

MARA RÚBIA MENDES DE MELO

**DÉFICIT HÍDRICO APLICADO EM CULTIVARES DE FEIJÃO, NAS FASES
VEGETATIVA E REPRODUTIVA, ASSOCIADO COM O USO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA**

Botucatu

2017

MARA RÚBIA MENDES DE MELO

**DÉFICIT HÍDRICO APLICADO EM CULTIVARES DE FEIJÃO, NAS FASES
VEGETATIVA E REPRODUTIVA, ASSOCIADO COM O USO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestra
em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Antonio Evaldo Klar

Co-orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M527d Melo, Mara Rúbia Mendes de, 1988-
Déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária / Mara Rúbia Mendes de Melo. - Botucatu: [s.n.], 2017
87 p.: il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Antonio Evaldo Klar
Coorientador: Hélio Grassi Filho
Inclui bibliografia

1. Feijão - Cultivo. 2. Irrigação com déficit hídrico. 3. Plantas e água. 4. Águas residuais de irrigação. I. Klar, Antonio Evaldo. II. Grassi Filho, Hélio. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DÉFICIT HÍDRICO APLICADO EM CULTIVARES DE FEIJÃO, NAS FASES VEGETATIVA E REPRODUTIVA, ASSOCIADO COM O USO DE ÁGUA RESIDUÁRIA

AUTORA: MARA RÚBIA MENDES DE MELO

ORIENTADOR: ANTONIO EVALDO KLAR

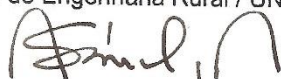
COORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ANTONIO EVALDO KLAR

Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN

Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. RICARDO ALEXANDRE LAMBERT

Agronomia / Instituto Luterano de Ensino Superior de Itumbiara - ILES/ULBRA (Videoconferência)

Botucatu, 28 de julho de 2017

Ao meu pai, Carlos Cedro Mendes Ferreira
e a minha mãe Maria Mendes de Melo,
pelo amor e apoio dado em
todos os momentos da minha vida.
A meus irmãos, Maraiza, Murilo e Júlia,
por estarem do meu lado nos momentos difíceis.
Vocês foram fundamentais para que
eu chegasse até aqui.

DEDICO

Ao meu orientador prof. Klar,
e ao prof. Hélio
pela paciência e pelos ensinamentos ao
longo dessa jornada.
A Mariane Aparecida Risso
pela amizade e companheirismo durante esse período.
Agradeço imensamente e divido
com vocês esta conquista!
A minha tia Helena (*in memoriam*) uma
grande idealizadora da minha formação como estudante e como pessoa.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente, pela saúde, força e determinação para encarar todos os obstáculos encontrados no decorrer dessa jornada, com os quais venho aprendendo e amadurecendo profissionalmente e como ser humano.

Aos meus pais, Carlos Cedro Mendes Ferreira e Maria Mendes de Melo, pelo carinho, incentivo, amor e entusiasmo. Aos meus irmãos, Maraiza Mendes de Melo, Murilo Mendes de Melo e Júlia Nascimento Barbosa da Silva, pelo apoio e motivação. Ao meu cunhado Raphael Martins e a minha cunhada Vanessa Martins obrigada pelo auxílio.

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP) e ao Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade de realização do mestrado agradeço. Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante todo o período de realização deste mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Antônio Evaldo Klar e meu co-orientador, Prof. Dr. Hélio Grassi Filho, pelos momentos de alegria, apoio, ensinamentos, atenção e dedicação.

Ao Prof. Dr. Rodrigo Máximo Sánchez Román pela atenção em todos os momentos em que foi solicitado esclarecimento ou sugestões dentre outros. Agradeço a todos os professores da pós graduação de irrigação e drenagem, por todos ensinamentos e dedicação.

A empresa NaanDanJain pelo o apoio na pesquisa com fornecimento de material.

Aos amigos e colegas da pós graduação, Renata Cuba, Francielly Guieiro, Marcos Liodorio, Cristiana Araújo, Paulo Ferreira e João Victor pelos momentos de descontração e apoio para que eu pudesse seguir na minha jornada.

Aos funcionários, Gilberto Winckler, José Israel Ramos, Fabiana, Rafaela e a todos os funcionários dedicados ao departamento, a todos os funcionários da biblioteca pelo carinho, competência e eficiência quando solicitados, meu obrigada.

As amigas Veridiana, Maria Fernanda, Galah, Suelen, Rafaela e Mariana, obrigada por fazerem parte desse momento. Agradeço em especial a Mariane Risso por sempre ter estado ao meu lado nas realizações e nas dificuldades do caminho.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que este objetivo fosse alcançado.

“O que eu faço, é uma gota no meio de um oceano. Mas sem ela, o oceano será menor.”

Santa Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar o efeito do déficit hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária. O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, no Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP. O experimento foi conduzido de junho a dezembro de 2016, todo o ciclo em casa de vegetação. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x3. O primeiro fator foram dois tipos de água para irrigação, potável (P) e residuária (R), o segundo duas cultivares de feijão sendo uma de ciclo precoce IAC imperador (C1) e uma de ciclo normal TAA Dama (C2), e o terceiro foram os regimes hídricos empregados: a) Testemunha: onde as plantas foram irrigadas diariamente, durante todo o ciclo, mantendo-se o solo na capacidade de campo, cujo valor foi -10kPa, correspondente ao teor de água no solo, obtido da Curva Característica de Água do Solo; b) Estresse 1: com deficiência hídrica na fase vegetativa; e c) Estresse 2: deficiência hídrica na fase reprodutiva, perfazendo um total de doze tratamentos com seis repetições. Cada repetição e/ou unidade experimental foi representada por um vaso, totalizando setenta e duas unidades experimentais, que foram identificadas. Foi avaliado o desenvolvimento da planta, caracteres de produção, eficiência do uso da água e alterações químicas na planta, grão e solo. Com base nos resultados e de acordo com as condições experimentais pode-se concluir que: Os três fatores influenciaram o desenvolvimento do feijoeiro, principalmente no fim do ciclo. Quanto à questão nutricional, a água residuária se destacou nos teores no tecido vegetal e grão. O solo sofreu mudanças na sua fertilidade com o uso da água residuária. Não houve interação dos fatores para os caracteres de produção avaliados. Os estresses hídricos nas fases vegetativa e reprodutiva influenciaram em praticamente todas as avaliações, interferindo de forma negativa no desenvolvimento, nos caracteres de produção do feijoeiro e no teor de nutrientes. A eficiência do uso da água pela cultura, sofreu efeito dos estresses hídricos resultando em decréscimos na produtividade.

Palavras-chave: IAC Imperador. TAA Dama. Solo. Caracteres de Produção, Deficiência Hídrica.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the effect of the water deficit applied on two bean cultivars, in the vegetative and reproductive phases, associated with the use of wastewater. The work was carried out at the Lageado Experimental Farm, in the Rural Engineering Department, belonging to the School of Agriculture of the Sao Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho", FCA / UNESP, campus of Botucatu / SP. The experiment was conducted from June to December 2016, the whole cycle in a greenhouse. A completely randomized design was used in a 2x2x3 factorial scheme. The first factor was two types of water for irrigation, potable (P) and residuary (R), the second two bean cultivars being an early cycle IAC emperor (C1) and one of normal cycle TAA Dama (C2), and the third were the water regimes used: a) Witness: where the plants were irrigated daily, throughout the cycle, maintaining the soil in the field capacity, whose value was -10kPa, corresponding to the water content in the soil, obtained from the Curve Soil Water Characteristics; b) Stress 1: with water deficit in the vegetative phase; and c) Stress 2: water deficit in the reproductive phase, making a total of twelve treatments with six replicates. Each replicate and / or experimental unit was represented by a vessel, totaling seventy-two experimental units. Plant development, production characteristics, water use efficiency and chemical changes in plant, grain and soil were evaluated. Based on the results and according to the experimental conditions it can be concluded that: The three factors influenced the development of the bean, mainly at the end of the cycle. Regarding the nutritional question, the residual water stood out in the contents of the plant tissue and grain. The soil has undergone changes in its fertility with the use of residuary water. There was no interaction of the factors for the evaluated production characters. Water stresses in the vegetative and reproductive phases influenced practically all evaluations, negatively interfering with development, bean production characteristics and nutrient content. The efficiency of water use by the crop has been affected by water stresses, resulting in decreases in productivity.

Keywords: IAC Emperor. TAA Dama. Ground. Characteristics of Production, Water Deficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vista lateral da área experimental no Departamento de Engenharia Rural em Botucatu-SP	37
Figura 2 - Curva de retenção de água do solo	39
Figura 3 - Semeadura do feijão em déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária, cultivar IAC Imperador (A) e cultivar TAA Dama (B).....	40
Figura 4 – Sistema de Irrigação com uma caixa para cada água (A), sistemas independentes (B), teste de uniformidade (C) e seis linhas laterais com os gotejadores (D)	41
Figura 5 - Monitoramento do teor de água no solo com tensiômetro	42
Figura 6 - Croqui do experimento com todas as combinações do fatorial	45
Figura 7 – Tratamentos identificados nos vasos na casa de vegetação feijão com 27 DAG	46
Figura 8 – Registros de temperatura máxima, mínima e média ao longo do experimento.....	50
Figura 9 - Registros de umidade relativa do ar ao longo do experimento	50
Figura 10 - Valores médios da altura das plantas aos 70 após a germinação, no feijoeiro em função do déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária.	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação das cultivares de feijoeiro em função do ciclo	29
Quadro 2 - Etapas do desenvolvimento da planta do feijoeiro comum.	29
Quadro 3 - Atributos físico-químicos do solo utilizado determinados pelo Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP – Botucatu-SP.	38
Quadro 4 - Conteúdo de água no solo para os pontos.....	39
Quadro 5 - Parâmetros do modelo de Van Genuchten para camada 0 a 0,20 m de solo	39
Quadro 6 – Características das cultivares de feijão comum utilizadas no experimento.	40
Quadro 7 - Resultados da caracterização da água potável utilizada no experimento	43
Quadro 8 - Resultados da caracterização físico-química da água de reuso utilizada.	44
Quadro 9 – Médias das temperatura e umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido durante todo período experimental.....	46
Quadro 10 - Parâmetros para avaliação da água de irrigação com respectivos limites de tolerância – FAO e CONAMA 357/05	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para alturas das plantas e diâmetro do caule, realizado ao longo do experimento de déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária	53
Tabela 2 - Valores médios das alturas das plantas e diâmetros do caule realizado ao longo do experimento, para as duas águas 'Residuária' e 'Pótavel'. Botucatu - 2017	54
Tabela 3 - Valores médios da altura das plantas e diâmetro do caule realizado ao longo do experimento, para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu – 2017	54
Tabela 4 - Valores médios da altura das plantas e diâmetro do caule realizado ao longo do experimento, para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017	55
Tabela 5 - Resumo da análise de variância para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS), realizada ao longo do experimento, em função do déficit hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária	57
Tabela 6 - Valores médios para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS) para as duas águas 'Residuária' e 'Potável'. Botucatu - 2017	57
Tabela 7 - Valores médios para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS), para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu - 2017	58
Tabela 8 - Valores médios para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS) para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017	59
Tabela 9 - Resumo da análise de variância para macronutrientes e micronutrientes do tecido vegetal, em função do déficit hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária	60
Tabela 10 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no tecido vegetal para as duas águas 'Residuária' e 'Potável'. Botucatu - 2017	60

Tabela 11 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no tecido vegetal para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu - 2017	61
Tabela 12 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no tecido vegetal para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017	61
Tabela 13 - Valores médios dos nutrientes presentes no tecido vegetal do feijoeiro em função do déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária.....	62
Tabela 14 - Resumo da análise de variância para macronutrientes e micronutrientes presentes no grão, em função dos déficits hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária63	63
Tabela 15 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no grão para as duas águas 'Residuária' e 'Pótavel'. Botucatu - 2017	64
Tabela 16 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no grão para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu - 2017	64
Tabela 17 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no grão para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017	65
Tabela 18 - Valores médios dos nutrientes presentes no grão do feijoeiro em função do déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária.....	65
Tabela 19 - Resumo da análise de variância para fertilidade do solo no fim do experimento, em função dos déficits hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária.....	66
Tabela 20 - Valores médios da fertilidade do solo no fim do experimento, para as duas águas 'Residuária' e 'Pótavel'. Botucatu - 2017.....	67
Tabela 21 - Valores médios para fertilidade do solo no fim do experimento, para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu - 2017.....	68
Tabela 22 - Valores médios para fertilidade do solo no fim do experimento, para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017.....	69
Tabela 23 - Valores médios da fertilidade do solo no fim do experimento em função do déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária.....	70

Tabela 24 - Resumo da análise de variância para os parâmetros de rendimento da cultura, número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), número total de grãos por planta (NTGP), massa total de vagens com grãos (MTVG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD) de déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária	71
Tabela 25 - Valores médios para número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), número total de grãos por planta (NTGP), massa total de vagens com grãos (MTVG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD) para as duas águas ‘Residuária’ e ‘Pótavel’. Botucatu, SP - 2017	71
Tabela 26 - Valores médios para número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), número total de grãos por planta (NTGP), massa total de vagens com grãos (MTVG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD) para as duas cultivares ‘IAC Imperador’ e ‘TAA Dama’. Botucatu-2017	73
Tabela 27 - Valores médios para número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), número total de grãos por planta (NTGP), massa total de vagens com grãos (MTVG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD) para os estresses hídricos ‘Testemunha’ ‘Fase vegetativa’ e ‘Fase reprodutiva’. Botucatu – 2017	74
Tabela 28 - Lâmina média de água aplicada (LI), produtividade de grãos e eficiência do uso de água (EUA) de déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	27
	2.1 Aspectos gerais da cultura do feijoeiro.....	27
	2.2 Manejo da irrigação no feijoeiro.....	30
	2.3 Estresse hídrico no feijoeiro.....	31
	2.4 Efeito do déficit hídrico na produtividade do feijoeiro.....	32
	2.5 Uso de água residuária na agricultura.....	34
	2.6 Efeito do uso da água residuária na produtividade do feijoeiro	36
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
	3.1 Localização da área experimental.....	37
	3.2 Clima.....	37
	3.3 Condições experimentais	38
	3.3.1 Cultivo Protegido	38
	3.3.2 Caracterização do Solo.....	38
	3.3.3 Adubação.....	40
	3.3.4 Cultivares.....	40
	3.3.5 Plantio	40
	3.3.6 Sistema de irrigação	41
	3.3.7 Monitoramento da Irrigação	42
	3.3.8 Origem das Águas utilizadas no experimento.....	43
	3.4 Delineamento experimental	44
	3.5 Monitoramento das condições ambientais	46
	3.6 Parâmetros avaliados.....	46
	3.6.1 Avaliação de crescimento e de biomassa.....	46
	3.6.2 Avaliação de biomassa vegetal	47

3.6.3	Análises do tecido vegetal e grãos	47
3.6.4	Análise química do solo.....	48
3.6.5	Parâmetros de rendimento da cultura	48
3.6.6	Eficiência do uso da água (EUA).....	49
3.7	Análise estatística.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1	Condições experimentais.....	50
4.1.1	Condições ambientais.....	50
4.1.2	Qualidade da água de irrigação agrícola.....	51
4.2	Avaliação de crescimento	52
4.3	Avaliação de biomassa vegetal	56
4.4	Análise de nutrientes em tecido vegetal e grãos	59
4.5	Análise química do solo	66
4.6	Parâmetros de rendimento da cultura.....	70
4.7	Eficiência do uso da água (EUA)	75
5	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS.....	79

1 INTRODUÇÃO

No mundo todo, a produtividade agrícola está sujeita a restrições ambientais na forma de estresses abióticos, que influenciam negativamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas, ocasionando diminuição da produtividade e dos rendimentos médios superiores a 50% (WU et al., 2013). As perdas devido ao déficit hídrico têm sido o principal desafio para a produção de grãos nos últimos anos, sendo o fator ambiental mais limitante à produtividade das culturas em todo mundo, especialmente nas regiões semiáridas (FRITCHE-NETO; BORÉM, 2011).

Os prejuízos causados pela deficiência hídrica dependem da sua duração e severidade e do estágio de desenvolvimento da cultura. A maioria das plantas possui períodos críticos, durante os quais, a falta de água causa sérios decréscimos na produção final e alterações no desenvolvimento das plantas (MIORINI, 2012).

A estima do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na alimentação do brasileiro é indiscutível, já que além de conter uma apropriada quantidade de carboidratos e ser rico em ferro, é uma excelente fonte de proteínas. Devido ao seu caráter de subsistência; e às adversidades climáticas, sendo o excesso e o déficit hídrico os fatores que mais reduzem o potencial produtivo das lavouras feijão, a produção nacional no Brasil, é inconstante, pois utiliza-se de baixos níveis tecnológicos dos pequenos agricultores (BRITO, 2014).

Um dos fatores mais limitantes para o crescimento do feijoeiro é a falta de água durante os seus estádios de crescimento, vegetativo e reprodutivo (BOUTRAA; SANDERS, 2001). Influenciando diretamente e negativamente a produtividade da cultura, ocasionando perdas significativas para o produtor.

O aumento da competitividade e qualidade dos produtos, associado à preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente na agricultura atual, é um dos importantes desafios para permitir benefícios sustentáveis nas explorações agrícolas (DANTAS et al., 2014).

Sendo o setor de maior demanda de água a agricultura, assim como no abastecimento urbano, o seu desenvolvimento está diretamente ligado ao crescimento populacional, o suprimento de água é primordial à sustentabilidade da economia agrícola, sendo um fator limitante à produção de alimentos, justificando assim, a utilização de fontes alternativas de água para a irrigação das culturas (TELLES; GÓIS, 2013).

A irrigação tornou-se uma escolha para a complementação ou aplicação total da lâmina de água necessária para a adequada produção da cultura, pois a agricultura vem expandindo as suas áreas cultiváveis para regiões que não apresentam precipitação suficiente para o desenvolvimento da cultura (PLETSCH, 2012). Ela possibilita o desenvolvimento econômico e o processo produtivo de muitas regiões, garantindo o abastecimento interno e ampliando as exportações dos produtos agrícolas. A irrigação tem desempenhado um papel indispensável ao incremento da produtividade na agricultura (CARVALHO, 2013).

