



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



RAFAELA MAGALHÃES DOS SANTOS

**RESPOSTA PRODUTIVA DO FEIJÃO CARIOCA (*Phaseolus vulgaris* L.
TAA DAMA.) SOB DÉFICIT HÍDRICO EM DIFERENTES FASES
FENOLÓGICAS**

Botucatu

2021

RAFAELA MAGALHÃES DOS SANTOS

**RESPOSTA PRODUTIVA DO FEIJÃO CARIOCA (*Phaseolus vulgaris* L.
TAA DAMA.) SOB DÉFICIT HÍDRICO EM DIFERENTES FASES
FENOLÓGICAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Engenharia Agrícola).

Orientador: Rodrigo Máximo Sánchez
Román.

Coorientador: Hélio Grassi Filho

Botucatu

2021

S237r

Santos, Rafaela Magalhães

Resposta produtiva do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L. TAA DAMA.) sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas

/ Rafaela Magalhães Santos. -- Botucatu, 2021

78 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

1. Agronomia. 2. Produtividade do feijoeiro. 3. Evapotranspiração. 4. Coeficiente de rendimento hídrico - Ky. I.

Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: RESPOSTA PRODUTIVA DO FEIJÃO CARIOCA (*Phaseolus vulgaris* L.) SOB DÉFICIT HÍDRICO EM DIFERENTES FASES FENOLÓGICAS

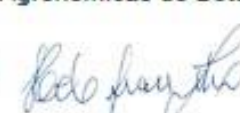
AUTORA: RAFAELA MAGALHÃES DOS SANTOS

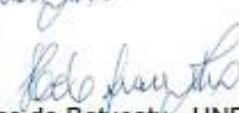
ORIENTADOR: RODRIGO MÁXIMO SÁNCHEZ ROMÁN

COORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA AGRÍCOLA, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO (Participação Virtual) 
Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. MÁRCIO HENRIQUE LANZA (Participação Virtual) 
Agronomia / Associação Educacional do Vale da Jurumirim

Prof. Dr. JOÃO CARLOS CURY SAAD (Participação Virtual) 
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 30 de julho de 2021

A quem me fez forte,

Meu amado filho, Cesar Magalhães Siciliano,

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus e Nossa Senhora Aparecida por me permitir esta realização.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de estudos, pelo processo nº. 830841/1999-7.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu-SP, pela minha aprovação no Programa.

Ao Professor Rodrigo Máximo Sánchez Román pela orientação, ensinamentos e compreensão. Ao meu co-orientador professor Hélio Grassi Filho, pelos ensinamentos e prontidão na realização deste trabalho.

Ao meu amado esposo Gabriel Fabian Siciliano, por todo carinho, dedicação e companheirismo, não medindo esforços para que eu conseguisse realizar mais este sonho.

Ao meu filho Cesar (5 anos), que mediante a tantas dificuldades e obstáculos pelo caminho, foi quem me deu força e motivo para continuar e não desistir.

A minha família, especialmente minha madrinha Maria, meus pais Zélia e Anídio e meus avós Antônio e Madalena, obrigada por sempre estarem ao meu lado e serem meu alicerce.

A minha sogra Dona Neide, por ser exemplo de amor, acolhimento e generosidade, sempre fazendo o que pode para nos confortar de muitas maneiras.

Ao meu amigo Evandro Márcio de Oliveira, que acreditou em mim, me apoiou e esteve ao meu lado nos momentos mais importantes da minha vida.

Aos meus queridos amigos Márcio Henrique Lanza, Silvia Capuani, Ana Paula Schmidt, Tainara Bortolucci, Joseane Scavroni, Érick Facioli, Danilo Berbel, Shirley

de Medeiros, Adilson Cardoso e Elaine Navarro, pessoas que sempre torceram por mim, pessoas enviadas por Deus que me ajudaram de tantas formas diferentes para a realização deste sonho.

Aos servidores Gilberto (Departamento Engenharia Rural) e Antônio (Departamento de Solos) que sempre estiveram prontos em ajudar no que fosse preciso.

Aos meus colegas que tive o prazer de conhecer nesta jornada, João Victor Ribeiro da Silva de Souza, Tamires Lima da Silva, Dávilla Alessandra da Silva Alves, Vicente Mota da Silva, Francielly Valani, Francisca Franciana Souza Pereira, Anderson, Camila Nunes e Evanize Rodrigues Castro, agradeço pelo apoio, ensinamentos e amizade.

A Faculdade Eduvale de Avaré por proporcionar a minha graduação com bolsa de estudos integral, onde a base profissional a mim atribuída, foi fundamental para dar continuidade na pós graduação.

RESUMO

O Brasil está entre os dez países que mais irrigam no mundo. Tendo em vista que somente as águas pluviais não são suficientes para suprir a demanda hídrica das culturas, pois os índices pluviométricos apresentam grande desuniformidade de distribuição, a irrigação apresenta-se como ferramenta fundamental para a segurança hídrica no campo. Estudos sobre o uso racional da água na irrigação são de suma importância, tendo em vista a economia de água, energia e para um bom desempenho de produtividade agrícola. Nesse sentido, a determinação dos coeficientes de resposta hídrica (K_y) surge como alternativa para realizar o manejo da irrigação. O objetivo deste trabalho foi determinar os valores de K_y em diferentes fases fenológicas da cultura do feijão carioca nas condições de Botucatu-SP. Para tanto, foi instalado um experimento na Fazenda Lageado, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais em casa de vegetação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, constituído por 4 tratamentos e 12 repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de déficit hídrico controlado, na tensão de 70kPa, representado 50% da capacidade de água disponível (CAD), em diferentes estádios fenológicos: T1: controle (não houve déficit hídrico em nenhum momento); T2: estágio vegetativo; T3: estágio de floração e T4: estágio de enchimento de grão. Foram analisados área foliar; altura de planta; diâmetro do caule; leitura indireta de clorofila; trocas gasosas: assimilação líquida de CO_2 (fotossíntese líquida), condutância estomática, concentração interna de CO_2 , transpiração, eficiência do uso da água, matéria seca, matéria fresca e produtividade. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste Tukey a 5% de probabilidade. Foi possível concluir que a fase de enchimento de grão, aos 82 dias após plantio, foi a fase que obteve a maior perda de produtividade na cultura, e consequentemente a taxa de evapotranspiração inferior à taxa potencial, acarretando em um decréscimo de 47,84% de produtividade com relação ao controle. Assim os valores de K_y nas fases vegetativa, floração e enchimento de grãos foram 1,32, 1,63 e 1,85 respectivamente.

Palavras-chave: coeficiente de resposta hídrica (K_y); evapotranspiração; tensiometria; Hargreaves Samani; produtividade.

ABSTRACT

Brazil is among the ten countries that most irrigate in the world. Considering that only rainfall is not enough to supply guarantee water crop demand, since the rainfall indexes present a great uneven distribution, irrigation presents itself as a fundamental tool for water security in agriculture. Studies on the rational irrigation water use are of paramount importance for a good productivity performance, while at the same time ensuring water and power costs. Savings in this sense, a determination of water response coefficients (K_y) appears as an alternative to carry out irrigation management. Thus, the objective of this work was to determine the K_y values for different bean phenological phases at Botucat-SP. An experiment was installed in a greenhouse at Fazenda Lageado, Department of Soils and Environmental Resources. The experimental design was randomized blocks, consisting of 4 treatments and 6 repetitions. The treatments were application of water control deficit tension of 70kPa, represented 50% of the available water capacity, a different phenological stages: T1: control (there was no water up to deficit at any time); T2: vegetative stage; T3: flowering stage; T4: grain filling stage. It were measured leaf area; plant height; stem diameter; indirect chlorophyll reading; gas exchange: net CO_2 assimilation (liquid photosynthesis), stomatal conductance, internal CO_2 concentration, transpiration, dry matter, fresh matter and productivity. The collected data had an analysis of variation and Tukey test at 5% probability. It was possible to conclude that the grain filling stage, at 82 days after sowing, was the phase that obtained the greatest loss of productivity and, consequently, an evapotranspiration rate lower than the potential rate, resulting in a 47.84% decrease in productivity compared to the control. Thus, K_y values in the vegetative, flowering and grain filling stages were 1.32, 1.63 and 1.85 respectively.

Keywords: water response coefficient (K_y); evapotranspiration; tensiometer; Hargreaves Samani; yield.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sementes de feijoeiro cultivar TAA DAMA	22
Figura 2 – Floração do feijoeiro cultivar TAA DAMA	23
Figura 3 – Planta do feijoeiro cultivar TAA DAMA	23
Figura 4 – Vagem do feijoeiro cultivar TAA DAMA	24
Figura 5 – Variação da ETc em função da umidade do solo, de acordo com diferentes autores.....	30
Figura 6 – Coeficiente de estresse hídrico (Ks) para diferentes tensões em dois comportamentos da curva Ks.....	32
Figura 7 – Componentes de um tensiômetro munido de vacuômetro metálico	35
Figura 8 – Leitura realizada através de tensímetro digital	36
Figura 9 – Relação da diminuição do rendimento em função do déficit hídrico	38
Figura 10 – Valores de Ky propostos pela FAO 33	39
Figura 11 – Valores de Ky propostos no documento FAO 66.....	39
Figura 12 – Funções lineares de produção de água para milho com déficits hídricos ocorrendo durante o período vegetativo, floração e amadurecimento	40
Figura 13 – Localização do experimento	42
Figura 14 – Caracterização das propriedades físicas do solo	43
Figura 15 – Croqui da área experimental.....	44
Figura 16 – Botão gotejador e mangueira instalados	44
Figura 17 – Experimento com o sistema de irrigação instalado.....	45
Figura 18 – Resultado da análise de solo	45
Figura 19 – Análise de curva de retenção de água no solo	47
Figura 20 – Curva de retenção de água do solo – Van Genuchten (1980)	48
Figura 21 – Plantas emergidas e tensiometria instalada.....	48
Figura 22 – Análise de área foliar	49
Figura 23 – Análise de diâmetro do caule, utilizando o paquímetro digital portátil Starrett – 797	49
Figura 24 – Aparelho MINOLTA SPAD – 502	50
Figura 25 – Infra Red Gás Analyzer (IRGA).....	51
Figura 26 – Quantidade total de grãos separados por tratamento	51
Figura 27 – Valores do coeficiente de cultura (Kc)	52

Figura 28 – Umidade em pontos de saturação, capacidade de campo, depleção máxima permitida e ponto de murcha permanente.....	53
Figura 29 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) durante o ciclo da cultura (dias).....	53
Figura 30 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) no Tratamento 1, durante o ciclo da cultura (dias)	54
Figura 31 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) no Tratamento 2, durante o ciclo da cultura (dias)	55
Figura 32 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) no Tratamento 3, durante o ciclo da cultura (dias)	55
Figura 33 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) no Tratamento 4, durante o ciclo da cultura (dias)	56
Figura 34 – Evapotranspiração de referência (mm), evapotranspiração máxima (mm), evapotranspiração em T1 (mm), evapotranspiração em T2 (mm), evapotranspiração em T3 (mm) e evapotranspiração em T4 (mm) durante o ciclo (dias).....	56
Figura 35 – Funções lineares de produção de água para feijão carioca cultivar TAA DAMA com déficits hídricos ocorrendo durante o período vegetativo, floração e enchimento de grão.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros biométricos avaliados ao término da fase vegetativa aos 50 DAP	58
Tabela 2 - Parâmetros biométricos avaliados ao término da fase de floração aos 63 DAP	59
Tabela 3 - Parâmetros fisiológicos avaliados ao término da fase de floração aos 63 DAP	60
Tabela 4 - Parâmetros biométricos avaliados ao término da fase de enchimento de grão - aos 82 DAP	61
Tabela 5 - Parâmetros fisiológicos avaliados ao término da fase enchimento de grão - aos 82 DAP	62
Tabela 6 - Produtividade alcançada	63
Tabela 7 - Valores médios da evapotranspiração máxima (ETm mm), evapotranspiração real (ETr mm), do déficit de evapotranspiração relativa $[(1 - ETr/ETm)]$ mm), da produtividade real ($yr\ ha^{-1}$), produtividade máxima ($ym\ ha^{-1}$) e da queda do rendimento relativo	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Cultura do feijão.....	21
2.1.1	Características morfológicas do feijão	21
2.1.2	<i>Phaseolus vulgaris</i> L. TAA DAMA	22
2.1.3	Importância econômica da cultura do feijão	24
2.1.4	Manejo cultural do feijoeiro	25
2.2	Necessidades climáticas e hídricas do feijão	25
2.3	Evapotranspiração.....	26
2.3.1	Evapotranspiração de referência (ET_0)	26
2.3.2	Evapotranspiração máxima da cultura (ET_c)	27
2.3.3	Evapotranspiração real (ET_r)	28
2.3.4	Coeficiente de estresse hídrico (K_s)	29
2.4	Manejo de irrigação	32
2.4.1	Estimativa de ET_0 pelo método de Hargreaves Samani.....	33
2.4.2	Tensiômetria.....	34
2.5	Importância da água nas plantas	36
2.6	Coeficiente de resposta de rendimento hídrico (K_y)	37
4	MATERIAL E METODOS.....	42
4.1	Caracterização da área experimental.....	42
4.2	Delineamento e caracterização dos tratamentos.....	43
4.3	Sistema de irrigação utilizado	44
4.4	Adubação	45
4.5	Condução do experimento.....	46
4.6	Parâmetros de avaliação no feijoeiro.....	48
4.6.1	Área foliar	48
4.6.2	Diâmetro de caule	49
4.6.3	Leitura indireta de clorofila	49
4.6.4	Análises fotossintéticas.....	50
4.6.5	Produtividade final.....	51
4.7	Determinação dos coeficientes de resposta hídrica (K_y)	52
4.7.1	Estimativa da ET_0	52
4.7.2	Estimativa da ET_c	52

4.7.3	Estimativa da ET_r	52
4.7.4	Estimativa de K_s	53
4.7.5	Estimativa de Y_r	57
4.7.6	Estimativa da Y_m	57
4.8	Análises estatísticas	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
6	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS.....	69
	APÊNDICE A – Dados de K_c , ET_o , ET_c e ET_r de cada tratamento	76

1 INTRODUÇÃO

A prática da irrigação vem crescendo em todo o planeta, devido aos excelentes resultados de produção que as culturas apresentam ao serem irrigadas.

Tendo em vista que somente as águas pluviais não são suficientes para suprir a demanda hídrica das culturas, pois os índices pluviométricos e sua distribuição variam muito dependendo da região e da época do ano, a irrigação apresenta-se como ferramenta fundamental para a segurança hídrica no campo. Desta forma, os sistemas de irrigação são capazes de ofertar água para as culturas mesmo em épocas de estiagem, garantindo produtividade durante o ano inteiro.

Neste sentido se faz necessário conhecer as necessidades climáticas da cultura, para a realização de boas práticas de cultivo, a fim de diminuir os riscos de perdas.

Segundo Silva et al. (2012) as plantas são capazes de expressar o seu maior potencial produtivo quando não sofrem estresse hídrico em nenhum momento, ou seja, quando a evapotranspiração real (ET_r) é igual a evapotranspiração máxima (ET_m). Porém, caso a oferta hídrica seja menor do que a demanda evapotranspirativa da planta, ocorrerá déficit hídrico e assim o rendimento da planta será menor do que o seu potencial, em função à quantidade de água que foi ofertada.

Com a queda ou aumento de produtividade em função da oferta de água para determinada cultura, destaca-se o método de K_y para prever a produtividade em função do déficit hídrico das plantas. Sendo K_y denominado o coeficiente de resposta hídrica das culturas, Doorenbos e Kassam (1979) adaptaram a este método com um modelo matemático diminuindo a produtividade potencial, com a redução da evapotranspiração da cultura manipulando a deficiência hídrica.

Contudo a relação entre a ET_m e ET_r (coeficiente de resposta hídrica - K_y) se torna ferramenta importante para a previsão produtiva e gestão das safras, em função da quantidade de água que o produtor fornece à cultura. Com a utilização do coeficiente de rendimento (K_y), se torna possível melhor administração da água de irrigação, uma vez que ter o conhecimento da sensibilidade ao estresse hídrico em cada fase fenológica da cultura, possibilita a economia de água e consequentemente de energia elétrica nos momentos onde K_y for menor que 1. Neste contexto, considerando a importância de se prever a produtividade da cultura, realizou-se esse estudo, cujo objetivo foi determinar o fator de resposta hídrica da produção (K_y), para

a cultura do feijão carioca cultivar TAA DAMA, no município de Botucatu, SP, da qual não existem referências na literatura técnica ou científica.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do feijão

A espécie *Phaseolus vulgaris* é popularmente conhecido como feijão comum, é uma dentre as 55 espécies do gênero *Phaseolus*. Originário das Américas, alguns autores defendem a ideia de que as variedades de feijões cultivados hoje em dia são resultadas de trabalhos extensos de domesticação de espécies primárias (FREITAS, 2006).

