



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

Departamento de Produção Vegetal

Secção de produção vegetal

Licenciatura em Engenharia Agronómica

Projecto Final

Avaliação dos mecanismos de tolerância de cinco variedades de feijão nhemba (*Vigna unguiculata* L.) a deficiência hídrica imposta no estágio de plântula

Autor

Crisolde Castro

Supervisor

Prof. Doutor Rogério Marcos Chiulele, Eng

Co-supervisor

MSc. Teodolo Chale, Eng

Maputo, 2026

Crisolde Castro

Avaliação dos mecanismos de tolerância de 5 variedades de feijão nhemba (*Vigna unguiculata* L.) a deficiência hídrica imposta no estágio de plântula

Trabalho de licenciatura apresentado à Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, Departamento de Produção Vegetal, como parte de requisitos necessários para a obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Agronómica.

Maputo, 2026

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra, que o presente trabalho é resultado da minha pesquisa e nunca foi apresentado para obtenção de qualquer outro grau ou publicação, estando mencionadas todas as fontes usadas na sua elaboração.

Maputo, 2026

(Crisolde Castro)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os que fizeram parte da minha jornada acadêmica, com maior destaque a Deus pela vida, por me permitir ser quem sou, pois sem ele nada seria possível, a minha Família pelo incentivo e paciência, aos docentes e discentes da faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, e amigos.

Dedico também a todos os produtores de feijão nhemba, pesquisadores e melhoradores genéticos de culturas que trabalham arduamente para trazer o melhor para os consumidores, para além de zelar pela segurança alimentar através da incansável busca por alternativas sustentável e modernizadas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter me guiado durante a carreira estudantil, pela vida, saúde, protecção e força que tem me dado para percorrer a jornada académica e ter permitido chegar a esta fase final, que na verdade, significa o começo de uma nova etapa.

Aos meus familiares pelo apoio, compreensão e carinho em especial aos meus pais Castro Januário e Ana Manuel pelo apoio moral e espiritual que serviu de alicerce para as minhas realizações. Ao meu irmão Hermenegildo Castro e ao meu parceiro Christopher Ruas pela presença incondicional em todos os momentos da minha formação académica, muito obrigada

Ao Prof. Doutor Rogério Marcos Chiulele em quem me espelho, que me apoiou não só como supervisor, mas também como um pai, arrancou o melhor de mim e me tirou da minha zona de conforto, tornando-me mais dinâmica e sem medo de desafios. Pelas críticas construtivas, instruções, sugestões, encorajamento, paciência, orientação, por compartilhar os seus conhecimentos adquiridos durante a sua jornada, eu me sinto honrada por ter trabalhado com o melhor supervisor do mundo, que sempre acreditou em mim mesmo quando me sentia inútil, a minha eterna gratidão.

Ao Co-supervisor Teodolo Chale que assim como o Prof. Doutor Rogério Marcos Chiulele, desempenhou um papel muito importante na elaboração desse projecto final, pela sua paciência, disponibilidade, ensinamentos, dicas, instruções, orientações e por ser o melhor co-supervisor do mundo, muito obrigada.

Aos meus colegas da faculdade: Elton Muchiua, Alexandrina Muchanga, Naida Mohomede, Angelica Oliveira, Megna Aminosse e Orcélio das Neves pelos diversos momentos de partilha de conhecimento durante a jornada, suporte, amizade e união, e a todos aqueles que de forma directa ou indirecta fizeram parte desta jornada e que não constam nesta lista, as minhas sinceras desculpas e eterna gratidão.

RESUMO

O feijão nhemba (*Vigna unguiculata* L.) é uma cultura de grande valor nutricional, excelente fonte de proteínas, carboidratos, vitaminas, minerais, elevado teor de fibras dietéticas e baixa quantidade de gordura. É produzido em várias partes do mundo e a área total de produção está em torno de 15 milhões de hectares que contribuem com 8,9 milhões de toneladas. Em Moçambique, o feijão nhemba é uma cultura bastante importante. É cultivado em todo o país pelo sector familiar para a obtenção de grão seco, vagem fresca e folhas para a alimentação humana e venda. Apesar do feijão nhemba ser uma das culturas tolerantes à seca, alguns genótipos com excelentes características agronómicas, como alto rendimento sob abastecimento de água insuficiente, têm sido relatados como altamente susceptíveis à seca nas primeiras etapas de crescimento, exigindo ainda a necessidade de melhoramento e estudos de mecanismo de tolerância à seca. Portanto, o objectivo deste estudo é avaliar a tolerância à seca de feijão nhemba na fase de plântula e identificar genótipos tolerantes à seca. Neste estudo, um total de 5 genótipos de feijão nhemba foram avaliados quanto à tolerância à seca na fase de plântula. O experimento foi conduzido no campo experimental da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal usando o Delineamento Completamente Causalizados, em 5 repetições. A avaliação de tolerância à seca foi realizada usando uma metodologia previamente descrita por Ravelombola *et al.* (2018), Mai-Kodomi *et al.* (1999) e Verbree *et al.* (2015), onde foram analisadas de 8 características, a murcha da folha, coloração da planta, vigor e coloração do caule principal, clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada, taxa e capacidade de recuperação. Os resultados obtidos foram: (1) uma grande variação nas características avaliadas para tolerância à seca foi identificada entre os 5 genótipos de feijão nhemba, (2) um total de 2 genótipos foram considerados tolerantes à seca em características similares, 2 genótipos foram considerados variáveis ou moderadamente tolerante à seca em diferentes características e 1 genótipos susceptíveis, (3) 2 genótipos mostrou ter alta capacidade de regeneração pós-stress hídrico. Os resultados deste estudo seriam de interesse em programas de melhoramento visando melhorar a tolerância à seca em feijão nhemba

Palavras-chaves: *Deficiência hídrica, Feijao Nhemba, Mecanismos de tolerância, Resposta a deficiência hídrica, Vigna unguiculata.*

Índice

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	iv
Lista de tabela.....	1
Lista de figuras.....	2
Lista de abreviatura	3
I. INTRODUÇÃO	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema de estudo e justificativa.....	2
1.3. Objectivos.....	4
1.3.1. Objectivo geral	4
1.3.2. Objectivos específicos.....	4
1.4. Hipóteses.....	4
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2. Referencial teórico	5
2.1. Historial de desenvolvimento dos mecanismos de tolerância a seca.....	5
2.2. Stress nas culturas	5
2.3. Mudanças climáticas.....	6
2.3.1. Consequência das mudanças climáticas na agricultura.....	7
2.4. Fases do stress hídrico nas culturas.....	7
2.5. Resposta do feijão nhemba á deficiência hídrica na fase de plântula	8
2.5.1. Murcha foliar.....	9
2.5.2. Coloração da planta.....	9

2.5.3.	Clorose foliar unifoliadas e primeira trifoliada	10
2.5.4.	Acamamento do caule (vigor e coloração).....	11
2.5.5.	Senescência foliar.....	11
2.5.6.	Mecanismos de tolerância à seca.....	12
2.5.7.	Escape à seca	13
2.5.8.	Rápido desenvolvimento fenológico	13
2.5.9.	Plasticidade.....	13
2.5.10.	Evite à seca ou retardo da desidratação	13
2.6.	Capacidade de regeneração pós-stress hídrico	15
III.	METODOLOGIA	17
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1.	Descrição da área de estudo	17
3.1.1.	Clima.....	17
3.1.2.	solos.....	18
3.2.	Descrição do ensaio e dos tratamentos.....	18
3.2.1.	Variáveis a medir.....	24
a)	Folha murcha.....	25
b)	Coloração da planta.....	26
c)	Clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada.....	26
d)	Acamamento do caule principal (vigor e coloração).....	27
e)	Recuperação pós-stress hídrico	28
		28
3.3.	Análise de dados.....	28
	Procedimentos	28
3.3.1.		28

IV. RESULTADOS.....	30
4. Resultados e discussão	30
4.1. Resposta das variedades a deficiência hídrica.....	30
4.1.1. Variáveis qualitativas	30
4.1.1.1. Murcha da folha após a interrupção da irrigação.....	30
4.2. Mecanismos de tolerância à seca.....	34
4.2.1. Avaliação dos mecanismos de tolerância à seca com base nas variáveis qualitativas.....	34
4.2.2. Avaliação dos mecanismos de tolerância à seca com base nas variáveis quantitativas ..	35
4.3. Capacidade de regeneração e taxa de recuperação.....	37
4.4. DISCUSSÃO.....	39
5. Conclusões E Recomendações	44
5.1. Conclusões	44
5.2. Recomendações.....	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
7. ANEXOS.....	51

Lista de tabela

Tabela 1: Layout do ensaio das variedades de feijão nhemba no regime stressado**Erro! Marcador não definido.**18

Tabela 2: Características das 5 variedades 24

Tabela 3: Comparação de médias das variáveis qualitativas.....35

Tabela 4: Correlação entre variáveis da clorose.....36

Tabela 5: Comparação de médias das variáveis quantitativas.....37

Lista de figuras e gráficos

Figura 1: Escala de classificação da murcha	9
Figura 2: Escala de classificação da coloração da planta	10
Figura 3: Escala do acamamento do caule principal.....	11
Figura 4: Mapa da área de estudo	17
Figura 5: Estágio de murcha da folha	25
Figura 6: Coloração da planta em diferentes estágios.....	26
Figura 7: Avaliação da clorose unifoliada e primeira trifoliada.....	27
Figura 8: Pontuação do acamamento do caule principal	27
Figura 9: categoria de recuperaçãopós-stress hídrico,	28
Figura 10: Recuperação da variedade p123	37
Figura 11: recuperação da variedades IT1105.....	37
Figura 12: Recuperação da variedade Bambey	38
Figura 13: Recuperação da variedade p108	38
Figura 14: Recuperação da variedade Chiulele 5	38

Lista de gráficos

Gráfico1 : Murcha da folha.....	Erro! Marcador não definido.	18
Grafico 2: Coloraçãoda planta		24
Gráfico 3: Acamamento do caule.....		35
Gráfico 4: clorose em 50%.....		36
Gráfico 5: Clorose em 100s%.....		34

Lista de abreviatura

Coloração~0: Coloração da planta

Cocaul : Coloração do caule

FAO: Food and Agriculture Organization

MADER: Ministério de Agricultura e Desenvolvimento Rural

Puc: Plantas com clorose foliar unifoliada

Ptc: Plantas com Clorose foliar da primeira trifoliada

Rec: Número de plantas recuperadas

WFP: World Food Programme

WMO: Organização mundial meteorológicos

I. INTRODUÇÃO

1.1. Antecedentes

O feijão nhemba (*Vigna unguiculata* L.) é uma cultura de grande valor nutricional. A cultura é uma excelente fonte de proteínas (23%-25%), de alto valor biológico por conter elevados níveis de lisina assim como todos os aminoácidos essenciais, nomeadamente, leucina, finilalanina, valina, isoleucina, treonina, histidina e metionina (Oliveira *et al.*, 2016). A cultura apresenta também elevado conteúdo de carboidratos (62%), vitaminas e minerais, para além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%) e não conter colesterol (Freire Filho *et al.*, 2012). Por isso, é o alimento de grande importância nutricional para as populações de baixa renda.

O feijão nhemba é produzido em várias partes do mundo. Segundo a FAO (2020), a área total mundial, está em torno de 15 milhões de hectares que contribui com 8,9 milhões de toneladas. Segundo a mesma fonte, a África central e ocidental contribui com a maior parte da área e produção com cerca de 87% e 88%, respectivamente. A fonte refere ainda que a Cultura é produzido na América do Sul, América Central e Ásia, com pequenas áreas espalhadas pelo sudoeste da Europa, sudoeste do Estados Unidos e Oceânia. Entre os maiores produtores mundiais da cultura, a Nigéria esta em primeiro lugar com 41 % da Produção total mundial, seguida de Níger com 30 % e Burquina com 7% respectivamente (FAO, 2020). A cultura tem também expressão na África oriental e austral onde se destacam como maiores produtores, Quênia, Tanzânia e Moçambique.