O reuso de água residual para fins de irrigação é uma prática viável e que pode ser utilizada em diferentes espécies de plantas. Em diversos países, como China, Índia, Israel, França e Estados Unidos, já existem grandes áreas irrigadas com água residuária. No Brasil há um grande potencial para o uso de efluentes domésticos em processos produtivos agrícolas, sobretudo na irrigação. Normalmente o tema é desprezado, ou tratado apenas superficialmente nos programas oficiais de saneamento básico e em planos de recursos hídricos (BRAGA; LIMA, 2014).

A procura pela economia de água, evitando que ocorra contaminação de áreas com esgoto doméstico, e a obtenção de produção satisfatória das culturas, é um desafio para a ciência, que pode ser amenizado por meio de práticas como a reutilização de água residuária em cultivos como o de feijão (CUNHA et al., 2015).

Tendo em vista todos os pontos mencionados, relacionados às perdas com o déficit hídrico na cultura do feijoeiro e a irrigação com a água residuária como alternativa viável para a agricultura, o presente trabalho teve por objetivo estudar o efeito do déficit hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária. Foi avaliado o desenvolvimento da planta, os caracteres de produção, eficiência do uso da água, e as alterações químicas na planta, grão e solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do feijoeiro

O feijoeiro-comum, *Phaseolus vulgaris* L., é originário das Américas, mais especificamente na região sul dos Andes, da família *Leguminosae* e do gênero *Phaseolus*. O feijão é considerado um alimento importantíssimo na alimentação humana atualmente, e historicamente no passado (ATTIE, 2015).

Fao (2016) descreve o destaque mundial do feijoeiro, dizendo que o feijão fortalece significativamente a segurança alimentar e nutricional mundial entre os consumidores de baixa renda. Consequentemente, é o alimento mais predominantemente encontrado nas dietas ao redor do mundo, por ser um alimento altamente nutritivo que contém carboidratos complexos, micronutrientes, vitaminas, fibras e proteínas valiosas, para mais de 4% da população global. Em vários locais, é tido como a segunda fonte mais importante de calorias após o milho.

Nos países em desenvolvimento nas regiões subtropicais e tropicais o feijão é um dos mantimentos mais importantes na dieta, uma vez que apresenta apropriado teor de proteínas com valor mais acessível que proteínas de fontes animais (NOGUEIRA, 2016).

Os países grandes produtores de feijão são também os maiores consumidores, sendo eles Myanmar, Índia, Brasil, China, EUA e México que correspondem a 61% da produção total mundial. O Brasil se destaca no Mercosul sendo o principal produtor e consumidor, com participação superior a 90%. Em condições mundiais, o feijão tem pouco destaque comercial, uma vez que o consumo é muito baixo ou inexistente em países de primeiro mundo (CONAB, 2016).

No Brasil, a produção de grãos é algo tradicional, especialmente do feijoeiro, que é um componente da alimentação básica do povo brasileiro. A demanda por este grão ocorre constantemente no decorrer do ano (COSTA, 2016). Diferentes tipos de produtores em todo território nacional, empregando distintos níveis tecnológicos, produzem o feijão-comum. A agricultura familiar em meio a estes produtores é apontada como a maior responsável pela produção de feijão no país (SILVA; WANDER, 2013).

Conab (2017) situa que a safra brasileira do feijoeiro 2015/16, teve uma área plantada de 978,6 mil hectares, com produção de 1.034,3 mil toneladas. Nessa safra,

os estados maiores produtores da leguminosa, que unidos respondem nacionalmente com média de 72% da produção, consistiram em: Paraná com (23%), Minas Gerais com (17%), Bahia com (9%), Goiás, Mato Grosso e São Paulo com (8%) (IEA, 2016). Em levantamento de safra 2016/17, estima-se que haverá um incremento de 13,2% na área plantada, e um acréscimo de 33,6% na produção, sendo de 1.382 mil toneladas para a safra atual (CONAB, 2017).

O abastecimento constante no mercado durante o ano é garantido, pois o feijoeiro é produzido em épocas diferentes. (COSTA et al., 2016). O feijão-comum pode ser cultivado em três épocas distintas de plantio, feijão de primeira época ou “feijão das águas” ou cultivo de primavera-verão; feijão de segunda época ou “feijão da seca” ou cultivo de verão-outono; e o feijão de terceira época ou “feijão de inverno” ou cultivo de outono-inverno (RICHETTI; ITO, 2015).

No estado de São Paulo o cultivo é realizado nas três safras, o estado acompanha o calendário da região Sudeste. A primeira safra do plantio ocorre de agosto a dezembro e a colheita nos meses de dezembro a abril; na segunda, o plantio vai de janeiro a abril e a colheita ocorre entre os meses de março e agosto; e na terceira, o plantio acontece entre março e junho e a colheita nos meses de junho a setembro (IEA, 2016).

Cultivado em todos os continentes, o feijoeiro-comum apresenta uma extensa distribuição geográfica, pois é plantando em regiões com diferenças térmicas entre 10°C e 35°C. A grande maioria da produção procede de microrregiões com temperaturas do ar variando de 17°C a 25°C, faixa térmica considerada adequada para a espécie (BARBOSA; GONZAGA, 2012).

A cultura é sensível a fatores extremos do ambiente, sendo uma cultura relativamente exigente no que diz respeito à maioria das condições edafoclimáticas. O acontecimento de temperaturas fora da faixa ótima, dependendo da frequência e de sua duração, pode acarretar sérios danos ao estabelecimento, crescimento e desenvolvimento da cultura, resultando em baixa produção de grãos (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2013).

Os hábitos de crescimento do feijoeiro são agrupados e caracterizados em quatro tipos principais. Hábito de crescimento determinado, em que o caule termina por uma inflorescência (tipo I) e hábito indeterminado, que na extremidade do caule existe gema vegetativa ou floral e vegetativa, podendo ser – tipo II, prostrado – tipo III e trepador – tipo IV (DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

A grande maioria das cultivares no país é de ciclo normal. Porém, atualmente, a precocidade é uma característica cada vez mais buscada pelo produtor, pois permite o melhor ajustamento da lavoura dentro de um sistema de rotação de culturas e de consolidação, levando a economia de água e energia em sistemas irrigados, plantio da cultura dentro de um período do ano mais adequado, em termos climáticos, ao desenvolvimento das plantas e retorno do capital investido mais rápido (ORIVALDO et al., 2015).

De acordo com Kluthcouski; Stone; Aidar (2009) as cultivares de feijoeiro são classificadas em função do ciclo, da emergência a maturação fisiológica segundo a (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação das cultivares de feijoeiro em função do ciclo

Ciclo	Números de dias
Precoce	Menor que 75 dias
Semi-precoces	Entre 75 e 85 dias
Normal	Entre 85 e 90 dias
Tardio	Maior que 90 dias

Fonte: Kluthcouski; Stone; Aidar (2009).

Em cultivares de feijoeiro, os caracteres morfológicos utilizados na identificação, abrangendo a fase vegetativa e reprodutiva são ressaltados no Quadro 2 elaborada por Quintel et al. (2005).

Quadro 2 - Etapas do desenvolvimento da planta do feijoeiro comum.

Etapas¹	Descrição²
V0	Germinação: absorção de água pela semente; emergência da radícula e sua transformação em raiz primária.
V1	Emergência: os cotilédones aparecem ao nível do solo e começam a separar-se. O epicótilo começa o seu desenvolvimento.
V2	Folhas primárias: folhas primárias completamente abertas.
V3	Primeira folha trifoliolada: abertura da primeira folha trifoliolada e o aparecimento da segunda folha trifoliolada.
V4	Terceira folha trifoliolada: abertura da terceira folha trifoliolada, as gemas e os nós inferiores produzem ramos.
R5	Pré- floração: aparece o primeiro botão floral e o primeiro rácimo.
R6	Floração: abre-se a primeira flor.
R7	Formação das vagens: aparece a primeira vagem
R8	Enchimento das vagens: começa o enchimento da primeira vagem (crescimento das sementes). Ao final desta etapa, as sementes perdem a cor verde e começam a mostrar as características da cultivar. Inicia-se o desfolhamento.
R9	Maturação fisiológica: as vagens perdem a pigmentação e começam a secar. As sementes adquirem a coloração típica da cultivar.

¹ V= Vegetativa; R= Reprodutiva.

² Cada etapa inicia-se quando 50% das plantas mostram as condições que correspondem à descrição da etapa

Fonte: Quintel et al. (2005).

Em consideração à adubação, o feijoeiro é uma planta exigente, devido ao seu ciclo considerado curto e ao seu sistema radicular restrito e pouco profundo. É essencial que o nutriente seja colocado à disposição da planta em tempo e local adequados (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994). O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são os nutrientes essenciais mais limitantes ao crescimento do feijoeiro (CARVALHO, 2017).

Uma das mais expressivas contribuições à eficiência do setor produtivo, é o desenvolvimento de cultivares de feijoeiro comum melhoradas com capacidade de expressão de alta produtividade, ampla adaptação, menor sensibilidade aos estresses bióticos ou abióticos e ciclo variado (EMBRAPA, 2013).

Ribeiro e Storck (2003) afirmam que embora exista preferência por determinada coloração de grão variando em regiões do país, o feijão carioca tem grande aceitação nacional. Há disponível também um amplo número de genótipos com características diferentes dos vários grupos comerciais: carioca, preto e outros.

O feijão carioca surgiu em 1969, trazendo como particularidade acentuada o tegumento com coloração bege e estrias marrons. O mesmo tornou-se o tipo mais cultivado e consumido em todo o Brasil (BORÉM, 2005).

2.2 Manejo da irrigação no feijoeiro

A escassez hídrica impõe estresses abióticos, que são os fatores mais importantes na limitação da capacidade produtividade da planta, sendo o suprimento artificial de água, via irrigação, importante instrumento para amenizar os impactos das oscilações climáticas sobre a produção agrícola (AMUDHA; BALASUBRAMANI, 2011).

A irrigação se confirma como uma ferramenta para promover o aumento de produtividade da cultura do feijoeiro, pois, no cultivo do feijoeiro, a disponibilidade de água no solo para as plantas é fator preponderante para que estas possam alcançar elevada produção (ÁVILA et al., 2010). A irrigação em meio a varias tecnologias é capaz de aumentar os índices de produtividade desta leguminosa (MURGA-ORRILLO et al., 2009).

Bernardo; Soares e Mantovani (2006) destacam que a irrigação é um fator eficaz para um apropriado comportamento da cultura no campo, sobretudo quando cultivada

em períodos de difícil ocorrência de precipitação. A planta consegue expressar melhor o seu potencial produtivo, além de balancear a questão ambiental, envolvendo a sustentabilidade, quando a irrigação é devidamente manejada.

O manejo correto da irrigação visa disponibilizar água ao solo no momento adequado (quando irrigar) e na quantidade suficiente (quanto irrigar) para atender à necessidade hídrica da planta, a qual pode alterar com o sistema de manejo do solo utilizado, com a condição climática local, a cultivar e a população de plantas (EMBRAPA, 2013). Destacando que irrigações e sistemas mal dimensionados, com aplicações em excesso ou com déficit, poderão comprometer a produtividade da cultura (SANTANA et al., 2009).

O uso de variedades que respondem melhor à irrigação, além do uso mais eficiente de fertilizantes e a viabilidade do emprego de uma maior densidade de plantio, são outros fatores indiretos que contribuem para que a irrigação proporcione aumento na produtividade da cultura. Além do efeito direto da disponibilidade de água para as plantas, proporcionado acréscimo na produtividade das culturas (ANDRADE et al., 2006).

O momento de irrigar o feijoeiro pode ser determinado por vários métodos disponíveis. Durante o ciclo da planta, geralmente são consumidos em torno de 300 a 400 mm de água. Os períodos críticos são nas fases de germinação, florescimento e formação de vagens (EMBRAPA, 2013). A demanda de água por ele altera com o seu desenvolvimento, de um valor mínimo na germinação até o máximo na floração e formação das vagens, sendo que na maturação esse consumo diminui (CARVALHO, 2009).

2.3 Estresse hídrico no feijoeiro

A disponibilidade de água é um fator limitante à produtividade das plantações cultivadas em muitos ambientes. Solos contendo excesso ou escassez de água, principalmente na fase de florescimento da cultura, podem causar efeitos negativos no rendimento (BRITO et al., 2015).

O déficit hídrico no solo pode levar a planta ao estresse hídrico, provocando mudanças morfológicas e fisiológicas. A menor disponibilidade hídrica pode levar a redução na expansão celular, redução na área foliar, aumento na abscisão foliar, diminuição da relação entre a biomassa da raiz com a parte

aérea, fechamento de estômatos e redução na fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Os efeitos da deficiência hídrica iniciam-se quando a taxa de evaporação é superior à de absorção de água pelas raízes. Como o sistema radicular do feijoeiro é bastante superficial, pequenos veranicos ou mesmo irrigações mais espaçadas podem reduzir o conteúdo de água na camada superficial do solo, reduzindo ou impedindo a sua absorção (VIEIRA; PAULA JÚNIOR; BORÉM, 2013).

O feijoeiro comum é muito sensível aos períodos de distribuição pluviométricas irregulares. Os danos causados pela deficiência hídrica dependem da duração, da intensidade e da época de sua ocorrência. Essa sensibilidade é devida à sua baixa capacidade de recuperação, a estiagem e ao seu sistema radicular pouco desenvolvido. A fase de maior sensibilidade é durante a floração, com aborto e abscisão das flores (ARAUJO et al., 1996).

“A baixa disponibilidade de água no solo é um fator limitante na produção do feijão, especialmente em três estádios críticos, que são a germinação, florescimento e enchimento de grãos” (SORATTO et al., 2003).

A tolerância à deficiência hídrica é um atributo respeitável em qualquer cultivo, especialmente no feijoeiro, tornando-se aceitável a sua produção em extensas áreas. O modo como a deficiência hídrica mostrar-se na planta do feijoeiro é bastante complexa, pois afeta praticamente todos os processos do crescimento (CARVALHO, 2013).

A perda de água na cultivar de feijoeiro é afetada por meio da quantidade de energia solar interceptada, que depende do índice de área foliar, da arquitetura da planta, e da extensão e característica da superfície transparente. O sistema radicular também afeta a perda de água, na medida em que suas características (densidade, profundidade e eficiência na absorção de água) influenciam na quantidade e velocidade com que a água é absorvida, e a sua resistência ao fluxo de água influencia no movimento da água dentro da planta (SILVEIRA; STONE, 2001).

2.4 Efeito do déficit hídrico na produtividade do feijoeiro

Cunha et al. (2013) trabalhando com manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto, afirma que déficit hídrico de 22% na fase reprodutiva restringiu a produtividade em 15% da planta feijoeiro, já as submetidas a 21 e 37% de déficit

hídrico, nesta ordem, nas fases vegetativa e reprodutiva, apresentaram produtividade reduzida de 29%.

Sousa et al. (2009), investigando o estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro, dizem que a supressão da irrigação, durante os diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro, interferiu de modo negativo na produção e nos componentes de rendimento, com exceção do peso de 100 grãos.

Sousa e Lima (2010) declaram que a supressão da irrigação nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro interfere de modo negativo nos componentes de rendimento, e que o déficit hídrico no estágio vegetativo promove maior redução da produtividade da cultura. Estes resultados foram observados em pesquisa com a influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. Carioca comum.

Miorini (2012), com o objetivo de analisar a influência do uso da irrigação, em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro, sobre o desempenho dos componentes de produção do feijão do grupo carioca em casa de vegetação, analisou que todas as variáveis foram afetadas pelos tratamentos com supressão de irrigação em uma ou mais fases, todos os tratamentos reduziram sua produtividade em, pelo menos, 20%.

Manjeru et al. (2007) em pesquisa realizada na África, com os efeitos do estresse hídrico em diferentes estádios de crescimento sobre componentes e rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), concluíram que o estresse hídrico reduziu significativamente o rendimento do feijoeiro e seus componentes de produção de feijão. Sendo que a maior redução ocorreu quando o estresse hídrico foi imposto após a floração e a menor, quando o estresse hídrico foi imposto durante a fase vegetativa.

Pérez et al. (2013) em estudo realizado em Cuba, com efeito de diferentes intensidades de déficit hídrico na fase vegetativa no cultivo de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), observaram nos resultados encontrados que a cultura do feijão na fase vegetativa quando submetida à déficit hídrico em diferentes intensidades, permitiu o aumento de produção.

Carvalho (2013), avaliando a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em condições de irrigação com déficit relata que o déficit hídrico nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro nas fases fase I, vegetativa, tendo início após a emergência até o florescimento e fase II, do florescimento até a maturação fisiológica dos grãos, não interferiu na produtividade de grãos estatisticamente.

2.5 Uso de água residuária na agricultura

“A busca por fontes alternativas de água para a agricultura torna o uso de efluentes de esgotos tratados na agricultura uma estratégia importante para atingir a sustentabilidade” (CUBA et al., 2015).

Oliveira (2012) destaca as causas do aumento do uso da água residuárias para a irrigação de culturas nos últimos anos, entre elas estão a dificuldade de identificação de fontes alternativas de água para irrigação; elevado custo de fertilizantes; aceitação cultural da água residuária na agricultura; uso racional da água bruta; diminuição da poluição no meio ambiente; menor descarte do efluente líquido das estações de tratamento em corpos d'água; significativa melhora na produção agrícola, entre outros.

Com a ampliação das áreas irrigadas e a escassez hídrica em algumas regiões, o emprego de águas residuárias na agricultura, passou a ser uma excelente opção de fonte de água e nutrientes. O principal pretexto para a preferência da irrigação com águas tratadas de esgoto, mesmo quando se conta com outras fontes, é a grande quantidade de nutrientes, podendo eliminar ou diminuir a fertilização com adubos químicos, diminuindo, além disso, os custos de produção (PLETSCH, 2012).

