAS, C. A. S. Efluente de esgoto doméstico tratado e reutilizado como fonte hídrica alternativa para a produção de cana-de-açúcar. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.17 no.7 Campina Grande Julho 2013

GHOLZ, H.L.; EWEL, K.C. & TESKEY, R.O. Water and forest productivity. *Forest Ecological Management*, Amsterdam, 30(1):1-18, 1990

GOMES, E. P.; TESTEZLAF, R. **Manejo de irrigação na tomaticultura-de-mesa.** Disponível em <http://www.feagri.unicamp.br/tomates/pdfs/manejoirrig.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2013.

GUIDOLIN, J. C. Reúso de efluentes. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, Ministério do Meio Ambiente, 2006.

GUIMARÃES, C.M.; BRUNINI, O.; STONE, L.A. Adaptação do feijoeiro à seca. I. Densidade e eficiência radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.393-399, jun. 1996.

HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 26, n.30, p. 380-391, set. 1967.

HESPAHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HOLANDA *et al.* Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, R. H.; DIAS, S. N.; LACERDA, F. C. dos (ed). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados.** Fortaleza INCT Sal, 2010. p. 43 - 59.

HOSTALACIO, S.; VALIO, I.F.M. Desenvolvimento dos frutos de feijão em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.1, p.53-57, 1984.

ITABORAHY, C. R. *et al.* **Agricultura irrigada e o uso racional da água.** Brasília: Agência Nacional da Água, Superintendência de Conservação de Água e Solo, 2004. 30p.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. 1995. *Water relations of plants and soils.* San Diego : Academic, 495 p.

LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; MISCHAN, M. M.; VIRGENS FILHO, J.S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cv. EMBRAPA. 821. II- Análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, v.74, n.3, p.351-370, 1999.

LOCATELLI, VIVIANA DA E. R. ; MEDEIROS, ROBERTO D. DE ; SMIDERLE, OSCAR J. ; ALBUQUERQUE, JOSÉ DE A. A. DE ; ARAÚJO, WELLINGTON F. ; SOUZA, KELLY

T. S. DE . Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online) JCR*, v. 18, p. 574-580, 2014.

MANCUSO, P.C.S. & SANTOS, H.F. ed. Reúso de água. São Paulo: Manole, 2003. 579p.  
MANTOVANI, E. C; MONTES, D. R. P; VIEIRA, G. H. S; RAMOS, M. M; SOARES, A. A. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.110-120, . 2012.

MATOS, A. T. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos.1. ed. Viçosa: AEAMG, 2006. 120 p. (Caderno didático, 37).

MEHNERT, D. U. Reúso de efluente doméstico na agricultura e a contaminação ambiental por vírus entéricos humanos, *Biológico*, São Paulo, v. 65, nº: 1/2, p.19-21, jan./dez., 2003.  
METCALF & EDDY.Inc. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p. 2003.

MIRANDA, L. DE; AZEVEDO, J. A. DE; MIRANDA J. C. C. DE; GOMES, A. C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.703-710, 2000.

MOTA, F. S. B.; SPERLING, M. V. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Rio de Janeiro: AESB, 2009.

MOTA, F.; ALMEIDA, J. P.; SANTOS, J. S.; AZEVEDO, J.; GURGEL, M. T.; DESENVOLVIMENTO INICIAL DE MUDAS DE MELANCIA ‘CRIMS ON SWEET’ IRRIGADAS COM ÁGUAS RESIDUÁRIAS. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.2, p. 98 – 104 abril/junho de 2011

MOTA, J.C.A. Componentes do balanço de água em um Cambissolo cultivado com meloeiro irrigado por gotejamento. 2010. 122 f. Tese (Doutorando em Ciências) – Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

NASCIMENTO, S. P. do.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO. E. C. E; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853-860, 2011

NASCIMENTO, J.T.; PEDROSA, M.B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, 2004, p.174 -177.

OLIVEIRA, I. P.; CARVALHO, A. M. A cultura do caupi nas condições de clima e de solo dos trópicos úmido e semiárido do Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P. (Org). O caupi no Brasil. Brasília: ITA/ EMBRAPA. 722p., 1998.