Em Moçambique, o feijão nhemba é uma cultura bastante importante. É cultivado em todo o país pelo sector familiar para a obtenção de grão seco, vagem fresca e folhas para a alimentação humana e venda. Segundo MADER (2020), dentre as pequenas e médias explorações que produzem feijões (manteiga, nhemba, jugo, bóer, oloko e outros), o feijão nhemba ocupa a primeira posição com cerca de 42.3 % da produção total dos feijões a nível nacional. A mesma fonte indica que a Cultura constitui o alimento básico para a população, exercendo a função social de suprir as necessidades alimentares das populações mais carentes. É também uma fonte de rendimento, no meio rural, onde os camponeses consomem e comercializam as folhas e o grão, sua produção em pequenas e medias explorações é de 83 450 toneladas (MADER, 2020). Apesar de ser uma cultura bastante importante, os rendimentos são baixos, situando-se em cerca de 264 quilogramas por hectare (FAO, 2020). Entre factores que contribuem para o baixo rendimento destacam-se as pragas, as doenças e a seca

associada a mudanças climáticas.

A seca é um dos factores abióticos que mais danifica o desenvolvimento e rendimento do feijão nhemba. A principal causa do baixo rendimento está relacionado ao fornecimento inadequado da água por irrigação e chuva, geralmente abaixo do ideal durante a fase vegetativa e reprodutiva, tornando um desafio a produção do feijão nhemba nas áreas propensa á seca devido a perdas de rendimento de até 50% (Kroner *et al.*, 2017).

O rendimento baixo tem sido alvo de estudo dos melhoradores de plantas com o objectivo de colectar genótipos em diferentes pontos do mundo que seja resistente a deficiência hídrica em todas as fases da cultura de feijão nhemba. Alguns genótipos já foram identificados em diferentes regiões cujos comportamentos têm sido relatados, na sua maioria similar no que diz respeito aos mecanismos de tolerância à seca dependendo do clima e condições locais. Todavia, as perdas de rendimento ainda continuam um desafio muito grande para os pequenos agricultores que não possuem condições para adquirir um sistema de irrigação, principalmente em condições de seca prolongada.

Um longo período de condições de seca afecta adversamente o desenvolvimento das plantas, e em casos extremos resultam na morte das plantas (Gollmack *et al.*, 2014). A água utilizada pelas plantas na fotossíntese é absorvida pelas raízes e transportada para a parte aérea juntamente com os nutrientes, através dos vasos lenhosos ou xilema. Contudo, a seca inviabiliza o processo fotossintético, uma vez que a água, além de ser componente básico da reação, também é responsável pela manutenção da transpiração, essencial para a permeabilidade do gás carbônico no mesófilo foliar (Nepomuceno *et al.*, 2001).

1.2.Problema de estudo e justificativa

O feijão nhemba é produzido em quase todo o país, maioritariamente pelo pequeno agricultor e, em regime de sequeiro. Todavia, devido à irregularidade das chuvas nos últimos tempos, esta prática torna-se numa actividade de risco, pois a cultura fica sujeita ao stress hídrico em certa fase de crescimento e desenvolvimento, comprometendo parcial ou totalmente a produção e produtividade. A irregularidade das chuvas em Moçambique em particular, é caracterizada de diferentes formas de ano para ano. Por vezes tem se um periodo chuvoso que dura muito pouco, chuvas que começam tarde e terminam cedo antes do fim do ciclo e longo periodo sem chuva no

meio do ciclo da cultura (WFP, 2018).

Essa variação faz com que a cultura seja afectada pela deficiência hídrica nos diferentes estágios de crescimento para além de dificultar a tomada de decisão sobre a data apropriada para a sementeira. Segundo Porte *et al.* (2000), a escassez de chuvas poucas semanas após a sementeira pode levar a condições de stress severo, levando à morte das plantas nas variedades susceptíveis à deficiência hídrica. A disponibilização de variedades capazes de resistirem ao stress hídrico no estágio de plântula é de grande importância nessas condições. No entanto, o seu desenvolvimento requer uma boa metodologia de avaliação e compreensão da genética da tolerância à seca, que tem sido reportado como um mecanismo complexo (Golldack *et al.*, 2014). Um dos aspectos importantes para o desenvolvimento dessas variedades, é identificação das características que conferem a capacidade de as plantas crescerem bem em condições de limitada disponibilidade de água. As respostas de partes da planta acima do solo têm sido referidas como de grande importância para o entendimento da tolerância à seca no feijão nhemba (Agbicodo *et al.*, 2009).

A avaliação da tolerância à seca na fase de plântulas em condição controlada pode fornecer informação sobre os mecanismos que governam a tolerância nessa fase tornando a avaliação à tolerância à seca simples e rápida. Os estudos até então conduzidos têm reportado a existência de retardo da desidratação dos tecidos e tolerância como mecanismos de tolerância à seca na fase de plântula. Contudo, mais estudos são ainda necessários envolvendo mais genótipos de tantos existentes no país, diferentes dos testados noutros estudos, para identificação daqueles que são capazes de tolerar a deficiência hídrica, bem como fazer o aprofundamento sobre os mecanismos que governam a tolerância na fase de plântula no feijão nhemba. Assim sendo, este estudo foi proposto para avaliar a resposta à deficiência hídrica e os mecanismos de tolerância envolvidos na fase de plântula, em 5 variedades de feijão nhemba.

A identificação de variedades tolerantes à deficiência hídrica e os mecanismos envolvidos, será de grande contributo para o país. Com a descoberta, o estudo irá trazer recomendações sobre quais variedades podem ser cultivadas em zonas onde a irregularidade das chuvas é crítica. Igualmente, o estudo irá servir de base para o desenvolvimento de novas variedades nos programas de melhoramento do feijão nhemba.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo geral

Avaliar os mecanismos de tolerância de 5 variedades de feijão nhemba (*Vigna unguiculata L.*) à deficiência hídrica imposta no estágio de plântula.

1.3.2. Objectivos específicos

Avaliar a resposta das variedades do feijão nhemba à deficiência hídrica;

Identificar os mecanismos envolvidos na tolerância das variedades de feijão nhemba à deficiência hídrica;

Avaliar a capacidade de regeneração das variedades de feijão nhemba pós-stress hídrico.

1.4. Hipóteses

As variedades do feijão nhemba respondem de maneiras diferentes á deficiência hídrica.

Existem diferentes mecanismos que controlam a tolerância do feijão nhemba à deficiência hídrica na fase de plântula.

Pelo menos umas das variedades de feijão nhemba têm capacidade de regeneração pós-stress hídrico.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. Referencial teórico

2.1. Historial de desenvolvimento dos mecanismos de tolerância a seca

Nos primórdios de sua evolução, há bilhões de anos, as plantas sofreram inúmeras mudanças na sua estrutura, que as habilitaram para sobreviver em ambientes relativamente secos. Tais mudanças resultaram de mutações genéticas e recombinações que, através da selecção natural, permitiram às plantas sobreviverem e se reproduzirem em condições de stress hídrico (Nepomuceno *et al.*, 2001).

As mudanças geradas podem ser hereditárias e não hereditárias nomeadamente, adaptação à seca e aclimação. Uma planta aclimatada tem sua tolerância aumentada como consequência de exposição anterior ao stress, sendo um processo considerado não hereditário, as quais as mudanças fenotípicas produzidas são em detrimento às variações dos factores ambientais. Como por exemplo aclimação ao calor, ocorre rapidamente em resposta ao stress provocado por altas temperaturas, as mudanças para limites de temperatura mais elevadas podem se consumir dentro de horas (Porte *et al.*, 2000). Adaptação, são características adquiridas pelas plantas através dos genes, envolvendo um processo de selecção durante muitas gerações (Mantell *et al.*, 1994).

O mecanismo desenvolvido pelas plantas pode ser regulado pela expressão de diversos genes associados ao ambiente. Esse processo é complexo, envolve a interacção de processos físicos, metabólicos em células, tecidos e órgãos (Correia, 2003). Portanto, a tolerância à seca depende do grau de desidratação suportado, intervalo de tempo para a reposição da água e a recuperação, o ciclo múltiplo de desidratação e reidratação suportada, da estabilidade e longevidade do tecido no estado seco (Pungulani, 2013), afectando deste modo todos os seus estágios de desenvolvimento, partindo da germinação até o desenvolvimento (Porte *et al.*, 2000). Contudo, essas variações dependem da adaptabilidade das plantas, onde algumas das quais são susceptíveis à deficiência hídrica, sendo por isso eliminadas pelo processo de selecção e, outras que são resistentes, suportam período de estiagem, e que, com o tempo desenvolvem estratégias fisiológicas e morfológicas para sobreviver, o que lhes confere resistente à seca (Doss *et al.*, 2009).

2.2. Stress nas culturas

Segundo Luchi *et al.* (2000), stress é definido como todo factor ambiental desfavorável para os organismos vivos, caracterizado como um desvio significativo das condições óptimas para a vida,

induzindo a mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, as quais são reversíveis a princípio, porém podem se tornar permanentes, mesmo se a condição de stress for somente temporária. Para Bianchi *et al.* (2016), o stress pode ser diferenciado em eu-stress e dis-stress. Eu-stress é um factor de activação, ou seja, stress estimulante e elemento positivo para o desenvolvimento; dis-stress é uma forma severa de estresse que afecta negativamente a planta e causa dano permanente. E pode ser causado tanto por factores abióticos (água, radiação, temperatura, gases e minerais), assim como por factores bióticos (planta, microrganismos, animais de origem antropogénica). Quando o stress é causado por água, pode ser através da falta de água, ou por excesso de água que nos últimos anos tem sido o reflexo das mudanças climáticas.

O stress por deficiência hídrica ocorre quando a quantidade de água disponível é menor do que a quantidade necessária, ou seja, quando a demanda é maior que oferta para a expressão do seu potencial fisiológico. À medida que o solo seca, torna-se mais difícil as plantas absorverem água, porque aumenta a retenção e diminui a disponibilidade de água no solo para as plantas Bianchi *et al.* (2016). Este facto resulta em consequências algumas vezes irreparáveis.

As culturas necessitam de água para garantir a germinação, desenvolvimento e reprodução normal. A sua ausência causa uma redução das actividades fisiológicas comparativamente as plantas que crescem em ambientes com boa disponibilidade de água, (Cavalcante *et al.*, 2009), dado que a escassez causa o fechamento dos estomas em forma de defesa, para que haja redução da transpiração e como consequência ocorrem mudanças anatómicas, alteração fotossintética, murcha da folha, alteração da coloração da planta, e senescência da folha (Marenco e Lopes, 2005). A deficiência pode resultar da não observância da data recomendada de sementeira ou algum factor ligado ao solo como a salinização, baixa precipitação e esporádica como consequência das mudanças climáticas (Chiulele, 2010).

2.3.Mudanças climáticas

Mudanças climáticas, são alterações nos padrões climáticos que provocam variações nos elementos do clima que podem ser causados por fenómenos naturais ou acções antropogénicas. As acções antropogénicas estão associadas as crescentes emissões de gases do efeito estufa (FAO). O sector energético é o principal responsável, o seguimento da agricultura, florestais e uso da terra contribuem com cerca de 70% das emissões dos gases do efeito estufa (FAO). O aumento desses

gases (dióxido de carbono, água, metano e óxido nitroso) aumentam a temperatura do planeta rapidamente gerando o aquecimento global (WMO).

2.3.1. Consequência das mudanças climáticas na agricultura

A agricultura é dos sectores mais vulneráveis às mudanças climáticas (FAO, 2016). O clima determina o tipo de vegetação em cada ponto, e por isso a agricultura em todo o mundo tem suas próprias especificidades que dependem de factores climáticos. As peculiaridades climáticas de hoje não são as mesmas de antes devido às variáveis nos elementos do clima. E, face a nova realidade os agricultores precisam adotar métodos que nunca tentaram antes para se adaptar as mudanças climáticas bem como minimizar o impacto das mesmas (FAO, 2023). As plantas são sensíveis às inundações tanto quanto às secas e perecem em ambos os casos. As altas temperaturas aumentam as infestações de pragas que envolvem maiores aplicações de inseticidas e exigem mais recursos hídricos (FAO, 2023)

As mudanças climáticas na agricultura introduzem uma série de questões para os produtores, e as estratégias de adaptação às mudanças climáticas são objetivos de importância primordial (FAO, 2023). A adaptação e mitigação das mudanças climáticas não são soluções totalmente curativas e devem ser personalizadas em cada caso particular (Correia, 2003). Pensando em como se adaptar às mudanças climáticas na agricultura, devem-se considerar as especificidades climáticas da sua área, o potencial e as necessidades agrícolas, a acessibilidade dos métodos aplicados. E, assim sendo, a agricultura e a adaptação às mudanças climáticas são de grande preocupação não apenas para os produtores agrícolas, mas também para os cientistas, devido a crescente necessidade de fornecer aos agricultores espécies mais tolerantes à deficiência hídrica ou ao excesso e aos saltos de temperatura (Oliveira *et al.*, 2016).