O feijoeiro possui grande importância econômica, alimentícia e cultural em diversos países. No Brasil, o feijão é um dos pilares do agronegócio, sendo cultivado em toda a extensão territorial brasileira, sendo a agricultura familiar a responsável por 67% da produção total no país (QUINTEIRO et al., 2018).

2.1.1 Características morfológicas do feijão

De acordo com sua classificação taxonômica, o feijão carioca é pertencente à família Fabaceae, gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris* L. As características das folhas desta dicotiledônia apresentam-se como heterofilia, pois apresentam dois tipos de folhas distintas, sendo um par de folha simples que se desenvolvem a partir do embrião e são as únicas folhas deste tipo presentes na planta, e as folhas compostas, conhecidas como trifólia. A lâmina foliar possui três folíolos; o folíolo central é simétrico e os dois folíolos laterais apresentam assimetria (CUNHA, 2009).

O par de folhas simples que são as primeiras folhas a se desenvolverem na planta, pois já estão no embrião envelhecem e caem antes do término do desenvolvimento da planta. As trifolias possuem em sua composição as estípulas, pecíolo, raque, pecíolulo e pulvínulos, a área foliar destas podem variar consideravelmente dependendo da ação dos fatores ambientais e também da cultivar (LEON, 1968)

Apesar do sistema radicular ser identificado como pivotante, este se assemelha com o sistema fasciculado, pois a raiz primária não é típica como as outras, e aproximadamente 80% do sistema radicular situam-se nos primeiros 20 cm do perfil do solo, desta forma, é possível afirmar que a planta explora principalmente a camada

superficial do solo, tornando-se sensível à desidratação do solo (SILVA, 2004). O sistema radicular possui cerca de 30 a 40 cm de profundidade, assim para o manejo adequado da irrigação, a profundidade efetiva máxima do sistema radicular a ser considerado para fins de projeto de irrigação deve ser de 30 cm (PIRES et al., 1991).

2.1.2 *Phaseolus vulgaris* L. TAA DAMA

Segundo o Registro Nacional de Cultivares (RNC), existem 372 cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. A cultivar TAA DAMA foi registrada no dia 08 de julho de 2013 no RNC sob o número de registro 31005, sob o mantenedor AGROPECUÁRIA TERRA ALTA S/S LTDA (BRASIL, 2019). De acordo com Rodrigues (2018), a genealogia do *Phaseolus vulgaris* L. cultivar TAA DAMA é desconhecida.

Figura 1 – Sementes de feijoeiro cultivar TAA DAMA



Fonte: SEPROTEC.

A cultivar TAA DAMA possui porte tipo III prostrado e indeterminado. A coloração da vagem na maturação de colheita é bege, a forma da semente é esférica, o brilho da semente apresenta-se opaco (Figura 1). A cor da flor é branca e ao iniciar o processo de caimento das pétalas a coloração passa a apresentar-se amarelada (Figura 2). O peso de 1000 sementes é de 283 gramas. O grupo comercial é carioca

e o ciclo, englobando a fase de emergência à maturação fisiológica é de 89 dias (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2013).

Figura 2 – Floração do feijoeiro cultivar TAA DAMA



Fonte: Rafaela Magalhães Santos, 2020

Figura 3 – Planta do feijoeiro cultivar TAA DAMA



Fonte: Rafaela Magalhães Santos, 2020

Figura 4 – Vagem do feijoeiro cultivar TAA DAMA



Fonte: Rafaela Magalhães Santos, 2020.

O valor comercial da cultivar se destaca por algumas características importantes como a lentidão no escurecimento dos grãos, proporcionando maior tempo de prateleira e negociação do produto (RODRIGUES, 2018), produtividade e tempo de hidratação ideal, demandando menos tempo no preparo (SANTIS et al., 2019).

2.1.3 Importância econômica da cultura do feijão

Os maiores produtores de feijão no mundo são Myanmar, Índia, Brasil, Estados Unidos, México e Tanzânia, responsáveis pela produção de 57% do total produzido no mundo, representando 15,3 milhões de toneladas. Já o consumo desta leguminosa é baixo em países desenvolvidos, e os países que mais produzem o grão como o Brasil e a Índia são também os maiores consumidores do produto, diminuindo as chances de exportação da leguminosa (COELHO, 2019).

O feijão é cultivado em todo o território nacional, tanto por pequenos como por grandes produtores. Na safra de 2019/2020 o Brasil produziu cerca de 1.636 kg ha⁻¹, a produtividade atingida nesta safra foi de 829,8 mil toneladas, numa área plantada

de 507,3 mil ha. No que diz respeito as exportações do feijão, é verificado um mercado comprador consolidado, no entanto sem perspectiva de expansão no presente momento, devido ao elevado preço do produto (CONAB, 2020).

2.1.4 Manejo cultural do feijoeiro

Para que seja possível obter grãos com bons padrões de qualidade é necessário que o produtor adote boas práticas culturais, desde o plantio até o armazenamento. A semeadura do feijão é geralmente feita três vezes no ano: a) no “período das águas” que compreende os meses de setembro a novembro; b) no período da seca, também chamado de safrinha, que englobam os meses de janeiro a março; c) no outono-inverno que são plantados nos meses de maio a julho. As cultivares de feijão carioca como são utilizadas nesta pesquisa, geralmente, são plantadas em áreas com irrigação (MOURA, 2013).

A colheita deve ser realizada assim que as vagens modificam sua coloração. Uma vez feita de forma tardia podem ocorrer contratempos como a perda de grãos, pois quanto mais secas estiverem as vagens, estas se abrem e os grãos são arremessados no solo, numa tentativa de perpetuação da espécie, diminuindo a produtividade da colheita. Outro problema que pode ocorrer com o atraso da colheita é a perda do poder germinativo e suas qualidades nutricionais. (EMBRAPA, 2019).

No manejo pós-colheita é imprescindível que os grãos sejam armazenados em locais protegidos da umidade e ar, pois pode ocasionar o desenvolvimento da radícula do grão, perdendo seu valor comercial. Quando armazenados incorretamente, pode ocorrer também o aparecimento de pragas e doenças no grão. (REGINATO, 2014).

2.2 Necessidades climáticas e hídricas do feijão

Antes da implantação de qualquer cultura, é necessário realizar a análise da demanda climatológica da cultura em questão, assim como a demanda hídrica que determinada espécie apresenta durante todo o ciclo. Assim pode ser planejada a melhor época para seu plantio de acordo com o local de cultivo; uma vez que o Brasil apresenta grande variabilidade de distribuição de chuvas em todo o território nacional.

A exigência climática do feijão abrange temperaturas médias mensais de 21°C durante o ciclo vegetativo, contudo, temperaturas muito elevadas podem acarretar na diminuição da frutificação, e temperaturas muito baixas podem influenciar no retardamento do desenvolvimento das plantas (CIIAGRO, 1977).

Durante o período que compreende o ciclo do feijão, são necessários aproximadamente 300 a 450 mm de água. Este valor varia em função do solo, da cultivar e das condições climáticas locais. Em fase inicial, que compreende o estabelecimento da cultura e o desenvolvimento vegetativo, o consumo hídrico diário está em torno de 3 a 4 mm; nas fases de floração e enchimento de grão, a planta pode consumir entre 5 a 6,5 mm/dia, e na fase final este valor diminui entre 3,0 a 3,5 mm/dia. (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

2.3 Evapotranspiração

A definição de evapotranspiração (ET) se dá através da combinação de dois processos distintos, que ocorrem simultaneamente, onde a água passa do estado líquido para o estado gasoso. Na superfície do solo por evaporação; e pela transpiração que consiste na vaporização da água contida nos tecidos celulares da planta, predominantemente nos estômatos, e sua posterior remoção para a atmosfera (COELHO FILHO et al., 2011).

No início do desenvolvimento da cultura, quando as plantas possuem porte pequeno, a água é perdida principalmente por evaporação direta do solo, a medida em que a cultura se desenvolve e a copa das plantas alcançam maiores espaços sombreados no chão, até ocorrer o fechamento do dossel e o solo ficar completamente coberto, a transpiração torna-se o processo principal de transferência de água para a atmosfera (ALLEN et al., 1998).

2.3.1 Evapotranspiração de referência (ET_0)

Thornthwaite (1948) adentrou ao termo evapotranspiração potencial (ET_p) ou evapotranspiração de referência (ET_0), definindo-a como a totalidade de água utilizada em uma extensa área vegetada, cobrindo todo o solo, estando em crescimento ativo,

e não faltando água em nenhum momento, ou seja, o solo estando sempre em condições ótimas de umidade.

Mais tarde, em 1956, Penman e Monteith, sugeriram que a ET_0 deveria ser uma vegetação que cobrisse o solo em sua totalidade e fosse de altura baixa e uniforme, assim adotou-se a grama como referência, utilizando-a em estações agrometeorológicas (FILHO et al., 2011).

Doorenbos e Pruitt (1977) definiram a ET_0 como sendo a ocorrência de evapotranspiração que ocorre em uma extensa superfície com grama, com altura de 0,08 m a 0,15 m, estando em crescimento ativo e não havendo nenhuma restrição hídrica. Assim os conceitos de ET_0 e ET_p são estritamente próximos, diferenciando-os apenas devido as condições de demanda atmosférica.

Com tantas sugestões contendo diferentes detalhamentos a respeito da ET_0 , porém baseada principalmente no modelo proposto por Penman, foi então padronizado que ET_0 é aquela que ocorre em uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, cujo albedo seja de 23% e a resistência difusiva do dossel ao transporte de vapor d'água de 70 s m^{-1} (ALLEN et al., 1998). Esta cultura hipotética coincide com as mesmas condições de uma superfície coberta por grama, que esteja em crescimento ativo e não havendo qualquer restrição hídrica no solo (SMITH, 1991).

2.3.2 Evapotranspiração máxima da cultura (ET_c)

A evapotranspiração máxima ou também conhecida como evapotranspiração da cultura, ocorre quando não há qualquer restrição hídrica no solo, neste caso a planta se desenvolve sob condições ótimas de manejo agrônomo, assim a planta atinge sua máxima transpiração. Portanto, ET_c é a máxima quantidade de água que uma planta utiliza em seu processo metabólico em determinado estágio de desenvolvimento. Desta forma a ET_c é utilizada em projetos de irrigação calculando-se a máxima requisição hídrica da cultura. (REICHARDT, 1990).

Para se estimar a ET_c , conforme metodologia proposta por Allen et al. (1998) primeiramente obtém-se o valor de ET_0 , através de dados de estações agrometeorológicas, em seguida os valores específicos do coeficiente de cultivo, denominado K_c , assim obtém-se o valor de ET_c , através da equação:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (1)$$

onde, ET_c : evapotranspiração máxima da cultura (mm dia^{-1}), ET_o : evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e K_c : coeficiente de cultivo (adimensional).

2.3.3 Evapotranspiração real (ET_r)

A ET_r possui relação muito próxima às características da ET_o , com a exceção da cultura utilizada e da quantidade de água no solo, podendo apresentar qualquer condição de umidade no solo, isto é, não estando necessariamente sempre em capacidade de campo. Se houver água disponível no solo e o fluxo de água na planta atender à demanda atmosférica, a ET_r será igual a ET_c , em contrapartida caso ocorra restrição hídrica no solo e a demanda atmosférica não for atendida, a ET_r será menor que a ET_c . Assim, a situação ideal para a cultura seria a ET_r igual a ET_c . Toda vez que a $ET_r < ET_c$, existe restrição hídrica, podendo acarretar na diminuição da produtividade, por este motivo a ET_c é utilizada para calcular a demanda climática máxima de uma cultura, em projetos de irrigação (THORNTHWAITE, 1948).

No momento em que o solo apresenta-se em capacidade de campo, a evapotranspiração da cultura será máxima (ET_c), ao passo que quando este solo inicia o processo de perda de água para o ambiente, a evapotranspiração real da cultura (ET_r) tende a diminuir (BERNARDO et al., 2005).

Portanto, em condições ótimas de desenvolvimento vegetativo, onde há quantidade satisfatória de água no solo e o fluxo de água existente no interior das células das plantas for capaz de atender a demanda atmosférica, a $ET_c = ET_r$. Em contra partida, caso ocorra restrição hídrica no solo e a demanda atmosférica não seja atendida, então $ET_r < ET_c$. Sabendo que a disponibilidade de água afeta diretamente a produtividade das culturas, Freitas et al. (1999) afirmam que a situação ideal (máxima produtividade) ocorre quando $ET_c = ET_r$, logo, quando $ET_r < ET_c$, justifica-se ao fato de que ocorreu restrição hídrica em algum momento, diminuindo assim a produtividade potencial da cultura.

A estimativa da ET_r , é baseado na disponibilidade real de água no solo, assim multiplicando a ET_c pelo coeficiente de estresse hídrico K_s , obtem-se tal valor.

$$ET_r = K_s * ET_c \quad (2)$$

sendo, ET_r : evapotranspiração real da cultura (mm dia^{-1}), K_s : coeficiente de estresse hídrico (adimensional e variável de 0 a 1), e ET_c : evapotranspiração máxima da cultura.

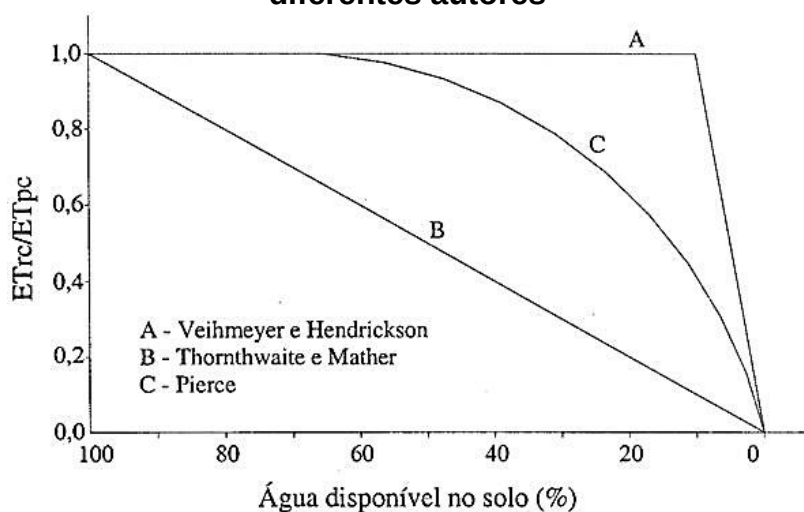
2.3.4 Coeficiente de estresse hídrico (K_s)

O coeficiente de estresse hídrico (K_s) surgiu através de pesquisas de alguns autores que relacionaram o efeito da umidade do solo ao decréscimo da relação ET_c/ET_p .

Bernardo et al. (2006) notou que há muitas controversas quanto ao efeito da umidade do solo no decréscimo da relação ET_c/ET_p , então citou três proposições: a) Veihmeyer e Hendrickson, defendem que quando a umidade do solo se encontra acima do ponto de murcha permanente, ocorre a razão potencial da evapotranspiração, caindo rapidamente ao se aproximar deste valor; b) Thornthwaite e Mather afirmam que ao ocorrer o decréscimo da umidade do solo, ocorre também um decréscimo linear da relação ET_c/ET_p ; c) Pierce concluiu que a relação de ET_c/ET_p decai rapidamente na forma exponencial, quando o nível de umidade do solo estiver acima de aproximadamente um terço da água disponível, a ET_c se manterá acima de 90% da ET_p (BERNARDO et al., 2006).

Na Figura 5, é possível analisar os modelos propostos por cada um dos três autores.

Figura 5 – Variação da ET_c em função da umidade do solo, de acordo com diferentes autores



Fonte: BERNARDO et al. (2006).

Alguns pesquisadores acreditam que a ET_c é igual a ET_p durante algum período de tempo, ocorrendo um rápido descrésimo a partir de determinado valor de umidade de solo, seguindo uma forma exponencial. Seguindo a ideia do comportamento exponencial da curva, uma vez que muitos autores concordam com tal teoria, Bernardo et al. (2006) recomendam o coeficiente de estresse hídrico “ K_s ” para que seja possível a converção da ET_p em ET_c em função da disponibilidade hídrica do solo, com base nos resultados experimentais obtidos por Pierce (curva C da Figura 5).