OLIVEIRA, A. P. de; ARAÚJO, S. J.; ALVES, A. U.; DORNELES, C. S. M.; ALVES, A.U.;

OLIVEIRA, A. N. P. de; CARDOSO, E. A.; CRUZ, I. da S. Rendimento de feijãoovagem em função de doses de K<sub>2</sub>O. **Hortic.bras.** Paraiba, v. 25, n. 1, p.29-33, 2007.

OLIVEIRA, A. P. SILVA, V. R. F; ARRUDA, F. P. de; NASCIMENTO, I. S. do; ALVES, A. U. Rendimento de feijão-caupi em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.21, n1. Brasília, 2003.

OLIVEIRA, G. Q. *et al.* Irrigação e doses de nitrogênio no feijoeiro de inverno, em sistema plantio direto, no município de Aquidauana-MS. **Irriga**, v. 14, n. 01, p. 54-67, 2009.

OLIVEIRA, P. G. F.; Moreira, O. C.; Branco, L. M. C.; Costa, R. N.; Christlene N. D. Eficiência de uso dos fatores de produção água e potássio na cultura da melancia irrigada com água de reúso. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.16 no.2 Campina Grande Feb. 2012

ONOFRE, A. V. C. Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão -caupi contrastantes para resistência aos estresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF e ISSR. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife, 2008.

PAIVA, A. S. *et al.* Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

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

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PELEGRIN, R. de; MERCANTE, F.M.; OTSUBO, I.M.N.; OTSUBO, A.A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Minas Gerais, v.33, p. 219-226, 2009.

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; SAKAI, E. Irrigação e drenagem. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M. de; LANDELL, M.G. de A. (Ed.). Cana de açúcar. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008. p.631-670.

PIVELI, R. P.; MENDONÇA, F. C. Uso de esgotos tratados em lagoas de estabilização para fertirrigação nas culturas de milho e girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003. p. 23-26.

QADIR, M.; OSTER, J.D. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aime at environmentally sustainable agriculture. **Sci Total Environ**, Ann Arbor, v.323, p.1-19, 2004.

RAMOS, J. M. O. Uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 6, n. 10, p. 1-20, 2007.

RAMOS, H. M. M; BASTOS, E. A; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; MAROUELLI, W. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijão-caupi para produção de grãos verdes. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.47, n.4, p.576-583, abr. 2012



RAMOS, J. M. O. Uso da água residuária na adubação: vantagens e limitações. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 6, n. 10, p. 1-20, 2007.

RAVEN P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. Movimento de água e soluto nas plantas. In: *Biologia Vegetal*. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanagara Koogan, 2001. 720p.

Ravina, I.; Paz, E.; Sofer, Z.; Marcu, A.; Schischa, A.; Sagi, G.; Yechialy, Z.; Lev, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 33, n.2-3, p.127-137, 1997

REBOUÇAS, L.; RAFAEL, J.; NILDO, S. D.; GONZAGA, S.; ISIDÓRIA, M.; HANS R. G.; NETO, N. S.; Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, vol. 23, núm. 1, enero-marzo, 2010, pp. 97-102 Universidade Federal Rural do Semi-Árido Mossoró, Brasil

REGO, J. L. *et al.* Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, Suplemento, p. 155-159, 2005.

RIBEIRO, F. C. M.; ROCHA, F.; SANTOS, A. C.; SILVA, J. O.; Crescimento e Produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** vol.16 no.6 Campina Grande June 2012

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reúso de água no Brasil: Proposta de regulamentação do reúso no Brasil**. 2005. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Rodrigues, L. N.; Nery, A. R.; Fernandes, P. D.; Beltrão, N. E. de M.; Gheyi, H. R. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, p.825-835, 2009.

SALES, M. G.; RODRIGUES, M. A. C. Consumo, qualidade nutricional e métodos de preparo do feijão-caupi. In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E. (eds.). *O Feijão-caupi no Brasil*. Brasília: IITA/EMBRAPA/CNPAF, 1988. p. 694-722.