2.4. Fases do stress hídrico nas culturas

Segundo Sardhara e Mehta (2018), quando uma planta é submetida ao stress hídrico, ela atravessa 4 fases sucessivas características que são: resposta, restituição, final e regeneração.

Fase de Resposta (reacção de alarme): ocorre um desvio da normalidade, ou seja, as plantas saem da sua condição favorável e como consequência, há perda da estabilidade das estruturas e das funções que mantêm as actividades vitais (processos bioquímicos e metabolismo de produção

energia). Nesta fase, os processos catabólicos excedem os anabólicos, e com a intensificação rápida da falta de água, resulta em um colapso agudo da integridade celular, antes de medidas defensivas se tornarem efectivas.

Fase de Restituição (estágio de resistência): os processos de adaptação são desencadeados, caso a intensidade do agente stress não altere, ocorre restituição na forma de processos de reparo, como síntese proteica ou síntese de substâncias de protecção, será rapidamente iniciada. Essa situação leva a uma fase de resistência, na qual, sob stress contínuo, a resistência aumenta pelo processo de rustificação (processo fundamental para melhoria física e fisiológica). Devido à melhora na estabilidade a normalização acontece mesmo sob stress contínuo (adaptação). A resistência pode permanecer elevada por algum tempo após o distúrbio ter ocorrido.

Fase Final (estádio de exaustão): quando o stress muito demorado ou se a intensidade do factor de stress aumenta, um estado de exaustão pode ocorrer, deixando a planta susceptível às infecções que ocorrem como consequência da diminuição das defesas do hospedeiro (por exemplo parasitas causando infecções oportunistas) e levando ao colapso prematuro.

Fase de Regeneração: Regeneração parcial ou completa das funções fisiológicas, quando o agente de stress é removido e o dano não é muito alto.

2.5. Resposta do feijão nhemba à deficiência hídrica na fase de plântula

A resposta das plantas à seca é variada, depende de factores intrínsecos e extrínsecos. Contudo, existe uma série de processos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos que ocorrem ao nível da cultura. Diversos processos fisiológicos das plantas foram objecto de pesquisas realizadas por Oliveira *et al.* (2005); Mendes *et al.* (2007); Endres *et al.* (2010) e Gomes *et al.* (2019). Nos seus estudos, a avaliação do stress hídrico das plantas quando submetidas à deficiência hídrica na fase vegetativa, demonstra que variedades de feijão nhemba sofrem reduções significativas no potencial hídrico foliar, condutância estomática e transpiração foliar, com consequente aumento na temperatura da folha e com interferência nos processos fisiológicos. A resposta morfológica mais comum das plantas a deficiência hídrica, segundo Taiz e Zeiger (2013), consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estomas da aceleração da senescência, menor produção da matéria seca e da senescência das folhas e segundo Pungulani *et al.* (2013); Verbree *et al.* (2015) e Ravelombola *et al.* (2018), a murcha da folha, a senescência foliar, a coloração do caule e vigor,

a clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada são parâmetros que resultam da deficiência hídrica. Sendo assim, um dos primeiros efeitos bioquímicos da deficiência hídrica nas plantas vasculares manifesta-se sobre os estomas. Com a progressão do dessecamento, ocorre a desidratação do protoplasma e a redução da capacidade fotossintética. A queda da taxa de fotossíntese pode ser relacionada com a limitação das trocas gasosas, consequência do fechamento dos estomas em resposta a um decréscimo no potencial hídrico da folha ocasionado pela reduzida disponibilidade de água no solo (Oliveira *et al.*, 2005)

2.5.1. Murcha foliar

A murcha é o sinal mais comum de stress hídrico nas plantas. Por definição, murcha é a perda de rigidez que leva a um estado flácido, devido à queda da pressão de turgescência para zero (Taiz e Zeiger, 2013). A murcha da folha ocorre quando a quantidade de água disponível para planta absorver é menor que a quantidade necessária para a planta. A escassez de água no interior faz com que a planta feche os estomas que são os locais de troca de gases e vapor de água de modo a reduzir a transpiração. Esse processo ocorre como um mecanismo de defesa que a planta busca para minimizar a perda de água interna (Marencos e Lopes, 2005). Para avaliar a murcha, vários autores em seus estudos classificam a murcha, pontuando-a numa escala de 1 a 5 segundo Mai-Kodomi *et al.* (1999), conforme a imagem abaixo.

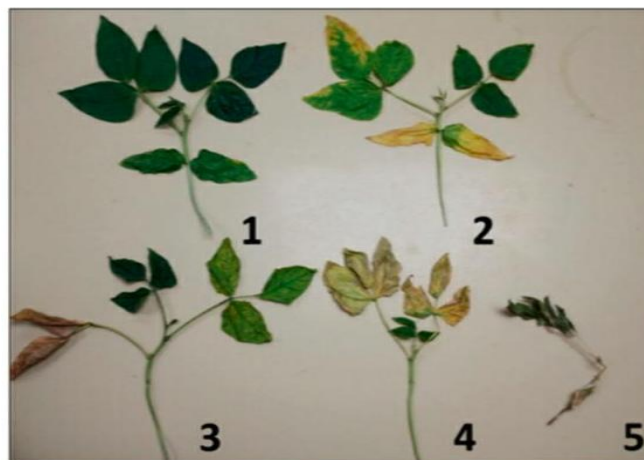


Figura 1: Escala de classificação da murcha. **Fonte:** Cui, Q. (2019).

2.5.2. Coloração da planta

A coloração verde da planta é conferida pela clorofila. A clorofila é o pigmento responsável por

captar a luz e garantir que organismos fotossintetizantes consigam produzir seu alimento por meio do processo da fotossíntese. Assim sendo, ela é essencial para a manutenção e desenvolvimento da planta por meio dos foto assimilados (kerbaruy, 2004)

A deficiência hídrica dificulta a absorção do nitrogênio um componente essencial da clorofila. A deficiência de nitrogênio acelera a senescência, reduz a eficiência da fotossíntese e consequentemente as actividades fotossintéticas da planta. Assim, verifica-se que a deficiência hídrica se associa ao nitrogênio de modo que plantas melhoradas para a tolerância à seca poderão ter maior eficiência na utilização do nitrogênio (kerbaruy, 2004). Em vários estudos a coloração da planta foi avaliada como parâmetros importantes para o estudo dos mecanismos de tolerância à seca, usando a escala de Ravelombola *et al* (2018).



Figura 2: Escala de classificação da coloração da planta. Fonte: Dr. Ainong Shi

2.5.3. Clorose foliar unifoliadas e primeira trifoliada

A planta germina e emerge usando as suas reservas nutritivas. Posteriormente no estágio vegetativo emitem os nós que dão origem aos primórdios foliares, sendo considerado o primeiro nó unifolio e o segundo nó trifólio. Esses primórdios foliares permitem a realização da fotossíntese na fase de plântula (Oliveira *et al.*, 2005). Com base nos estudos feitos por Ravelombola *et al.* (2020), cloroses nas folhas prejudica severamente a fotossíntese por estar ligada a degradação da clorofila, pigmento responsável pela captação da luz solar para a realização da fotossíntese, sendo mais afectadas as folhas unifoliadas do que as trifoliadas

2.5.4. Acamamento do caule (vigor e coloração)

O caule é um importante órgão do vegetal que atua garantindo a conexão entre as raízes e as folhas por meio de uma série de vasos condutores presentes em seu interior. Além do papel na condução de substâncias, o caule é importante na sustentação do vegetal como um todo. Por meio da sustentação das folhas, o caule garante que essas estruturas fiquem dispostas de maneira a favorecer a captação de luz, factor essencial para a realização da fotossíntese (Endres *et al.*, 2010).

A escassez de água inviabiliza as actividades normais do caule alterando a vigorosidade e a coloração do caule. A perda da coloração e vigor do caule causada pela desidratação leva ao acamamento do caule, que varia consoante a variedade, a severidade da desidratação e a temperatura. No entanto, diferentes variedades de feijão nhemba são pontuadas numa escala de 1 à 3, de forma diferente com base na característica e complexidade da seca.



Figura 3: Escala de classificação do acamamento do caule principal. Fonte: Cui, Q. (2019).

2.5.5. Senescência foliar

A senescência é comum para a cultura próximo à fase de maturação como resultado da remobilização de nutriente para os órgãos reprodutores ou frutos, mas também pode ocorrer em situação de deficiência hídrica severa (Abreu *et al.*, 2004). A senescência surge como um mecanismo de fundamental influência na produção final das culturas, por reduzir o número de folhas fotossinteticamente activas (Oliveira, 2005). A senescência na fase plântula resulta da desidratação das folhas, ou seja, quando a planta passa por deficiência hídrica, reduz o teor de água nas folhas e

consequentemente ocorre o aumento da temperatura interna da planta, e se a água não for restituída leva a desidratação total da folha levando-a a senescência, devido ao aumento da síntese de etileno e diminuição da concentração de auxina (Ravembola, 2018). Assim, as células de abscisão que são sensíveis ao etileno produzem enzimas que digerem a celulose tornando as camadas da base do peciolo fracas que combinado como factores externos causam a queda da folha (Pungulani *et al.*, 2013).

2.5.6. Mecanismos de tolerância à seca

Segundo Chiulele (2010), resistência a seca é um termo genérico que se refere ao conjunto de mecanismos que as plantas usam para lidar com a seca. Segundo a mesma fonte, a adaptação é a condição que ajuda a planta a lidar com stress ambiental, controlado geneticamente, processo este que resulta na mudança na composição genética duma população de indivíduos ao longo do tempo como resposta a um stress ambiental (evolucionário).

Os mecanismos de resistência à seca podem ser divididos em escape, retardo e tolerância. O mecanismo de resistência a seca por escape é caracterizado pela adaptação pela planta de estratégia de “fuga” apresentando rápido desenvolvimento fenológico e alto grau de plasticidade, sendo capazes de completar seu ciclo de vida antes que a deficiência hídrica se torne severa o bastante para provocar dano fisiológico (Ferrari *et al.*, 2015). O mecanismo de retardo da desidratação corresponde à manutenção do turgor e volume celular, tanto pela absorção de água por um sistema radicular abundante quanto pela redução da perda por transpiração através do fechamento estomático ou por vias não estomáticas como a cutícula. Por fim, a tolerância à seca é um mecanismo que permite à planta manter o metabolismo, mesmo com a redução do potencial hídrico dos tecidos, devido principalmente ao acúmulo de solutos compatíveis ou osmólitos, proteínas osmoprotetoras e à capacidade antioxidante (Verslues *et al.*, 2006).

De acordo com as condições de cultivo e variedade, a cultura do feijão nhemba pode apresentar mecanismos diferenciados de tolerância. Quando cultivado em condições controladas, como por exemplo com uso de estufas e vasos para o cultivo das plantas, pode apresentar certo tipo de mecanismos. Quando cultivado em condições de campo aberto com influência dos factores ambientais, pode apresentar outro tipo de mecanismos (Ferrari *et al.*, 2015). De acordo com o tipo de variedade cultivada, o feijão nhemba pode apresentar diferentes tipos de mecanismos, uma vez

que a constituição genética das variedades é diferente, fazendo com que respondam de forma diferente às condições de stress hídrico (Ferrari *et al.*, 2015). Relatos de estudos já feitos indicam que o mecanismo de tolerância a seca mais comuns na cultura é o retardo da desidratação e tolerância (Verslues *et al.*, 2006; Kerbaudy, 2004; Ravembola *et al.*, 2018; Ferrari *et al.*, 2015).

2.5.7. Escape à seca

O escape à deficiência hídrica no feijão nhemba como noutra cultura, pode ser manifestada através do rápido desenvolvimento fenológico e pela plasticidade.