Os efeitos da deficiência hídrica do solo notados na evapotranspiração da cultura, são descritos reduzindo este valor para o coeficiente da cultura (K_c) e multiplicando este pelo coeficiente do estresse hídrico (K_s). Uma vez que K_s descreve o efeito do estresse hídrico na transpiração da cultura, o coeficiente é usado para o cálculo de ET_c , como visto na equação 3.

$$ET_c = K_s * K_c * ET_o \quad (3)$$

onde: ET_c : evapotranspiração máxima da cultura (mm dia^{-1}), K_s : efeito do déficit de água no solo, ET_o : evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}) e K_c : coeficiente de cultivo (adimensional).

O valor de K_s representa o efeito do déficit de água no solo na zona radicular, que ocorre quando o potencial mátrico do solo é reduzido a um valor limítrofe. A determinação de K_s é dado através da equação 4 (BERNARDO et al., 2006).

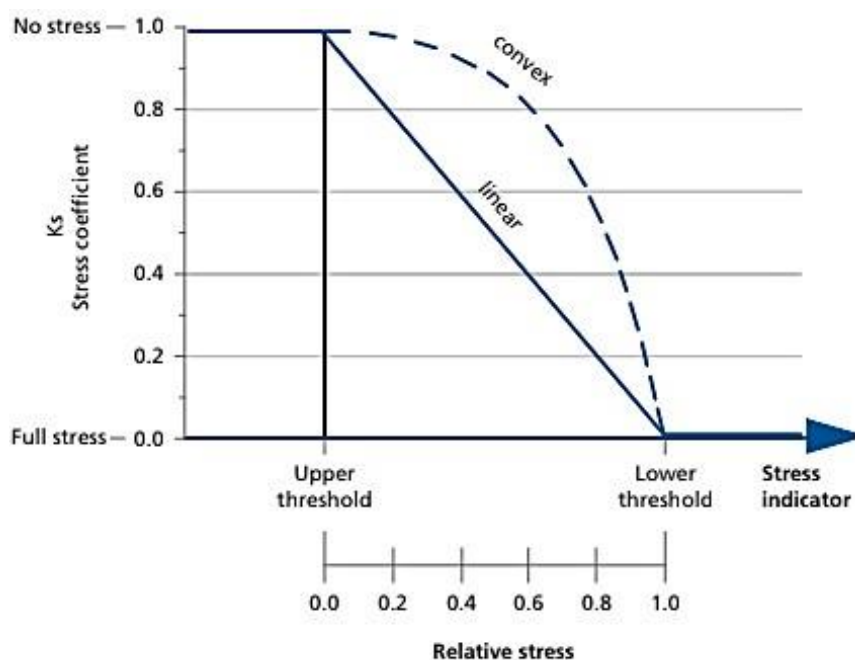
$$K_s = \frac{((\theta_a - \theta_{pmp}) + 1)}{((\theta_{cc} - \theta_{pmp}) + 1)} \quad (4)$$

em que: θ_a = teor de umidade atual do solo na zona das raízes ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$); θ_{pmp} = teor de umidade do solo no ponto de murcha permanente ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$); θ_{cc} = teor de umidade do solo na capacidade de campo ($\text{m}^3.\text{m}^{-3}$).

De acordo com o boletim FAO 66, estresses hídricos ocorridos nas plantas relacionados ao déficit e ao excesso de água, é chamado de estresse de aeração. Os efeitos do estresse hídrico na produtividade e no uso da água implica no crescimento do dossel; na condutância estomática; na senescência da copa; no aprofundamento da raiz e na colheita.

O efeito do estresse hídrico é caracterizado pelo esgotamento de água da zona do sistema radicular (D_r), onde os limites são depleções de água do solo na zona da raiz, expressas como frações da capacidade de água disponível no solo (CAD). No ponto em que não há depleção $K_s = 1,0$. A medida em que o esgotamento avança K_s não cairá abaixo de 1,0 até que o limite superior para o efeito de estresse seja alcançado, este limite é referido como P_{superior} . Conforme ocorre o aumento do esgotamento da zona radicular, o valor de K_s diminui, até que o limite inferior seja alcançado, desta forma, quando K_s é igual a zero, o efeito do estresse é máximo (Figura 6) (STEDUTO et al., 2012).

Figura 6 – Coeficiente de estresse hídrico (K_s) para diferentes tensões em dois comportamentos da curva K_s



Fonte: STEDUTO et al., 2012.

Para tensões hídricas, a forma da curva pode variar entre muito convexa para levemente convexo para linear. Conceitualmente, quanto mais convexa for a curva, maior será a capacidade de se ajustar e se aclimatar ao estresse. Uma relação linear indica mínimo ou nenhuma aclimação. Os limites de tensão, bem como a forma da curva devem ser baseado no conhecimento da resistência ou tolerância da cultura à seca.

2.4 Manejo de irrigação

Para se realizar um manejo de irrigação eficiente, é necessário saber a quantidade de água que a planta evapotranspira, para então atender a demanda evapotranspirométrica da cultura, com a finalidade de não deixar que ocorra déficit hídrico no ciclo de desenvolvimento.

Para atender a evapotranspiração das culturas, existem diferentes métodos quer nos permitem estimar a evapotranspiração de referência (ETo), eles podem ser divididos em diretos e indiretos. Os métodos diretos são: a) o método dos lisímetros; b) método das parcelas experimentais; c) método do controle da umidade do solo. Os

métodos indiretos compreendem: a) evaporímetros; b) equações (método Blaney-Criddle, método de Hargreaves e o método de Penman-Monteith) (BERNARDO et al., 2006).

Em 1998 a FAO (Allen et al., 1998) propôs uma metodologia para o cálculo da ETo baseada na equação de Penman Monteith, esta metodologia é universalmente utilizada como referência para a estimativa da ETo. No entanto, para se obter resultados rigorosos esta metodologia exige os parâmetros de temperatura, humidade relativa, radiação e velocidade do vento. Porém, tais exigências acabam por tornar o método economicamente inviável, uma vez que os instrumentos utilizados necessitam de manutenção e calibração regular, como é o caso dos piranómetros e higrómetros (SHAHIDIAN et al., 2011). Assim, a escolha do método de obtenção da estimativa da ETo é dependente principalmente da qualidade dos dados disponíveis e da correta calibração para a localidade.

2.4.1 Estimativa de ETo pelo método de Hargreaves Samani

O modelo de Hargreaves Samani, utilizado na estimativa da ETo, é considerado de simples aplicação, uma vez que utiliza elementos meteorológicos de fácil obtenção como a temperatura (LIMA JUNIOR, 2016).

$$ETo = 0,0023 * Ra (T_{méd} + 17,8) * (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (5)$$

em que: Ra é a radiação no topo da atmosfera, em MJ m⁻² d⁻¹; valor tabelado conforme latitude do local e dia do ano; T_{max}, T_{min} e T_{méd} são as temperaturas máxima, mínima e média do ar em °C, respectivamente.

Apesar da facilidade na utilização deste método, Bernardo et al. (2006) apontam possíveis valores de ETo superestimados sob climas úmidos e valores subestimados para condições de alta velocidade do vento, frisando que para a utilização do modelo proposto por Hargreaves Samani, é necessário calibração regional para melhor precisão.

Shahidian et al. (2011) estudando a utilização da equação de Hargreaves Samani para o cálculo da ETo em estufas, concluíram que tal equação resulta em

estimativas de ETo satisfatórias quando utilizada no interior de casa de vegetação, uma vez que a velocidade do vento em estufas é negligenciável.

2.4.2 Tensiometria

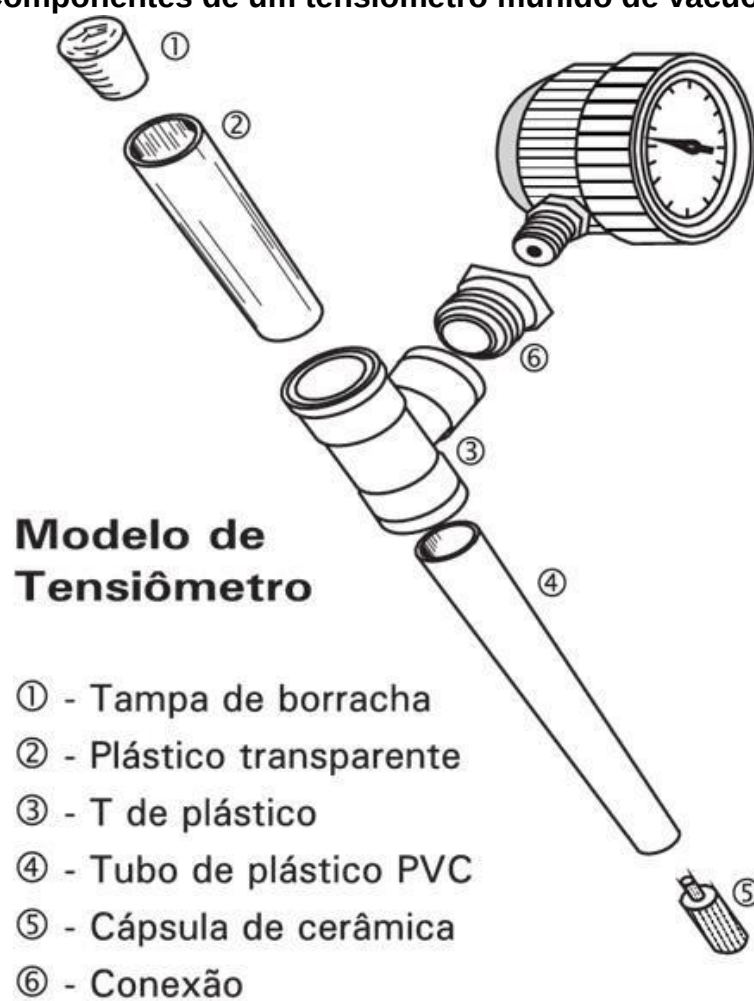
A tensão de retenção da água no solo é uma característica importante que tem sido utilizada desde o século passado abordando informações importantes no desenvolvimento da agricultura (DIENE e MAHLER, 2007).

Por apresentar baixo custo de aquisição e fácil montagem, o tensiômetro é um aparelho acessível. É geralmente utilizado em propriedades menores que não possuem estação agrometeorológica ou que não há dados meteorológicos disponíveis que auxiliem na estimativa da evapotranspiração. O método da tensiometria é considerado como a melhor alternativa para a avaliação indireta de déficit hídrico nas culturas (CUNHA, 2009).

O tensiômetro consiste em um tubo de plástico conectado a uma cápsula porosa na extremidade inferior, podendo ser de porcelana ou cerâmica, a outra extremidade é conectada a um tubo ou mangueira plástica transparente vedado com uma rolha de borracha. Para sua ativação, o equipamento é preenchido com água destilada e assim com a cápsula porosa, que apresenta permeabilidade à água e aos solutos do solo, e impermeabilidade a gases e à matriz do solo, formará um vácuo em seu interior, até determinado nível de tensão (AZEVEDO e SILVA, 1999).

O método da tensiometria consiste na instalação de tensiômetros ativados no perfil do solo, na profundidade em que se encontra 80% do sistema radicular em questão. A leitura da tensão de retenção da água no solo é realizada através de um medidor de vácuo (manômetro de mercúrio) que é fixado no aparelho, ou através de um tensímetro digital móvel, que consiste na introdução da agulha do mesmo na extremidade da borracha de vedação, onde irá fazer a leitura da tensão com a qual a água está retida no solo através do vácuo formado no interior do tensiômetro (AZEVEDO e SILVA, 1999).

Figura 7 – Componentes de um tensiômetro munido de vacuômetro metálico



Fonte: AZEVEDO et al. (1999).

Figura 8 – Leitura realizada através de tensímetro digital



2.5 Importância da água nas plantas

A produtividade de qualquer cultura é impactada diretamente pela falta de água, algumas culturas sofrem mais com este efeito do que outras. No entanto o fator hídrico é fundamental para o desenvolvimento e produtividade das culturas; uma vez que a presença de água torna possível todos os fenômenos físicos, químicos e biológicos, os quais são essenciais para o desenvolvimento das plantas (CARLESSO, 1995).

No interior das plantas, a água funciona como regulador de temperatura e permite que ocorra o transporte de nutrientes e minerais, tal como os produtos orgânicos essenciais para a realização da fotossíntese, lhe conferindo papel fundamental no metabolismo da planta (FERRI, 1985).

Devido à desuniformidade na distribuição das chuvas em todo o território nacional, ocorre a queda na produtividade das culturas, uma vez que a falta de água em momentos importantes do ciclo compromete seu desenvolvimento (CARVALHO, 2004). No verão, ocorre com frequência os chamados “veranicos”, caracterizados por demandarem valores evapotranspirativos altos, ao passo em que se tem menor incidência de chuvas ou chuvas irregulares. Este fato causa queda de produtividade, uma vez que o armazenamento hídrico do solo não é abastecido constantemente e de maneira uniforme, prejudicando o desenvolvimento das plantas (SILVA, 2017).

Neste sentido se faz necessário conhecer as condições climáticas, na qual determinada cultura melhor de se desenvolve, para a realização de boas práticas de cultivo. Segundo Silva et al. (2012) as plantas são capazes de expressar o seu máximo potencial produtivo quando não sofrem estresse hídrico em nenhum momento; ou seja, quando o solo permanece com níveis hídricos satisfatórios durante todo o ciclo produtivo da cultura. Caso a oferta hídrica seja menor do que a demanda evapotranspirativa da planta, ocorrerá déficit hídrico, assim o rendimento da planta será menor do que o seu potencial, de acordo com a quantidade de água que foi ofertada (FERRI, 1985). Com a queda ou aumento de produtividade em função da oferta de água, destaca-se o coeficiente K_y para estimar a produtividade em função do déficit hídrico das plantas.

2.6 Coeficiente de resposta de rendimento hídrico (K_y)

O coeficiente de resposta de rendimento hídrico – K_y , foi proposto pela FAO em 1979. Relaciona o rendimento das culturas e o uso da água, propondo uma equação onde a redução do rendimento relativo está vinculada a uma redução relativa da evapotranspiração. Esta publicação se revelou muito importante para a época, onde muitos autores passaram a pesquisar o assunto, sendo amplamente utilizados no mundo para diferentes aplicações (DOORENBOS e KASSAM, 1979). A equação 6 expressa a resposta de rendimento à evapotranspiração.

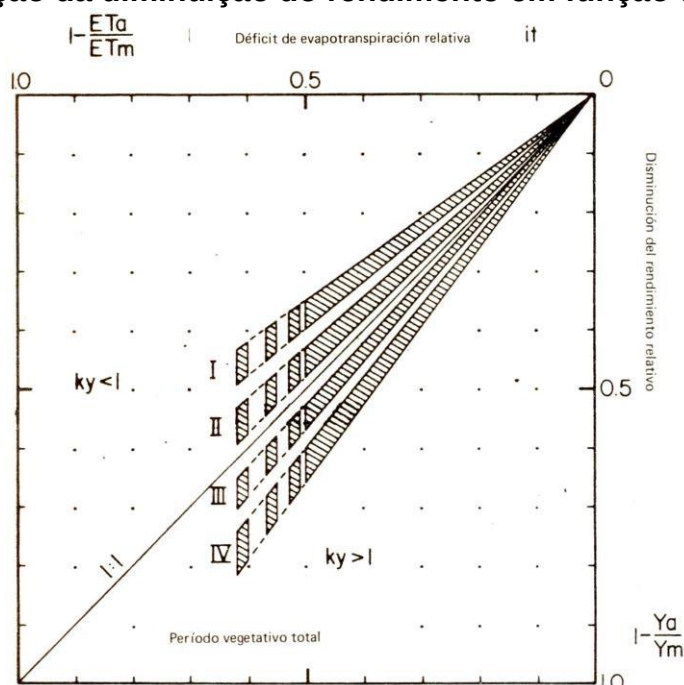
$$\left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right) \quad (6)$$

onde: K_y é o coeficiente de resposta de rendimento hídrico, Y_r representa o rendimento real (kg ha^{-1}), Y_m , representa o rendimento máximo ou potencial (kg ha^{-1}), ET_r é a evapotranspiração real da cultura (mm) e a ET_m é a evapotranspiração máxima da cultura (mm).