O reúso da água na agricultura é extremamente importante para a gestão dos recursos hídricos, sendo que o poder depurador do solo é muito maior que o poder depurador das águas, pois o solo funciona como filtro, além de promover a decomposição da matéria orgânica ainda presente em efluentes tratados (BERTONCINI, 2008).

Cuba et al. (2015) afirmam que a segurança da reutilização dessas águas residuárias para fins de irrigação é motivo de cautela. O uso de resíduos em solos deve ser constantemente monitorado, para que não haja contaminação do sistema solo-água-planta (BERTONCINI, 2008). O emprego de água residuária na agricultura deve ser devidamente administrado e tecnicamente planejado, com precauções, não só na constituição de efluente utilizado, como no método de irrigação aplicado, seus mecanismos, condições de segurança à saúde dos trabalhadores, assim como no controle de impactos e viabilidade técnica (TELLES; GÓIS, 2013).

Braga e Lima (2014) dizem que para uso da água residual na irrigação deve-se considerar uma série de fatores relacionados ao meio ambiente e à atividade agrícola empregada. Particularmente, a demanda de água pelas plantas, manejo da irrigação e drenagem do solo. Quanto às práticas de irrigação, o uso de sistemas de irrigação

que não molham a parte aérea das plantas, como se observa no gotejamento, podem reduzir os riscos de contaminação da produção por microrganismos patogênicos.

Em vários estudos científicos, a utilização da água de reúso de origem doméstica para irrigação comprova o seu efeito benéfico sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas. Uma das problemáticas na utilização da água de reúso é a grande variabilidade de suas características físico-químicas e microbiológicas (BRESSAN, 2015).

Ao mesmo tempo em que a presença de nutrientes no esgoto favorece sua aplicação na agricultura, para que se obtenha o melhor desempenho no desenvolvimento da cultura irrigada, precisa-se ter controle das concentrações e da presença de outras substâncias, como os sais e os sólidos dissolvidos, as substâncias inorgânicas, os agentes tóxicos, os macronutrientes, nitrogênio, fósforo, entre outros (TELLES; COSTA, 2010).

O aumento da salinidade do solo pode ser considerado o risco potencial de maior importância quando se utilizam águas residuárias, já que, em longo prazo, acarreta uma série de efeitos fisiológicos nas plantas cultivadas, e consequentemente redução da produtividade (BONINI et al., 2014).

O principal risco está na probabilidade de contaminação das plantas irrigadas e do solo pelos micro-organismos patogênicos, ocasionalmente presentes nos efluentes tratados (conforme o tratamento a que os referidos foram submetidos anteriormente à seu emprego) (CUBA, 2015).

As normas vigentes para a reutilização de efluentes apontam os padrões de qualidade microbiológica e os tratamentos mínimos requeridos para os efluentes de acordo com o tipo de cultura a ser irrigada e, por vezes, com o método de irrigação empregado (PERIN, 2006). Costa et al. (2012) dizem que o emprego de água proveniente de reúso é diferenciado para irrigação de plantas não comestíveis (silvicultura, pastagens, fibras e sementes) e comestíveis (nas formas cruas e cozidas), carecendo estas de um nível maior de qualidade.

A seleção de culturas visa à proteção dos consumidores, principalmente na irrigação restrita e irrigação irrestrita. A seleção do método de irrigação visa à proteção dos agricultores e consumidores, uma vez que os diferentes métodos (inundação, sulcos, aspersão, gotejamento e irrigação superficial), potencializam ou minimizam o contato entre as águas residuárias, as plantas, os agricultores e mesmo o público circunvizinho (OLIVEIRA; RIBEIRO, 2013).

2.6 Efeito do uso da água residuária na produtividade do feijoeiro

Pesquisas variadas, com o uso de água residuária em diversas culturas agrícolas foram realizadas até hoje, investigando o efeito ocasionado no crescimento, desenvolvimento e produção das plantas cultivadas, onde observar-se resultados promissores. Entretanto poucos trabalhos são encontrados com a cultura do feijoeiro.

Feitosa et al. (2015) analisando o crescimento do feijão-caupi irrigado com diferentes concentrações de efluente tratado e de água salina, concluíram que a aplicação de 100% água de reúso proporcionou melhores desempenhos nas plantas, e foram economizados 611,7 m³ de água potável durante o cultivo do feijoeiro.

Souza et al. (2015) estudando a influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro, verificaram 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. E afirmam que no caso do feijoeiro a utilização de 50% da adubação recomendada ou de uma porcentagem menor (25%) permite a obtenção de elevada produtividade (>3500 kg ha⁻¹) que pode ser economicamente satisfatória.

Castro et al. (2016) observou em seu experimento, que a utilização de efluente proveniente de um sistema de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização, para a irrigação do feijão-caupi serviu como aporte nutricional, apesar disso, os autores concluíram que com o tempo o solo apresentará balanceamento nutricional e estrutural desequilibrado, devido o uso dessa água residuária a longo prazo nesse solo, pela mesma apresentar valores crescentes de sódio.

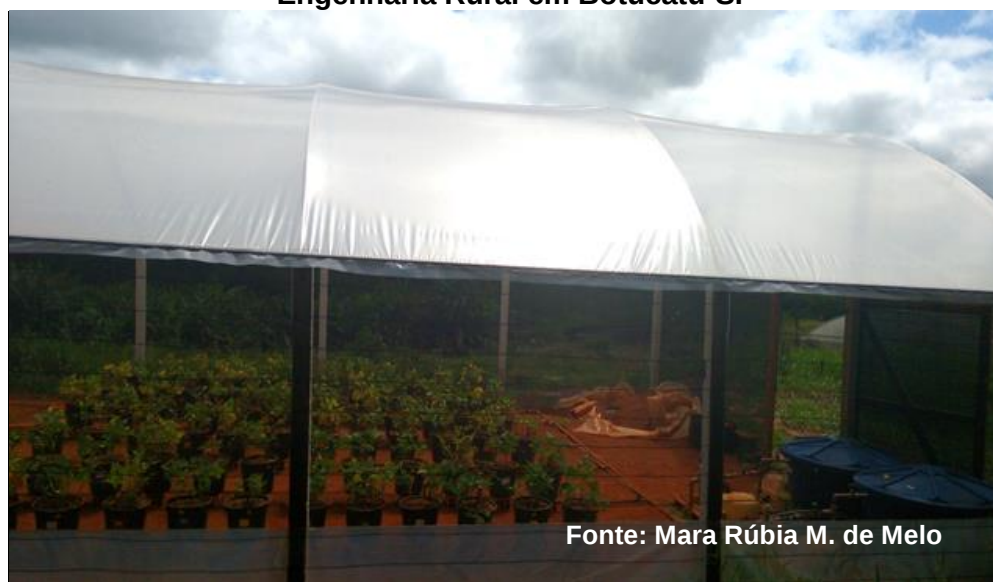
Gomes (2016) na aplicação de água residuária e deficiência hídrica em espécies de interesse agrônomo, diz que a água residuária contém nutrientes suficientes para atender à necessidade nutricional do feijoeiro em relação ao tratamento controle, e que os nutrientes fornecidos pela água residuária promoveram incremento na nutrição da planta, fertilidade do solo e produtividade das plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O trabalho foi realizado na Fazenda Experimental Lageado (Figura 1) em estufa instalada, no Departamento de Engenharia Rural, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP, que se encontra a aproximadamente 765 m de altitude, com as coordenadas geográficas 22°51'05.94" de latitude Sul e 48°25'46.85" de longitude Oeste. O experimento foi conduzido de junho a dezembro de 2016.

Figura 1 - Vista lateral da área experimental no Departamento de Engenharia Rural em Botucatu-SP



3.2 Clima

O clima da região, segundo o método de Köppen, é do tipo Cfa, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com deficiências hídricas nos meses de abril, julho e agosto, e o período chuvoso se concentra nos meses de primavera-verão, apresentando índices relativamente elevados (precipitação média anual de 1.428 mm). A temperatura média anual é de 20,5°C, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

3.3 Condições experimentais

3.3.1 Cultivo Protegido

O experimento foi conduzido durante todo o ciclo em casa de vegetação com teto em arco, no sentido do comprimento 30 m, e com 7,0 m de largura, com pé-direito de 2,5 m, com as laterais fechadas com sombrite, com proteção lateral com plástico de 1 m de altura a partir do solo e cobertura de plástico difusor.

3.3.2 Caracterização do Solo

3.3.2.1 Características química e física

O solo utilizado para o experimento foi proveniente da Fazenda Experimental Lageado, coletado na unidade patrulha de textura média (FCA/UNESP), classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa (EMBRAPA, 2013).

A porção de solo coletada para montagem do experimento foi seca ao ar e passada em peneira de 4 mm. Para a caracterização físico-química, foi retirada uma amostra de solo, que, em seguida, foi encaminhada ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP – Botucatu, SP, para a realização das análises de acordo com a metodologia de análises descrita por (RAIJ et al., 2001). Os resultados dessas análises antes da instalação do experimento estão apresentados no (Quadro 3).

Quadro 3 - Atributos físico-químicos do solo utilizado determinados pelo Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP – Botucatu-SP.

pH	M.O.	P resina	Na	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ²	g/dm ³	mg/dm ³				mmolc/dm ³				%
3,69	29	5	0,22	70	0,46	2,60	0,93	3,99	74	5,4
B			Cu		Fe		Mn		Zn	
					mg/dm ³					
	0,24		1,2		59,6		1,83		0,50	
Areia			Silte		Argila				Textura do Solo	
			g.dm ⁻³						Média	
	652		57			291				

Após o resultado da análise do solo, calculou-se a necessidade de calcário dolomítico para elevar o V% a 70% conforme a recomendação de IAC (RAIJ et al., 1996).

3.3.2.2 Curva de retenção de água do solo

Obteve-se no Laboratório de Física de Solo FCA/UNESP em Botucatu-SP, a curva de retenção de água no solo. Utilizando-se o método da câmara de pressão de Richards, foi determinado o conteúdo de água no solo para os pontos 10, 30, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa (Quadro 4 e Figura 2).

Quadro 4 - Conteúdo de água no solo para os pontos

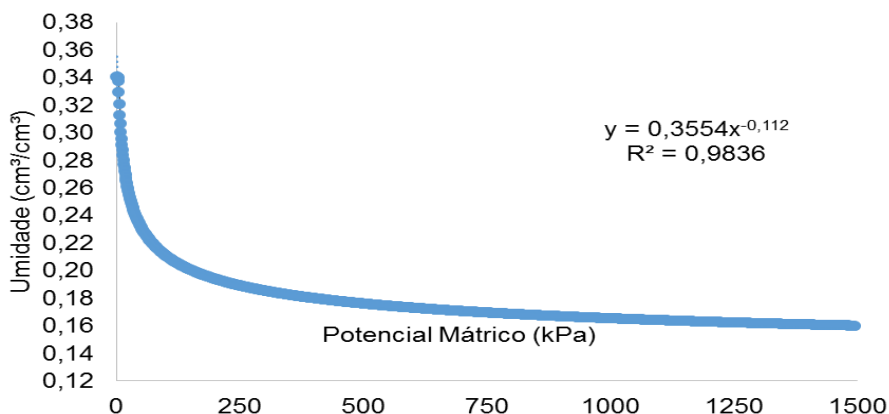
	Tensão (KPa)							Densidade do solo (kg/dm ³)
	Saturado	10	30	50	100	300	500	1500
%	40,00	34,0	33,0	30,0	25,0	21,0	18,0	16,0
								1,51

Os pontos foram modelados no software SWRC versão 3.0 de Dourado Neto et al. (1995) para gerar os parâmetros de α , n , m , θ_r e θ_s (Quadro 5). Depois, para ajuste da curva de retenção aplicou-se o modelo proposto por Van Genuchten (1980).

Quadro 5 - Parâmetros do modelo de Van Genuchten para camada 0 a 0,20 m de solo

Camada (m)	θ_r (cm ³ cm ⁻³)	θ_s (cm ³ cm ⁻³)	α (cm ⁻¹)	M	n
0 - 0,20	0,117	0,34	0,1955	0,023	12,22

Figura 2 - Curva de retenção de água do solo



3.3.3 Adubação

A adubação foi realizada de acordo com os resultados da análise do solo e recomendação para atender à necessidade da cultura do feijoeiro conforme a recomendação de adubação de IAC (RAIJ et al., 1996). Todas as parcelas foram adubadas igualmente no plantio e nas três adubações de cobertura realizadas.

3.3.4 Cultivares

Foram utilizadas duas cultivares de feijão carioca, sendo uma de ciclo precoce IAC Imperador e uma de ciclo normal TAA Dama (Quadro 6).

Quadro 6 – Características das cultivares de feijão comum utilizadas no experimento.

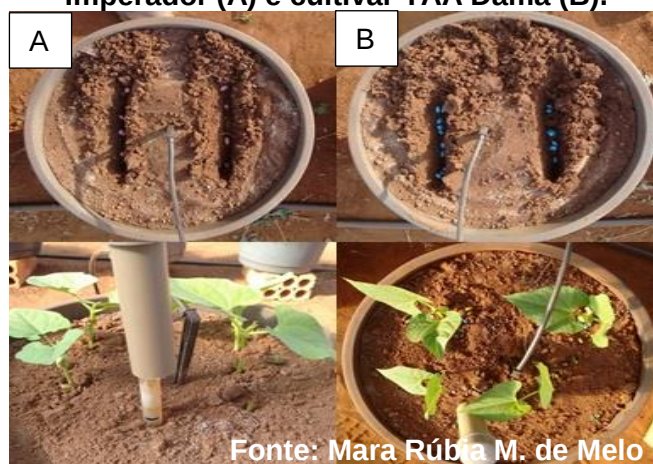
	Ciclo	Porte	Hábito de Crescimento	Peso de 100 grãos
IAC Imperador	75	Ereto	Determinado (Tipo I)	27 g
TAA Dama	90	Prostrado	Indeterminado (Tipo III)	28 g

Fonte: IAC e Seprotec.

3.3.5 Plantio

A semeadura foi realizada em vasos plásticos contendo 14,5 kg de solo com semelhante teor de água (Figura 3). O solo do experimento foi peneirado e colocado no interior da estufa, em um plástico para que secasse ao ar antes do enchimento dos vasos.

Figura 3 - Semeadura do feijão em déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária, cultivar IAC Imperador (A) e cultivar TAA Dama (B).



Fonte: Mara Rúbia M. de Melo

Depois de cheios, os vasos foram pesados, com a finalidade de uniformizar o peso de solo. Foram semeadas dez sementes por vasos, para garantir o número de plantas desejado, foram mantidas, até o momento do aparecimento da primeira folha trifoliolada (V3), quando então foi realizado o raleio, mantendo-se quatro plantas por vaso. Foram retiradas plantas durante o experimento para as avaliações de massa de matéria seca e fresca, no final do experimento restaram apenas duas plantas por vaso para as avaliações finais. Sempre que necessário, foram retiradas as plantas invasoras de forma manual.

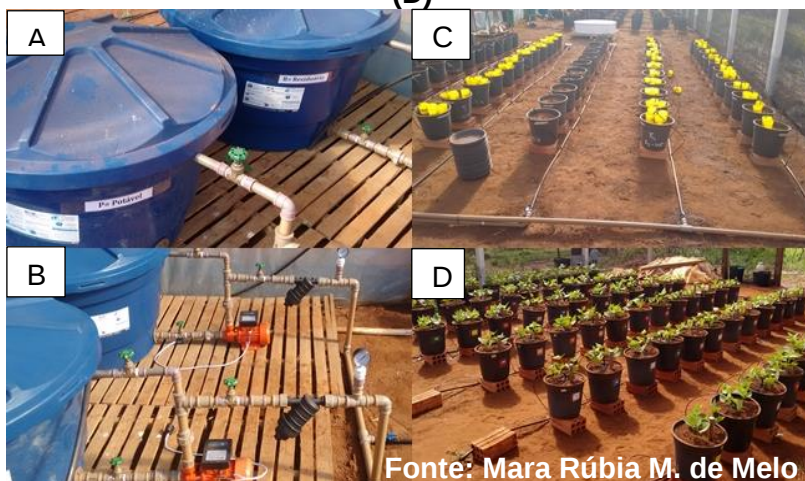
3.3.6 Sistema de irrigação

O fornecimento de água às plantas foi realizado via irrigação localizada por gotejamento, através de dois sistemas independentes, sendo um para cada parcela experimental das diferentes águas utilizadas (Figura 4).

O sistema foi composto por duas caixas de água com capacidade de armazenamento de 500 litros, dois conjuntos de motor-bomba, duas linhas principais, com três linhas laterais, com 12 gotejadores autocompensados com fluxo de 2 L h^{-1} .

Após a instalação do sistema de irrigação foi realizada a avaliação da uniformidade de distribuição de água para cada sistema independente, usando a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975). De posse dos valores das vazões, medidos em cada emissor, calculou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) do sistema de irrigação, que foi de 98,0%.

Figura 4 – Sistema de Irrigação com uma caixa para cada água (A), sistemas independentes (B), teste de uniformidade (C) e seis linhas laterais com os gotejadores (D)



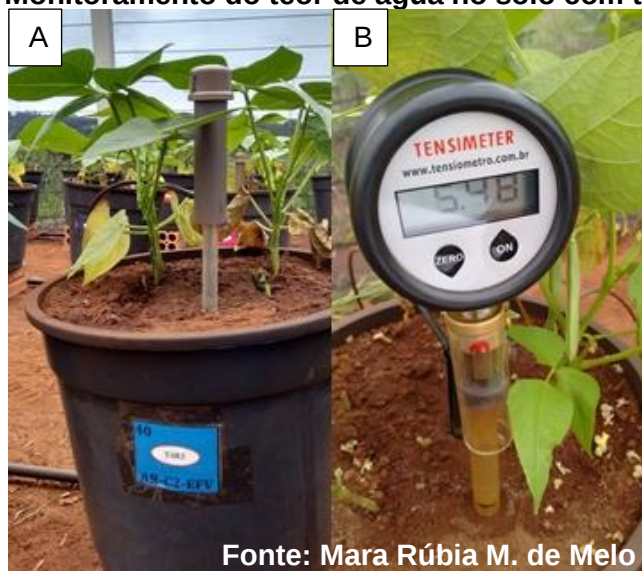
Fonte: Mara Rúbia M. de Melo

3.3.7 Monitoramento da Irrigação

O manejo de irrigação adotado visou manter o teor de água no solo em capacidade de campo (CC). O monitoramento do teor de água no solo foi realizado no período da manhã (8 a 10 h) para determinar quanto irrigar.