2.5.8. Rápido desenvolvimento fenológico

Durante a deficiência hídrica para escapar a desidratação as plantas desenvolvem habilidades para completar rapidamente seu ciclo vital antes mesmo que seus tecidos atinjam uma deficiência hídrica. Esse mecanismo é muito comum em regiões semiáridas, onde possuem a capacidade de germinar, florescer e produzirem sementes de uma forma rápida durante um curto período de chuvas. Estas plantas completam seu ciclo antes que a humidade presente em seus tecidos diminua a níveis que possam causar danos (Kroner, 2017)

2.5.9. Plasticidade

É uma característica de plantas que possuem a flexibilidade de encurtar ou prolongar seu ciclo em função da quantidade de água ofertada. Em condições de baixa pluviosidade em determinadas espécies reduzem seu crescimento vegetativo, produzindo uma menor quantidade de flores e sementes. Porém havendo disponibilidade de água no solo, apresentam um vigoroso crescimento vegetativo com várias sementes e flores. As pluvioterófitas e geófitas são exemplos de plantas com esta capacidade, de tal maneira que as pluvioterófitas germinam após fortes chuvas e rapidamente completam seu ciclo de desenvolvimento, sendo que a maioria dessas espécies sobrevivem à seca em forma de sementes. Em contrapartida, as geófitas são capazes de produzir parte aérea através de rizomas, bolbos e tubérculos, usando amido e carboidratos armazenados em períodos curtos de chuva e, conseqüentemente desenvolvem flores e frutos (Oliveira *et al.*, 2005).

2.5.10. Evite à seca ou retardo da desidratação

O retardo da desidratação como mecanismo de tolerância a seca está relacionado com a melhorar absorção de água, capacidade de condução da água, redução da transpiração, armazenamento da

água, fechamento dos estomas, medidas morfológicas, plantas CAM e ajuste osmótico.

Melhor absorção de água: quando a planta está sob stress hídrico, os foto assimilados são enviados para parte subterrânea para melhorar a absorção de água através do aprofundamento das raízes que permitem obter água nos perfis que tenham disponibilidade de água, sendo o ABA (ácido abísico) o responsável por esta função, (Gomes *et al.*, 2019). No estudo feito por Gomes *et al.* (2019) observou que em plântulas de milho com alta concentração de ABA e sob condição de baixo potencial hídrico, as raízes apresentam um maior crescimento em relação às plântulas de milho com baixa concentração de ABA. Com o aprofundamento das raízes a relação raiz e parte aérea é elevada sob baixos potenciais hídricos, pois a parte abaixo do solo está relativamente mais desenvolvida em relação a parte aérea que em comunhão com o efeito do fechamento estomático pelo próprio ABA que minimiza a perda de água por evaporação, auxiliando a planta a enfrentar stress hídrico (Taiz e Zeiger, 2013).

Capacidade de condução de água: maior quantidade de xilema e nervuras densas das folhas através do qual será feita a distribuição de água e nutrientes para a planta ao mesmo tempo que os feixes vasculares conferem sustentação ao limbo foliar, aumenta a capacidade de condução de água e reduzir a distância de transporte (internódios mais curtos) (Bianchi *et al* 2016). Em um estudo realizado por Machado *et al.* (2009), verificou que, tanto em variedades suscetível e resistente de cana, quando submetidas a stress hídrico em fase inicial de crescimento, ocorreu diminuição do número de colmos, ou seja, um tipo de mecanismo para a planta reduzir a distância de condução de água e consequentemente aumentar a capacidade de condução.

Redução da transpiração: a redução da perda de água em condições de deficiência de água é uma medida tomada pelas plantas. Para o efeito a planta adota várias estratégias como o fechamento estomático, estomas menores, epiderme com parede celular densamente cutinizada e com espessa camada de cera, pilosidade e o próprio enrolamento das folhas são típicas características apresentada por elas, justamente para evitar a perda de água (Chiulele, 2010).

Armazenamento de água: a planta armazena água nos órgãos, tecidos como xilema e córtex em algumas espécies de região seca (Gomes, 2019). Órgãos e tecidos com essa capacidade se tornam ferramentas importantes para o combate à seca, além do xilema e caule, órgãos maciços como troncos e grande ramos e órgãos subterrâneos em plantas herbáceas, são algumas medidas adotadas

para evitar à seca. Segundo Wright *et al.* (1970), no verão, cerca de 30 a 40% da água perdida durante a transpiração do meio-dia em árvores velhas de pinheiros com 40 anos de idade é proveniente dos troncos e dos ramos, reduzindo o efeito de deficiência hídrica sobre as acículas.

Fechamento estomas: os estomas são formados por um par de células guardas e por um poro, são encontrados em folhas, mas também podem ocorrer em caules verdes, flores e frutos. A mudança de forma das células-guarda (turgida ou flácida) leva a entrada de CO₂ para realização da fotossíntese. É pelo balanço de amido e iões K⁺ e Cl⁻ dentro das células-guardas que ocorre a regulação da abertura e fechamento dos estomas, de forma que a retirada dos iões e manutenção da formação do amido, ocorre o processo de fechamento. Esse processo é uma estratégia das plantas para economizar água durante o período crítico de seca, mantendo uma menor taxa de transpiração em detrimento da absorção de CO₂. O potencial crítico para o fechamento estomático varia de espécie para espécie de acordo com o seu metabolismo (Oliveira, 2005).

Medidas morfológicas: as medidas morfológicas como o enrolamento de folha, mudança no ângulo da folha, enraizamento rápido e profundo, manutenção das folhas fontes, perfilhamento e remobilização de reversas são consideradas como tolerância a dessecação (kroner, 2017). Na cultura de cana-de-açúcar para reduzir a transpiração enrolam as folhas, para reduzir a transpiração, de modo que em condições de deficiência hídrica a folha enrola e cessa seu crescimento, podendo variar significativamente entre as diferentes variedades (Oliveira, 2002).

Na cultura de girassol, devido a sua sensibilidade ao stress hídrico, com apenas um pequeno decréscimo do potencial hídrico da folha, já é suficiente para que a taxa de expansão foliar diminuía rapidamente e conseqüentemente ocorre a queda severa nas taxas fotossintéticas (Cui, 2019)

Ajuste osmótico: esse mecanismo é um tipo especial de difusão em que a água difunde através de uma membrana com permeabilidade diferencial de um meio com potencial hídrico maior para um meio com potencial hídrico menor, onde a presença de solutos dissolvidos diminui a energia livre da água, o que gera a passagem de água entre a membrana para região com baixa disponibilidade de água (Nepomuceno *et al.*, 2001).

2.6. Capacidade de regeneração pós-stress hídrico

A regeneração das plantas depende do genótipo, factores ambientais e severidade do stress hídrico

(Silva *et al.*,2010). Na fase plântula, se a deficiência hídrica for severa a plântula morre devido a degeneração total dos tecidos da planta. Variedades resistentes as deficiências hídricas podem, apesar da severidade da deficiência hídrica após a restituição da água, recuperar e desenvolver normalmente, correndo o risco de prolongar o seu ciclo de vida.

Este comportamento foi observado por Araújo *et al.* (2018) que relata que o stress hídrico, durante o estágio vegetativo em plantas submetidas a stress hídrico por seca prolongaram a fase vegetativa como forma de compensar o que deixou de acumular durante o período de stress hídrico e consequentemente atrasa também, a maturação fisiológica. Estudos similares foram relatados por Parfitt *et al.* (2017) que afirmam que nessa situação, o ciclo total da cultura que passou por deficiência hídrica pode ser até 15 dias mais longo comparativamente ao do cultivo que não passou por deficiência hídrica na fase vegetativa.

III. METODOLOGIA

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

Para responder os objectivos propostos no presente trabalho, foi conduzido um experimento em condições de estufa. O experimento foi conduzido no período compreendido entre setembro e outubro de 2022, no campo Experimental da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF) situado no campus principal da Universidade Eduardo Mondlane, na cidade de Maputo (Figura 4)



Figura 4: Mapa da área de estudo

3.1.1. Clima

Segundo a classificação climática de Koppen, a cidade de Maputo apresenta um clima tropical chuvoso de Savana (Aw), a precipitação é moderada, com um valor médio anual de 713 mm. A estação chuvosa vai de outubro à abril, com 60 a 80 % da pluviosidade concentrada entre os meses de dezembro e fevereiro, sendo agosto o mês mais seco, com uma precipitação média de cerca de 12 mm. A temperatura média anual, de acordo com o INAM (2019) é de cerca de 22,9 °C com as temperaturas mais elevadas a serem registadas entre os meses de dezembro à fevereiro, que variam entre 35°C de máxima e 15°C de mínima. As mais baixas são registadas nos meses de junho, julho e agosto, com as temperaturas máximas a variarem entre 23°C e 22°C e mínimas entre 10° C e 15° C.

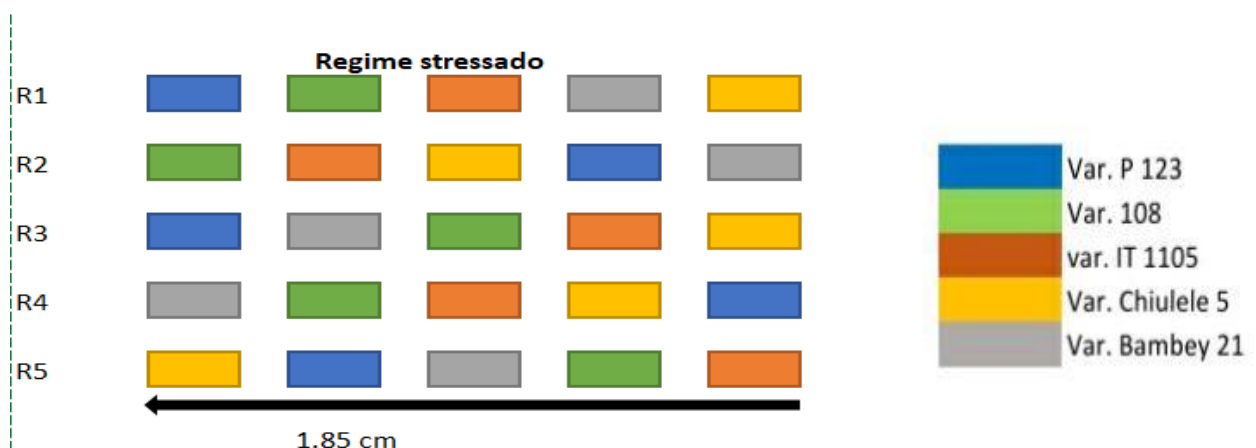
3.1.2. Solos

De acordo com Ferreira (2004), o solo é de textura arenosa com teor de matéria orgânica igual a 0,26% nos primeiros 20 cm de profundidade. A fonte refere que nas camadas abaixo de 75 cm a quantidade média disponível é de 16,7 mm/m, o pH do solo é de 5,81, a condutividade eléctrica é de 0,06 dS.m⁻¹ e a infiltração básica do solo é de 379 mm/h. Quilambo (2000) refere que o solo do campus da FAEF apresenta em termos de textura 95.28% de areia, 1.91% de argila e 2.81% de limo, o nitrogénio total perfaz 0.03% do solo e o fósforo 1.39%, a matéria orgânica e o carbono encontram-se em 0.7% e 0.16%, respectivamente.

3.2. Descrição do ensaio e dos tratamentos

O ensaio foi conduzido usando o Delineamento Completamente Causalizados (DCC), onde foram avaliadas 5 variedades de feijão nhemba, em cinco repetições (Tabela 1), em regime stressado que é o principal e outro replicado em regime não stressado com o propósito apenas de observar o seu comportamento sob condições normais de abastecimento de água e não comparar, pois esse não é o objectivo desse estudo já que muitas variedades em outros estudos foram considerados altamente susceptíveis mas possuíam características agronômicas desejáveis que também são importantes para garantir não só produzir em condições de stress hídrico mas também obter rendimentos significativo.

Tabela 1: Layout do ensaio das variedades de feijão nhemba no regime stressado



As variedades seleccionadas tem algumas diferenças nas suas características (Tabela 2), quer no ciclo que varia de 90 a 120 dias, hábito de crescimento determinado e indeterminado e coloração da semente que pode é castanha, branco ou acinzentado, essas diferenças nas características gerais permitirão ter uma conclusão mais ampla do comportamento das variedades durante o período de imposição ao stress hídrico.