No desenvolvimento de uma cultura existem ligações complexas entre a produção e o uso da água, onde estão envolvidos muitos processos físicos, químicos e biológicos. Desta forma K_y mostrou validade relevante, onde proporciona a quantificação dos efeitos dos déficits de água na produção de qualquer cultura (STEDUTO et al., 2012).

Os valores de K_y são específicos para cada cultura e seus valores variam no decorrer do desenvolvimento vegetativo, conforme as fases fenológicas. Contudo, os valores de K_y foram relacionados da seguinte forma: $K_y > 1$: significa que a resposta da cultura é muito sensível ao déficit hídrico com maiores reduções de rendimento. $K_y < 1$: significa que a cultura é mais tolerante ao déficit hídrico e é capaz de se recuperar parcialmente do estresse hídrico, apresentando perdas de rendimentos menores. E $K_y = 1$ significa que a redução do rendimento é diretamente proporcional ao uso reduzido de água (DOORENBOS e KASSAM, 1979). Na Figura 5 observa-se a relação de rendimento e ET (evapotranspiração) de algumas culturas.

Figura 9 – Relação da diminuição do rendimento em função do déficit hídrico



I: Alfafa, amendoim, cártamo e beterraba sacarina; II: Repolho, frutas cítricas, algodão, videira, sorgo, soja, beterraba, girassol, tabaco e trigo; III: Feijão, cebola, ervilha, pimenta, batata, tomate e melancia; IV: Banana, milho e cana.

Fonte: DOORENBOS e KASSAM (1979).

Assim, Doorenbos e Kassam (1979) listaram algumas culturas com base na análise da literatura disponível sobre deficiência hídrica, rendimento das culturas e suas relações hídricas, e então derivou-se os valores de K_y . Na Tabela 1 nota-se os valores de K_y para diferentes fases fenológicas do feijoeiro.

Figura 10 – Valores de Ky propostos pela FAO 33

Cultura	Período vegetativo	Floração	Formação de vagem	Maturação	Período vegetativo total
Feijão	0,2	1,1	0,75	0,2	1,15

Fonte: DOORENBOS e KASSAM (1979).

Embora a abordagem da FAO 33 seja solidamente baseada nos princípios de uso da água, outros fatores podem influenciar no resultado do rendimento das culturas, como por exemplo nutrição das plantas ou o uso de diferentes cultivares. Sendo assim, ajustes para condições específicas do local seriam necessários para se obter uma maior precisão (STEDUTO et al., 2012).

Após pesquisa realizada com vasta gama de culturas em diferentes ambientes, a International Atomic Energy Agency (FAO, 2012), relatou valores de K_y que apresentaram grandes variações, sugerindo que tais valores dentro da mesma cultura podem ser diferentes.

Figura 11 – Valores de Ky propostos no documento FAO 66

Cultura	Período vegetativo	Floração	Formação de vagem	Maturação	Período vegetativo total
Feijão	0,30	1,75	1,44	0,06	0,59
	0,56	1,35	0,87	0,17	1,43

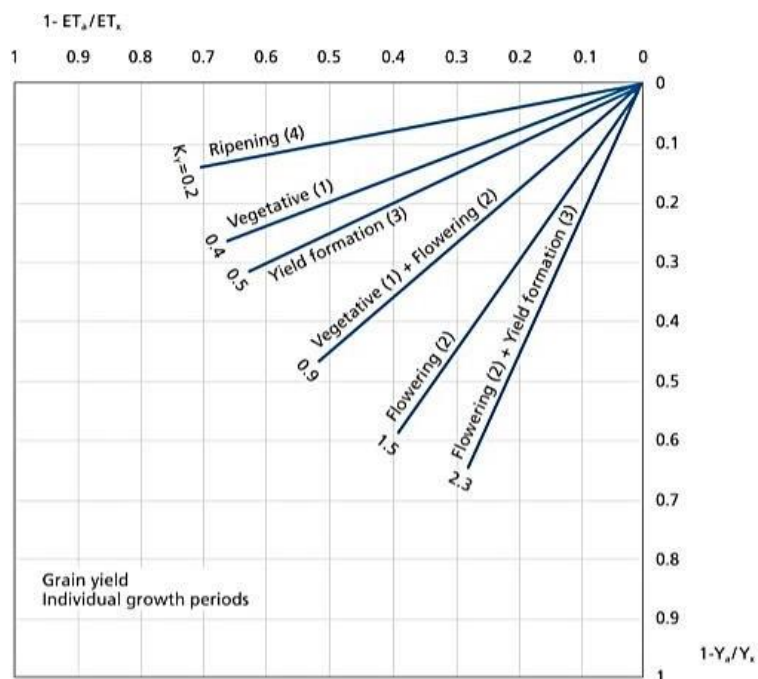
Fonte: STEDUTO et al. (2012).

As diferenças nos valores de K_y entre as duas publicações são importantes, e as tendências específicas de diferentes condições necessitam de atenção. Assim, a abordagem do rendimento em função do uso da água tem se mostrado útil para a avaliação rápida de reduções de rendimento sob abastecimento de água, planejamento geral, realização de projeto e para a operação de projetos de irrigação.

A análise dos estudos de deficiência hídrica permitiu o desenvolvimento das funções de resposta de rendimento para diversas culturas, quando ocorrem estresse hídrico em diferentes estágios da cultura. Na Figura 10 é possível verificar que a resposta do rendimento dependerá do estágio de desenvolvimento em que ocorrerá o

estresse. É notado que, geralmente, as fases que são mais sensíveis ao déficit hídrico, são as fases de floração e enchimento de grãos, em contrapartida ao ocorrer estresse na fase vegetativa, o efeito do impacto do estresse é menor, uma vez que a cultura consiga se recuperar do estresse nas fases posteriores. O estresse ocorrendo na fase de maturação possui impacto limitado (STEDUTO et al., 2012).

Figura 12 – Funções lineares de produção de água para milho com déficits hídricos ocorrendo durante o período vegetativo, floração e amadurecimento



Fonte: STEDUTO et al., 2012.

Quanto mais íngreme o declive; ou seja, o maior o valor de K_y , maior será a redução do rendimento para uma dada redução na ET devido a déficits hídricos no período específico.

Muito se tem discutido sobre a produtividade de diversas cultivares de feijão relacionado ao estresse hídrico, porém a determinação do coeficiente de resposta de rendimento hídrico (K_y) não existe para a cultivar de feijão TAA DAMA. Filho et al. (2015) em seu trabalho sobre o fator de resposta no feijoeiro, utilizando o feijão carioca, cultivar BRSMG Majestoso, concluiu que o K_y para esta variedade é 0,7635, considerando o ciclo total da cultura. Cordeiro et al. (1998), trabalhando com o coeficiente de resposta de rendimento hídrico em feijão caupi (*Vigna Unguiculata* (L.) Walp.), concluíram que os valores de K_y foram inferiores a 1,0, o que indica baixa

sensibilidade ao estresse. Em sua pesquisa sobre fatores de resposta no nordeste paraense, Moura (2019), utilizando o feijão caupi, verificou o valor de K_y de 1,48 na fase de enchimento de grão.

De acordo com Paolinelli et al. (2021), o déficit hídrico pode ser atribuído às culturas nas fases onde a sensibilidade ao estresse hídrico seja menor, ou no ciclo inteiro; uma vez que a espécie cultivada possua baixa sensibilidade a este fator; obtendo menores reflexos na redução da produtividade da cultura. Para isso, é fundamental que sejam conhecidos os coeficientes de resposta de rendimento hídrico (K_y), obtidos com base em experimentação em campo e divulgados pela literatura. Esta técnica apresenta-se como alternativa economicamente viável do ponto de vista de contenção de água e sua eficiência, uma vez que é possível alcançar o retorno financeiro semelhante ou superior ao da irrigação plena.

Contudo, os valores do coeficiente de rendimento (K_y) nos permite melhor administração da lamina de irrigação nos momentos adequados de manejo, uma vez que de acordo com o valor de tal coeficiente é possível saber em qual fase da cultura a planta possui menor sensibilidade ao estresse hídrico, sendo possível a diminuição da lamina aplicada, quando K_y for menor que 1. Em contrapartida, quando K_y apresenta valor maior que 1, evidencia que em dada fase fenológica se faz necessário a pratica da irrigação, uma vez que neste momento a planta possui sensibilidade ao estresse hídrico.

Dada tal importância ao conhecimento dos valores específicos de K_y , nota-se que não há na literatura científica ou técnica valores definidos para *Phaseolus vulgaris* L. cultivar TAA DAMA, assim enfatiza-se a necessidade da realização de pesquisas envolvendo a determinação do coeficiente K_y para diferentes localizações da cultivar TAA DAMA.

4 MATERIAL E METODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, localizado no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/ UNESP), Botucatu-SP. O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas latitude 22°50'48" S, longitude 48°26'07" W, e altitude 817 m.

Figura 13 – Localização do experimento



Fonte: Google Earth, 2021.

O experimento foi instalado em vasos de 45x35x28 cm, com capacidade útil para 50L. Os vasos foram preenchidos com solo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico. Segue abaixo a análise de solo realizada para a condução do presente experimento (Tabela 3).

Figura 14 – Caracterização das propriedades físicas do solo

Densidade do solo ¹ (g cm ⁻³)	Densidade de partículas ² (g cm ⁻³)	Granulometria %			Textura do solo
		Areia	Silte	Argila	
1,18	2,5	64,8	6,2	29	Franca

¹ Densidade do solo obtida pelo método do anel (EMBRAPA, 2011);

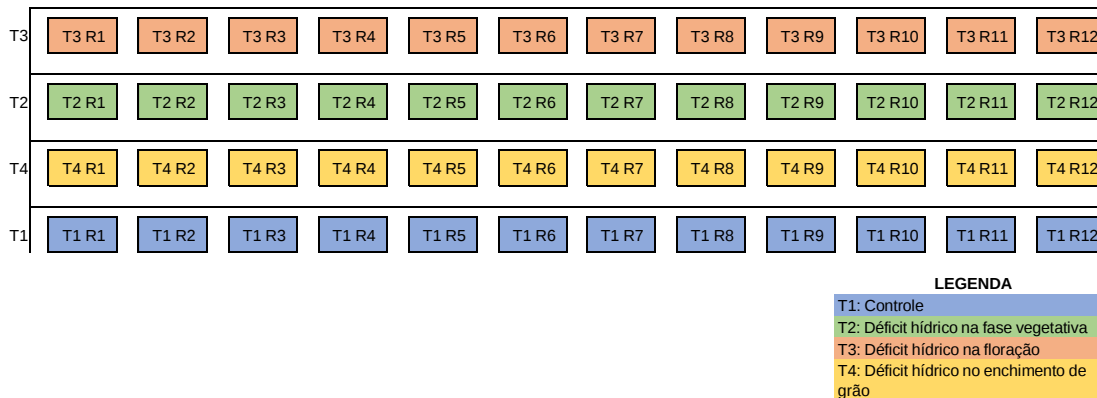
² Densidade de partículas obtida pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 2011).

Fonte: Laboratório de Solos e Recursos Ambientais/FCA, 2020.

4.2 Delineamento e caracterização dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC), constituído por 4 tratamentos e 12 repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de déficit hídrico severo, representando 50% da CAD, em diferentes estágios fenológicos, sendo: T1: controle (não houve déficit hídrico em nenhum momento); T2: aplicação de déficit hídrico no estágio vegetativo, período em que compreende a aparição da terceira trifólia até antes do primeiro botão floral; T3: aplicação de déficit hídrico no estágio de floração, período entre o surgimento dos primeiros botões de flor até o caimento das pétalas; T4: aplicação de déficit hídrico no estágio de enchimento de grão, sendo o surgimento da primeira vagem até a maturação desta. Nos momentos em que não ocorreu déficit hídrico nos tratamentos, os vasos foram mantidos na capacidade de campo, representando 35% da capacidade de água disponível (CAD).

Segue abaixo o croqui do experimento com a distribuição dos tratamentos na área experimental.

Figura 15 – Croqui da área experimental

4.3 Sistema de irrigação utilizado

O sistema de irrigação constou de mangueiras cegas, onde foram instalados botões gotejadores conectados a espaguete, que foram presos nos vasos para não alterar a saída da lâmina aplicada. A vazão dos botões é de 4L h^{-1} com pressão de trabalho de $0,7\text{ Kgf cm}^{-2}$. Foi instalado um registro no início de cada mangueira para o controle dos tratamentos.

Figura 16 – Botão gotejador e mangueira instalados

Fonte: Rafaela Magalhães Santos, 2020.

Foi realizado o teste de uniformidade do sistema de irrigação através da metodologia de CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen) e CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição), onde porcentagens maior que 90%, excelente; entre 80% e 90%, bom; 70% e 80%, razoável; 60% a 70% ruim e menor que 60%, inaceitável. (KELLER e KARMELI, 1975). Para estimar a eficiência do sistema de irrigação, seguiu-se recomendação de Vermeiren e Jobling (1986) para sistema localizados. Assim foi obtido 97% de uniformidade de distribuição no sistema. Segue abaixo na Figura 14 o experimento com o sistema de irrigação instalado.

Figura 17 – Experimento com o sistema de irrigação instalado



Rafaela Magalhaes dos Santos, 2020.

4.4 Adubação

A adubação e correção nutricional do solo, foi realizada no dia 1/05/2020, de acordo com o Boletim Técnico 100 (1997), com base na análise química do solo, realizada pelo Laboratório de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, conforme Tabela 4.

Figura 18 – Resultado da análise de solo

pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	Na	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol/dm ³ -----										-----mg/dm ³ -----				
5,8	21	78	0	16	-	1,3	43	13	58	74	78	13	0,33	0,8	36	2,4	3,5

Fonte: Laboratório de Solos e Recursos Ambientais/FCA, 2020.

A adubação mineral de plantio foi realizada no dia 08/05/2020. Foram aplicados 0,132g de uréia; 1,20g de cloreto de potássio (KCL) e 0,51g de fosfato monoamônico (MAP) por vaso. A adubação de cobertura foi aplicada aos 20 e 40 dias após emergência (DAE), aplicando 0,82g de uréia por vaso em cada uma das aplicações.

4.5 Condução do experimento

O plantio foi realizado no dia 08/05/2020, semeando duas sementes por cova, em seis covas por vaso. Após o desbaste, permaneceram seis plantas por vaso. As sementes foram tratadas com inseticida Cruiser 350 FS e o fungicida Vitavax Thiram 200 SC.

Foram instalados três tensiômetros por tratamento na profundidade de 15 cm, distribuídos aleatoriamente entre as parcelas de cada tratamento. Todos os tratamentos foram irrigados de forma homogênea mantendo a capacidade de campo até que a cultura fosse estabelecida. O desbaste foi realizado no 10º DAE (dias após emergência).

Os tratamentos foram iniciados aos 35 DAP (dias após plantio). O manejo da irrigação foi realizado via solo, através da tensiometria, onde foi irrigado diariamente, entre 8h e 9h da manhã, e entre 14h e 15h, se necessário.

A água facilmente disponível para as plantas (AFD) representa a fração máxima de água no solo que pode ser utilizada pela cultura, sem que se configure um déficit hídrico. Esta fração pode ser chamada também de déficit máximo permitido de manejo, e está compreendida entre 30% e 70% capacidade de água disponível (CAD) (FRIZONE, 2017). Assim no tratamento 1 a irrigação era realizada quando a leitura da tensão do solo atingia o valor de 26 kPa (35% da CAD), sendo irrigado pelo tempo determinado de acordo com o sistema de irrigação utilizado até que a tensão voltasse a estar em 6 kPa (Capacidade de Campo) com umidade de $0,211 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, como mostra a Tabela 5.

Nos tratamentos 2, 3 e 4, que sofreram déficit em apenas um estágio fenológico cada, no momento em que não sofreram déficit hídrico o manejo foi igual ao tratamento 1. Nos momentos de aplicação do déficit hídrico, os tratamentos não foram irrigados até a tensão de água no solo atingir 70 kPa, compreendendo a umidade de $0,104 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. De acordo com Frizone (2017) para que a planta não sofra estresse hídrico, o déficit de umidade na zona radicular não deve ser superior a 50% da CAD,

assim adotou-se o valor de 70kPa para a aplicação do déficit hídrico, representando 50% da CAD, compreendendo a umidade de 0,104 cm³ cm⁻³ (Tabela 5), caracterizando uma aplicação severa de déficit hídrico. Uma vez que a cultura do feijão apresenta sensibilidade ao déficit hídrico (BERTOLDO et al., 2019), e (BERGAMASCHI et al., 1988) aumentando o valor de déficit hídrico descrito acima, poderia cessar as atividades fotossintéticas, comprometendo a viabilidade das plantas.