Foram instalados 3 tensiômetros por tratamentos, a 0,15 m de profundidade (Figura 5 A). E com o auxílio dos tensiômetros e um tensímetro digital (Figura 5 B), em concordância com a curva de retenção de água no solo, a lâmina a ser aplicada em ml era determinada.

Figura 5 - Monitoramento do teor de água no solo com tensiômetro



Fonte: Mara Rúbia M. de Melo

Todos os tratamentos receberam irrigação diária até o início do primeiro estresse.

As plantas dos tratamentos estressados, durante as fases de desenvolvimentos vegetativo (V2) e reprodutivo (R5), foram submetidas a dois ciclos de deficiência hídrica, através da interrupção da irrigação quando os potenciais de água atingiram entre -35kPa a -45kPa. Nesse momento, o solo foi irrigado até atingir a capacidade de campo, tendo início, a partir daí um novo ciclo de deficiência hídrica com a interrupção da irrigação.

Em todos os tratamentos a irrigação foi suspensa quando 50% das vagens estavam amareladas, para garantir a colheita.

3.3.8 Origem das Águas utilizadas no experimento

3.3.8.1 Água potável

A água potável foi proveniente da rede de abastecimento público de água do município de Botucatu/SP, operada pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo).

A água foi reservada em caixa d'água com capacidade para 500 L disposta no interior da estufa, cujo reabastecimento foi realizado de acordo com o volume utilizado na irrigação. Foi coletada uma amostra para análise e enviada para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA/UNESP – Botucatu/SP. Os resultados das análises encontram-se na Tabela 7.

Quadro 7 - Resultados da caracterização da água potável utilizada no experimento

N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	C.E.
----- mg /L -----													mS
3	0	14	15	2	0	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,82	0,043

Fonte: Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas FCA, UNESP.

3.3.8.2 Água residuária

A água residuária foi coletada na Estação de Tratamento de Esgoto da SABESP, na saída da estação, localizada na Fazenda Experimental Lageado - FCA/UNESP – Botucatu/SP, e foi conduzida até a área experimental por um tanque e armazenada numa caixa com 5000 litros de capacidade para ser utilizada durante este experimento. Foi recolhido 1 L de amostra da água em frasco esterilizado e levada ao Laboratório no Departamento de Química e Bioquímica no Instituto de Biociências – IBB/UNESP – Botucatu/SP.

Os parâmetros físico-químicos foram avaliados na água residuária. A metodologia analítica utilizada em todas essas análises foi de acordo com os métodos recomendados pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Os resultados das análises encontram-se na Tabela 8.

Foram realizadas análises microbiológicas da água após a chegada ao reservatório principal. A técnica utilizada para essa análise, a dos Tubos Múltiplos, de acordo com a portaria do Ministério da Saúde, N° 2.914 de 12 de dezembro de 2011.

Quadro 8 - Resultados da caracterização físico-química da água de reuso utilizada.

Unidades	Parâmetros	Resultado
NTU	Turbidez	1,33
mg L ⁻¹	Sólidos totais	173
-	pH	7,47
mg CaCO ₃ L ⁻¹	Dureza total	56
mg CaCO ₃ L ⁻¹	Dureza cálcica	42
mg CaCO ₃ L ⁻¹	Dureza de magnésio	11,76
mg L ⁻¹ C	Cloreto	64,67
mg L ⁻¹	Sulfato	<0,001
mg L ⁻¹	Fluoreto	0,008
uS/cm	Condutividade Elétrica	634,6
mg L ⁻¹ P	Fósforo total	15,03
mg L ⁻¹	Nitrato	0,083
mg L ⁻¹	Nitrito	0,312
mg L ⁻¹	Demanda química de oxigênio	251,5
mg L ⁻¹	Demanda bioquímica de oxigênio	2,33
mg L	Oxigênio dissolvido	2,51
mg L ⁻¹	Nitrogênio	17
mg L ⁻¹	Fósforo	6
mg L ⁻¹	Potássio	20
mg L ⁻¹	Cálcio	15
mg L ⁻¹	Magnésio	3
mg L ⁻¹	Enxofre	10
mg L ⁻¹	Sódio	47,10
mg L ⁻¹	Boro	0,37
mg L ⁻¹	Cobre	0,00
mg L ⁻¹	Ferro	0,36
mg L ⁻¹	Manganês	0,18
mg L ⁻¹	Zinco	0,02

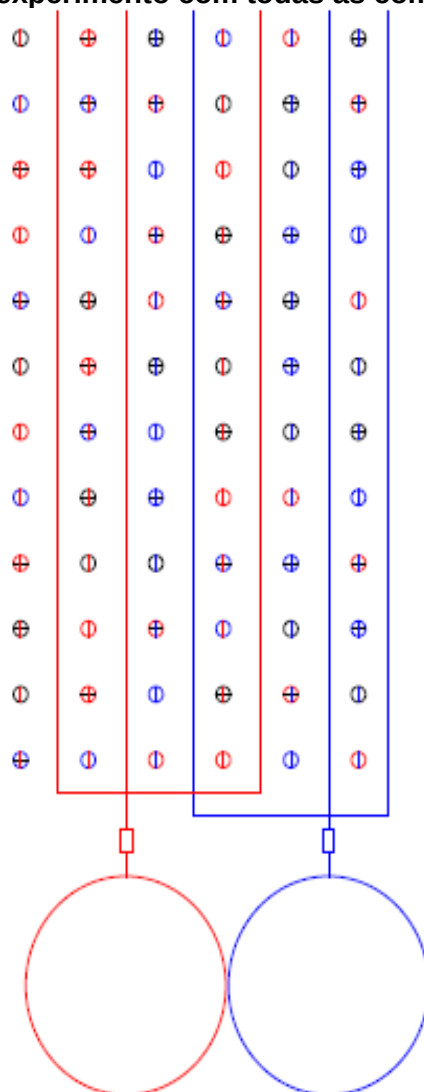
3.4 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2x3. O primeiro fator foram dois tipos de água para irrigação, potável (P) e residuária (R), o segundo duas cultivares de feijão sendo uma de ciclo precoce IAC imperador (C1) e uma de ciclo normal TAA Dama (C2), e o terceiro foram os regimes hídricos empregados: a) Testemunha: onde as plantas foram irrigadas diariamente, durante todo o ciclo, mantendo-se o solo na capacidade de campo, cujo valor foi -10kPa, correspondente ao teor de água no solo, obtido da curva de retenção de água no solo; b) Estresse 1: com deficiência hídrica na fase vegetativa; e c) Estresse 2: deficiência hídrica na fase reprodutiva, perfazendo um total de doze tratamentos com seis repetições.

Neste caso, cada repetição e/ou unidade experimental foi representada por um vaso, totalizando setenta e duas unidades experimentais, que foram identificadas (Figura 8). A distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais seguiu o

princípio da aleatorização. Todas as combinações do fatorial podem ser observadas no croqui do experimento (Figura 7).

Figura 6 - Croqui do experimento com todas as combinações do fatorial



Legenda:

- ⊕ Água residuária com cultivar precoce e sem deficiência hídrica
- ⊕ Água residuária com cultivar precoce e deficiência hídrica na fase vegetativa
- ⊕ Água residuária com cultivar precoce e deficiência hídrica na fase reprodutiva
- ⊖ Água residuária com cultivar normal e sem deficiência hídrica
- ⊖ Água residuária com cultivar normal e deficiência hídrica na fase vegetativa
- ⊖ Água residuária com cultivar normal e deficiência hídrica na fase reprodutiva
- ⊕ Água potável com cultivar precoce e sem deficiência hídrica
- ⊕ Água potável com cultivar precoce e deficiência hídrica na fase vegetativa
- ⊕ Água potável com cultivar precoce e deficiência hídrica na fase reprodutiva
- ⊖ Água potável com cultivar normal e sem deficiência hídrica
- ⊖ Água potável com cultivar normal e deficiência hídrica na fase vegetativa
- ⊖ Água potável com cultivar normal e deficiência hídrica na fase reprodutiva

Figura 7 – Tratamentos identificados nos vasos na casa de vegetação feijão com 27 DAG



Fonte: Mara Rúbia M. de Melo

3.5 Monitoramento das condições ambientais

Foram registrados os dados de temperatura e umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido durante todo período experimental, através de um Termo Higrômetro Digital (Quadro 9).

Quadro 9 – Médias das temperatura e umidade relativa do ar no interior do ambiente protegido durante todo período experimental

	Médias		
	Máxima	Mínima	Média
Temperatura °C	39,19	14,87	27,03
Umidade relativa do ar (%)	88,37	26,43	57,4

3.6 Parâmetros avaliados

3.6.1 Avaliação de crescimento e de biomassa

Para avaliação de crescimento, foram utilizadas 6 plantas por tratamento, sendo uma planta por repetição, e foram avaliadas nos dias 10, 25, 40, 55 e 70 dias após a germinação (DAG). Já para a biomassa foram utilizadas 3 plantas por tratamento. E foram avaliadas nos dias 10, 40 e 70 DAG.

3.6.1.1 Altura das plantas

As plantas foram medidas com auxílio de uma fita métrica graduada em cm, a partir do nível do solo até o ápice da planta.

3.6.1.2 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule foi medido à um centímetro do nível do solo no colo da planta com auxílio de um paquímetro digital (mm).

3.6.2 Avaliação de biomassa vegetal

Para cada avaliação foram verificadas a massa da matéria fresca (MMF) e massa da matéria seca (MMS) total expressa em g planta⁻¹. A MMF foi determinada assim que a planta foi coletada na casa de vegetação; já para MMS as plantas foram mantidas em sacos de papel e em seguida levadas para a estufa com circulação de ar forçado à 50°C ± 5 até atingirem o peso constante.

3.6.3 Análises do tecido vegetal e grãos

As análises dos nutrientes em tecido vegetal e grãos foram realizadas ao final do experimento.

3.6.3.1 Tecido vegetal

Na análise de nutrientes foram selecionadas três plantas por tratamento. As amostras foram embaladas em sacos de papel e levadas a estufa à 50 °C até o peso constante. Depois, as amostras foram moídas e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da FCA/UNESP – Botucatu/SP, para determinar macronutrientes e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) de acordo com Malavolta et al. (1997).

3.6.3.2 Grãos

Para análise de nutrientes em grãos, foi realizada amostragem (5 g) de três plantas por tratamento. Em seguida, os grãos foram triturados e embalados em saco de papel. Depois, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da FCA/UNESP – Botucatu/SP, para determinação de

macronutrientes e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) segundo Malavolta et al. (1997).

Também foi feita análise microbiológica dos grãos, no Laboratório de Água do Departamento de Engenharia Rural da UNESP-FCA – Botucatu/SP. A metodologia utilizada foi com substrato Colilert®, que é um método rápido para a enumeração de coliformes e *E. coli*, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

3.6.4 Análise química do solo

Após a colheita foram coletadas três amostras de todos os tratamentos para análise de fertilidade. As análises químicas do solo foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da FCA, no Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, da FCA/UNESP – Botucatu/SP, de acordo com a metodologia de análises descrita por Raij et al. (2001).

3.6.5 Parâmetros de rendimento da cultura

Os parâmetros de rendimento da cultura foram avaliados após a colheita, sendo coletados em duas plantas de todas as parcelas para os seguintes caracteres. A debulha foi feita manualmente e a determinação da umidade dos grãos, para as avaliações foi corrigida para 13%.

3.6.5.1 Número de vagens por planta (NVP)

Foi coletado o número de vagens de plantas individuais da parcela.

3.6.5.2 Comprimento da vagem (CV)

Média de três vagens tomadas de cada planta da parcela, expresso em centímetros (cm).

3.6.5.3 Número de grãos por vagem (NGV)

Média do número de grãos de três vagens tomadas de cada planta da parcela.

3.6.5.4 Número total de grãos por planta (NTGP)

Fez-se a separação dos grãos da vagem e realizou-se a contagem do total de grãos presente em cada planta.

3.6.5.5 Massa total de vagem com grãos (MVG)

Peso de vagens de cada planta da parcela, expresso em gramas (g).

3.6.5.6 Massa de cem grãos (MCG)

Peso de 100 grãos, tomadas de cada parcela, expresso em gramas (g).

3.6.5.7 Produtividade (PROD)

Estimou-se a produtividade para kg ha^{-1} , utilizou-se a densidade populacional de 200 mil plantas ha^{-1} para cada tratamento.

3.6.6 Eficiência do uso da água (EUA)

A eficiência do uso da água (EUA) foi calculada relacionando a produção de grãos (PG) e a lâmina de água aplicada (GEERTS; RAES, 2009).

3.7 Análise estatística

Para comparar e interpretar os resultados, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizado o programa estatístico computacional Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2016), sistema para Análise de Variância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições experimentais

4.1.1 Condições ambientais

As temperaturas e umidades máxima, mínima e média, registrada durante o experimento estão respectivamente nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Registros de temperatura máxima, mínima e média ao longo do experimento

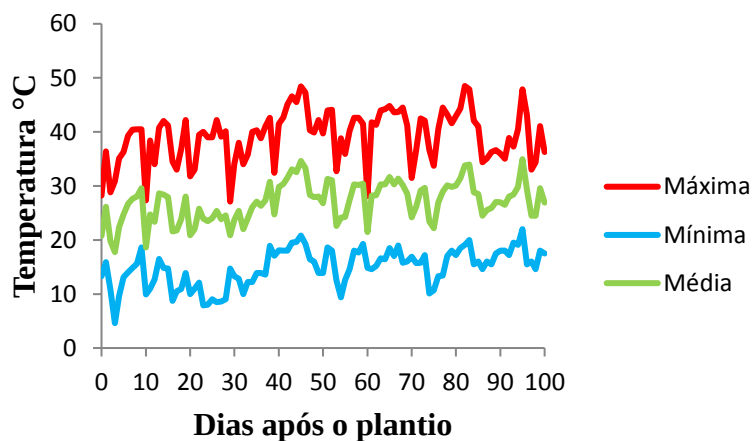
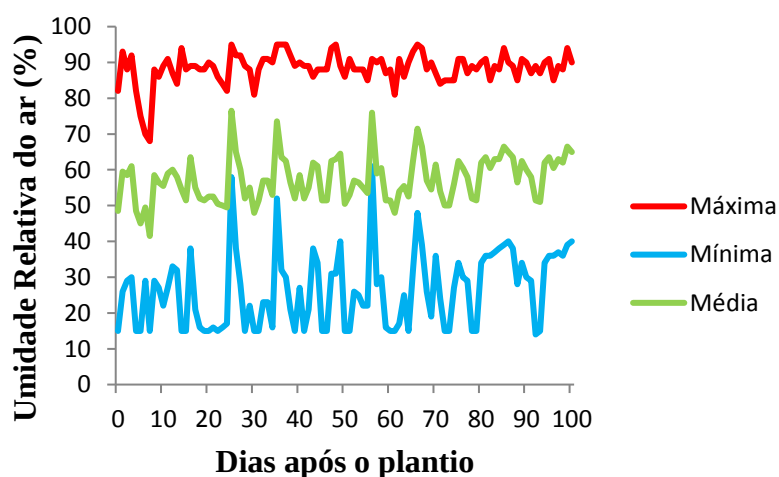


Figura 9 - Registros de umidade relativa do ar ao longo do experimento



As médias das temperaturas, no geral, ficaram com máxima de 39,19, mínima de 14,87 e média de 27,03. Já as umidades, no geral, ficaram com máxima de 88,37, mínima de 26,43 e média de 57,4. A temperatura média ideal para o cultivo do feijão

na América Latina varia de 17,5 a 25°C, procurando-se sempre o planejamento da semeadura para que a época de floração coincida com temperaturas próximas a 21°C (MARIOT, 1989 apud VIEIRA et al., 2006).

4.1.2 Qualidade da água de irrigação agrícola

A aplicação de águas residuárias na irrigação agrícola demanda cuidado e monitoramento em relação a sua composição, pois pode conter elementos benéficos ou não, às culturas. Vale advertir que dependendo do componente encontrado na água, este pode vir a afetar de maneira negativa o sistema de irrigação, implicando em perdas de produtividade (KUMMER et al. 2012).

Os resultados da caracterização físico-química da água residuária foram comparados com os parâmetros para avaliação da água de irrigação proposto pela FAO, dentre os quais, apenas o teor de sódio apresentou valor acima dos limites estabelecidos Quadro 10.

Quadro 10 - Parâmetros para avaliação da água de irrigação com respectivos limites de tolerância – FAO e CONAMA 357/05

Parâmetros		Limites de Tolerância	Resultados
dS/m	CE- Condutividade Elétrica	< 0,7 até 3,0	0,63
	pH	6 até 8,5	7,47
	RAS	0 até 15	2,89
	Sódio	<3,0 a 9,0	47,10
	Nitrogênio	5,0 a 30,0	17,0
	Nitrato	até 10	0,083
mg/L ⁻¹	Ferro	≤ 5,0	0,36
	Zinco	≤ 2,0	0,02
	Manganês	≤ 0,20	0,18
	Cobre	≤ 0,20	0,00

Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1991) e Resolução CONAMA 357/05 citado por Reis et al. (2012).

Segundo recomendações de Richards (1954), o valor médio de CE encontra-se dentro dos valores aceitáveis, sendo classificados como água de média salinidade, sendo uma água Classe C2. Quanto a risco de sodicidade definido pelo mesmo autor, onde toma-se como base valores dos limites de RAS em função da CE, os valores obtidos na pesquisa se encaixam na classe S1 definida como água com baixa concentração de Sódio.

Quanto aos limites recomendados para águas de irrigação agrícola os valores encontrados nesse experimento, se enquadram no limite para uso da água por longos períodos, os valores do experimento foram para o Boro ($0,37 \text{ mg/L}^{-1}$); Cobre ($0,00 \text{ mg/L}^{-1}$); Ferro ($0,36 \text{ mg/L}^{-1}$); Manganês ($0,18 \text{ mg/L}^{-1}$); e Zinco ($0,02 \text{ mg/L}^{-1}$) Usepa (1999) e Crook (1993) citados por Blum (2003) e Kummer et al. (2012).