Tabela 2: Algumas características das 5 variedades usadas no experimento

Variedade	Cor do tegumento	Hábito de crescimento	Ciclo
Bambey 21	Branco	Determinado	90
Chiulel 5	Castanho	Indeterminado	120
IT1105	Castanho	Determinado	90
P108	Castanho	Indeterminado	120
P123	Acinzentado	Indeterminado	120

As unidades experimentais foram constituídas por bolsas plásticas com capacidade de 1kg de solo (Figura 2 em anexo). O solo usado é de textura arenosa que foi previamente esterilizado na estufa a temperatura de 65 °C durante 3 dias (Figura 1 em anexo). Todas as bolsas plásticas foram regadas até à capacidade de campo e o excesso de água foi drenado por 24 h antes da sementeira. As sementes foram seleccionadas visualmente quanto ao tamanho e qualidade, no qual optou-se pelas sementes de tamanho uniforme e saudáveis. Em cada bolsa ou unidade experimental foram colocadas 2 sementes para garantir que pelo menos uma delas germinasse e emergisse. Passados 10 dias depois da sementeira fez o desbaste deixando apenas uma plântula na unidade experimental. O stress hídrico foi induzido pela interrupção da irrigação quando o primeiro trifólio estava totalmente desenvolvido (Figura 3 em anexo) e prosseguido até que um dos génotipos estivesse morto indicando susceptibilidade à seca, após esse período fez-se a restituição de água para avaliar a taxa e capacidade de recuperação. Não foi necessário controlar as infestantes, pragas e doenças porque não houve infestação das mesmas.

3.2.1. Variáveis a medir

Para alcançar os objectivos do estudo, as variáveis que foram medidas incluem variáveis qualitativas e quantitativas. Nas variáveis qualitativas foram avaliadas a murcha da planta, a coloração da Planta, acamamento do caule principal (vigor e coloração do caule) e capacidade de

regeneração. Nas variáveis quantitativas foi avaliado a taxa de recuperação e a clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada. O levantamento dos dados das variáveis foram feitas uma semana depois da interrupção do fornecimento de água de rega.

a) Folha murcha

A murcha foliar foi avaliada desde a primeira semana de stress até a última semana usando a escala de Mai-Kodomi *et al.* (1999) com os seguintes índices de murcha: 0 = nenhum sinal de murcha, 1 = 25% de murcha 2 = murcha moderada, 50%, 3 = folhas amarelas e castanhas com 75% de murcha, 4 = completamente murcha, (Figura 2). A percentagem foi determinada pela razão entre o número total de folhas murchas e o número total de folhas. A recolha de dados foi feita semanalmente, a partir do sétimo dia depois do período de indução ao estresse hídrico, 4 semanas consecutivas.

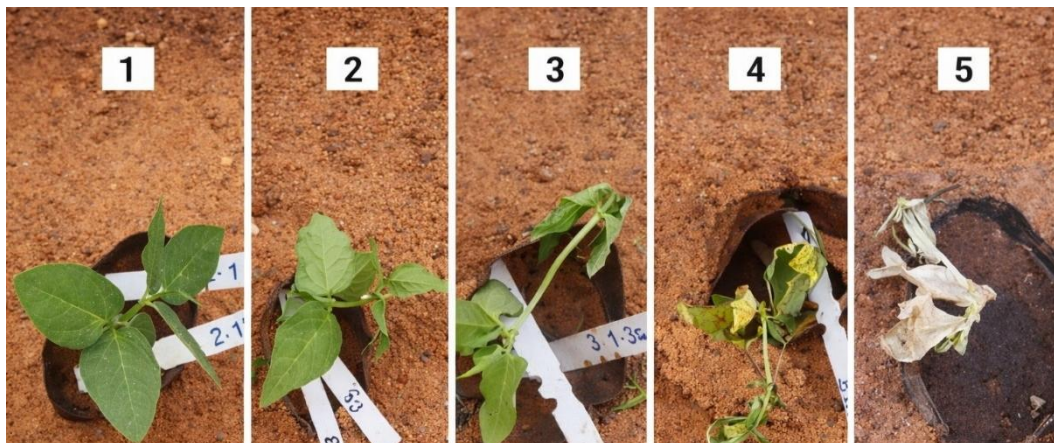


Figura 5: Diferentes estágios de murcha da folha, sendo 1: sem sinal de murcha; 2: 25% de murcha; 3: 50% de murcha; 4: 75% de murcha e 5: 100% de murcha. Fonte: Autor.

b) Coloração da folha

De acordo com Ravelombola *et al.* (2018), a pontuação do verde da planta é um dos parâmetros precisos para avaliar a tolerância a seca no estágio de plântulas. O verde da planta foi registado a partir do sétimo dia após a indução ao stress hídrico até quando o genótipo susceptível estava completamente morto. Para o registo da coloração foi usada uma escala previamente descrita por Ravelombola *et al.* (2018), comportando 5 índices a saber: 1 = as plantas completamente verdes; 2 = início da perda da coloração verde; 3 = sinais de cloroses e necroses; 4 = cloroses e necroses graves e 5 = plantas completamente mortas, (Figura 3). Os dados da coloração da planta sob stress hídrico foram registados por plantas através da análise da coloração da planta

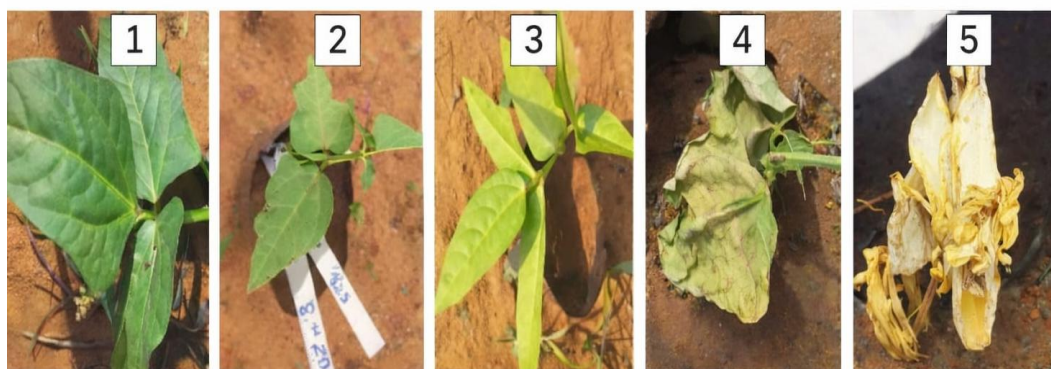


Figura 6: Coloração da planta em diferentes estágios, avaliação em 1 à 5: 1=planta completamente verde; 2= início da perda da coloração verde; 3 = sinais de cloroses e necroses; 4 = cloroses e necroses graves e 5 = plantas completamente mortas. Fonte: Autor

c) Clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada

A avaliação foi feita em dois momentos. O primeiro correspondeu ao momento em que o genótipo susceptível apresentou 50% de suas folhas unifoliadas e primeira trifoliada cloróticas e a segunda vez quando o genótipo susceptível estava completamente morto. Nessa época também foi registrado o número de folhas resistente a clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada e as plântula susceptível a clorose foliar unifoliada porém resistente a clorose da primeira trifoliada (Verbree *et al.* 2015), e foram classificadas como tolerantes do tipo I as variedades que fossem resistência à clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada, do tipo II as que foram tolerantes a clorose foliar trifoliada mas susceptíveis à clorose foliar unifoliada e susceptíveis se não forem tolerantes tanto para clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada, (Figura 4).



Figura 7: Avaliação da clorose unifoliada e primeira trifoliada, sendo a imagem a esquerda resistente a clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada e a direita susceptível a clorose foliar unifoliada. Fonte: Autor

d) Acamamento do caule principal (vigor e coloração)

A avaliação do acamamento do caule principal foi feita na última semana de indução ao stress hídrico, usando uma escala de 1 a 3, onde: o 1 = vigoroso, caule principal verde, 2 = murcha leve e caule principal verde-claro e, 3 = murcha severa, caule principal amarelo (Revelombola *et al.*,2018).



Figura 8: Pontuação do acamamento do caule principal (1: vigoroso, caule principal verde; 2: murcha leve, caule principal verde-claro, 3: murcha severa, caule principal amarela). Fonte: Autor

e) Capacidade de regeneração e taxa de recuperação pós-stress hídrico.

A capacidade de recuperação foi avaliada usando 3 categorias segundo Pungulani *et al.* (2013), sendo 1 = sem recuperação, 2 = recuperação das gemas axilares e 3 = recuperação das gemas apicais e ao mesmo tempo foi avaliada a taxa de recuperação pela razão entre o número de plantas recuperadas pelo número total de plantas nas repetições de cada variedade. A restituição da água foi feita quando a variedade susceptível estava completamente morta, a avaliação da recuperação foi feita uma semana após a restituição da água.

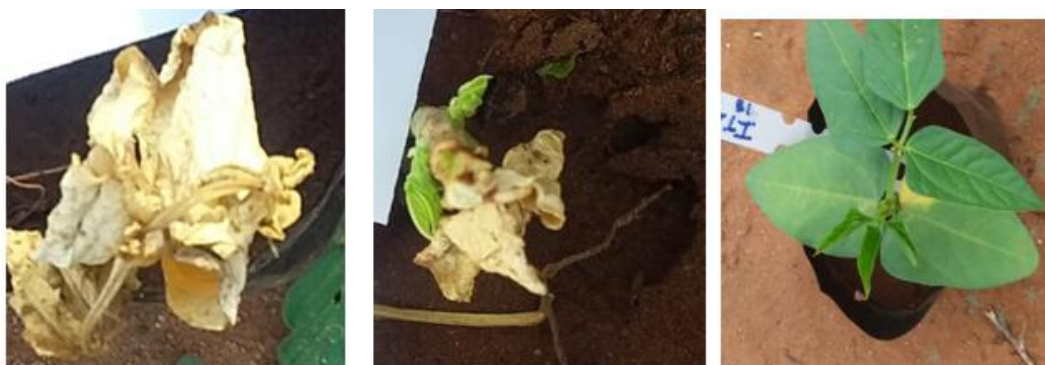


Figura 9: categoria de recuperação pós-stress, sendo a primeira imagem classificada como 1: sem ré-crescimento, a segunda como 2: com rebrota de gemas auxiliares ea última 3: com ré-crescimento dos meristemas apicais. Fonte Autor

3.3. Análise de dados

3.3.1. Procedimentos

Para a análise estatística dos dados obtidos, utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA) bifatorial para avaliar o efeito de dois fatores: tratamento e tempo/semana, sobre as variáveis-resposta de interesse. O delineamento experimental adotado foi o Delineamento Completamente Causalizado (DCC), adequado ao controle de variações indesejadas em experimentos de pequeno porte e com homogeneidade entre as unidades experimentais.

Para as variáveis recuperação, coloração e vigor do caule verificou-se, através do teste de Shapiro-Wilk, que os resíduos do modelo apresentavam violação do pressuposto de normalidade, essencial para o uso de métodos paramétricos como a ANOVA. Diante disso, optou-se pelo uso de uma abordagem não paramétrica, especificamente a ANOVA bifatorial com permutação, que não

requer a suposição de normalidade dos dados. Esta decisão garantiu que a análise fosse robusta e confiável, mesmo diante de distribuições assimétricas ou dados categóricos.

As comparações múltiplas foram realizadas por meio de testes post-hoc apropriados, como o teste post-hoc de Tukey, permitindo comparações pareadas entre os diferentes tratamentos e semanas.

Todas as análises foram realizadas no software R (versão 4.4) e Excel assegurando a correta aplicação dos testes e a reprodução dos resultados obtidos.

Modelo Estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Onde:

Y_{ijk} corresponde à resposta (Murcha, coloração das plantas, senescência das folhas, clorose_50 ou clorose_100)

μ média geral

α_i efeito do tratamento (variedade) i

β_j efeito do nível j do factor B (tipo de clorose ou semana)

$(\alpha\beta)_{jk}$ efeito da interação entre tratamento e o factor B

ε_{ijk} erro experimental

$\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$ quando os pressupostos são satisfeitos, ignorado em casos de anova não paramétrica.