Com a equação 7, proposta por Van Genuchten (1980), foi possível obter a umidade em todas as tensões do solo.

$$\theta = \theta R + (\theta S - \theta R) * \left[\frac{1}{1 + (\alpha * \Psi_m)^n} \right]^m \quad (7)$$

onde, θ é a umidade em cm³ cm⁻³ em qualquer ponto de tensão, θR é a umidade residual do solo, θS é a umidade de saturação do solo, Ψ_m é o ponto de tensão, os valores de α , m e n , são coeficientes gerados pelo modelo do software SWRC – Soil Water Curve Retention (DOURADO e NETO, 2015), os valores obtidos foram de 1,66630, 1043 e 3,1647 respectivamente.

A curva de retenção de água do solo (gráfico 1), foi obtida através do software SWRC – Soil Water Curve Retention (DOURADO e NETO, 2015), conforme análise física dos 8 pontos da curva de retenção de água do solo (Tabela 5), realizada no Laboratório de Solos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da UNESP/FCA de Botucatu-SP.

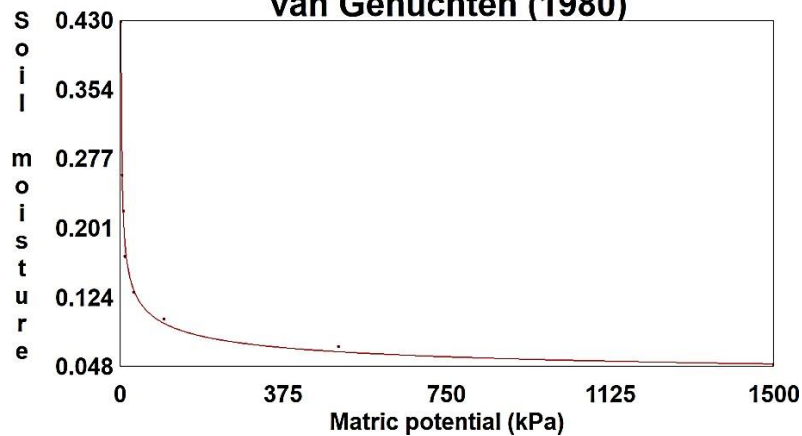
Figura 19 – Análise de curva de retenção de água no solo

Água Retida (dm ³ /dm ⁻³)								
Tensão (kPa)								
Saturado	3	6	10	30	70	100	500	1500
0,43	0,26	0,22	0,17	0,13	0,104	0,1	0,07	0,05

Fonte: Laboratório de Solos/FCA, 2020.

Com os valores obtidos na análise de solo, foi possível submeter os dados no software SWRC, e através da equação de Van Genuchten (1980), foi definido a curva de retenção de água no solo.

Figura 20 – Curva de retenção de água do solo – Van Genuchten (1980)



Fonte: SWRC (2020).

A Figura 21 apresenta as plantas emergidas com os tensiômetros instalados.

Figura 21 – Plantas emergidas e tensiometria instalada



4.6 Parâmetros de avaliação no feijoeiro

4.6.1 Área foliar

A análise de área foliar foi realizada ao final de cada fase fenológica, sendo: vegetativa aos 50 DAP (dias após plantio), floração aos 63 DAP e enchimento de grão aos 82 DAP. Esta análise foi realizada de acordo com o método do retângulo circunscrito (REIS et al., 2000).

Figura 22 – Análise de área foliar



4.6.2 Diâmetro de caule

Realizou-se a análise de diâmetro de caule através de paquímetro digital portátil modelo Starrett – 797 ao final de cada fase fenológica, sendo: vegetativa aos 50 DAP, floração aos 63 DAP e enchimento de grão aos 82 DAP.

Figura 23 – Análise de diâmetro do caule, utilizando o paquímetro digital portátil Starrett – 797



4.6.3 Leitura indireta de clorofila

Para esta análise foi utilizado o aparelho clorofilômetro portátil MINOLTA SPAD - 502 (SPAD – Soil Plant Analysis and Development), de maneira rápida e não destrutiva (Imagem 19). A leitura consiste no contato direto do equipamento com a

folha. O referido valor foi obtido através da média de três leituras na folha do meio de uma trifólia totalmente desenvolvida e escolhida ao acaso dentro da parcela experimental. As análises foram realizadas às 8 horas da manhã no final de cada fase fenológica, sendo: vegetativa aos 50 DAP, floração aos 63 DAP e enchimento de grão aos 82 DAP.

Figura 24 – Aparelho MINOLTA SPAD – 502



4.6.4 Análises fotossintéticas

A taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci) e transpiração (E) foram medidas às 8 horas da manhã, no fim da fase de floração e enchimento de grão, sendo aos 63 DAP e aos 82 DAP, utilizando o equipamento Infrared Gas Analyser (IRGA).

Figura 25 – Infra Red Gás Analyzer (IRGA)



4.6.5 Produtividade final

A análise de produtividade de cada tratamento foi realizada aos 90 DAP. Foi colhido uma planta de cada parcela experimental, escolhidas ao acaso, e contado a quantidade de vagens por planta e a quantidade de grãos por vagem e seus respectivos pesos quando estes atingiram a umidade de 15%.

Figura 26 – Quantidade total de grãos separados por tratamento



4.7 Determinação dos coeficientes de resposta hídrica (K_y)

Para a quantificação do efeito hídrico na produção ou o coeficiente de resposta produtiva (K_y), através da disponibilidade hídrica do feijoeiro, foi utilizado a equação definida por Doorenbos e Kassan (1979) (Equação 6).

4.7.1 Estimativa da ET_0

Para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), foi utilizado o modelo proposto por Hargreaves Samani, conforme equação 5. Os dados diários de temperatura máxima e mínima no interior da casa de vegetação foi coletado através de termômetro de mercúrio analógico.

O valor da radiação no topo da atmosfera foi obtido através da tabela proposta por Bernardo et al. (2006), adotando o valor de $25,6 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, de acordo com a latitude sul local.

4.7.2 Estimativa da ET_c

Para estimar a ET_c , utilizou-se a equação 3, com os valores de K_c (Tabela 6) propostos por Doorenbos e Kassam (1979).

Figura 27 – Valores do coeficiente de cultura (K_c)

Fase	Estágio de desenvolvimento	Duração (dias)	DAP	K_c	Fase
1	Emergência e desenvolvimento inicial	35	1 - 35	0,4	V0 - V3
2	Vegetativa	15	35 - 50	0,65	V3 - V4
3	Floração	13	50 - 63	1,05	R5 - R6
4	Enchimento de grão	24	63 - 87	0,9	R7 - R8
5	Maturação	3	87-90	0,85	R9

DAP: Dias após o plantio; K_c : coeficiente de cultivo.

4.7.3 Estimativa da ET_r

A estimativa da ET_r foi realizada conforme equação 3, multiplicando os valores de ET_c e K_s , de acordo com os dados experimentais de tensão do solo e respectiva

umidade, obtida através do manejo da tensiometria. Na Tabela 7 destaca-se os valores de umidade nos pontos de saturação do solo, capacidade de campo, a tensão de aplicação de déficit hídrico e ponto de murcha permanente.

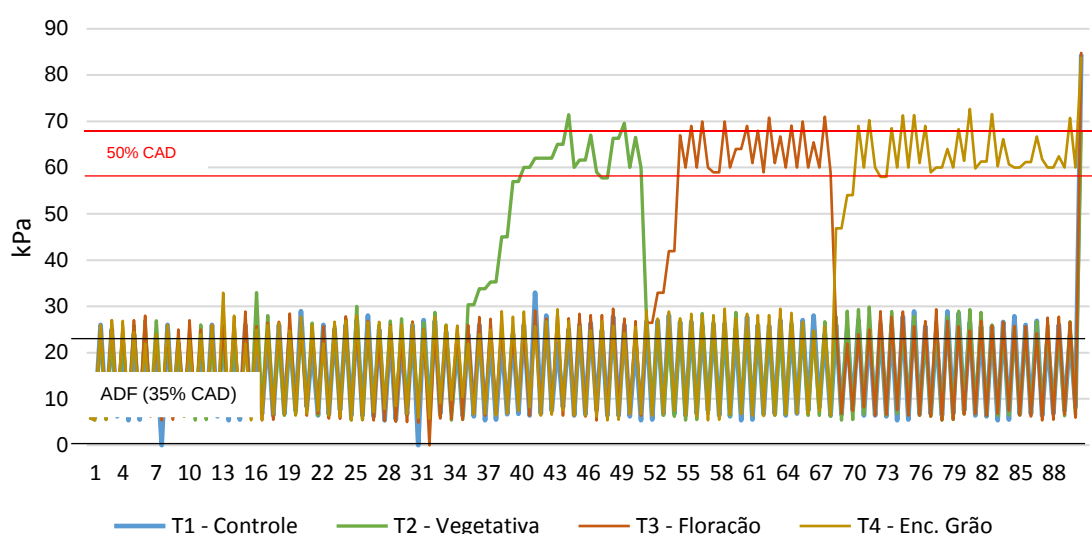
Figura 28 – Umidade em pontos de saturação, capacidade de campo, depleção máxima permitida e ponto de murcha permanente

Parâmetro: Umidade	cm³/cm⁻³	Tensão (kPa)
Saturado	0,42	0,4
Capacidade de Campo	0,211	6
Depleção máxima da umidade do solo permitida	0,104	70
Ponto de Murcha Permanente	0,095	100

4.7.4 Estimativa de Ks

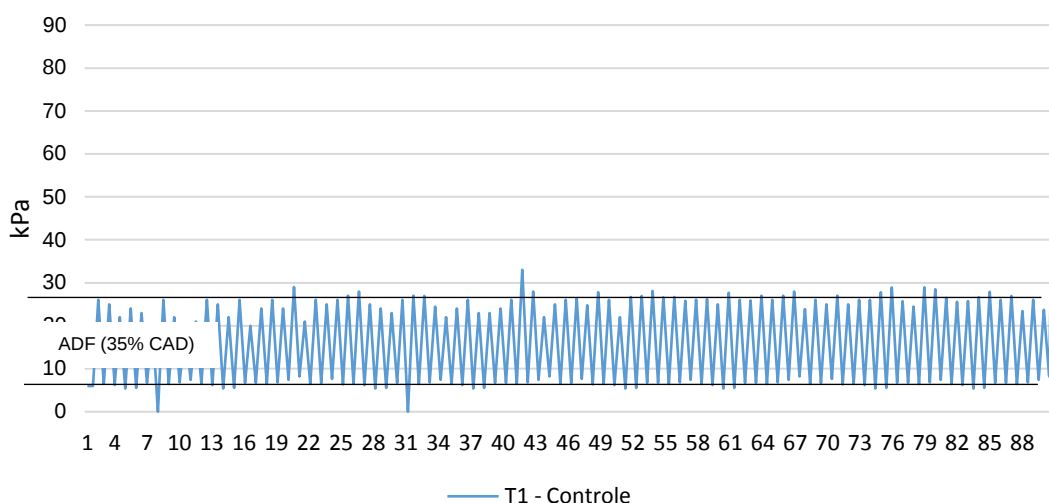
O valor de Ks foi estimado através da equação 4, com os respectivos valores de umidade na CC e PMP (Figura 29) e do teor de umidade atual do solo, estimado através da equação de Van Genuchten (1980), de acordo com a leitura da tensão do solo. A Figura 30 demonstra o manejo da umidade do solo, evidenciando as leituras da tensão de retenção da água no solo (kPa) de acordo com os tratamentos ao longo do ciclo.

Figura 29 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) durante o ciclo da cultura (dias)



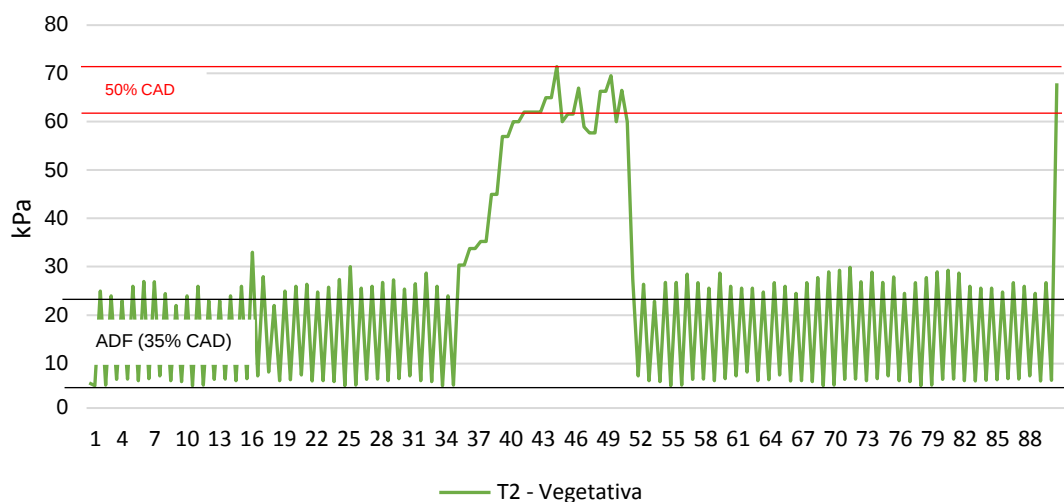
De acordo com a Figura 31 é possível analisar separadamente como ocorreu o manejo da irrigação, manipulando as tensões em T1, onde o solo permaneceu na fração da CAD onde situa-se a água facilmente disponível, sendo 35% da CAD. Desta forma o solo foi mantido em CC (capacidade de campo) durante todo o período de desenvolvimento da cultura, 90 dias.

Figura 30 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) no Tratamento 1, durante o ciclo da cultura (dias)



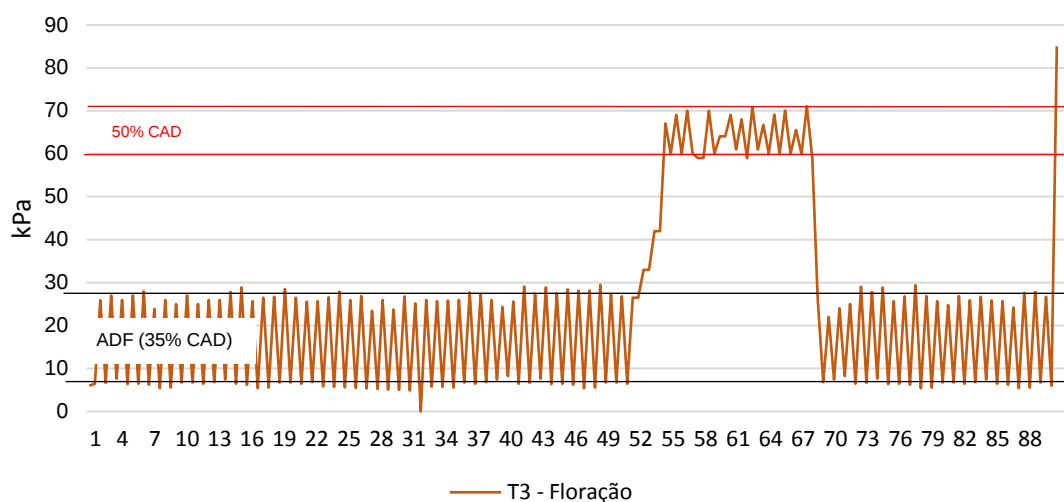
Com a Figura 32 analisa-se o manejo da irrigação, manipulando as tensões no Tratamento 2, onde foi aplicado o déficit hídrico severo nas plantas, representado por 50% da CAD, aos 35 a 50 DAP. Nos demais dias os vasos permaneceram em CC.