Ao analisar o risco de entupimento de gotejadores em função dos parâmetros químicos Ferro ($0,36 \text{ mg L}^{-1}$), Manganês ($0,18 \text{ mg L}^{-1}$) e pH (7,47) os valores fornecem risco moderado de entupimento, proposto por Gilbert e Ford (1986) citado por Mantovani et al. (2009).

A análise microbiológica da água residuária apresentou ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 ml de água. Essa ausência pode ter sido influenciada, devido essa água já estar armazenada na caixa durante um período, quando foi coleta a amostra para a análise. No grão do feijão também não se encontrou contaminação.

4.2 Avaliação de crescimento

Houve diferença estatística ($p \leq 0,01$) para a variável altura das plantas, na primeira avaliação 10 DAG, somente para o fator cultivar. Na segunda avaliação 25 DAG observou-se diferença ($p \leq 0,05$) para os fatores cultivar e estresse hídrico. Já na terceira avaliação 40 DAG, essa diferença foi observada somente com o estresse hídrico ($p \leq 0,05$). Na quarta 55 DAG e quinta avaliação 70 DAG essa diferença estatística ($p \leq 0,01$) ocorreu nos três fatores envolvidos. Houve ainda interação ($p \leq 0,01$) entre os fatores AxC e Ax E, e uma interação tripla AxCxE ($p \leq 0,01$) entre os três fatores estudados para a última avaliação (Tabela 1).

Para o diâmetro do caule, na primeira avaliação 10 DAG houve apenas diferença significativa ($p \leq 0,05$) para cultivar, como ocorreu para a altura. Na segunda 25 DAG observou-se diferença ($p \leq 0,05$) para o fator estresse hídrico. Para a terceira avaliação 40 DAG foi significativo para os fatores cultivar e estresse hídrico. Nas duas últimas avaliações 55 e 70 DAG houve diferença significativa ($p \leq 0,01$) para o fator estresse hídrico. Não ocorreu interação entre os fatores estudados para essa variável (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância para alturas das plantas e diâmetro do caule, realizado ao longo do experimento de déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Causas de Variação	Alturas (DAG)				
	10	25	40	55	70
Água (A)	0,00 ns	0,22 ns	5,83 ns	696,88 **	1942,72 **
Cultivar (C)	32,00 **	4,01 *	1,83 ns	2369,01 **	19338,88 **
Estresse (E)	0,00 ns	4,15 *	176,16 **	1159,90 **	792,72 **
A*C	0,00 ns	0,68 ns	2,53 ns	512,00 **	1820,05 **
A*E	0,00 ns	0,58 ns	3,34 ns	274,81 **	1301,72 **
C*E	0,00 ns	0,89 ns	4,76 ns	78,85 ns	166,05 ns
A*C*E	0,00 ns	1,94 ns	7,54 ns	5,65 ns	730,72 **
CV%	13,36	13,05	19,78	20,35	19,31
	Diâmetro do caule (DAG)				
	10	25	40	55	70
Água (A)	0,00 ns	0,00 ns	0,05 ns	0,11 ns	0,45 ns
Cultivar (C)	0,98 *	0,45 ns	0,94 *	0,31 ns	0,20 ns
Estresse (E)	0,00 ns	0,59 *	1,93 **	4,82 **	3,41 **
A*C	0,00 ns	0,01 ns	0,00 ns	0,90 ns	0,42 ns
A*E	0,00 ns	0,18 ns	0,28 ns	0,83 ns	0,70 ns
C*E	0,00 ns	0,06 ns	0,32 ns	0,10 ns	0,01 ns
A*C*E	0,00 ns	0,31 ns	0,00 ns	0,17 ns	0,10 ns
CV%	13,19	11,46	9,62	12,35	12,01

**Efeito significativo a 1% de probabilidade. *Efeito Significativo a 5% de probabilidade. ns Efeito não significativo, pelo teste Tukey;

Na Tabela 2 são apresentadas as médias das alturas das plantas avaliadas durante o experimento em função do tipo de água. Verificou-se que a água potável apresentou as maiores médias de altura de planta nas duas últimas avaliações.

Resultados contrários foram encontrados por outros pesquisadores. Airllys et al. (2013) em trabalho com a realização da irrigação com efluente tratado, juntamente com aplicação de cinzas de bagaço de cana de açúcar, na cultura do feijão-caupi, observou desenvolvimento significativo nas variáveis altura caular e diâmetro caular em relação às plantas irrigadas com água de poço.

Andrade et al. (2012) estudando a qualidade de flores de girassóis ornamentais irrigados com águas residuária e de abastecimento, afirmam que a água residuária se mostrou significativamente superior para as variáveis de altura de planta e diâmetro

de caule. Rodrigues et al. (2009) afirmou que o crescimento da mamoneira é favorecido pela irrigação com a água residuária de origem doméstica.

Tabela 2 - Valores médios das alturas das plantas e diâmetros do caule realizado ao longo do experimento, para as duas águas 'Residuária' e 'Pótavel'. Botucatu - 2017

Dias após a germinação	Residuária		Pótavel	
10	5,25	a	5,25	a
25	7,38	a	7,27	a
40	11,98	a	12,55	a
55	26,26	b	32,48	a
70	36,52	b	46,91	a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Em relação ao fator cultivar, analisou-se que a cultivar normal TAA Dama obteve as maiores médias de altura durante o experimento, sendo a última avaliação 58,11 cm. Para o diâmetro do caule, considerou-se que, na maioria das avaliações, não houve diferença, sendo que a média das duas cultivares na última avaliação ficou em torno de 4,21 mm. As médias da altura das plantas e diâmetro do caule para o fator cultivar estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios da altura das plantas e diâmetro do caule realizado ao longo do experimento, para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu – 2017

Dias após a germinação	Altura				Diâmetro			
	cm				mm			
	IAC Imperador		TAA Dama		IAC Imperador		TAA Dama	
10	4,58	b	5,91	a	2,70	b	2,93	a
25	7,09	b	7,56	a	3,34	a	3,18	a
40	12,43	a	12,11	a	3,92	a	3,69	b
55	23,63	b	35,11	a	4,34	a	4,21	a
70	25,33	b	58,11	a	4,27	a	4,16	a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Quanto às médias da altura das plantas e diâmetro do caule na (Tabela 4) analisou-se que os estresses hídricos interferiram nas variáveis, onde médias menores foram encontradas no estresse hídrico na fase vegetativa para ambos. A testemunha foi semelhante ao estresse hídrico, na fase reprodutiva, para as duas variáveis.

Tabela 4 - Valores médios da altura das plantas e diâmetro do caule realizado ao longo do experimento, para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017

Altura cm						
Dias após a germinação	Testemunha		Fase vegetativa		Fase reprodutiva	
10	5,25	a	5,25	a	5,25	a
25	7,60	a	6,85	b	7,54	a
40	14,27	a	9,18	b	13,35	a
55	33,66	a	21,35	b	33,10	a
70	43,08	a	35,41	b	46,66	a

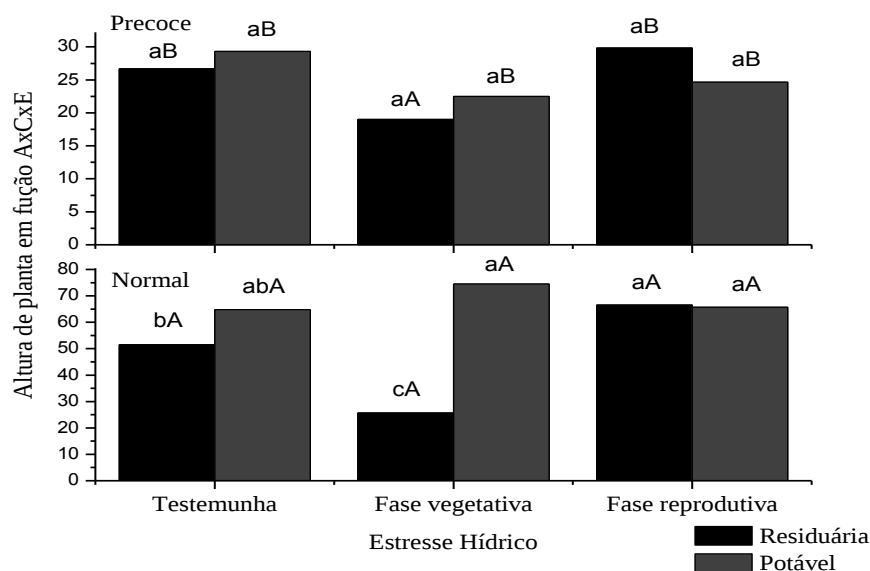
Diâmetro mm						
Dias após a germinação	Testemunha		Fase vegetativa		Fase reprodutiva	
10	2,82	a	2,82	a	2,82	a
25	3,39	a	3,09	b	3,31	ab
40	3,93	a	3,48	b	4,01	a
55	4,48	a	3,76	b	4,59	a
70	4,41	a	3,78	b	4,45	a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

No desdobramento da interação entre os três fatores para a altura das plantas aos 70 DAG (Figura 10), verifica-se que, dentro das cultivares, houve influência das águas e dos estresses, sendo a cultivar normal TAA Dama a que apresentou melhor desempenho. Em relação às águas e estresse, não diferiram na cultivar precoce IAC Imperador, mas o efeito dos mesmos foi dependente na cultivar normal TAA Dama, onde a água residuária, associada com a fase vegetativa, foi inferior.

Catuchi et al., (2012) em trabalho com respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica, sob diferentes regimes hídricos, observaram que, em condições de restrição hídrica, a adubação potássica não interfere significativamente nos parâmetros fisiológicos e de crescimento da soja.

Figura 10 - Valores médios da altura das plantas aos 70 após a germinação, no feijoeiro em função do déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária.



Médias seguidas de letras iguais, acima da barra, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, entre as águas e estresses hídricos dentro de cada cultivar com letra minúscula, e entre as cultivares normal IAC Imperador e precoce TAA Dama com letras maiúsculas.

4.3 Avaliação de biomassa vegetal

Em relação à massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS), verificou-se, de acordo com análise de variância, Tabela 5 que para o fator água não houve efeito significativo para MMF, porém houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p > 0,01$) para MMS aos 40 e 70 DAG. Já para o fator cultivar, ocorreu o contrário, pois foi verificado efeito significativo para todas as avaliações de matéria fresca da parte aérea (MMF) e, para massa da matéria seca da parte aérea (MMS), ocorreu efeito significativo ($p > 0,01$) apenas para a primeira avaliação, aos 10 dias após a germinação. Para o fator estresse hídrico foi verificado efeito significativo a 1% de probabilidade ($p > 0,01$) para as duas últimas avaliações aos 40 e 70 DAG, tanto para MMF e MMS.

Aos 40 DAG foi encontrado efeito significativo para todas as interações na MMF, já para a MMS apenas foi encontrado para a interação entre cultivar e estresse hídrico. Na última avaliação, aos 70 DAG, houve interação entre água e estresse hídrico, e cultivar e estresse hídrico para MMF, e para MMS houve interação entre cultivar e estresse, e interação entre os três fatores estudados.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS), realizada ao longo do experimento, em função do déficit hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Causas de Variação	MMF			MMS		
	Dias após a germinação					
	10	40	70	10	40	70
Água (A)	0,00 ns	6,44 ns	1,27 ns	0,00 ns	4,25 **	4,31 **
Cultivar (C)	0,03 *	21,92 *	85,04 **	0,01 **	0,01 ns	0,03 ns
Estresse (E)	0,00 ns	239,49 **	105,72 **	0,00 ns	7,28 **	9,21 **
A*C	0,00 ns	15,85 *	3,444 ns	0,00 ns	0,01 ns	0,22 ns
A*E	0,00 ns	12,62 *	68,82 **	0,00 ns	0,14 ns	0,59 ns
C*E	0,00 ns	27,66 **	79,90 **	0,00 ns	0,58 *	4,41 **
A*C*E	0,00 ns	11,59 *	13,11 ns	0,00 ns	0,41 ns	2,53 **
CV%	4,80	21,49	17,07	5,04	23,32	21,28

**Efeito significativo a 1% de probabilidade. *Efeito Significativo a 5% de probabilidade. ns Efeito não significativo, pelo teste Tukey;

Os valores médios para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS), nas duas águas estudadas, podem ser observados na Tabela 6. Ocorreram diferenças significativas para as últimas avaliações de matéria seca da parte aérea (MMS), sendo que a água potável mostrou-se superior.

Tabela 6 - Valores médios para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS) para as duas águas 'Residuária' e 'Potável'. Botucatu - 2017

	Dias após a germinação	Residuária	Potável
MMF	10	1,66 a	1,66 a
	40	7,73 a	8,46 a
	70	13,62 a	13,29 a
MMS	10	0,23 a	0,23 a
	40	1,25 b	1,84 a
	70	2,28 b	2,88 a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Resultados diferentes foram encontrados por Feitosa et al. (2015), onde não ocorreu diferença na massa seca total (MST) de feijão-caupi nos tratamentos de 100% reúso e potável. Lacerda et al. (2011), na influência da irrigação com água residuária no desenvolvimento de feijão-de-porco, avaliações da fitomassa fresca e seca das partes aéreas, das raízes e totais das plantas do grupo de água oriunda da lagoa de

estabilização, revelaram valores estatisticamente superiores em relação aos demais grupos.

Constatou-se que na primeira avaliação 10 DAG para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS) a cultivar normal TAA Dama foi superior à precoce IAC Imperador. Para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) houve também diferença na segunda avaliação 40 DAG onde o resultado foi contrário, a cultivar precoce IAC Imperador foi superior, e na última, a avaliação não apresentou diferença estatística. Já para as avaliações de massa da matéria seca da parte aérea (MMS) aos 40 e 70 DAG não se observou diferença (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores médios para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS), para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu - 2017

	Dias após a germinação	IAC Imperador		TAA Dama	
MMF	10	1,64	b	1,69	a
	40	8,77	a	7,42	b
	70	12,43	a	12,11	a
MMS	10	0,22	b	0,25	a
	40	1,56	a	1,53	a
	70	2,56	a	2,61	a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As respostas observadas para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS) para os estresses hídricos estão dispostas na Tabela 8, para as avaliações aos 40 DAG, a testemunha obteve resposta igual ao estresse hídrico na fase reprodutiva para ambas. Para MMF aos 70 DAG, o estresse hídrico na fase vegetativa teve a menor média (10,85 g), e a testemunha com média (15,99 g), seguida da fase reprodutiva com (13,52 g). Na MMS aos 70 DAG os estresses hídricos foram iguais, e diferiram da testemunha.

Gomes et al. (2000) salientam que em condições de estresse hídrico, a biomassa da parte aérea e de seus componentes, e o índice de área foliar e a taxa de crescimento da culturas são reduzidas. O déficit hídrico afetou o rendimento do feijão-fava para a produção de vagens, grãos e matéria seca total (OLIVEIRA, 2012a).

Tabela 8 - Valores médios para massa da matéria fresca da parte aérea (MMF) e massa da matéria seca da parte aérea (MMS) para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017

	Dias após a germinação	Testemunha	Fase vegetativa	Fase reprodutiva
MMF	10	1,66 a	1,66 a	1,66 a
	40	10,01 a	3,64 b	10,64 a
	70	15,99 a	10,85 c	13,52 b
MMS	10	0,23 a	0,23 a	0,23 a
	40	1,79 a	0,78 b	2,06 a
	70	3,46 a	2,20 b	2,09 b

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

4.4 Análise de nutrientes em tecido vegetal e grãos

Na análise de variância conjunta dos dados de nutrientes no tecido vegetal (Tabela 9) verificou-se significância da água, nos nutrientes N, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn, Zn e Na, e não significância para P, S e Fe. Para o fator cultivar, apenas não houve diferença para os nutrientes P, B e Fe, e significativo para os nutrientes N, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Zn e Na. Já para o fator estresse hídrico os nutrientes, N, P, K, Ca, S, B, Mn e Zn foram significativos, e não significativo para Mg, Cu, Fe e Na. Ocorreu ainda interação tripla para os nutrientes P, K, Mg, S, B e Zn.

Na Tabela 10, observam-se as médias dos nutrientes no tecido vegetal em função das águas utilizadas. A água residuária obteve médias maiores dos nutrientes N, K, Ca, Mg, B, Mn, Zn e Na. A mesma supriu mais a planta, devido à água conter esses nutrientes que foram disponibilizados em maior quantidade. Rebouças et al. (2010) declaram que na ausência de adubação mineral, os solos irrigados com água residuária de esgoto doméstico tratado conseguem suprir as necessidades nutricionais do feijão-caupi.

Souza et al. (2015) demonstraram com os resultados da diagnose foliar, dos fatores estudados por eles, que apenas as variáveis Ca, Mg, B sofreram influência dos tratamentos. O Fe foi o nutriente de maior absorção pela cultura, apresentando teores elevados nas folhas, justificado possivelmente por o efluente conter grande quantidade de Fe. Diferente do presente trabalho, em que o Fe não foi influenciado pelos tratamentos.