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Onde:

Y_{ij} corresponde à resposta (Regeneração, coloração e vigor do caule)

μ média geral

α_i efeito do tratamento (variedade) i

ε_{ij} erro experimental, $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma)$

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. Resultados

4.1. Resposta das variedades a deficiência hídrica

4.1.1. Variáveis qualitativas

4.1.1.1. Murcha da folha

Diferentes respostas de murcha da folha foram evidentes entre os 5 genótipos começando a ser notórios uma semana após a interrupção da rega (Tabela 1b, anexo). Entretanto a variedade p108 apresentou o menor índice de murcha da folha no qual não apresentou murcha em todo o experimento, as variedades p123 e Bambey-21 foram as mais afectada devido ao alto índice de murcha da folha, a variedade p123 teve um progresso rápido da murcha da folha em cada semana que culminou na morte da plântula na quarta semana de stress hídrico e a variedade Bambey-21 o processo não foi gradual, mostrou alguma resistência na segunda e terceira semana, a variedade Chiulele 5 teve 25% murcha das folhas na segunda e terceira semana do estudo e na semana subsequente não apresentou sinais de murcha ao contrário da variedade IT 1105 que apresentou 25% de murcha na primeira e segunda semana e 50 % de murcha na terceira e quarta semana (Grafico 1).

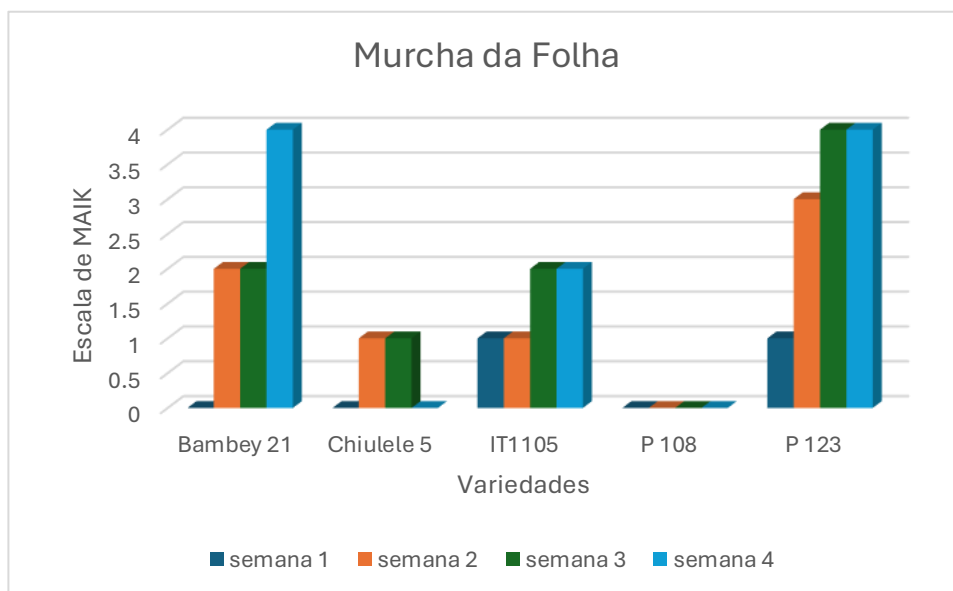


Grafico 1: Murcha da folha segundo a escala de MAIK (1999), durante o período de stress hídrico em cinco variedades de feijão nhemba (sendo, 0: sem sinais de murcha; 1: 25% de murcha; 2: murcha moderada, 50%; 3: folhas amarelas e castanhadas com 75% de murcha e 4: completamente

murcha, com 100% de murcha)

4.1.1.2. Coloração da planta

No que concerne a coloração da planta foi registada uma pequena variação entre as variedades avaliadas quando sujeitas à deficiência hídrica (Tabela 2b, anexo). As variedades P108, Chiulele 5 e IT1105 registaram os menores índices de descoloração, pela preservação da coloração verde da planta, sendo a mais afectada das três, a variedade IT1105. As variedades que tiveram maiores índices de descoloração ao registarem altos índices foram p123 e Bambey 21 resultando em plântulas com necroses e cloroses graves e na morte das plântulas (Gráfico 2).

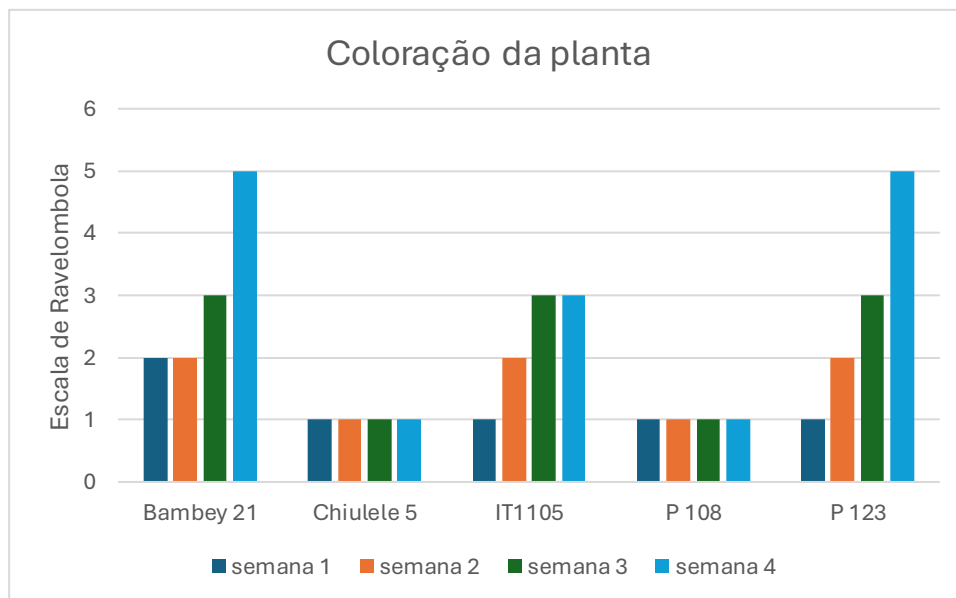


Gráfico 2: Coloração da planta nas variedades de feijão nhemba quando expostas à deficiência hídrica segundo a escala de Ravelombola *et al.* (2018), sendo 1 - plantas completamente verde, 2 - início da perda da coloração, 3 - sinais de cloroses e necroses, 4 - cloroses e necroses graves e 5 - plantas completamente mortas.

4.1.1.3. Vigor e coloração do caule

Na quarta semana de exposição ao stress hídrico, a maioria das variedades de feijão-nhemba preservaram o vigor e a cor verde do caule (Tabela 3b, anexo). A variedade p123 foi a mais afectada, apresentou alto índice de acamamento do principal no qual houve perda significativa da água que resultou em caule acamado e amarelo, enquanto a variedade Bambey 21 apresentou o caule principal verde com murcha leve e as variedades p108, Chiulele 5 e IT1105 são as que registaram baixos índice de descoloração ao apresentarem caule principal verde e vigoroso (Gráfico 3).

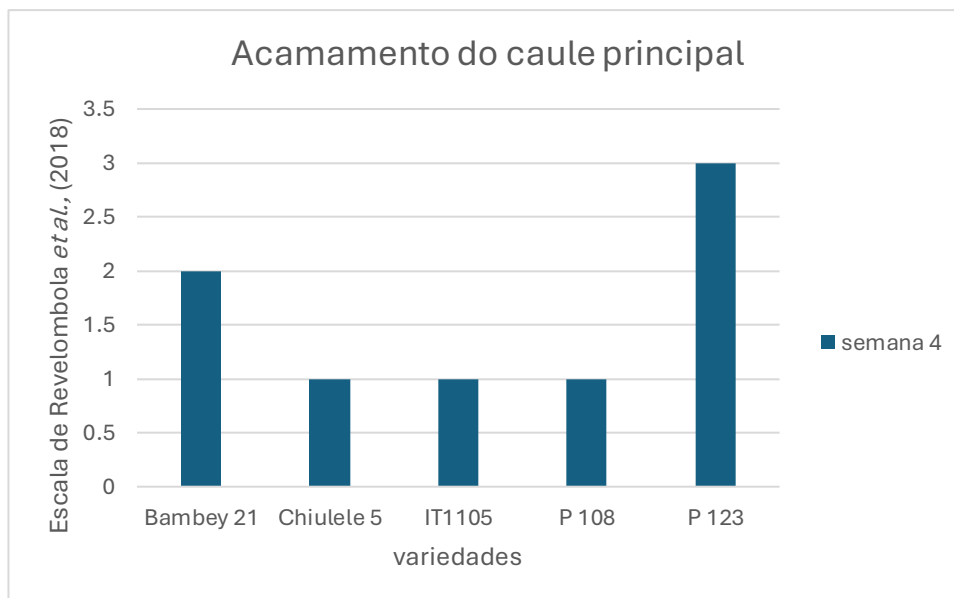


Gráfico 3: Vigor e coloração do caule nas variedades de feijão nhemba expostas à deficiência hídrica, consoante a seguinte escala de Ravelombola *et al.*, (2018): 1 - vigorosa, caule principal completamente verde, 2 - murcha leve, caule principal verde-claro e 3 – caule principal completamente acamado e amarel

4.1.2. Variáveis quantitativas

4.1.2.1 . Clorose foliar do unifoliada e do primeiro trifoliada

Na segunda semana de imposição ao stress hídrico quando a variedade susceptível apresentava 50% das suas folhas unifoliadas e trifoliadas cloróticas, as variedades p108 e Chiulele 5 não apresentavam clorose nas folhas unifoliada, e as variedades Bambey-21 e IT1105 apresentaram 20% e 10 % de clorose, respectivamente. Ao contrário do que se verificou nas folhas trifoliadas, no qual as variedades p108, IT1105 e Chiulele 5 preservaram a sua coloração e apenas a variedade Bambey-21 apresentou 10% das suas folhas cloróticas (Gráfico 4).

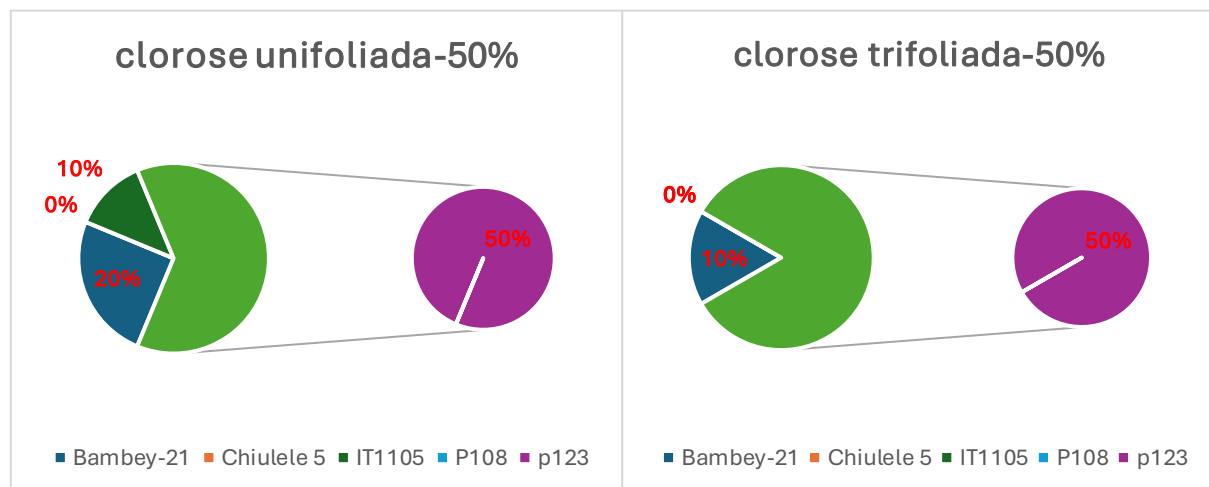


Gráfico 4: Percentagem de clorose unifoliada e primeira trifoliada das variedades p108, Bambey-21, Chiulele 5 e IT1105 quando a variedade p123 apresentou 50% das suas folhas unifoliada e primeira trifoliada clorótica.

Na quarta semana, quando a variedade susceptível p123 estava completamente morta houve grande variação de clorose nas folhas unifoliada e primeira trifoliada. Assim sendo, a variedade p108 preservou a sua coloração tanto nas folhas unifoliadas quanto nas trifoliadas em oposição as demais variedades, nomeadamente Chiulele 5, IT1105, Bambey-21 que apresentaram 10%, 60% e 80%, respectivamente nas folhas unifoliadas. E nas folhas trifoliadas, a variedade Chiulele 5 não apresentou clorose, IT1105 apresentou 40% de clorose e Bambey-21 80% de clorose nas folhas trifoliadas (Gráfico 5). Por tanto, houve maior preservação da clorose nas folhas trifoliadas e maior

susceptibilidade a clorose das folhas unifoliadas.