Figura 31 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) no Tratamento 2, durante o ciclo da cultura (dias)



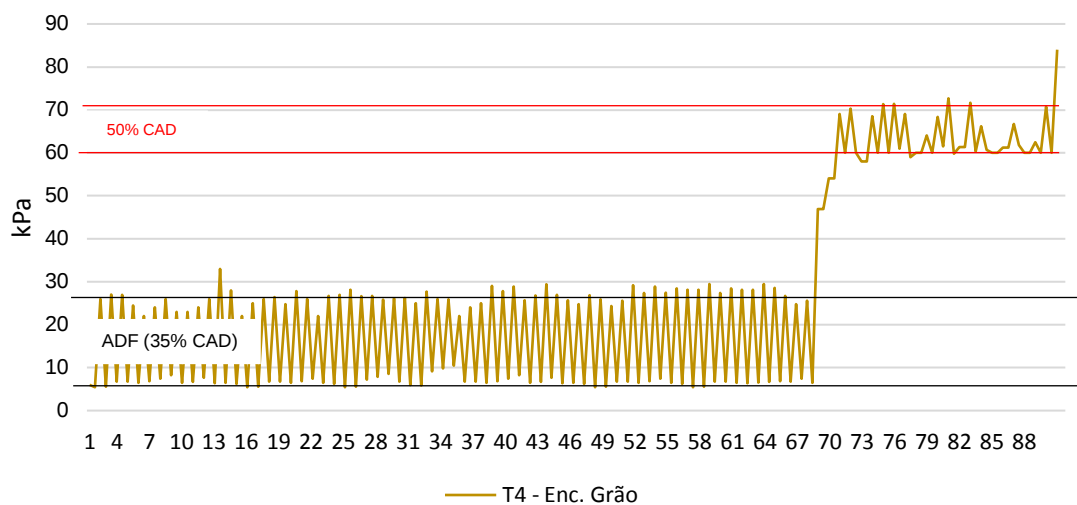
A Figura 33 destaca o manejo da irrigação no Tratamento 3, onde ocorreu estresse hídrico severo, representado por 50% da CAD, aos 50 a 63 DAP. Nos demais dias o solo foi mantido na CC.

Figura 32 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) no Tratamento 3, durante o ciclo da cultura (dias)



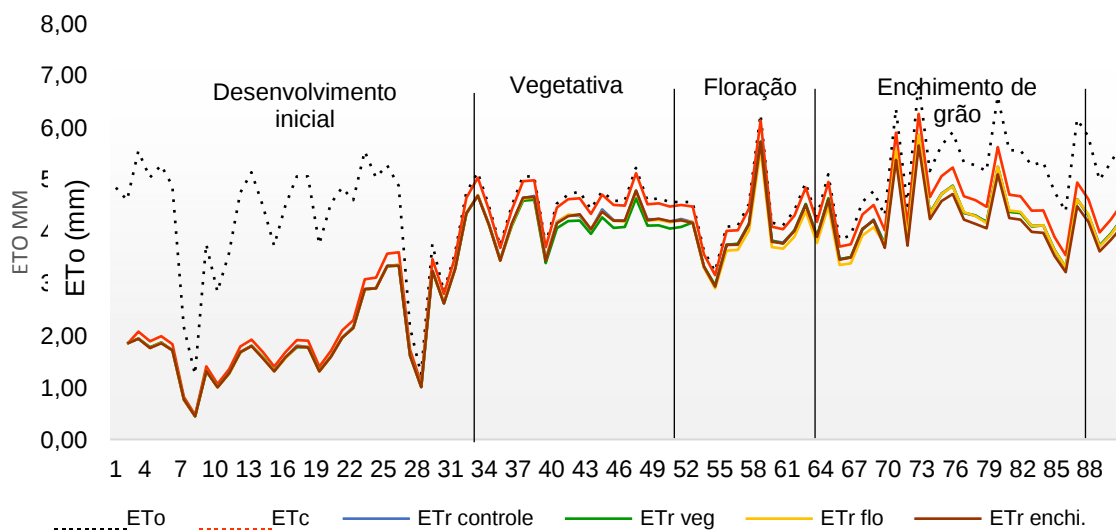
Na Figura 34 analisa-se o manejo da irrigação através das leituras de tensiometria, onde foi aplicado déficit hídrico severo em T4 sofreu, representando 50% da CAD, aos 63 a 87 DAP.

Figura 33 – Tensão de retenção da água no solo (kPa) no Tratamento 4, durante o ciclo da cultura (dias)



Na Figura 35 é possível observar a evapotranspiração de cada tratamento simultaneamente ao decorrer do ciclo.

Figura 34 – Evapotranspiração de referência (mm), evapotranspiração máxima (mm), evapotranspiração em T1 (mm), evapotranspiração em T2 (mm), evapotranspiração em T3 (mm) e evapotranspiração em T4 (mm) durante o ciclo (dias)



4.7.5 Estimativa de Y_r

O valor de rendimento real (Y_r) foram calculados a partir da produtividade obtida nos tratamentos que sofreram estresse hídrico, sendo vegetativa, floração e enchimento de grão.

4.7.6 Estimativa da Y_m

O valor de rendimento máximo (Y_m) foi obtido de acordo com a produtividade obtida no tratamento 1 (controle), onde os vasos permaneceram em capacidade de campo durante todo o ciclo da cultura.

4.8 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett). A análise de variância (ANOVA) foi aplicada considerando o delineamento experimental, a fim de, verificar se houve diferença significativa na produtividade dos grãos obtida nos tratamentos. Pelo teste de Tukey, avaliou-se a diferença significativa entre as médias de produtividade, ao nível de confiança de 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada no software R.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 é possível analisar o comportamento das plantas aos 50 DAP. Nota-se que o diâmetro de caule e a área foliar sofreram alterações morfológicas com o estresse nesta fase. Ao identificar insuficiência hídrica no ambiente, as plantas em geral possuem um mecanismo de resistência ao estresse, que pode se manifestar limitando o crescimento, adaptando-se morfológica e fisiologicamente ou também através de alterações metabólicas. Assim é possível compreender o motivo pelo qual as plantas apresentaram menores medidas nestes parâmetros.

O sistema vascular da planta (xilema e floema), possui alto teor de água, o xilema conduz a água e os sais minerais às partes superiores da planta. No interior do xilema, a água geralmente se move sob tensão, levando consigo sais minerais até as câmaras subestomáticas das folhas, uma vez que as plantas tenham sofrido com o déficit hídrico nesta fase, afeta diretamente o crescimento celular, pois a divisão e o alongamento celular do sistema é diretamente comprometido pela insuficiência hídrica, tendo em vista que o processo de crescimento das células vegetais é altamente sensível a baixa disponibilidade de água, desta forma acarretou na diminuição do diâmetro do caule e consequentemente da área foliar (FERRI, 1985).

Tabela 1 - Parâmetros biométricos avaliados ao término da fase vegetativa aos 50 DAP

Parâmetros	Tratamento	Média
Área Foliar (cm ²)	1 - Controle	97,17a
	2 - Déficit em Vegetativa	66,03b
	3 - Déficit em Floração	113,02a
	4 - Déficit em enchimento de grão	101,34a
Diâmetro de caule (mm)	1 - Controle	5,61a
	2 - Déficit em Vegetativa	4,34b
	3 - Déficit em Floração	5,02ab
	4 - Déficit em enchimento de grão	5,49a

MIC: Medida indireta de clorofila. *Médias do grupo seguidas por letras distintas, na coluna, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2021.

Na Tabela 2 é possível observar que o diâmetro de caule e a medida indireta de clorofila foram os parâmetros que obtiveram menores valores na fase de floração. A importância da análise da clorofila reside que apresenta estreita correlação com o

teor de nitrogênio na planta, isso nos permite monitorar os teores de nitrogênio foliar. Portanto, de acordo com os dados estatísticos, a deficiência hídrica nesta fase, corroborou para leituras de SPAD menores. O decréscimo na concentração de clorofila decorrente do estresse hídrico em plantas de milho foi também observado por Viana et al. (2004) e Silvia et al. (2011).

Tabela 2 - Parâmetros biométricos avaliados ao término da fase de floração aos 63 DAP

Parâmetros	Tratamento	Média
Área Foliar (cm ²)	1 - Controle	104,00a
	2 - Déficit em Vegetativa	80,91b
	3 - Déficit em Floração	100,99a
	4 - Déficit em enchimento de grão	97,08a
Diâmetro de caule (mm)	1 - Controle	5,91a
	2 - Déficit em Vegetativa	4,27b
	3 - Déficit em Floração	4,37b
	4 - Déficit em enchimento de grão	5,38a
MIC	1 - Controle	50,30a
	2 - Déficit em Vegetativa	42,73b
	3 - Déficit em Floração	43,02b
	4 - Déficit em enchimento de grão	46,70ab

MIC: Medida indireta de clorofila. *Médias do grupo seguidas por letras distintas, na coluna, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2021.

Quando ocorre alguma anormalidade ambiental na fase de floração, como altas temperaturas e/ou estresse hídrico, acaba por favorecer o aparecimento elevado do número de flores, uma vez que o sistema vegetal ao captar as informações das alterações ambientais, promove este comportamento para a perpetuação da espécie. Em contrapartida, isto acaba por acelerar as taxas respiratórias, elevando a demanda por carboidratos, e conseqüentemente ocorre redução no vingamento de flores e vagens, assim explica-se altas taxas de carbono em T3.

No processo fotossintético ocorre a incorporação de carbono vindo do CO₂ (carboidratos), uma vez que a energia luminosa é captada e transformada eficientemente em biomassa. Porém, ao ocorrer estresse hídrico prejudica este importante processo, acarretando em valores baixos de assimilação líquida de CO₂ e condutância estomática, uma vez que o teor deste nos estômatos possui efeitos significativos no processo de abertura e fechamento deles.

Assim, como evidencia a Tabela 3, altas concentrações de carbono ocasionam o rápido fechamento das células guardas, mesmo com a presença de luz; desta forma o potencial de água nas folhas é indubitavelmente o fator principal de controle estomático. Logo o déficit de água provoca o fechamento dos estômatos, e o aumento potencial de água tende a abri-los.

Tabela 3 - Parâmetros fisiológicos avaliados ao término da fase de floração aos 63 DAP

Parâmetros	Tratamento	Média
Fotossíntese/ taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1 - Controle	24,88a
	2 - Déficit em Vegetativa	19,34ab
	3 - Déficit em Floração	8,22c
	4 - Déficit em enchimento de grão	16,84bc
Condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1 - Controle	0,05a
	2 - Déficit em Vegetativa	0,05a
	3 - Déficit em Floração	0,01c
	4 - Déficit em enchimento de grão	0,03b
Concentração interna de carbono (Ci - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	1 - Controle	306,37bc
	2 - Déficit em Vegetativa	185,44c
	3 - Déficit em Floração	717,57a
	4 - Déficit em enchimento de grão	430,55b
ETR ($\mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1 - Controle	163,05a
	2 - Déficit em Vegetativa	147,50ab
	3 - Déficit em Floração	115,08b
	4 - Déficit em enchimento de grão	140,72ab
Transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1 - Controle	7,98a
	2 - Déficit em Vegetativa	7,57a
	3 - Déficit em Floração	1,86c
	4 - Déficit em enchimento de grão	5,01b

ETR: Taxa de transporte de elétrons. *Médias do grupo seguidas por letras distintas, na coluna, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2021.

Na Tabela 4 é possível analisar que os efeitos do déficit hídrico nas plantas em enchimento de grão acarretaram na diminuição da área foliar e na leitura indireta de clorofila, assim como em resultados encontrados por Acosta-Gallegos & Shibata (1989). Nesta fase a planta está direcionando sua energia no enchimento dos grãos, notadamente, ao ocorrer o estresse nesta fase acarreta na falta de carboidrato para estas plantas, gerando o abortamento de grãos.

Tabela 4 - Parâmetros biométricos avaliados ao término da fase de enchimento de grão - aos 82 DAP

Parâmetros	Tratamento	Média
Área Foliar (cm ²)	1 - Controle	95,56a
	2 - Déficit em Vegetativa	71,35b
	3 - Déficit em Floração	93,26a
	4 - Déficit em enchimento de grão	50,95c
Diâmetro de caule (mm)	1 - Controle	4,43ab
	2 - Déficit em Vegetativa	3,70c
	3 - Déficit em Floração	4,05bc
	4 - Déficit em enchimento de grão	4,86a
MIC	1 - Controle	43,78a
	2 - Déficit em Vegetativa	41,30ab
	3 - Déficit em Floração	36,67ab
	4 - Déficit em enchimento de grão	32,50b

MIC: Medida indireta de clorofila. *Médias do grupo seguidas por letras distintas, na coluna, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2021.

As concentrações de assimilação líquida de CO₂ (fotossíntese), concentração interna de carbono e transporte de elétrons foram inferiores devido à baixa concentração de água no solo e nas folhas (Tabela 5). Tendo em vista que a falta de água é fator determinante nos organismos vegetais e compromete todo o processo de desenvolvimento fisiológico, mesmo na presença dos outros fatores ambientais, é imprescindível para a ocorrência da fotossíntese a luz, o CO₂ e a temperatura.

Contudo a aplicação de déficit hídrico na fase vegetativa acarretou na diminuição de área foliar e diâmetro de caule no início do desenvolvimento na cultura, e mesmo sendo irrigado em condição de capacidade de campo nas fases posteriores, as medidas morfológicas inferiores se mantiveram em relação aos demais tratamentos, e isto acarretou na diminuição de 30,35% de produtividade em comparação ao controle.

Tabela 5 - Parâmetros fisiológicos avaliados ao término da fase enchimento de grão - aos 82 DAP

Parâmetros	Tratamento	Média
Fotossíntese/Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1 - Controle	10,46ab
	2 - Déficit em Vegetativa	15,28ab
	3 - Déficit em Floração	18,53a
	4 - Déficit em enchimento de grão	7,87b
Condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1 - Controle	0,10ab
	2 - Déficit em Vegetativa	0,05b
	3 - Déficit em Floração	0,17a
	4 - Déficit em enchimento de grão	0,06b
Concentração interna de carbono (Ci - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	1 - Controle	263,10a
	2 - Déficit em Vegetativa	314,34a
	3 - Déficit em Floração	196,30a
	4 - Déficit em enchimento de grão	134,50a
ETR ($\mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1 - Controle	46,76ab
	2 - Déficit em Vegetativa	82,71a
	3 - Déficit em Floração	73,82a
	4 - Déficit em enchimento de grão	25,90b
Transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1 - Controle	3,11a
	2 - Déficit em Vegetativa	3,22a
	3 - Déficit em Floração	2,86a
	4 - Déficit em enchimento de grão	3,08a

ETR: Taxa de transporte de elétrons. *Médias do grupo seguidas por letras distintas, na coluna, diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2021.

Na Tabela 6 é possível notar que os grãos de T4 dispunham de peso de grão e grãos por vagem inferiores aos outros tratamentos. Este fato ocorreu devido ao déficit hídrico que foi aplicado no estágio de enchimento de grãos, assim as folhas fotossinteticamente ativas não conseguem suprir a demanda plena dos grãos que estão em crescimento, causando o envelhecimento antecipado e a falta de peso. De acordo com Calvache et al. (1997) o estresse hídrico na fase de enchimento de grãos acarreta no abortamento de vagens jovens e na produção de vagens com ausência de grãos ou grãos muito pequenos nas pontas, ocorrendo também menor número de grãos devido ao abortamento destes grãos na ponta das vagens.

Ao analisar a queda de produtividade de vagens por planta em T2, T3 e T4, nota-se que houve diminuição de cerca de 50% das vagens por planta em comparação com T1, isto se deve ao menor desenvolvimento que as plantas de T1 tiveram ao receber déficit hídrico em vegetativa, uma vez que a planta obteve limitações

morfológicas prejudicando o desenvolvimento pleno dos nós, entrenós e gemas reprodutivas. Enquanto que em T4 as plantas dispunham de vagens com peso menores em seus respectivos grãos, uma vez que a planta dispunha de irrigação plena até o início da fase enchimento de grão, onde a partir daí ocorreu severamente o déficit hídrico.

Tabela 6 - Produtividade alcançada

Tratamento	Vagens por planta	Grãos por planta	Grãos por vagem	Peso do grão (g)	Média (kg ha ⁻¹)
1 - Controle	12,833a	69,9a	5,487a	0,297b	830,53a
2 - Déficit em Vegetativa	7,250b	39,0b	5,244ab	0,375a	578,46b
3 - Déficit em Floração	6,750b	34,9b	5,212ab	0,376a	520,90b
4 - Déficit em Enchi. de grão	8,000b	34,9b	4,484b	0,264c	397,40c

*Médias do grupo seguidas por letras distintas, na coluna, diferem pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2021.

Com as médias de produtividade por tratamento analisa-se a queda no rendimento dos tratamentos 2, 3 e 4, obtendo-se T1 como referência de máxima produtividade nestas condições de cultivo.