SANCHES, N. F.; DANTAS, J. L. L. O cultivo de mamão. Circular Técnica, 34. EMBRAPA, 105 p.,1999.

SANTOS, R. F. & CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

SANTOS, K. D.; Henrique, I. N.; Sousa, J. T. de Duarte, V. L. Utilização de esgoto tratado na fertirrigação agrícola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.1, p.1-8, 2006.

SANTOS, M. S. *et al.* Produção de gergelim sob irrigação com água residuária tratada e adubação com torta de mamona. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 4, p. 31-35, 2010.

SHATANAWI, M. R. and M. Fayyad (1996) "Effect of Khirbet Es-Samra on the Quality of Irrigation Water in the Central Jordan Valley", *Water Research*, Vol. 30, No. 12, pp: 2915-2920.

SILVA, A. J. da; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; LIMA, A. C. S.; SANTOS, C. S. V. DOS; OLIVEIRA, J. M. F. de; MELO, V. F. Resposta do feijão-caupi à doses e formas de aplicação de fósforo em latossolo Amarelo do Estado de Roraima. *Acta Amaz.*, Manaus, v.40, n.1, p.31-36, 2010.

SILVA, Vicente de Paula. **Efeitos da fertirrigação com efluente de lago a de polimento nos atributos do solo e na produção de feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp).** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia civil, 128 folhas. 2007.

SILVA, E.C.; FERREIRA, S.M.; SILVA, G.P.; ASSIS, R.L. & GUIMARÃES, G.L. Épocas e formas de aplicação de nitrogênio no milho sob plantio direto em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:725-733, 2005.

SMARTT, J. Evolution of genetic resources. In: SMARTT, J. (Ed.), *Grain Legumes*. Cambridge University Press, Cambridge, p.140–175, 1990.

SOUZA, D. P.; QUELUZ, G. T.; SILVA, A. O.; SÁNCHEZROMÁN, R. M. Produtividade do feijoeiro irrigado com água residuária e adubado com diferentes doses de fertilizantes. Conference: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, At Brasília, Volume: XXIV, 2005.

SOUZA, I. H.; ANDRADE, E. M.; SILVA, E. L. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software “bubbler”. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.264-271, jan. - abr., 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TAVARES, T. de L.; KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O. de; AZEVEDO, M.R. de Q.A. Efeitos da adubação do solo e da irrigação sobre os componentes de produção da alface. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, p.231-5, 2005. Suplemento.

TEÓFILO, E. M.; MAMEDE, F. B. F.; SANTIAGO SOMBRA, N. S. Natural hybridization in cowpea, (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Ciência Agrotécnica*, Lavras, v. 23, n. 4, p.1011-1012, 1999

TSAI, S.M. *et al.* Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. *Plant and Soil*, v.152, p.131-138, 1993

VALDERRAMA, M. *et al.* Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 39, n. 03, p. 191-196, 2009.

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U. M.; ENSINK, J. H. J.; FEENSTRA, S.; RASCHIDSALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y.

Urban Wastewater: **A valuable resource for agriculture**; a case study from Horoonabad, Pakistan. ResearchReport 63. Colombo: International Water Management Institute. 2002.

VIANA, T. O. *et al.* Adubação do feijoeiro cultivado no norte de Minas Gerais com nitrogênio e fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.1, p.115-120, 2011.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; CALDAS, M. T. Comportamento do feijãofradinho Na primavera-verão na zona da mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.35, n.7, p.1359-1365, 2000.

VIEIRA, R. F.; RAMOS, M. M. Fertirrigação. In: RIBEIRO, A. C; ALVAREZ, V. H.; GUIMARÃES, P. T. G. Comissão de fertilidade do solo de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5º Aproximação. Viçosa. 1999, p.111- 130.

XAVIER, T. F. efeito da adubação nitrogenada sobre a nodulação do feijão caupi. Paraíba: Universidade Federal do Piauí, 2006.

WESTERHOFF, G. P. Un update of research needs for water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM, 3º Proceedings. San Diego, Califórnia, 1984