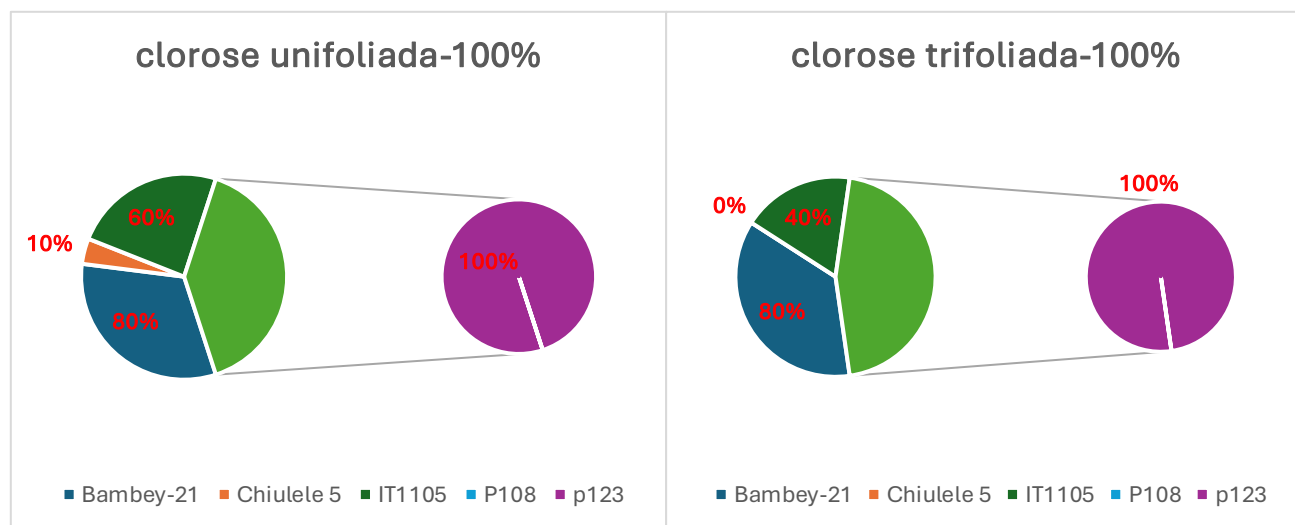


Gráfico 5: Percentagem de clorose unifoliada e primeira trifoliada das variedades p108, Bambey-21, Chiulele 5 e IT1105 quando a variedade p123 apresentava-se completamente morta

4.1.3. Mecanismos de tolerância à seca

Os mecanismos de tolerância à seca foram avaliados através da comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de nível de significância, feita nas variáveis apresentadas anteriormente. Com base na comparação, as variedades p108 e Chiulele 5 apresentaram similaridades na maior parte das variáveis avaliadas, que se caracterizaram por folhas túrgidas, de cor verde, tolerância a cloróticas unifoliadas e trifoliada, e reduzida perda da colocação e vigor do caule, a mesma tolerância à deficiência hídrica foi verificada na variedade IT1105 em variáveis como a coloração da planta e acamamento do caule. As variedades Bambey-21 e p123 também apresentaram algumas similaridades em variáveis tais como murcha, coloração da planta e clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada, nas quais apresentaram susceptibilidade ao stress hídrico.

4.1.4. Avaliação dos mecanismos de tolerância à seca com base nas variáveis qualitativas

Com base no teste de comparação de médias de Tukey a 5% de significância, as variedades p108 e Chiulele são estatisticamente iguais e apresentaram menor grau de murcha em relação as demais variedades; a variedade IT1105 apresentou susceptibilidade moderada a murcha sendo estatisticamente diferente de todas as variedades e as variedades p123 e Bambey-21 são estatisticamente iguais, sendo as mais susceptíveis a murcha. Quanto a coloração as variedades

p108, Chiulele 5 e IT1105 são estatisticamente iguais apresentaram menores índices de descoloração da planta, as variedades p123 e Bambey 21 são estatisticamente iguais, tendo apresentado altos índices de descoloração e por isso considerados susceptíveis a perda rápida da coloração verde, e quanto ao vigor e coloração do caule as variedades p108, Chiulele 5 e IT1105 e Bambey-21 são estatisticamente iguais e preservaram a turgidez e coloração do caule até o final do estudo, porém a variedade p123 mostrou susceptibilidade (Tabela 3).

Tabela 3: comparação de média das variáveis qualitativas com base no teste de Tukey 5% de significância

	Murcha	Coloração da planta	Acamamento do caule
p123	4 a	5 a	3 a
bambey-21	3,6 a	4,5 a	1,6 b
IT1105	2 b	1,6 b	1,4 b
Chiulele 5	0,4 c	1,2 b	1,2 b
p108	0 c	1 b	1 b

4.1.5. Avaliação dos mecanismos de tolerância à seca com base nas variáveis quantitativas

Quando a variedade susceptível estava com 50% das suas folhas unifoliadas e trifoliadas murchas (clorose uni-50% e clorose tri-50%) e quando a variedade susceptível apresentava folhas unifoliadas e trifoliadas completamente mortas (clorose uni-100% e clorose tri-100%), observou-se uma correlação muito forte (0.9226) entre a clorose trifoliar em 50% e 100%, indicando que o aumento da clorose em um nível está fortemente associado ao aumento no outro. Além disso, a clorose unifoliar em 100% apresenta correlações moderadas com a clorose trifoliar em 50% (0.5051) e 100% (0.5474), sugerindo que há uma relação considerável entre o avanço da clorose em folhas trifoliadas e unifoliadas.

Por outro lado, a correlação entre clorose unifoliar em 50% e as demais variáveis é relativamente baixa, especialmente com a clorose trifoliar em 50% (0.1189) e 100% (0.1777), indicando que a clorose inicial em folhas unifoliadas não está fortemente associada ao desenvolvimento da clorose em folhas trifolares, sugerindo que os fatores que influenciam a progressão da clorose podem agir

de forma diferenciada entre folhas unifoliadas e trifoliadas ou que o impacto inicial da clorose em folhas unifoliada não necessariamente leva a um aumento proporcional da clorose em folhas trifoliadas, mas que existem dois mecanismos que governam a clorose em folhas unifoliadas e trifoliadas de forma independentes.

Tabela 4. Correlação entre as variáveis de clorose

	clorose uni 50	clorose uni 100	clorose tri 50	clorose tri 100
clorose_uni_50	1.0000000	0.4997175	0.1188744	0.1776529
clorose_uni_100		1.0000000	0.5050616	0.5474330
clorose_tri_50			1.0000000	0.9225998
clorose_tri_100				1.0000000

Com base no teste de Fisher a 5% de significância, quando a variedade susceptível (p123) estava com 50 % de clorose nas folhas unifoliada, a variedade susceptível foi estatisticamente igual as outras variedades apesar de ter tido índice maior de clorose nas folhas unifoliada; quando a variedade susceptível estava com 50% de clorose no primeiro trifólio, as outras variedades foram estatisticamente iguais entre si e diferentes da variedade susceptível, pelos baixos índices de clorose. E quando a variedade susceptível estava completamente morta, a nível das folhas unifoliadas a variedade susceptível foi estatisticamente igual as variedades Bambey-21 e IT1105, sendo a variedade IT1105 estatisticamente igual as variedades p108 e Chiulele 5 caracterizada pelo baixo índice de clorose; e ao nível das folhas trifoliadas, a variedade susceptível foi estatisticamente igual a variedade Bambey-21, sendo também Bambey-21 estatisticamente igual a variedade IT1105 e, IT1105 estatisticamente igual a variedade p108 e Chiulele 5 (Tabela 5)

Tabela 5: comparação de média das variáveis quantitativas com base no teste deTukeya 5% de significância.

	Uni-50%	Tri-50%	Uni-100%	Tri-100%2,
p123	2,6 a	2 a	5 a	5 a
bambey-21	2,1 ab	0,2 b	4,6 a	4 a
IT1105	1,6 ab	0 b	2,6 b	1,8 b
Chiulele 5	1,2 b	0 b	0,4 c	0 c
p108	0 b	0 b	0,2 c	0 c

4.1.6. Capacidade de regeneração e taxa de recuperação

A restituição da água foi feita após a morte das variedades susceptíveis e a avaliação da capacidade de regeneração e taxa de recuperação foi feita uma semana depois da restituição da água (Tabela 4b, anexo). A capacidade de recuperação foi avaliado usando 3 categorias, segundo Pungulani *et al.* (2013), segundo a qual a variedade p123 (Figura 10) foi classificada como sem recuperação porque mesmo depois da reidratação não se recuperou, as variedades IT1105 (Figura 11) e Bambey-21 (Figura 12) tiveram rebrota de gemas auxiliares e as variedades p108 (Figura 13) e Chiulele 5 (Figura 14) uma vez que não tiveram muitos danos registaram um rápido desenvolvimento e apresentaram recuperação das gemas apicais



Figura 10: Recuperação da variedade p123 após uma semana de reidratação



Figura 11: Recuperação da variedade IT1105



Figura 12: Recuperação da variedade Bambey-21



Figura 13: Recuperação da variedade p108



Figura 14: Recuperação da variedade Chiulele 5

A taxa de recuperação foi avaliada uma semana depois da restituição da água, assim sendo, a variedade p108 teve todas as plântulas recuperadas (100% de recuperação), a variedade Chiulele 5 teve 4 plantulas recuperadas (80% de recuperação), a variedade IT1105 teve 3 plantas recuperadas (60%) e Bambey teve 1 (20%) plântula recuperadas, enquanto a variedade p123 não teve nenhuma planta recuperada (0% de recuperação)

4.2. DISCUSSÃO

A deficiência hídrica resulta em perdas significativas e tem-se mostrado uma crescente ameaça à produção, especificamente na fase plântula na qual ocorre a estabilização ou adaptação, comprometendo o desenvolvimento sustentável da mesma (Cairns *et al.*, 2013). Variedades tolerantes à seca podem mitigar ou minimizar os efeitos da deficiência hídrica (Ravelombola *et al.*, 2020). Portanto, o desenvolvimento de variedades resistentes às condições de seca é uma estratégia que requer uma extensa fenotipagem para a identificação de variedades tolerantes à seca capazes de sobreviver as altas temperaturas e escassez de água (Verbree *et al.*, 2015).

Neste estudo, foram avaliados um total de 5 variedades de feijão nhemba quanto à tolerância a deficiência hídrica na fase de plântula. Como resultado os genótipos analisados apresentaram respostas diferentes e algumas similaridades em algumas variáveis; os mecanismos de tolerância apresentados foram significativos e a taxa de recuperação entre os genótipos foi bastante diversificada.

Quanto a murcha, a variedade p108 manteve as suas folhas túrgidas durante todo o experimento em oposição a variedade p123 e Bambey-21 que apresentaram altos índices de murcha. A variedade IT1105 apresentou murcha moderada e a variedade Chiulele 5 na segunda e terceira semana teve as suas folhas ligeiramente murchas, porém, na quarta semana não apresentou nenhum sinal de murcha, o que levou a concluir que teria se adaptado as condições externas, ou seja, as plântulas estavam na fase de restituição (estágio de resistência), fase em que os processos de adaptação são desencadeados, caso a intensidade do agente stress não altere, ocorre restituição na forma de processos de reparo, como síntese proteica ou síntese de substâncias de proteção (Sardhara e Mehta, 2018), ao contrário do que se verificou nas variedades Bambey-21, IT1105 e p123 que com o tempo os sinais de murcha intensificaram avançando em algumas variedades como Bambey-21 e p123 para a fase final ou estágio de exaustão onde a plântula fica susceptível aos factores externos.

Segundo Gomes *et al.* (2019), a murcha da folha tem sido frequentemente utilizada como critério para avaliação da tolerância à seca em plântulas de feijão nhemba e pode ser precoce quando perde água rapidamente e tardia quando preserva por mais tempo a água através de alguns mecanismos. De acordo com a velocidade a murcha tardia foi registado nas variedades p108 e Chiulele 5 e murcha precoce registado na variedade P123 e Bambey-21. Por tanto as variedades de murcha

precoce sugerem a presença de características fisiológicas que aumentam a perda de água dos tecidos foliares como manter seus estomas abertos após o início da seca, enquanto genótipos de murcha tardia fecham seus estômatos durante a fase inicial de stress (Agbicodo *et al.*, 2009), e sobrevivem por meio do fechamento estomático, além do ajuste osmótico, que envolve o acúmulo de osmólitos, como as prolinas (Jaleel *et al.*, 2009).