Os dados referentes a evapotranspiração, possibilitou a interpretação do comportamento do desenvolvimento do feijão carioca cultivar TAA DAMA, com relação ao déficit hídrico ao longo do ciclo, nas quais o estresse hídrico acarreta na diminuição da produtividade.

Em todos os tratamentos estudados, os valores de K_y foram superiores a 1,0. Este fator indica alta sensibilidade do feijão carioca variedade TAA DAMA ao déficit hídrico. De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), valores de K_y maiores que 1,15 evidenciam uma planta considerada altamente sensível ao déficit hídrico. O coeficiente de resposta de rendimento (K_y) em cada estágio fenológico variou na seguinte ordem decrescente: enchimento de grãos, floração e vegetativo. Cordeiro et al. obtiveram valores de K_y na mesma ordem decrescente das fases fenológicas em feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) (1998).

Doorenbos e Kassam (1994), adentraram aos valores de K_y frisando que não há valores padrão de referência para comparação dos valores de K_y . Assim, a confiabilidade dos valores propostos pela FAO são provindos de análises experimentais de campo, que são influenciados pelas condições experimentais

imperfeitas, as variações climáticas características de cada região de estudo, os níveis de evapotranspiração e do tipo de solo.

O valor de K_y para a cultura do feijão dados pela International Atomic Energy Agency, reportados pela FAO 66, na fase vegetativa, variam de 0,38 a 0,56. No presente estudo, o valor foi 1,32 (Tabela 7). Esta diferença no valor pode ter sido influenciada pela adaptação da cultura às condições ambientais locais e pela cultivar TAA DAMA utilizada no presente estudo. Assim fica claro o alto nível de sensibilidade da cultura sofrendo déficit hídrico apenas na fase vegetativa. Desta forma, caso a cultura seja irrigada nas posteriores fases em níveis onde ET_r atinja os valores de ET_c , ou fique próximos a estes, a cultura consegue se estabelecer fisiologicamente, porém tal déficit comprometerá sua produtividade final, assim como mostra a Tabela 13, diminuindo a produtividade em 30,35%.

Na fase de floração da cultura, o valor de K_y que consta no documento da FAO 66 varia de 1,35 a 1,75. Na presente pesquisa o valor obtido foi de 1,63 (Tabela 7), condizendo com o valor proposto pela FAO 66, representando um alto nível de sensibilidade da cultura ao estresse hídrico nesta fase, acarretando na diminuição de 37,27 % da produtividade final.

Na fase de enchimento de grão, o valor de K_y proposto pela FAO 66 varia de 0,87 a 1,44. Na presente pesquisa foi obtido o valor de 1,85 (Tabela 7), acarretando na diminuição de 50,15% na produtividade, classificando esta fase como altamente sensível ao déficit hídrico. Tal variação pode ter ocorrido devido ao material genético da cultivar TAA DAMA, apresentando a característica de alta sensibilidade ao estresse hídrico nesta fase. Tendo em vista que não há pesquisas definindo o valor de K_y para a cultivar TAA DAMA para fins de comparação, é importante o desenvolvimento de pesquisas em diferentes locais com o feijão carioca cultivar TAA DAMA, pois as diferenças ou similaridade entre os valores de K_y entre as publicações são importantes, assim como as tendências específicas das diferentes condições de cultivo, desta forma do rendimento em função do uso da água será útil para estudos de avaliação rápida de reduções de produtividade sob o abastecimento de água, planejamento e para a realização e operação de projetos de irrigação.

Bezerra et al. (2003) em sua pesquisa com deficiência hídrica em diferentes fases do feijão caupi, concluíram que a fase que mais sofreu com o déficit hídrico foi em enchimento de grão, obtendo a menor produtividade; assim como na presente pesquisa, onde o maior valor de K_y foi 1,85, na fase de enchimento de grão,

evidenciando a fase em que o feijoeiro apresentou maior sensibilidade ao estresse hídrico. Assim, o valor de K_y condiz com a baixa produtividade obtida no tratamento 4 (Tabela 7).

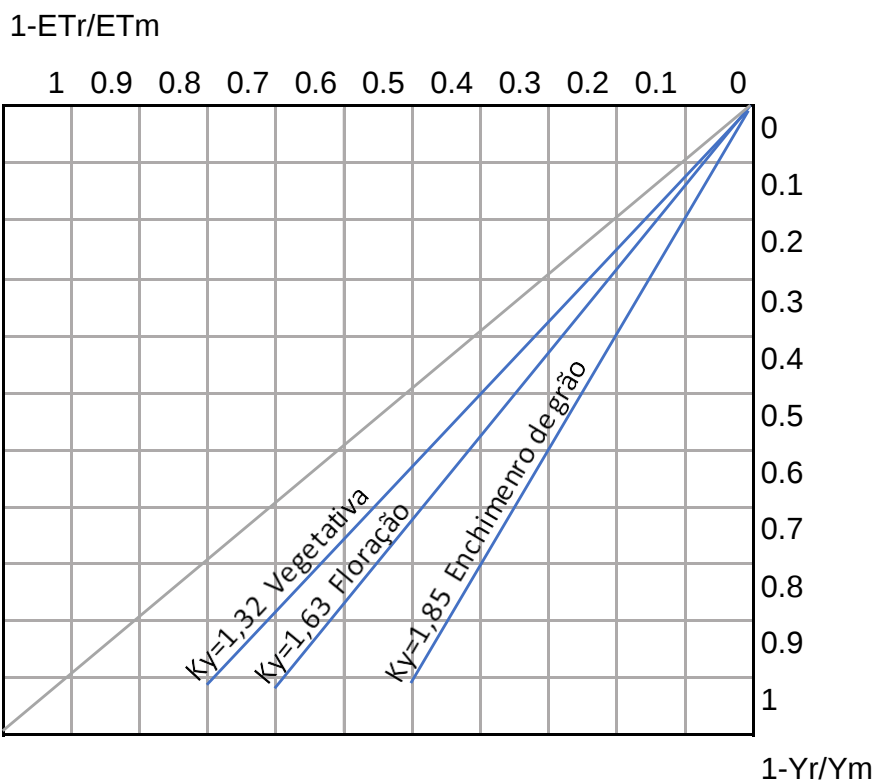
Tabela 7 - Valores médios da evapotranspiração máxima (ETm mm), evapotranspiração real (ETr mm), do déficit de evapotranspiração relativa $[(1 - ETr/ETm)]$ mm), da produtividade real (Y_r ha⁻¹), produtividade máxima (Y_m ha⁻¹) e da queda do rendimento relativo

Tratamento	ETr mm	ETm mm	$(1-ETr/ETm)$	Y_r (kg ha ⁻¹)	Y_m (kg ha ⁻¹)	$(1-Y_r/Y_m)$	K_y
1	326,137	419,965	0,223	830,53	830,53	0,000	-
2	323,995	419,965	0,229	579,76	830,53	0,302	1,32
3	323,804	419,965	0,229	520,90	830,53	0,373	1,63
4	301,739	419,965	0,282	397,40	830,53	0,522	1,85

ETr, ETm: Evapotranspiração real e máxima, em mm, respectivamente. Y_r , Y_m : Produção real e máxima, em kg.ha⁻¹, respectivamente

Fonte: Rafaela Magalhães dos Santos, 2021.

Figura 35 – Funções lineares de produção de água para feijão carioca cultivar TAA DAMA com déficits hídricos ocorrendo durante o período vegetativo, floração e enchimento de grão



Na função linear vista na Figura 22, nota-se as diferenças nos valores de K_y , quanto mais íngreme o declive, maior é o valor de K_y , e maior é a redução do rendimento numa dada redução na ET decorrentes do déficit hídrico aplicado no período específico.

6 CONCLUSÃO

O feijão carioca cultivar TAA DAMA cultivado em Botucatu, tem produtividade fortemente relacionada com a disponibilidade de água ofertada durante o ciclo. Os valores de K_y foram todos superiores a 1,0, variando na seguinte ordem decrescente: enchimento de grão (1,85), floração (1,63) e vegetativo (1,32). A fase que apresentou maior sensibilidade ao déficit hídrico foi em enchimento de grãos acarretando na diminuição de 50,15%. Devido a sensibilidade ao estresse hídrico na cultura do feijão, a irrigação suplementar para a região de Botucatu-SP é recomendada em todas as fases fenológicas da cultura.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.E.P. **Estratégias de Manejo de Irrigação**: Exemplos de Cálculo. Circular técnica 136, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sete Lagoas-MG, setembro/2010. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/25532/1/Circ-136.pdf>. Acesso em: 22.fev.2021.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper, v. 56, 300 p., 1998.
- ALMEIDA, A.M. **Crescimento da grama bermuda discoverytm irrigada por gotejamento subsuperficial, sob tensões de água no solo**. Dissertação FCA/UNESP Botucatu-SP, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/191165/almeida_am_me_botfca.pdf?sequence=4&isAllowed=y. Acesso em: 01.fev.2021.
- AZEVEDO, J. A., SILVA, E.M. **Tensiômetro**: Dispositivo prático para controle da irrigação. EMBRAPA circular técnica nº 001, julho de 1999. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/roggerwins/tensiometro-dispositivopraticoparacontroledairrigacao>. Acesso em: 25.jan.2021.
- BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H.J.; OMETTO, J.C.; ANGELOCCI, L.R.; LIBARDI, P.L. **Deficiência hídrica em feijoeiro**: Análise de crescimento e fenologia. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, julho de 1988. Disponível em: <file:///C:/Users/Gabriel/Downloads/13956-61983-1-SM.pdf>. Acesso em: 01.jun.2021.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. 8ª. Edição, Viçosa: Editora UFV, 2006.
- BERTOLDO, J.G.; PELISSER, A.; SILVA, R.P.; FAVRETO, R.; RADIN, B. **Sensibilidade de genótipos de feijão ao estresse hídrico**. Revista Agropecuária Gaúcha, v.25, n.3, p.36-50, 2019. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/68/50>. Acesso em: 01.jun.2021.
- BEZERRA, F.M.L.; ARARIPE, M.A.E.; TEÓFILO, E.M.; CORDEIRO, L.G.; SANTOS, J.J.A. **Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas**. Revista Ciência Agronômica, Vol. 34, n.1 – 2003. Disponível em: <file:///C:/Users/Gabriel/Downloads/02rca34-1.pdf>. Acesso em: 10.mai.2021.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro nacional de cultivares**. Disponível em: <http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/index.php>. Acesso em: 28.mai.2021.

CALVACHE, A.M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O.O.S. **Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão**. Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.), set de 1997. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sa/a/mtQkV39NbskQmRfzyqrc8qK/?lang=pt#>. Acesso em: 01.jun.2021.

CARVALHO, J.A., SANTANA, M.J., PEREIRA, G.M., PEREIRA, J.R.D., QUEIROZ, T.M. **Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.)**. Revista: Engenharia Agrícola vol.24 no.02 Botucatu mai/ago.2004. Disponível:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162004000200010. Acesso em: 27.jan.2021.

CARLESSO, R. **Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas**. Revista: Ciência rural vol.25 no.1 Santa Maria 1995. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84781995000100035. Acesso em: 27.jan.2021.

CIIAGRO (Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas). **Aptidão Climática da Cultura do Feijão**. Zoneamento Agrícola do Estado de São Paulo, Vol. 2 - 1977. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/zoneamento/feijao.htm>. Acesso em: 11.jan.2021.

COELHO, J.D. **Produção de grãos – Feijão, milho e soja**. Caderno Setorial ETENE, nº 81, maio de 2019. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/documents/80223/5014256/81_Graos.pdf/b4faa20e-6855-fdf6-1629-741afb0748f#:~:text=Os%20maiores%20produtores%20mundiais%20de,toneladas%20\(FAOSTAT%2C%202019\)](https://www.bnb.gov.br/documents/80223/5014256/81_Graos.pdf/b4faa20e-6855-fdf6-1629-741afb0748f#:~:text=Os%20maiores%20produtores%20mundiais%20de,toneladas%20(FAOSTAT%2C%202019).). Acesso em: 21.jan.2021.

COELHO FILHO, M. A.; PEREIRA, F. A. de C.; ANGELOCCI, L. R.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, G. X. S. **O processo da evapotranspiração**. Livro: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55930/1/IRRIGACAO-e-FERTIRRIGACAO-cap2.pdf>. Acesso em: 25.jan.2021.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Feijão – Análise Mensal – Julho/Agosto/Setembro de 2020**. 29.fev.2020, Brasília-DF. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-feijao>. Acesso em: 11.jan.2021 às 15h31.

CORDEIRO, L.G.; BEZERRA, F.M.L.; SANTOS, J.J.A.; MIRANDA, E.P. **Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.2, p.153-157, 1998. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v2n2/1415-4366-rbeaa-02-02-0153.pdf>. Acesso em: 03.mai.2021.

CUENCA, R.H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 1989. 133p.

CUNHA, P.C.R. **Manejo da irrigação do feijoeiro cultivado em plantio direto no sistema integração lavoura-pecuária**. Dissertação: Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos. Goiânia, GO-Brasil, 2009.

DIENE, A.A., MAHLER, C.F. **Um instrumento para medida de potencial matricial nos solos sem ocorrência de cavitação**. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 31:1261-1270, 2007. Disponível em: https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/articles_xml/0100-0683-rbcs-S0100-06832007000600005/0100-0683-rbcs-S0100-06832007000600005.pdf. Acesso em: 25.jan.2021.

DOORENBOS, J. e KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Organizacion de Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentacion. Roma 1979.

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

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J.W.; RERCHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. **Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00)**. Revista Scientia Agrícola. Vol.57 n.1 Piracicaba jan./mar.2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Durval_Dourado-Neto/publication/26365279_Software_to_model_soil_water_retention_curves_SWRC_version_200/links/556c8bb508aefcb861d7e236.pdf. Acesso em: 07.jan.2021.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), NOVA. T.B. **Manejo correto garante a qualidade do feijão** – Pesquisa Desenvolvimento e Inovação, 17.abr.2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42704896/manejo-correto-garante-a-qualidade-do-feijao#:~:text=desenvolve%20o%20suficiente.-,Consequentemente%20o%20ideal%20%C3%A9%20plantar%20o%20feij%C3%A3o%20em%20uma%20%C3%A1rea,flora%C3%A7%C3%A3o%20e%20enchimento%20do%20gr%C3%A3o>. Acesso em: 21.jan.2021.

FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. Livro: 2ª edição, vol. 1. São Paulo: EPU, 1985.

FILHO, J.A.F.; ZOCOLER, J.L.; POLONI, N.M. **Fator de resposta (Ky) do feijoeiro ao estresse hídrico**. Revista: Cultura Agrônômica, Ilha Solteira, v.24, n.3, p.309-318, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342445721_FATOR_DE_RESPOSTA_Ky_DO_FEIJOEIRO_AO_ESTRESSE_HIDRICO. Acesso em: 21.mai.2021.

FILHO, M.A.C.; PEREIRA, F.A.C.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO, E.F.; OLIVEIRA, G.X.S. **O processo de evapotranspiração**. Embrapa Mandioca e Fruticultura - Capítulo em livro científico (ALICE), 2011. Cap. 2, p. 91-113. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55930/1/IRRIGACAO-e-FERTIRRIGACAO-cap2.pdf>. Acesso em: 12.mai.2021.

FREITAS, A. A.; BEZERRA, F. M. L.; FONTENELE, F. C. B. **Determinação da evapotranspiração máxima e real e do fator sensibilidade ao déficit hídrico da melancia em Canindé, CE.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 298 – 303, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v3n3/1415-4366-rbeaa-03-03-0298.pdf>. Acesso em: 23.fev.2021.

FREITAS, F.O. **Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil.** Revista: Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.41, n.7, p.1199-1203, jul. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v41n7/31203.pdf>. Acesso em: 21.jan.2021.

FRIZZONE, J.A. **Necessidade de água para irrigação.** ESALQ/USP, 2017. LEB 1571 - Irrigação Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica – ESALQ/USP Piracicaba – SP. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Frizzone/LEB_1571/TEXTOS_COMPLEMENTAR_2_-_NECESSIDADE_DE_AGUA_PARA_IRRIGACAO.pdf. Acesso em: 28.mai.2021.

ACOSTA GALLEGOS, J.A.; SHIBATA, J.K. **Efeito do estresse hídrico no crescimento e rendimento do feijão-seco indeterminado (*Phaseolus vulgaris*) cultivares.** Revista: Field Crops Research, vol.20, ed. 2, março de 1989, páginas 81-93. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0378429089900543>. Acesso em: 01.jun.2021.