Fonseca (2001) trabalhando com milho irrigado com efluente tratado, verificou o bom estado nutricional das plantas devido à aplicação dos nutrientes presentes no efluente, especialmente nitrogênio.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância para macronutrientes e micronutrientes do tecido vegetal, em função do déficit hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Causas de Variação	Macronutrientes tecido vegetal					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Água (A)	440,26 **	0,00 ns	59,67 **	144,60 **	7,56 **	0,01 ns
Cultivar (C)	36,03 *	0,01 ns	37,51 **	258,40 **	10,56 **	0,06 *
Estresse (E)	39,01 **	0,90 **	36,20 **	28,26 *	1,08 ns	0,05 *
A*C	3,63 ns	0,03 ns	26,26 **	17,01 ns	0,25 ns	0,00 ns
A*E	31,06 *	0,01 ns	6,15 ns	21,21 ns	1,03 ns	0,01 ns
C*E	23,76 *	0,22 **	30,40 **	73,82 **	6,27 **	0,06 *
A*C*E	5,23 ns	0,21 **	27,83 **	0,60 ns	8,38 **	0,06 *
CV%	9,21	8,30	8,18	11,89	9,12	11,57

	Micronutrientes tecido vegetal					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Água (A)	268,25 **	100,00 **	756,25 ns	2730,06 **	427,11 **	5625,00 *
Cultivar (C)	37,30 ns	49,00 **	68906,25 ns	2835,56 **	200,69 **	13225,00 **
Estresse (E)	245,25 **	1,75 ns	41856,25 ns	2388,00 **	125,75 **	1356,25 ns
A*C	460,50 **	90,25 **	146306,25 ns	27,56 ns	66,69 **	7225,00 *
A*E	463,00 **	7,75 ns	98856,25 ns	142,75 ns	17,54 **	806,25 ns
C*E	165,26 **	13,00 *	465468,75 **	2532,00 **	108,63 **	2031,25 ns
A*C*E	122,68 *	3,25 ns	65868,75 ns	234,75 ns	20,25 **	1881,25 ns
CV%	5,20	13,05	11,22	11,85	7,61	15,44

**Efeito significativo a 1% de probabilidade. *Efeito Significativo a 5% de probabilidade. ns Efeito não significativo, pelo teste Tukey;

Tabela 10 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no tecido vegetal para as duas águas 'Residuária' e 'Potável'. Botucatu - 2017

		Residuária		Potável	
g kg ⁻¹	N	30,03	a	23,03	b
	P	1,45	a	1,41	a
	K	21,06	a	18,49	b
	Ca	23,57	a	19,56	b
	Mg	10,89	a	9,97	b
	S	0,99	a	0,95	a
mg kg ⁻¹	B	104,64	a	99,18	b
	Cu	10,25	b	13,58	a
	Fe	1780,00	a	1770,83	a
	Mn	88,33	a	70,91	b
	Zn	20,55	a	13,66	b
	Na	232,53	a	207,53	b

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Observamos na Tabela 11 as médias em função das cultivares para o tecido vegetal, a cultivar precoce IAC imperador obteve médias maiores para maioria dos nutrientes analisados. Santos et al. (2009) afirmaram que mais importante que os teores e conteúdos dos elementos nas partes das plantas são as relações entre eles. É interessante que as plantas tenham a capacidade de manter baixas proporções de sódio em relação ao potássio, cálcio e magnésio, já que estes são nutrientes, enquanto o sódio, em geral, é tóxico. Silveira et al. (2017) concluíram que a salinidade da água de irrigação teve efeito negativo na produtividade do feijoeiro.

Tabela 11 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no tecido vegetal para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu - 2017

		IAC Imperador		TAA Dama	
g kg ⁻¹	N	25,53	b	27,53	a
	P	1,41	a	1,45	a
	K	20,80	a	18,75	b
	Ca	24,25	a	18,89	b
	Mg	10,97	a	9,89	b
	S	0,93	b	1,01	a
mg kg ⁻¹	B	102,93	a	100,90	a
	Cu	10,75	b	13,08	a
	Fe	1819,16	a	1731,66	a
	Mn	88,50	a	70,75	b
	Zn	19,47	a	14,75	b
	Na	239,20	a	200,86	b

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Nas médias para teores de nutrientes no tecido vegetal em razão dos estresses hídricos presentes na Tabela 12, destaca-se que os mesmos influenciaram na maioria dos nutrientes analisados. Verificou-se que o estresse hídrico na fase vegetativa acumulou a maioria dos nutrientes, tendo médias superiores.

Tabela 12 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no tecido vegetal para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017

		Testemunha		Fase vegetativa		Fase reprodutiva	
g kg ⁻¹	N	24,70	b	28,30	a	26,59	ab
	P	1,40	b	1,72	a	1,17	c
	K	18,42	b	21,73	a	19,17	b
	Ca	22,51	a	22,40	ab	19,80	b
	Mg	10,31	a	10,77	a	10,21	a

mg kg ⁻¹	S	0,92	b	0,95	ab	1,04	a
	B	100,89	b	106,86	a	98,00	b
	Cu	12,00	a	11,50	a	12,25	a
	Fe	1827,50	a	1787,50	a	1711,25	a
	Mn	77,62	b	94,62	a	66,62	c
	Zn	19,08	a	18,87	a	13,37	b
	Na	220,45	a	209,20	a	230,45	a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

O desdobramento das interações entre água, cultivar e estresse hídrico, estão na Tabela 13 para os nutrientes do tecido vegetal P, K, Mg, S, B e Zn.

Tabela 13 - Valores médios dos nutrientes presentes no tecido vegetal do feijoeiro em função do déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Águas	Estresse Hídrico	P		K		Mg	
		IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama
Residuária	Testemunha	1,66 abA	1,22 cB	23,35 aA	17,65 bB	11,40 abA	9,95 abcA
	Vegetativa	1,46 bB	2,02 aA	20,50 abB	25,20 aA	12,00 aA	10,00 abcB
	Florescimento	1,05 cB	1,26 cA	19,85 abA	19,85 bA	11,15 abA	10,85 abA
Potável	Testemunha	1,41 bA	1,31 cA	19,20 bA	13,50 cB	11,95 abA	7,95 cB
	Vegetativa	1,77 aA	1,62 bA	23,50 aA	17,75 bB	9,55 bB	11,55 aA
	Florescimento	1,09 cB	1,30 cA	18,40 bA	18,60 bA	9,80 abA	9,05 bcA
Águas	Estresse Hídrico	S		B		Zn	
		IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama
Residuária	Testemunha	0,96 aA	0,99 bA	98,16 bcA	98,05 bA	32,33 aA	15,50 bB
	Vegetativa	0,91 aA	1,03 abA	110,05 abB	122,59 aA	24,00 bA	19,50 aB
	Florescimento	0,99 aA	1,05 abA	98,05 bcA	100,97 bA	16,50 cA	15,50 bA
Potável	Testemunha	0,90 aA	0,84 bA	114,16 aA	93,18 bB	17,00 cA	11,50 cB
	Vegetativa	0,96 aA	0,88 bA	102,37 abcA	92,43 bB	17,50 cA	14,50 bcB
	Florescimento	0,86 aB	1,28 aA	94,81 cA	98,16 bA	9,50 dB	12,00 cA

Médias seguidas de letras minúsculas na linha, letras maiúsculas nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

O resumo de análise de variância para macronutrientes e micronutrientes do grão se encontra na Tabela 14. Para o fator água somente para Ca e S não foram significativos, sendo significativo para N, P, K, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na. No fator cultivar houve significância para N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe e Zn, enquanto para S, Mn

e Na não ocorreu significância. Quanto ao fator estresse hídrico foi significativo para N, P, K, Ca, S, B, Cu, Zn e Na, e não significativo para Mg, Fe e Mn.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância para macronutrientes e micronutrientes presentes no grão, em função dos déficits hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Causas de Variação	Macronutrientes grão					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Água (A)	30,38 **	0,25 **	0,72 **	0,01 ns	0,22 **	0,00 ns
Cultivar (C)	23,83 **	0,09 **	1,96 **	0,55 **	0,93 **	0,00 ns
Estresse (E)	93,85 **	0,07 **	3,58 **	0,15 *	0,01 ns	0,04 **
A*C	9,16 **	0,01 ns	0,02 ns	0,35 **	0,03 *	0,01 **
A*E	2,45 *	0,04 *	0,25 *	0,02 ns	0,00 ns	0,00 ns
C*E	4,04 **	0,00 ns	0,43 **	0,03 ns	0,00 ns	0,01 **
A*C*E	2,61*	0,09 **	0,03 ns	0,02 ns	0,00 ns	0,01 **
CV%	2,24	3,25	1,89	15,52	2,96	3,91
	Micronutrientes grão					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Água (A)	57,26 **	25,00 **	264,06 *	22,56 **	0,00 **	41006,25 **
Cultivar (C)	50,91 **	4,00 *	596,17 **	5,06 ns	12,25 *	1406,25 ns
Estresse (E)	49,00 **	5,68 **	61,77 ns	1,68 ns	10,75 *	3475,00 *
A*C	0,57 ns	4,00 *	76,56 ns	3,06 ns	1,00ns	2256,25 ns
A*E	5,87 ns	7,93 **	205,75 *	18,06**	9,00 *	1425,00 ns
C*E	5,58 ns	6,06 **	18,11 ns	1,68 ns	4,00 ns	5625,00 **
A*C*E	59,66 **	3,06 *	33,25 ns	3,81 ns	19,75 **	2275,00 ns
CV%	2,63	23,72	9,05	8,00	7,93	18,04

**Efeito significativo a 1% de probabilidade. *Efeito Significativo a 5% de probabilidade. ns Efeito não significativo, pelo teste Tukey;

Verificamos na Tabela 15, as médias para os nutrientes do grão em função das águas, residuária e potável. Observou-se que a água residuária foi superior na maioria dos nutrientes no grão do feijoeiro, sendo eles N, K, B, Fe, Mn e Na. Provando mais uma vez que a água residuária favorece a absorção de nutrientes na agricultura irrigada.

Visualizam-se na Tabela 16, as médias dos macronutrientes e micronutrientes no grão do feijoeiro. Como ocorreu no tecido vegetal, no grão a cultivar precoce IAC Imperador também obteve as maiores médias. A cultivar influência na absorção de nutrientes, onde há variações que dependem das suas características.

Tabela 15 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no grão para as duas águas 'Residuária' e 'Potável'. Botucatu - 2017

		Residuária		Potável	
g kg ⁻¹	N	37,01	a	35,17	b
	P	2,94	b	3,11	a
	K	14,14	a	13,85	b
	Ca	1,12	a	1,15	a
	Mg	2,08	b	2,23	a
	S	0,97	a	0,98	a
mg kg ⁻¹	B	66,36	a	63,83	b
	Cu	2,50	b	4,16	a
	Fe	83,11	a	77,69	b
	Mn	16,41	a	14,83	b
	Zn	19,08	a	19,08	a
	Na	197,53	a	130,03	a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 16 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no grão para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu - 2017

		IAC Imperador		TAA Dama	
g kg ⁻¹	N	36,90	a	35,28	b
	P	3,08	a	2,97	b
	K	14,23	a	13,76	b
	Ca	1,26	a	1,01	b
	Mg	2,06	b	2,25	a
	S	0,98	a	0,98	a
mg kg ⁻¹	B	66,28	a	63,90	b
	Cu	3,00	b	3,66	a
	Fe	76,33	b	84,47	a
	Mn	16,00	a	15,25	a
	Zn	18,50	b	19,66	a
	Na	157,53	a	170,03	a

Médias seguidas de letras minúsculas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Na Tabela 17 observa-se que o estresse hídrico, como no tecido vegetal, influenciou as médias de nutrientes no grão do feijoeiro. Mas, porém, a testemunha obteve as maiores médias.

Na Tabela 18 verifica-se o desdobramento das interações entre água, cultivar e estresse hídrico para os nutrientes do grão do feijoeiro N, P, S, B, Cu e Zn.

Tabela 17 - Valores médios de macronutrientes e micronutrientes presentes no grão para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017

		Testemunha		Fase vegetativa		Fase reprodutiva	
g kg ⁻¹	N	34,52	b	34,43	b	39,32	a
	P	2,99	b	3,12	a	2,97	b
	K	13,61	b	14,62	a	13,76	b
	Ca	1,18	ab	1,01	b	1,22	a
	Mg	2,13	a	2,15	a	2,19	a
	S	0,99	a	0,91	b	1,03	a
mg kg ⁻¹	B	67,32	a	63,37	b	64,59	b
	Cu	4,00	a	2,62	b	3,37	ab
	Fe	79,62	a	82,95	a	78,62	a
	Mn	16,00	a	15,62	a	15,25	a
	Zn	18,00	b	19,50	ab	19,75	a
	Na	182,95	a	150,45	b	157,95	ab

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 18 - Valores médios dos nutrientes presentes no grão do feijoeiro em função do déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Águas	Estresse Hídrico	N		P		S	
		IAC	TAA	IAC	TAA	IAC	TAA
		Imperador	Dama	Imperador	Dama	Imperador	Dama
Residuária	Testemunha	37,27 bA	34,47 cB	2,97 bA	2,70 bB	0,99 abA	1,00 bA
	Vegetativa	35,03 cA	34,72 cA	2,97 bA	3,11 aA	0,94 bA	0,87 cB
	Florescimento	39,65 aA	40,91 aA	2,98 bA	2,91 abA	0,93 bB	1,12 aA
Potável	Testemunha	34,72 cA	31,64 dB	3,12 abA	3,15 aA	0,99 abA	1,00 bA
	Vegetativa	35,03 cA	32,93 cdB	3,32 aA	3,06 aB	0,95 bA	0,89 cB
	Florescimento	39,72 aA	36,99 bB	3,10 abA	2,90 abB	1,06 aA	1,02 bA
Águas	Estresse Hídrico	B		Cu		Zn	
		IAC	TAA	IAC	TAA	IAC	TAA
		Imperador	Dama	Imperador	Dama	Imperador	Dama
Residuária	Testemunha	72,75 aA	63,89 abB	4,50 aA	3,50 bcA	19,50 abA	17,50 bA
	Vegetativa	64,64 bA	63,56 abA	1,50 bA	2,00 cA	17,00 bB	20,00 abA
	Florescimento	65,62 bA	67,67 aA	1,50 bA	2,00 cA	18,50 abB	19,00 abA
Potável	Testemunha	65,40 bA	67,24 aA	4,00 aA	4,00 bA	16,00 bB	19,00 abA
	Vegetativa	64,86 bA	60,43 bB	3,50 aA	3,50 bcA	21,50 aA	19,50 abA
	Florescimento	64,43 bA	60,64 bB	3,00 abB	7,00 aA	18,50 abA	20,00 abA

Médias seguidas de letras minúsculas na linha, letras maiúsculas nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

4.5 Análise química do solo

De acordo com o resumo da análise de variância Tabela 19, para o fator água foi verificado efeito significativo 1% de probabilidade ($p > 0,01$) para pH, M.O., P, Na, K, B, Cu, Mn, Zn; exceto para H+Al, Ca, Mg, SB, CTC, V% e Fe onde não houve efeito significativo. Para o fator cultivar, não foi observado efeito significativo para pH, Mo, H+A, K, Mg, CTC, V% e Mn, verificou-se efeito significativo a 1% de probabilidade para P, Na, Ca, SB, B, Cu, Fe e Zn. Para o fator estresse hídrico apenas se encontrou efeito significativo para Na, Mg, B, Cu, Mn, para os demais atributos não houve efeito significativo. Para interação tripla, encontrou-se efeito significativo para P, Na, Mg, SB, CTC, B e Cu (Tabela 19).

Tabela 19 - Resumo da análise de variância para fertilidade do solo no fim do experimento, em função dos déficits hídrico aplicado em duas cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Causas de Variação	pH	M.O.	P	Na	H+Al	K	Ca	Mg
Água (A)	0,59 **	19,28 **	208,61 **	113,68 **	8,26 ns	2,87 **	3,80 ns	0,38 ns
Cultivar (C)	0,00 ns	0,05 ns	103,39 *	0,40 **	6,02 ns	0,05 ns	42,25 *	12,70 ns
Estresse (E)	0,03 ns	1,12 ns	39,90 ns	3,10 **	3,76 ns	0,12 ns	18,16 ns	40,83 **
A*C	0,57 **	12,76 **	34,82 ns	0,25 *	84,56 **	0,40 *	331,24 **	5,40 ns
A*E	0,01 ns	3,20 ns	583,49 **	2,50 **	4,97 ns	0,01 ns	8,87 ns	8,94 ns
C*E	0,04 ns	1,19 ns	45,12 ns	1,59 **	4,72 ns	0,16 ns	20,70 ns	3,35 ns
A*C*E	0,00 ns	0,88 ns	434,97 **	1,68 **	1,51 ns	0,01 ns	10,56 ns	45,46 **
CV%	2,56	4,18	17,09	9,47	12,14	21,79	7,32	15,26
	SB	CTC	V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Água (A)	10,19 ns	36,81 ns	0,40 ns	0,07 **	0,20 **	0,45 ns	1,52 **	0,68 **
Cultivar (C)	99,92 *	56,87 ns	36,27 ns	0,03 **	0,10 **	22,32 **	0,00 ns	0,00 *
Estresse (E)	30,29 ns	25,66 ns	10,42 ns	0,02 **	0,02 **	1,61 ns	0,07 **	0,13 ns
A*C	388,87 **	110,76 *	256,25 **	0,01 ns	0,02 **	27,95 **	0,00 ns	0,42 **
A*E	30,24 ns	15,40 ns	17,72 ns	0,01 *	0,02 **	2,05 ns	0,00 ns	0,05 ns
C*E	11,19 ns	29,16 ns	0,33 ns	0,01 **	0,00 *	0,18 ns	0,03 ns	0,05 ns
A*C*E	76,71 *	72,10 *	10,36 ns	0,04 **	0,02 **	3,61 ns	0,00 ns	0,08 ns
CV%	8,70	5,70	4,36	21,28	5,04	5,18	13,78	26,46

**Efeito significativo a 1% de probabilidade. *Efeito Significativo a 5% de probabilidade. ns Efeito não significativo, pelo teste Tukey;

As alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, após a fertirrigação, dependem do tempo de aplicação, do tipo de cultura utilizada e das características do solo e do efluente utilizado (SILVA, 2017).

Os valores médios da fertilidade do solo, para as duas águas, se encontram na Tabela 20, onde se observa que a água residuária sobressaiu à água potável, na maioria das variáveis observadas na fertilidade do solo na M.O., Na, K, B, Mn e Zn. O solo sofreu alterações na maioria de suas características devido ao uso da água residuária, que disponibiliza matéria orgânica e nutrientes.

Valores da fertilidade do solo no início do experimento também se encontram na Tabela 20. Analisou-se que houve mudanças em todas as variáveis de fertilidade do solo do início do experimento, comparando-se com os valores do fim do experimento para as duas águas utilizadas. Essas alterações ocorreram devido a calagem, adubação e irrigação com as águas.