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

LEON, J. **Fundamentos botanicos de los cultivos tropicales.** San Jose, IICA, 1968. 487p.

MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento); Secretaria de Defesa Agropecuária - Registro Nacional de Cultivares - **RNC TAA DAMA - *Phaseolus vulgaris* L.** Disponível em: <file:///C:/Users/Gabriel/Downloads/document.pdf>. Acesso em: 28.mai.2021.

LIMA JUNIOR, J.C.; ARRAES, F.D.; OLIVEIRA, J.B.; NASCIMENTO, F.A.L.; MACÊDO, K.G. **Parametrização da equação de Hargreaves e Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Ceará, Brasil.** Revista Ciência Agronômica, v. 47, n. 3, p. 447-454, jul-set, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/smv7gdjXKKmwHT8fsJ8GSYb/?lang=pt&format=pdf>. Acesso: 06.jun.2021.

MOURA, M.M.; CARNEIRO, P.C.S.; CARNEIRO, J.E.S. e CRUZ, C.D. **Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão.** Revista: Pesquisa Agropecuária Brasileira - PAB, Brasília, v.48, n.4, p.417-425, abr. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v48n4/10.pdf>. Acesso em: 11.jan.2021.

MOURA, V.B. **Reflectometria no domínio do tempo, evapotranspiração e fatores de resposta do feijão-caupi submetido a distintas lâminas de irrigação no nordeste paraense**. Dissertação Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-SP, 2019. Disponível em:

<http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/692/1/Reflectometria%20no%20dom%20c3%adnio%20do%20tempo%2c%20evapotranspira%20c3%a7%20c3%a3o%20e%20fatores....pdf>. Acesso em: 21.mai.2021.

NETO, M.S.A.; MAGALHÃES, A.A. **Utilização do Tanque Classe A para determinação da época de irrigação**. Embrapa, Curso básico de irrigação, Petrolina-PE, 1987. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138773/1/ID-34381.pdf>. Acesso em: 22.fev.2021.

PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E.C. **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: Técnica e Cultura**. Piracicaba-SP, ESALQ – USP, 2021.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.S.; BARBIERI, V. **A model for the class A pan coefficient**. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, v.76, p.75-82, 1995.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**.

Capítulo 3. Estimativa da evapotranspiração Piracicaba: FEALQ, 1997. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2196021/mod_resource/content/1/CAP11Estimativa%20da%20Evapotranspira%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 05.mai.2021.

PIRES, R.C.M.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. **Profundidade do Sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central**. Bragantia, Campinas, 1991. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/brag/v50n1/14.pdf>. Acesso em: 17.mai.2021.

Raij, B. V.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A.M.C. **Boletim Técnico 100 – Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2ª ed. Instituto Agrônômico – FUNDAG, Campinas-SP, dezembro/1997.

QUINTEIRO, M.M.C., BALDINI, K.B.L. Livro: Capítulo II - **Agroecologia e as práticas tradicionais reconhecendo os sabores ancestrais**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2018, pp. 28-49. Disponível em: <http://books.scielo.org/id/zfzg5/pdf/santos-9788575114858-04.pdf>. Acesso em: 21.jan.2021.

REIS, T.E.S.; REIS, L.C.; BARROS, O.N.F. **Comparação de métodos de determinação de área: superfície foliar do feijoeiro**. Revista Geografia, Londrina, v. 9, n.2, p.151-157, jul./dez. 2000. Disponível em:

<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/10168/8936>. Acesso em: 07.jan.2021.

REGINATO, M.P., ENSINAS, S.C., RIZZATO, M.C.O., SANTOS, M.K.K., PRADO, E.A. **Boas práticas de armazenamento de grãos**. 8º ENEPE UFGD – 5º EPEX UEMS. Disponível em:

<https://anaisonline.uems.br/index.php/enic/article/view/2300/2262>. Acesso em: 21.jan.2021.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

RODRIGUES, L. L. **Controle genético do escurecimento dos grãos de feijão com diferentes tipos de grão e origens**. Dissertação da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, GO, fevereiro de 2018. Disponível em:

<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/8952/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Ludivina%20Lima%20Rodrigues%20-%202018.pdf>. Acesso em: 28.mai.2021.

SANTIS, F.P.; NETO, A.S.; CAVALCANTE, A.G.; FILLA, V.A.; MINGOTTE, F.L.C.; LEMOS, L.B. **Componentes de produção, produtividade e atributos**

tecnológicos de cultivares de feijoeiro do grupo comercial carioca. Revista Colloquium Agrariae, v. 15, n.6, Nov-Dez, 2019, p. 21-30. Disponível em:

<https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/2832/2856>. Acesso em: 28.mai.2021.

SENTELHAS, P.C., FOLEGATTI, M.V. **Class A pan coefficients (K_p) to estimate daily reference evapotranspiration (ET_o)**. Revista Brasileira de Engenharia

Agrícola e Ambiental, v.7, n.1, p.111-115, 2003 Campina Grande, PB, DEAg/UFCG.

Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n1/v7n1a18.pdf>. Acesso em: 04.fev.2021.

SHAHIDIAN, S.; SERRALHEIRO, R.P.; TEIXEIRA, J.L.; SERRANO, J.; SANTOS, F.L.; GUIMARÃES, R.C. **Utilização da equação de Hargreaves Samani para o cálculo da ET_o em estufas**. VI Congresso IBÉRICO de AgrolIngeniería, setembro de 2011. Universidade de Évora, Portugal.

SILVA, B.B., BRAGA, A.C., BRAGA, C.C., OLIVEIRA, L.M.M., Galvíncio, J. D. e Montenegro, S. M. G. L. **Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto**. Revista: Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.47, n.9, p.1218-1226, set. 2012.

Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pab/v47n9/06.pdf>. Acesso em: 13.jan.2021.

SILVA, J.A. **Fator de resposta da produção (K_y) do milho safrinha para a região de Dourados, MS**. Dissertação: Universidade Federal da Grande Dourados,

Dourados, MS: EFGD, 2017. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168848/1/DISSERTACAO-JAQUELINE-ALVES-DA-SILVA-pdf-1.pdf>. Acesso em: 13.jan.2021.

SILVA, L.M.; LEMOS, L.B.; CRUSCIOL, C. A. C.; FELTRAN, J.C. **Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem**. Revista: Pesquisa Agropecuária

Brasileira, v. 39, n.7, p.701-707, jul.2004. Disponível em:

<https://www.scielo.br/pdf/pab/v39n7/21313.pdf>. Acesso em: 20.jan.2021.

SMITH, M. **Report on the expert consultation of procedures for revision of FAO Guidelines for prediction of crops water requirements**. Rome, IT: FAO, 1991. 45 p.

SILVA, E.M.B.; SILVA, T.J.A.; CABRAL, C.E.A.; KROTH, B.E.; REZENDE, D. **Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidas ao estresse hídrico**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 180-186, abr.-jun., 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/1871/4729>. Acesso em: 04.mai.2021.

STEDUTO, P.; HSIAO, T.C.; FERERES, E.; RAES, D. **Resposta do rendimento da cultura à água**. Roma, Itália, 2012. (FAO Irrigation and Drainage paper 66.)

STREIT, N.M.; CANTERLE, L.P.; CANTO, M.W.; HECKTHEUER, L.H.H. **As clorofilas**. Revista: Ciência Rural, Santa Maria, v.35, n.3, p.748-755, mai-jun, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cr/v35n3/a43v35n3.pdf>. Acesso em: 01.fev.2021.

THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a rational classification of climate**. Revista: Geographic Review, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

VAN GENUCHTEN, M.T. **A closed-form equation predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.44, p.892-898, 1980. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250125437_A_Closed-form_Equation_for_Predicting_the_Hydraulic_Conductivity_of_Unsaturated_Soils1. Acesso em: 28.jan.2021.

VIANA, M.C.M.; DURÃES, F.O.M.; QUEIROZ, C.G.S.; ISABEL, R.P.; ALBUQUERQUE, P.E.P. **Produção de Fitomassa e Teor de Clorofila em Linhagens de Milho Submetidas ao Déficit Hídrico**. XXV Congresso Nacional de Milho e Sorgo - 2004. Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. UFMG/Departamento de Botânica. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/488095/1/Producaofitomassa.pdf>. Acesso em: 04.mai.2021.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Riego localizado**. Organização das Nações Unidas para a agricultura e a alimentação. Roma, 1986. (Estudos FAO: irrigação e drenagem, 36).

ZUCUNI PES, L., ARENHARDT, M.H. **Fisiologia Vegetal**. Santa Maria – RS, 2015.

APÊNDICE A – Dados de Kc, ETo, ETc e ETr de cada tratamento

DA P	Fase	Kc	ETo	ETc	ETr T1 (Control e)	ETr T2 (Vegetati va)	ETr T3 (Floraça o)	ETr T4 (Enchimen to de grão)
1	1	0,4	4,84	1,94	1,94	1,94	1,94	1,94
2	1	0,4	4,60	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84
3	1	0,4	5,54	2,22	2,07	2,07	2,07	2,07
4	1	0,4	5,04	2,01	1,88	1,89	1,88	1,88
5	1	0,4	5,27	2,11	1,98	1,98	1,97	1,97
6	1	0,4	4,88	1,95	1,83	1,82	1,82	1,83
7	1	0,4	2,17	0,87	0,81	0,81	0,81	0,81
8	1	0,4	1,25	0,50	0,47	0,47	0,47	0,47
9	1	0,4	3,76	1,50	1,40	1,41	1,40	1,40
10	1	0,4	2,84	1,14	1,07	1,07	1,06	1,07
11	1	0,4	3,58	1,43	1,35	1,34	1,33	1,34
12	1	0,4	4,74	1,90	1,79	1,77	1,78	1,78
13	1	0,4	5,14	2,05	1,92	1,93	1,92	1,92
14	1	0,4	4,49	1,79	1,68	1,68	1,68	1,66
15	1	0,4	3,73	1,49	1,40	1,40	1,39	1,39
16	1	0,4	4,49	1,79	1,68	1,68	1,67	1,69
17	1	0,4	5,06	2,02	1,91	1,87	1,89	1,89
18	1	0,4	5,06	2,02	1,90	1,88	1,89	1,89
19	1	0,4	3,75	1,50	1,40	1,41	1,40	1,40
20	1	0,4	4,53	1,81	1,70	1,70	1,69	1,70
21	2	0,47	4,84	2,25	2,09	2,10	2,10	2,10
22	2	0,53	4,60	2,44	2,29	2,27	2,28	2,28
23	2	0,60	5,54	3,30	3,08	3,09	3,08	3,10
24	2	0,66	5,04	3,32	3,11	3,11	3,10	3,10
25	2	0,73	5,27	3,82	3,57	3,56	3,56	3,57
26	2	0,79	4,88	3,85	3,59	3,58	3,60	3,59
27	2	0,86	2,17	1,85	1,72	1,73	1,73	1,73
28	2	0,92	1,25	1,15	1,08	1,07	1,08	1,07
29	2	0,99	3,76	3,70	3,47	3,45	3,46	3,46
30	2	1,05	2,84	2,98	2,80	2,78	2,80	2,79
31	3	1,05	3,58	3,76	3,51	3,51	3,50	3,51
32	3	1,05	4,74	4,98	4,65	4,65	4,66	4,66
33	3	1,05	5,14	5,39	5,03	5,02	5,04	5,02
34	3	1,05	4,49	4,71	4,41	4,40	4,40	4,40
35	3	1,05	3,73	3,91	3,68	3,67	3,66	3,66
36	3	1,05	4,49	4,71	4,41	4,38	4,40	4,43
37	3	1,05	5,06	5,31	4,96	4,91	4,95	4,98
38	3	1,05	5,06	5,31	4,98	4,91	4,95	4,97

APENDICE A

DAP	Fase	Kc	ETo	ETc	ETr T1 (Controle)	ETr T2 (Vegetativa)	ETr T3 (Floração)	ETr T4 (Enchimento de grão)
39	3	1,05	3,75	3,94	3,69	3,61	3,68	3,66
40	3	1,05	4,53	4,76	4,46	4,33	4,46	4,44
41	3	1,05	4,71	4,94	4,62	4,49	4,62	4,60
42	3	1,05	4,77	5,01	4,64	4,54	4,66	4,68
43	3	1,05	4,43	4,65	4,33	4,24	4,34	4,34
44	3	1,05	4,77	5,01	4,71	4,54	4,66	4,65
45	3	1,05	4,59	4,82	4,51	4,34	4,49	4,49
46	3	1,05	4,59	4,82	4,50	4,37	4,48	4,50
47	3	1,05	5,22	5,48	5,12	4,96	5,10	5,13
48	3	1,05	4,60	4,83	4,52	4,39	4,50	4,50
49	3	1,05	4,64	4,87	4,54	4,41	4,53	4,55
49	3	1,05	4,57	4,79	4,48	4,34	4,47	4,49
51	3	1,05	4,57	4,79	4,51	4,34	4,47	4,48
52	3	1,05	4,57	4,79	4,47	4,47	4,48	4,46
53	3	1,05	3,63	3,81	3,56	3,56	3,53	3,56
54	3	1,05	3,23	3,39	3,16	3,18	3,11	3,15
55	3	1,05	4,09	4,30	4,01	4,01	3,89	4,00
56	3	1,05	4,11	4,31	4,02	4,02	3,90	4,01
57	3	1,05	4,53	4,75	4,44	4,43	4,30	4,43
58	3	1,05	6,25	6,56	6,13	6,13	5,97	6,11
59	3	1,05	4,17	4,38	4,09	4,09	3,96	4,07
60	3	1,05	4,11	4,32	4,04	4,02	3,92	4,03
61	3	1,05	4,40	4,62	4,31	4,32	4,18	4,30
62	3	1,05	4,94	5,18	4,84	4,84	4,69	4,83
63	3	1,05	4,26	4,47	4,18	4,18	4,04	4,17
64	4	1,04	5,10	5,31	4,95	4,97	4,81	4,94
65	4	1,03	3,84	3,97	3,71	3,71	3,59	3,70
66	4	1,03	3,92	4,02	3,75	3,75	3,63	3,75
67	4	1,02	4,57	4,64	4,32	4,35	4,21	4,34
68	4	1,01	4,77	4,81	4,51	4,49	4,35	4,50
69	4	1,00	4,30	4,30	4,02	4,01	4,02	3,94
70	4	0,99	6,36	6,31	5,90	5,87	5,93	5,75
71	4	0,98	4,49	4,42	4,12	4,11	4,14	4,00
72	4	0,98	6,86	6,69	6,26	6,22	6,26	6,04
73	4	0,97	5,16	4,99	4,66	4,65	4,64	4,54
74	4	0,96	5,65	5,42	5,06	5,04	5,05	4,90
75	4	0,95	5,90	5,61	5,23	5,23	5,22	5,06
76	4	0,94	5,33	5,02	4,67	4,68	4,69	4,54

APENDICE A

DAP	Fase	Kc	ETo	ETc	ETr T1 (Control e)	ETr T2 (Vegetati va)	ETr T3 (Floraçã o)	ETr T4 (Enchimen to de grão)
77	4	0,93	5,27	4,92	4,60	4,61	4,59	4,44
78	4	0,93	5,16	4,77	4,47	4,45	4,44	4,34
79	4	0,92	6,59	6,04	5,62	5,63	5,64	5,48
80	4	0,91	5,56	5,05	4,70	4,70	4,72	4,57
81	4	0,90	5,56	5,01	4,67	4,65	4,68	4,52
82	4	0,89	5,27	4,70	4,39	4,38	4,39	4,27
83	4	0,88	5,33	4,71	4,40	4,40	4,40	4,25
84	4	0,88	4,77	4,17	3,89	3,90	3,89	3,78
85	4	0,87	4,38	3,80	3,54	3,55	3,55	3,45
86	4	0,86	6,16	5,29	4,94	4,95	4,94	4,80
87	4	0,85	5,82	4,95	4,62	4,62	4,64	4,48
88	5	0,85	4,99	4,24	3,98	3,96	3,95	3,85
89	5	0,85	5,32	4,52	4,22	4,23	4,21	4,10
90	5	0,85	5,69	4,84	4,54	4,52	4,52	4,37
Média			4,615	3,920	3,664	3,640	3,638	3,626
Soma			419,965	348,839	326,137	323,995	323,804	301,739

DAP: dias após plantio; Kc: coeficiente de cultivo; ETo: evapotranspiração de referência; ETc: evapotranspiração da cultura; ETr: evapotranspiração real da cultura.