Tabela 20 - Valores médios da fertilidade do solo no fim do experimento, para as duas águas 'Residuária' e 'Pótavel'. Botucatu - 2017

		Residuária		Potável		Valores no início do experimento
CaCl ₂	pH	5,62	b	5,87	a	3,69
g/dm ³	M.O.	28,49	a	27,02	b	29,00
mg/dm ³	P	23,15	b	27,96	a	5,00
mmolc/dm ³	Na	3,86	a	0,31	b	0,22
	H+Al	18,87	a	17,92	a	70,00
	K	1,49	a	0,92	b	0,46
	Ca	39,86	a	39,21	a	2,60
	Mg	12,65	a	12,86	a	0,93
	SB	54,07	a	53,00	a	3,99
	CTC	72,95	a	70,93	a	74,00
%	V%	74,13	a	74,34	a	5,40
mg/dm ³	B	0,31	a	0,22	b	0,24
	Cu	0,69	b	0,84	a	1,20
	Fe	24,39	a	24,16	a	59,00
	Mn	1,00	a	0,59	b	1,83
	Zn	0,89	a	0,62	b	0,50

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Castro et al. (2016) observaram que o emprego de efluente para a irrigação do feijão-caupi serviu como contribuição nutricional. Apesar disso, os autores concluíram que com o tempo o solo apresentará balanceamento nutricional e estrutural desequilibrado, devido o uso dessa água residuária durante muito tempo nesse solo,

pela mesma apresentar valores crescentes de sódio. No presente trabalho, também foi encontrado valor superior de sódio no solo. As concentrações de Na^+ são elevadas após o emprego de águas residuária, especialmente nas camadas superficiais do solo (CROMER et. al., 1984). Sendo um indicativo para que se utilize a água de reuso, com devido cuidado, para não ocorrer à salinização do solo, e sim a nutrição das plantas e o reuso da água.

Souza et al. (2015) em estudo da influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro, encontraram as diferenças significativas entre os tratamentos estudados para as variáveis pH, M.O, P, H+Al, K, Ca, Mg, SB, CTC e V.

Duarte et al. (2008) trabalhando com o efeito da aplicação de efluente tratado no solo, com exceção da concentração de matéria orgânica, não constatarem, em geral, alterações significativas nas concentrações de fósforo, potássio e pH do solo cultivado. Para Carmo et al. (2014), na camada de 0,20 - 0,40m, as características de pH, condutividade elétrica e Ca não se alteraram significativamente e o Na e o Mg aumentaram com o tempo de aplicação e com a proporção.

Para a fertilidade do solo nas duas cultivares as médias estão dispostas na Tabela 21, onde observou-se que a maioria das variáveis não foram significativas.

Tabela 21 - Valores médios para fertilidade do solo no fim do experimento, para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu - 2017

		IAC Imperador		TAA Dama	
CaCl ₂	pH	5,73	a	5,76	a
g/dm ³	M.O.	27,72	a	27,80	a
mg/dm ³	P	27,25	a	23,86	b
mmolc/dm ³	Na	1,98	b	2,19	a
	H+Al	17,99	a	18,80	a
	K	1,17	a	1,24	a
	Ca	40,62	a	38,45	b
	Mg	13,35	a	12,16	a
	SB	55,20	a	51,87	b
	CTC	73,19	a	70,68	a
	V%	75,24	a	73,23	a
mg/dm ³	B	0,29	a	0,23	b
	Cu	0,71	b	0,82	a
	Fe	23,49	b	25,06	a
	Mn	0,78	a	0,81	a
	Zn	0,75	a	0,76	a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As médias para a fertilidade do solo em função do estresse hídrico se encontram na Tabela 22. As variáveis não tiveram resultados significativos para pH, M.O., H+Al, K, Ca, SB, CTC, V% e Fe.

Tabela 22 - Valores médios para fertilidade do solo no fim do experimento, para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu - 2017

		Testemunha		Fase vegetativa		Fase reprodutiva	
CaCl ₂	pH	5,74	a	5,69	a	5,80	a
g/dm ³	M.O.	28,04	a	27,80	a	27,43	a
mg/dm ³	P	23,88	a	27,50	a	25,29	a
	Na	2,65	a	1,66	c	1,96	b
	H+Al	18,68	a	18,76	a	17,75	a
	K	1,10	a	1,23	a	1,29	a
mmolc/dm ³	Ca	38,67	a	39,00	a	40,95	a
	Mg	14,88	a	11,50	b	11,89	b
	SB	54,73	a	51,73	a	54,14	a
	CTC	73,42	a	70,50	a	71,90	a
%	V%	74,10	a	73,37	a	75,22	a
	B	0,22	b	0,31	a	0,25	b
	Cu	0,73	b	0,76	b	0,82	a
mg/dm ³	Fe	23,93	a	24,24	a	24,66	a
	Mn	0,73	b	0,78	ab	0,88	a
	Zn	0,64	b	0,84	a	0,78	ab

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Analisou-se na Tabela 23 o desdobramento das interações entre água, cultivar e estresse hídrico para os nutrientes do grão do feijoeiro P, Na, Mg, SB, CTC, B e Cu.

Tabela 23 - Valores médios da fertilidade do solo no fim do experimento em função do déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Águas	Estresse Hídrico	P		Na		Mg	
		IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama
Residuária	Testemunha	37,91 aA	20,49 aB	3,89 aB	5,98 aA	11,93 bB	16,74 aA
	Vegetativa	18,34 bA	20,18 aA	3,27 bA	2,83 cB	13,48 abA	11,31 bA
	Florescimento	15,33 bB	26,64 aA	3,87 aA	3,36 bB	13,17 bA	9,30 bB
Potável	Testemunha	15,42 bA	21,71 aA	0,35 cA	0,38 dA	18,29 aA	12,55 abB
	Vegetativa	42,35 aA	29,12 aB	0,26 cA	0,27 dA	10,23 bA	11,00 bA
	Florescimento	34,16 aA	25,03 aB	0,26 cA	0,35 dA	13,02 bA	12,09 abA

Águas	Estresse Hídrico	SB		CTC		B		Cu	
		IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama	IAC Imperador	TAA Dama
Residuária	Testemunha	50,87 aB	59,62 aA	71,54 aA	78,17 aA	0,25 bA	0,21 abA	0,64 cB	0,76 cA
	Vegetativa	55,44 aA	52,29 abA	75,95 aA	68,79 abB	0,54 aA	0,24 abB	0,60 cB	0,76 cA
	Florescimento	51,04 aA	55,15 abA	69,87 aA	73,38 abA	0,28 bA	0,33 aA	0,59 cB	0,80 bcA
Potável	Testemunha	61,92 aA	46,53 bB	77,20 aA	66,77 bB	0,28 bA	0,16 bB	0,66 cB	0,86 abA
	Vegetativa	53,30 aA	45,90 bA	70,94 aA	66,31 bA	0,22 bA	0,26 abA	0,83 bA	0,83 abcA
	Florescimento	58,65 aA	51,72 abA	73,68 aA	70,66 abA	0,19 bA	0,20 abA	0,95 aA	0,92 aA

Médias seguidas de letras minúsculas na linha, letras maiúsculas nas colunas diferem pelo teste de Tukey a 5%.

4.6 Parâmetros de rendimento da cultura

Na Tabela 24 verificou-se efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p > 0,01$) para o fator água em todas as características de rendimento da cultura avaliadas, exceto para comprimento da vagem (CV); número de grãos por vagem (NGV) e massa de 100 grãos (MCG). Já para o fator cultivar foi verificado efeito significativo para todas as características de rendimento da cultura avaliadas, exceto número total de grãos por planta (NTGP) e massa total de vagens com grãos (MTVG), onde se verificou efeito não significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p > 0,05$). Para o fator estresse hídrico, não houve efeito significativo somente para massa de 100 grãos (MCG).

Não houve interação entre água e cultivar para todas as características de rendimento da cultura. A interação entre água e estresse hídrico apresentou efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade somente para o número de vagens por planta (NVP). Para interação entre cultivar e estresse hídrico verificou-se efeito

significativo para número de vagens por planta (NVP) e número total de grãos por planta (NTGP), ao nível de 1% de probabilidade. Já para a interação entre os três fatores não se verificaram efeito significativo.

Tabela 24 - Resumo da análise de variância para os parâmetros de rendimento da cultura, número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), número total de grãos por planta (NTGP), massa total de vagens com grãos (MTVG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD) de déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária

Causas de Variação	NVP	CV	NGV	NTGP	MTVG	MCG	PROD
Água (A)	13,34 **	0,39 ns	0,92 ns	591,04 **	203,44 **	7,61 ns	2261960,42 **
Cultivar (C)	11,68 **	6,72 **	6,032 **	1,01 ns	12,91 ns	297,26 **	1711176,12 *
Estresse (E)	41,51 **	4,38 **	2,41 *	1924,95 **	138,78 **	44,81 ns	7727523,87 **
A*C	1,12 ns	0,34 ns	0,16 ns	106,45 ns	12,69 ns	45,43 ns	86385,86 ns
A*E	7,09 **	0,84 ns	0,23 ns	127,43 ns	6,29 ns	26,53 ns	183634,17 ns
C*E	10,51 **	0,21 ns	0,49 ns	444,57 **	10,63 ns	4,93 ns	734003,08 ns
A*C*E	0,87 ns	0,21 ns	0,40 ns	110,95 ns	4,71 ns	3,61 ns	410856,54 ns
CV%	12,06	7,31	15,39	19,26	19,15	16,41	24,32

**Efeito significativo a 1% de probabilidade. *Efeito Significativo a 5% de probabilidade. ns Efeito não significativo, pelo teste Tukey;

Valores médios de todos os parâmetros de rendimento da cultura, nas duas águas (Tabela 25).

Tabela 25 - Valores médios para número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), número total de grãos por planta (NTGP), massa total de vagens com grãos (MTVG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD) para as duas águas 'Residuária' e 'Pótavel'. Botucatu, SP - 2017

	Residuária		Pótavel	
Número de vagens por planta (NVP)	8,11	a	7,25	b
Comprimento da vagem (CV) cm	9,05	a	8,90	a
Número de grãos por vagem (NGV)	5,05	a	4,82	a
Número total de grãos por planta (NTGP)	41,11	a	35,38	b
Massa total de vagens com grãos (MTVG) g	12,59	a	9,23	b
Massa de 100 grãos (MCG) g	27,29	a	26,64	a
Produtividade (PROD) kg ha ⁻¹	2251,14	a	1896,65	b

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Ao comparar as águas utilizadas, notou-se que a água residuária favoreceu o incremento da maioria dos parâmetros de rendimento da cultura. As médias da água residuária foi de 8,11 para número de vagens por planta, 41,11 para número total de

grãos por planta e 12,59 para massa total de vagens com grãos, o que consequentemente acarretou a uma produtividade superior, que a das plantas irrigadas com água potável. Lima et al. (2015) descrevem que a utilização da água de esgoto doméstico tratado possui influência positiva nas variáveis de produção do feijão-caupi.

Na Tabela 25 nota-se que a maior média de produtividade foi 2251,14 kg ha⁻¹ para água residuária, sendo superior à água potável em 15,74%. Este resultado confirma os efeitos positivos na produção do feijão com o uso de água residuária na irrigação da cultura, sendo justificado pelo fornecimento maior de nutrientes para a planta. Pletsch (2012) relata que o principal pretexto para a preferência da irrigação com águas tratadas de esgoto, mesmo quando se conta com outras fontes, é a grande quantidade de nutrientes, podendo eliminar ou diminuir a fertilização com adubos químicos, diminuindo, além disso, os custos de produção.

Resultado semelhante foi encontrado por Gomes (2016) trabalhando com aplicação de água residuária e deficiência hídrica em espécies de interesse agrônomo, ao analisar apenas seus tratamentos com 100% água de reuso e 100 % água potável. Nesse mesmo trabalho não foi encontrada diferença significativa para massa de grãos. O mesmo autor diz que a água residuária contém nutrientes suficientes para atender à necessidade nutricional do feijoeiro em relação ao tratamento controle.

Cunha et al., (2015) em pesquisa com feijão irrigado com água residuária e adubado com micronutrientes, não encontraram diferença significativa para número grãos e vagens, massa seca e produtividade, ocorrendo diferenças apenas no peso de 100 grãos. Feitosa et al. (2015), analisando o crescimento do feijão-caupi irrigado com diferentes concentrações de efluente tratado e água salina, concluíram que a aplicação de 100% água de reúso proporcionou melhores desempenhos nas plantas.

Souza et al. (2015), estudando a influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro, verificaram 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. Como no presente trabalho, os autores também não encontraram diferença significativa para massa de 100 grãos.

Para cultivares, as médias para todos os parâmetros de rendimento da cultura estão descritas na Tabela 26.

Tabela 26 - Valores médios para número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), número total de grãos por planta (NTGP), massa total de vagens com grãos (MTVG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD) para as duas cultivares 'IAC Imperador' e 'TAA Dama'. Botucatu-2017

	IAC Imperador		TAA Dama	
Número de vagens por planta (NVP)	8,08	a	7,27	b
Comprimento da vagem (CV) cm	8,67	b	9,28	a
Número de grãos por vagem (NGV)	4,65	b	5,23	a
Número total de grãos por planta (NTGP)	38,13	a	38,37	a
Massa total de vagens com grãos (MTVG) g	10,48	a	11,33	a
Massa de 100 grãos (MCG) g	24,93	b	29,00	a
Produtividade (PROD) kg ha ⁻¹	1919,73	b	2228,06	a

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

No desempenho comparativo das cultivares de ciclo precoce IAC Imperador e normal TAA Dama, nos parâmetros de rendimento da cultura, notou-se que a cultivar normal TAA Dama reagiu melhor nas avaliações realizadas. Ressaltando que cultivares diferentes tem comportamentos distintos em seu desenvolvimento e produção. Ramos; Lemos; Silva (2005), afirmaram que a massa de 100 grãos e o número de grãos por vagem são os componentes de maior influência na produtividade de grãos de cultivares de feijão.

Os estresses hídricos influenciaram todos os parâmetros de produção de forma negativa (Tabela 27). Guimarães et al. (2011) afirmaram que o número de vagens por planta é o componente agrônomo mais sensível à deficiência hídrica. Sousa (2007) demonstrou que a supressão da irrigação nos diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro interfere de modo negativo nos componentes de rendimento, exceto para massa de 100 grãos.

A produtividade apresentou diferença significativa ($p \leq 0,01$), para o fator estresse hídrico Tabela 27, sendo que a testemunha teve a maior média de 2710,53 kg ha⁻¹ e os estresses nas fases vegetativa e reprodutiva foram iguais significativamente. Apesar de não ter ocorrido diferença entre as fases analisadas, notou-se que o estresse na fase vegetativa, promoveu uma redução na produtividade de 30,28%, e na fase reprodutiva de 40,18% de perda de produção, em comparação com a testemunha.

Tabela 27 - Valores médios para número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV), número total de grãos por planta (NTGP), massa total de vagens com grãos (MTVG), massa de 100 grãos (MCG) e produtividade (PROD) para os estresses hídricos 'Testemunha' 'Fase vegetativa' e 'Fase reprodutiva'. Botucatu – 2017

	Testemunha		Fase vegetativa		Fase reprodutiva	
Número de vagens por planta (NVP)	9,16	a	7,20	b	6,66	b
Comprimento da vagem (CV) cm	9,47	a	8,71	b	8,75	b
Número de grãos por vagem (NGV)	5,27	a	4,91	ab	4,64	b
Número total de grãos por planta (NTGP)	48,24	a	35,57	b	30,94	b
Massa total de vagens com grãos (MTVG) g	13,35	a	10,83	b	8,54	c
Massa de 100 grãos (MCG) g	28,52	a	26,42	a	25,96	a
Produtividade (PROD) kg ha ⁻¹	2710,53	a	1889,76	b	1621,40	b

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Resultado contrário foi encontrado por Carvalho (2013) avaliando a produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) em condições de irrigação com déficit, relata que o déficit hídrico nos estádios de desenvolvimento do feijoeiro nas fases fase I, vegetativa, tendo início após a emergência até o florescimento e fase II, do florescimento até a maturação fisiológica dos grãos não interferiu na produtividade de grãos estatisticamente.

Na literatura podemos observar que há trabalhos que ressaltam a perda de produtividade devido ao estresse hídrico. Para destacar em quais fases houve maior perda de produtividade há contradições. No entanto, as consequências do déficit hídrico sobre os vegetais são muito variadas e dependem, sobretudo, da intensidade, bem como da duração do estresse ao qual a planta está sendo submetida (MENDES et al., 2007).

Cunha et al. (2013) afirmaram que o déficit hídrico de 22% na fase reprodutiva restringiu a produtividade em 15% em plantas de feijoeiro, já as submetidas a 21 e 37% de déficit hídrico, nesta ordem, nas fases vegetativa e reprodutiva apresentaram produtividade reduzida de 29%.

Sousa e Lima (2010) declararam que o déficit hídrico no estágio vegetativo promove maior redução da produtividade da cultura, estes resultados foram observados em pesquisa com a influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. Carioca comum. Manjeru et al. (2007) concluíram que o estresse hídrico reduziu significativamente o rendimento do feijoeiro, sendo que a maior redução ocorreu quando o estresse hídrico foi imposto após a floração e a menor quando o estresse hídrico foi imposto durante a fase vegetativa.

Sousa et al. (2009) investigando o estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro, disseram que a supressão da irrigação, durante os diferentes estádios de desenvolvimento do feijoeiro, interferiu de modo negativo na produção e nos componentes de rendimento, com exceção do peso de 100 grãos.

Miorini (2012) analisando a influência do uso da irrigação em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro, sobre o desempenho dos componentes de produção do feijão do grupo carioca em casa de vegetação, avaliou que todas as variáveis foram afetadas pelos tratamentos com supressão de irrigação em uma ou mais fases, todos os tratamentos reduziram sua produtividade em, pelo menos, 20%.

Diferente do presente trabalho Lima et al. (2015) obtiveram interação tripla para vagens por planta, número de grãos por vagem e potencial produtivo, verificando o reuso de água como estratégia hídrica e nutricional para a cultura do feijão-caupi. Nas parcelas, foi avaliado o efeito de dois tipos de água de irrigação (água de esgoto doméstico tratado e água de poço freático); nas subparcelas, foram distribuídas quatro lâminas de irrigação baseadas na evapotranspiração da cultura, e nas subsubparcelas foram testadas quatro doses de NPK.

4.7 Eficiência do uso da água (EUA)

Analizou-se a eficiência do uso da água pela cultura (EUA) como a razão entre o valor do rendimento em grão e a quantidade de água consumida. Os resultados referentes à eficiência do uso da água (EUA) encontram-se na Tabela 28.

Tabela 28 - Lâmina média de água aplicada (LI), produtividade de grãos e eficiência do uso de água (EUA) de déficit hídrico aplicado em cultivares de feijão, nas fases vegetativa e reprodutiva, associado com o uso de água residuária.

	Lâminas médias de água aplicada (mm)	Produtividade (kg ha ⁻¹)	EUA (kg m ⁻³)
Testemunhas	263,58	2710,53	1,02
Fase vegetativa	177,03	1889,76	1,06
Fase reprodutiva	248,83	1621,40	0,65

A testemunha apresentou uma EUA ligeiramente menor que as plantas submetidas ao estresse na fase vegetativa, no entanto, ao avaliar a produtividade esta foi 43% maior. Souza et al. (2011) em estudo com a eficiência do uso da água da cultura do feijão-caupi, observaram que a lâmina 100% proporcionou maior produção

de grãos, entretanto a análise da EUA mostrou que a lâmina 75% da ETo foi mais eficiente.

Nota-se que a EUA foi menor na fase reprodutiva do que nas demais. Uma diminuição de 36,27% e 38,67% com relação a testemunha e a fase vegetativa respectivamente. Brito et al. (2016) relataram que todos os cultivos, com restrição hídrica, na fase de florescimento, alcançaram produtividades de grãos e EUA muito inferiores.

Segundo Andrade Júnior et al. (2002) a aplicação das lâminas visando à máxima produção de grãos no nível obtido com a lâmina mais eficiente, evita o desperdício de água. A EUA foi inversamente proporcional aos níveis de reposição de água no solo, ao analisar a resposta do feijoeiro comum a lâminas e épocas de suspensão da irrigação (SANTANA, 2007).

Quanto às lâminas médias totais de irrigação, as plantas testemunhas receberam a maior de 263,58 mm; as expostas ao estresse, na fase vegetativa, receberam a menor lâmina de 177,03 mm e, na fase reprodutiva, uma lâmina de 248,83 mm. Cunha et al. (2013) declara que dentro do intervalo de 272,04 a 407,39 mm de água a aplicação de maiores lâminas propicia aumento na produtividade de grãos do feijoeiro.

Morais et al. (2017) afirmam que a produtividade do feijão comum irrigado a 100% de reposição hídrica demonstra incrementos de até 54%. Torres et al. (2013) destaca que a produtividade do feijoeiro, número de vagens por planta e número de grãos por vagem são maiores quando a reposição de água no solo é realizada com 100% da evapotranspiração.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados e de acordo com as condições experimentais pode-se concluir que:

- a) Os três fatores influenciaram o desenvolvimento do feijoeiro, principalmente no fim do ciclo.
- b) Quanto à questão nutricional, a água residuária se destacou nos teores no tecido vegetal e grão.
- c) O solo sofreu mudanças na sua fertilidade com o uso da água residuária.
- d) Não houve interação dos fatores para os caracteres de produção avaliados.
- e) Os estresses hídricos nas fases vegetativa e reprodutiva influenciaram em praticamente todas as avaliações, interferindo de forma negativa no desenvolvimento, nos caracteres de produção do feijoeiro e no teor de nutrientes.
- f) A eficiência do uso da água pela cultura, sofreu efeito dos estresses hídricos resultando em decréscimos na produtividade.

REFERÊNCIAS

- AIRLYS, J. et al. Desenvolvimento do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L . Walp) utilizando as cinzas de bagaço da cana-de-açúcar e efluente tratado. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v. 8, n. 4, p. 147–151, out/dez. 2013.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), 2012. Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd ed. **APHA**, Washington, DC.
- AMUDHA, J.; BALASUBRAMANI, G. Recent molecular advances to combat abiotic stress tolerance in crop plants. **Biotechnol. Mol. Biol. Rev**, Washington, v. 6, n. 2, p. 31–58, fev. 2011.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Níveis de irrigação na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.17-20, 2002.
- ANDRADE, C. DE L. T. A. et al. Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho. **Circular Técnica 85 Embrapa**, dez. 2006. 12 p.
- ANDRADE, L. O. DE et al. Qualidade de flores de girassóis ornamentais irrigados com águas. **Idesia**, Chile, v. 30, n. 2, p. 19–27, mai/ago. 2012.
- ARAUJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba-SP: Potafos, 1996.
- ATTIE, J. **Benefícios econômicos e socioambientais da biotecnologia para a cultura do feijão no Brasil**. Céleres your agribusiness intelligence. Disponível em: <<http://www.celeres.com.br/beneficios-economicos-e-socioambientais-da-biotecnologia-para-a-cultura-do-feijao-no-brasil/>>. Acesso em: 11 abr. 2017.
- ÁVILA, M. R. et al. Cultivo de feijoeiro no outono/inverno associado à aplicação de bioestimulante e adubo foliar na presença e ausência de irrigação. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 3, p. 221–230, May/Jun. 2010.
- AYRES, R.S.; WESTCOT, D.N. (ORG) FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e alimentação – **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande – PB: UFPB, 1999. 218p. (Estudos FAO irrigação e drenagem, n.29, revisado).
- BARBOSA, F. R.; GONZAGA, A. C. DE O. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014. **Documentos Embrapa Arroz e Feijão Embrapa Arroz e Feijão**, maio 2012. 247 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. **UFV**, p. 625 p., 2006.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, São Paulo, SP, v. 1, p. 152–169, jun. 2008.

BLUM, J. R. C. Critérios e padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. São Paulo: Manole, 2003. p.125-174.

BONINI, M. DE A. et al. Alterações nos atributos químico e físicos de um latossolo vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 20, n. 1, p. 78–85, jan. 2014.

BORÉM, A. (Ed). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 2005. 969p. (2 edição).

BOUTRAA, T.; SANDERS, F. E. Influence of Water Stress on Grain Yield and Vegetative Growth of Two Cultivars of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of agronomy and crop science**, Berlin, v. 187, p. 251–257, 2001.

BRAGA, M. B.; LIMA, C. E. P. **Reúso de Água na Agricultura**. Brasília-DF: Embrapa, 2014.

BRASIL. Resolução CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente nº. 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2005. 23 p.

BRESSAN, D. F. **Água de reuso e seu efeito sobre parâmetros fisiológicos em manjerição (*Ocimum basilicum* L.)**. 2015. 129 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

BRITO, J. E. D. DE et al. Produtividade e eficiência de uso da água em cultivo de feijão sob diferentes coberturas do solo submetido à restrição hídrica. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 10, nº.2, Fortaleza, p. 565 - 575, Mar - Abr, 2016.

BRITO, R. R. DE et al. Produtividade do feijoeiro sob diferentes potenciais matriciais e fatores de depleção da água no solo. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 02, p. 109-114, abr./jun. 2015.

BRITO, R. R. DE. **Critérios de manejo na irrigação do feijoeiro em três texturas de solo**. 2014. 53 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

CARMO, F. F. DO et al. Alterações nas características de um cambissolo irrigado com esgoto doméstico. In: II INOVAGRI International Meeting, 2014.

CARVALHO, J. D. E. **Resposta do feijoeiro comum à irrigação com déficit, sob semeadura direta**. 2013. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

CARVALHO, J. J. DE. **Comparação de métodos de manejo da irrigação no feijoeiro, nos sistemas plantio direto e convencional**. 2009. 76 f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

CARVALHO, M. DA C. S. Árvore do conhecimento feijão-adubação. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2017.

CASTRO, A. A. S. et al. Análise do impacto do uso de efluentes nas características do solo da cultura do feijão-caupi brs novaera (*Vigna unguiculata* L. walp.). **Agroforestalis News**, Aracaju, v. 1, n. 1, p. 41–47, set. 2016.

CATUCHI, T. A. et al. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 4, p. 519–527, abr. 2012.

CONAB, C. N. DE A. Acompanhamento da safra brasileira grãos. **Acomp. safra bras. grãos**, Brasília, DF, v. 4, n. 6, p. 1–176, mar. 2017.

CONAB, C. N. DE A. Perspectivas para a agropecuária. **Perspec. Agropec.**, Brasília, DF, v. 4, p. 1–129, set. 2016.

COSTA, M. S. C. . et al. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. Edição Especial, p. 12–26, 2012.

COSTA, M. S. **Disponibilidade hídrica, uso de aditivo na adubação e calibração do software AquaCrop para o feijoeiro**. 2016. 51f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, 2016.

COSTA, M. S. et al. Avaliação dos níveis de lâmina de irrigação no desempenho do feijoeiro cultivado na região da Zona da Mata, Mg. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 4, p. 799–808, ago. 2016.

CROMER, R. N. et al. Irrigation of monterey with wastewater: Effect on soil chemistry and groundwater composition. **Journal of Environmental, Quality**, v. 13, p. 539-542, 1984.

CUBA, R. DA S. **Cultivo hidropônico de alface com água de reúso**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

CUBA, R. DA S. et al. Potencial de efluente de esgoto doméstico tratado como fonte de água e nutrientes no cultivo hidropônico de alface. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 445–458, jul. 2015.

CUNHA, A. H. N. et al. Cultivo de feijão irrigado com água residuária e adubado com micronutrientes. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 8, n. 1, p. 48–59, jun. 2015.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1–11, jan/mar. 2009.

CUNHA, P. C. R. et al. Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 735–742, 2013.

DANTAS, I. L. DE A. et al. Viabilidade do uso de água residuária tratada na irrigação da cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ambiente e Agua**, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 445–458, 2014.

DOURADO NETO, D. et al. Programa SWRC (Version 3.0): **Soil-Water Retention Curve** (Software). Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000, 385 p.

DUARTE, A. S. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 19, p. 302–310, 2008.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 3ª ed., Rio de Janeiro, 2013. 353 p.

EMBRAPA, T. C. Informações Técnicas para o Cultivo do Feijoeiro Comum na Região Nordeste Brasileira 2013-2014. **Documentos / Embrapa Tabuleiros**, 2013. 199 p.

FAO, F. AND A. O. OF THE U. N. **Pulses: Nutritious seeds for a sustainable future**. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i5528e.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

FEITOSA, S. O. et al. Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia, v. 36, n. 1, p. 146–155, 2015.

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado**. 2001. 126 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FRITCHE-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2011. 250 p.

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

GOMES, A. A. et al. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1927–1937, 2000.

GOMES, E. R. **Aplicação de água residuária e deficiência hídrica em espécies de interesse agrônomo**. 2016. 157 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

GUIMARÃES, C. M. et al. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 649–656, 2011.

IEA, I. DE ECONOMIA A. Evolução de área e produção de feijão no estado de São Paulo. **Análises de Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 11, n. 6, p. 1–5, jun. 2016.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. (EDS.). **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, 2009. 452 p.

KUMMER, A. C. B. et.al. Qualidade da água residuária para irrigação do trigo. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 297 - 308, 2012.

LACERDA, P. M. DE et al. Influência da irrigação com águas residuárias no desenvolvimento de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*). **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient**, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 159–168, 2011.

LIMA, R. M. M. DE et al. Reuso de água como estratégia hídrica e nutricional para a cultura do feijão-caupi. **In: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC' 2015**, 2015.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MANJERU, P. et al. Effects of water stress at different growth stages on components and grain yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **African Crop Science Conference Proceedings**, El-Minia, Egypt, v. 8, p. 299–303, 2007.

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

MARIOT, E. J. Ecofisiologia do Feijoeiro. **In: IAPAR (Ed.). O feijão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1989.

MENDES, R. M. S. et al. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.38, p.95-103, 2007.

MIORINI, T. J. J. **Produtividade do feijoeiro sob supressão de irrigação em diferentes fases fenológicas**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MORAIS, W. A. et al. Avaliação das características de produção do feijoeiro submetidos a variações de lâminas de irrigação e doses de adubação. **Rev. Bras. Agric. Irr.** v. 11, nº 3, Fortaleza, p. 1389 - 1397, Mai-Jun, 2017.

MURGA-ORRILLO, H. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 172–187, 2009.

NOGUEIRA, D. R. **Desempenho de linhagens de feijoeiro preto sob condições de estresse biótico e abiótico na região de Sete Lagoas**. 2016. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei 2016.

OLIVEIRA, A. E. D. S. **Efeito do déficit hídrico sobre o desenvolvimento do feijão-fava em ambiente protegido**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012a.

OLIVEIRA, E. L. DE. **Manual de utilização de águas residuárias em irrigação**. Botucatu-SP: FEPAF, 2012b.

OLIVEIRA, E. L. DE; RIBEIRO, J. C. Reuso de efluentes na agricultura. **Unesp**, 2013.

ORIVALDO, A. et al. **Aspectos Gerais da Cultura do Feijão**. FEPAF. Botucatu-SP. 433 p.

PÉREZ, R. P. et al. Efecto de diferentes intensidades de estrés hídrico en la fase vegetativa en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, Pinar del Río, Cuba, v. 22, n. 4, p. 60–64, 2013.

PERIN, K. **Reúso de efluente de lagoa de polimento no cultivo de alface hidropônica (*Lactuca sativa* L.) e de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*)**. 2006. 165 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Vitória, ES, 2006.

PLETSCH, T. A. **Irrigação de milho por sulcos com efluente de esgoto doméstico tratado**. 2012. 71 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

QUINTEL, E. D. et al. Manejo fitossanitário do feijoeiro. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, v. Circular T, p. 1–16, nov. 2005.

RAIJ, B. V. Pesquisa e Desenvolvimento em Micronutrientes e Metais Pesados. In: FERREIRA, M.E. et al. Micronutrientes e Elementos Tóxicos na Agricultura. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. p.7.

RAIJ, B. V. et al. Interpretação de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A.J.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e**

calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. p.8-13. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAMOS, E. U.; LEMOS, L. B.; DA SILVA, T. R. B. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 75–82, 2005.

REBOUÇAS, J. R. L. et al. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 1, p. 97–102, 2010.

REIS, C. F. et al. Influencia individual dos parâmetros na qualidade da água para irrigação. **In: INOVAGRI International Meeting**, 2012.

RIBEIRO, N. D.; STORCK, L. Genitores potenciais para hibridações identificados por divergência genética em feijão carioca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, p. 413–421, 2003.

RICHARDS, L. A. (ed). **Diagnosis and improviment of saline and alkali soils**. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handook, 60).

RICHETTI, A.; ITO, M. A. Viabilidade econômica da cultura do Feijão-Comum, safra da seca de 2016, em Mato Grosso do Sul. **Comunicado Técnico 2018**, n. 1, p. 1–11, dez. 2015.

RODRIGUES, L. N. et al. Crescimento e produção de bagas da mamoneira irrigada com água residuária doméstica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. Suplemento, p. 825–835, 2009.

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agronômicas potafos**, v. 7, n. 68, p. 1–16, dez. 1994.

SANTANA, M. J. DE et al. **Resposta do feijoeiro comum a lâminas e épocas de suspensão da irrigação**. 2007. 102 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – UFLA, Lavras, 2007.

SANTANA, M. J. DE et al. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 532–538, 2009.

SANTOS, P. R. DOS et al. Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 5, p. 666–678, 2009.

SILVA, F. DE A. S. E S.; AZEVEDO, C. A. V. DE A. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 11, n. 39, p. 3733–3740, 2016.

SILVA, J. G. D. **Biotecnologia do uso de água residuária doméstica em solo do cerrado no cultivo do capim *Brachiaria brizantha* cv marandu**. 2017. 100 f. Tese

(Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, Palmas, 2017.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro. **Documentos Embrapa Arroz e Feijão**, p. 63, jun. 2013.

SILVEIRA, A. L. et al. **Efeito dos níveis de salinidade da água de irrigação na produção do feijoeiro comum**. p. 16–20, 2017. Disponível em: <http://www.iftm.edu.br/proreitorias/pesquisa/revista/pdf/Resumo_16.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2017.

SILVEIRA, P. M. DA.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO, 2001. 230 p.

SORATTO, R. P. et al. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 1, p. 89-96, 2003.

SOUSA, M. A. DE et al. Estresse hídrico e profundidade de incorporação do adubo afetando os componentes de rendimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 2, p. 175–182, 2009.

SOUSA, M. A. DE. **Estresse hídrico em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do feijoeiro sob duas profundidades de incorporação do adubo**. 2017. 35 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Fesurv – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2007.

SOUSA, M. A. DE; LIMA, M. D. B. Influência da supressão da irrigação em estádios de desenvolvimento do feijoeiro cv. Carioca comum. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 550–557, 2010.

SOUZA, L. S. B. et al. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 70, n. 3, 2011.

SOUZA, D. P. DE et al. Influência da fertirrigação por sulco utilizando água residuária e diferentes níveis de adubação na produtividade do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 348–362, 2015.

TAIZ, L. .; ZEIGER, E. . **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre. In: TELLES, D. D. A.; COSTA, R. P. **Reúso da água: conceitos teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo-SP: Blucher, 2010.

TELLES, D. D. A.; GÓIS, J. S. DE. **Ciclo Ambiental da água: da chuva à Gestão**. Blucher, São Paulo, 2013.

TORRES, J. L. R. et al. Produtividade de feijão sobre lâminas de irrigação e coberturas de solo. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 29, n. 4, p.833-841, July/Aug. 2013.

VAN GENUTCHEN, M. T. H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 41, p. 892 – 898, 1980.

VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J. DE; BORÉM, A. **Feijão**. 2. ed. Viçosa-MG: UFV, 2013. 600 p.

WU, C. et al. Effects of drought and salt stress on seed germination of three leguminous species. **African Journal of Biotechnology**, Shaanxi Province, v. 10, n. 78, p. 17954–17961, 2013.