Sharma e Kumar (2008) também relataram a condutância estomática, potencial hídrico foliar e ajuste osmótico como mecanismos-chave na manutenção da água nos tecidos foliares. Genótipos que mantiveram alto teor de água podem apresentar características fisiológicas desejáveis, como fechamento estomático, alto potencial hídrico foliar e acúmulo de osmólitos, levando à sobrevivência com baixo teor de humidade de 2,9%. A falta de tais características fisiológicas desejáveis nos genótipos susceptíveis pode ter contribuído para a murcha significativa durante o período de stress hídrico.

O fechamento dos estomas é considerado o primeiro mecanismo de defesa em condições de stress hídrico. No entanto, quando o stress aumenta, genótipos tolerantes à seca acumulam osmólitos como uma segunda linha de defesa, estando todos processos relacionados com o mecanismo de retardado da desidratação ou evita a seca (Pungulani *et al.*, 2013)

As variedades p108, Chiulele 5 e IT1105 foram as que preservaram a coloração verde da planta durante o período de deficiência hídrica, enquanto as variedades p123 e Bambey-21 apresentaram uma perda, sugerindo que esses genótipos não conseguiram atrasar senescência foliar sob stress hídrico, portanto, esses genótipos foram susceptíveis à seca com base na coloração da planta (Ravelombola *et al.*, 2018). Estudos realizados mostram que o verde da planta é altamente correlacionado com o teor de clorofila foliar e tolerância à seca (Xu *et al.*, 2000). O teor de clorofila é que confere a cor verde da planta e permite captar a radiação solar para a síntese de carboidratos, e portanto, é um mecanismo de tolerância à seca, pois as plantas conseguem absorver efectivamente a luz solar para sintetizar carboidratos suficientes para manter as suas actividades vitais (Iuchi *et al.*, 2000)

Segundo Kroner (2017), a perda da cor verde nas plantas pode ser resultado da remobilização do nitrogénio para as folhas mais novas e remobilização de carboidratos para os órgãos de maior demanda que podem ser os frutos na fase de maturação ou aprofundamento da raiz em condições

de stress hídrico que permite o alcance dos perfis com maior disponibilidade de água, no entanto esse processo pode ser benéfico se o factor limitante for restituído antes do colapso da planta e se o factor limitante não for estabilizado leva a senescência total e consequentemente a morte da planta.

O vigor e coloração do caule é outro parâmetro que indica o teor de água na planta, que pode refletir o dano da seca ao caule da planta (Kebede *et al.*, 2001). Especialmente no feijão nhemba, se as plantas se acamarem devido à falta de água na fase de plântula, o rendimento da cultura fica seriamente afetado, mesmo que recupere a vitalidade após irrigação (Isma'ila *et al.*, 2015). As variedades p108, Chiulele5 e IT1105 podem ser consideradas tolerantes por terem mantido baixos índices de descoloração e vigor do caule, pois, o acamamento é tido como critério de resistência à seca e, as variedades Bambey-21 e p123 são susceptíveis, dando que não preservaram o teor de água no caule e coloração verde segundo a escala de Ravelombola *et al.* (2020).

Quanto a tolerância a clorose unifoliada e primeira trifoliada, quando a variedade susceptível p123 estava com 50% das suas cloróticas, todas as variedades foram tolerantes a clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada e quando a variedade susceptível estava completamente morta, as variedades p108 e Chiulele 5 continuavam tolerantes a clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada e a variedade IT1105 foi tolerante a clorose trifoliada e susceptível a clorose unifoliada e a variedade Bambey-21 susceptíveis tanto para a clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada.

Segundo Mai-Kodomi *et al.* (1999) e Verbree *et al.* (2015) o feijão nhemba é tolerante à seca tipo I quando os genótipos mesmo sob stress hídrico, apresentam folhas unifoliadas e trifoliadas totalmente verdes e tolerante à seca tipo II quando os genótipos são capazes de retardar a senescência no nível das folhas trifoliadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Ravelombola *et al.* (2018), no qual se concluiu que os mecanismos de tolerância a seca em folhas unifoliadas e primeira trifoliada são diferentes, mais lenta em folhas trifoliadas e rápida nas folhas unifoliadas, dentre as quais a maior parte das variedades apresenta maior susceptibilidade a clorose foliar unifoliada, o mesmo foi constatado por verbree *et al* (2015) ao concluir que a clorose em folhas trifoliadas e unifoliadas devem ser medida separadamente porque a tolerância à clorose das folhas trifoliadas e clorose das folhas unifoliadas são dois mecanismos diferentes de tolerância à seca na cultura de feijão nhemba.

A tolerância à seca tem sido relatada como um mecanismo complexo na cultura (Golldack *et al.* 2014). Correia 2003 sugeriu que a tolerância à seca deve ser investigada separadamente para diferentes estágios de crescimento e desenvolvimento do feijão nhemba e, em cada estágio, diferentes parâmetros, como tolerância à murcha, coloração da planta, vigor do caule, clorose foliar trifoliada ou clorose foliar unifoliada, também devem ser interpretados separadamente porque genótipos podem ser classificados em três classes que são tolerantes, variáveis ou susceptíveis. Os resultados da análise de variância mostraram que os genótipos foram significativamente diferentes, indicando a presença de variação genética entre as variedades de feijão nhemba essencial para o melhoramento da cultura para tolerância à seca (Mwale *et al.*, 2017)

Quanto a murcha as variedades p108 e Chiulele 5 foram tolerância à seca, a variedade IT1105 variável e a variedade p123 e Bambey-21 susceptíveis, quanto a coloração da planta o mesmo foi verificado, as variedades p108 e Chiulele 5 foram tolerância à seca, a variedade IT1105 variável e a variedade p123 e Bambey-21 susceptíveis, quanto ao vigor e coloração do caule foram considerados tolerantes as variedades p108, Chiulele 5 e IT1105 e susceptíveis as variedades Bambey-21 e p123, quando a tolerância a clorose unifoliada e primeira trifoliada quando a variedade susceptível p123 estava com 50% das suas folhas cloróticas, as variedades p108, Chiulele 5, IT1105 e Bambey apresentaram tolerância tipo I e quando a variedade susceptível p123 estava completamente morta apenas as variedades p108 e Chiulele 5 apresentaram tolerância tipo I, a variedade IT1105 tolerância tipo II e a variedade Bambey-21 mostrou-se susceptível tanto para clorose foliar unifoliada assim como clorose foliar trifoliada.

Na morfologia externa das variedades tolerantes à seca, estudos mostraram que variedades com forte tolerância à seca tem capacidade maior de reter água do que variedades com baixa tolerância à seca (Verslues *et al.*, 2005), mantendo deste modo o teor relativo de água das folhas que pode refletir a saúde das plantas, e também pode manter a coloração verde das folhas e do caule, critério indispensável para a realização da fotossíntese e sobrevivência da planta (Revelombola *et al.*, 2020). Vários estudos também descobriram que as variedades que apresentaram tolerância à seca no estágio de plântula tiveram uma grande chance de sobreviver durante todo o ciclo de vida no ambiente de stress hídrico com um nível razoável de rendimento (Muchero *et al.*, 2013).

Os genótipos que se mostraram tolerantes à seca apresentaram maior capacidade de recuperação após stress hídrico como é o caso da variedade p108, Chiulele 5, e as variedades mais afectadas

pela deficiência hídrica como é o caso da variedade IT1105 e Bambey-21 não tiveram recuperação significativa após a reidratação e a variedade p123 não teve nenhuma recuperação. A recuperação após o stress é um processo que envolve o rearranjo de muitas vias metabólicas para reparar os danos induzidos pela seca e retomar o crescimento das plantas (Cui, 2019). Segundo silva *et al.* (2010), a regeneração das plantas depende do genótipo, factores ambientais e severidade do stress hídrico, se a deficiência hídrica for severa a plântula morre devido a degeneração total dos tecidos da planta e se for baixa ou moderada a possibilidade de regeneração é maior, principalmente se for resistente à seca. Variedades resistentes a deficiência hídrica podem, apesar da severidade da deficiência hídrica após a restituição da água, recuperar e desenvolver normalmente, correndo o risco de prolongar o seu ciclo de vida. Este comportamento foi observado por Araújo *et al.* (2018) que relata que o stress hídrico, durante o estágio vegetativo em plantas submetidas ao stress hídrico por seca prolongaram a fase vegetativa como forma de compensar o que deixou de acumular durante o período de stress hídrico e consequentemente atrasa também a maturação fisiológica. Estudos similares foram relatados por Parfitt *et al.* (2017) que afirmam que nessa situação, o ciclo total da cultura que passou por deficiência hídrica pode ser até 15 dias mais longo comparativamente ao do cultivo que não passou por deficiência hídrica na fase vegetativa.

Observação

A variedade p123 apesar de ser altamente susceptível ao stress hídrico, apresenta ótimo desenvolvimento em condições de irrigação em relação as demais variedades. A variedade p123 tem maior expansão da área foliar devido ao número maior de nós que possui na sua haste, cerca de 2 nós a mais, a largura das folhas também é maior assim como o comprimento. Segundo Ravelombola *et al.* (2018), essas características podem ser utilizadas no melhoramento das variedades, pois para além da tolerância a seca obter altos rendimentos em condições de stress é desejável. A incorporação das características tolerantes em variedades com excelentes características agronômicas permitirão seu cultivo em regiões com deficiência hídrica o que fará com que os produtores de feijão nhemba tenham produção mais lucrativa.

V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5. Conclusões e Recomendações

5.2. Conclusões

Neste estudo, um total cinco de variedades de feijão nhemba foram avaliados quanto à tolerância à seca na fase de plântula, com base em diferentes características. As variáveis analisadas foram: murcha, coloração, clorose foliar unifoliada e primeira trifoliada, acamamento do caule principal, taxa de recuperação e capacidade de regeneração. Feito o estudo chegou-se as seguintes conclusões:

As variedades estudadas respondem de maneiras diferentes quando expostas à condições de deficiência hídrica.

Existem diferentes mecanismos de tolerância à seca e os mecanismos de tolerância identificados foram: tolerância do tipo I, tolerância do Tipo II e redução da desidratação, avaliados com base nas variáveis quantitativas e qualitativas que se reflectiram de diferente maneira nas variedades

Após uma semana de restituição da água a variedade p108 e Chiulele 5 teve excelenterecuperação, IT1105 60% e Bambey-21 recuperação moderada e a variedade p123 teve não teve recuperação.

5.3. Recomendações

Fazer estudo aprofundado das variedades tidas como tolerantes em todas as fases do seu crescimento separadamente, em diferentes zonas agro-ecológica

Avaliar os mecanismos de tolerância ao excesso de água, dado que a mudança climática tem causado para além da seca, chuvas intensas e longas.

Incorporar características de tolerância na variedade p123 e avaliar o crescimento, desenvolvimento e rendimento da variedade

Fazer estudos no laboratório para verificação de reacções relacionadas com os mecanismos de tolerância a seca

VI. Bibliografia

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, E. M., Huang, B., Bonos, S. A., & Meyer, W. A. (2004). Avaliação da resistência à seca para Texas bluegrass, Kentucky bluegrass e seus híbridos. *Crop Science*, 44(5), 1746-1753.
- Agbicodo, E. M., Fatokun, C. A., Muranaka, S., Visser, R. G. F., & van der Linden, C. G. (2009). Breeding drought-tolerant cowpea: Constraints, accomplishments, and future prospects. *Euphytica*, 167, 353-370.
- Araujo, E. D., Melo, A. S., & Rocha, M. S. (2018). Germinação e crescimento inicial de cultivares de feijão-caupi sob estresse osmótico e ácido salicílico. *Revista Caatinga*, 31, 80-89. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n110rc>
- Bianchi, L., Germino, G., & Silva, M. (2016). Adaptação das plantas ao déficit hídrico. *Iguazu*, 5(4), 15-32.
- Cairns, J. E., Crossa, J., Zaidi, P. H., Grudloyma, P., Sanchez, C., Araus, J. L., Thaitad, S., Makumbi, D., Magorokosho, C., & Banziger, A. (2013). Identification of drought, heat, and combined drought and heat tolerant donors in maize. *Crop Science*, 53(4), 1335–1346.
- Cavalcante, A. C. R., Cavallini, M. C., & Llar, N. R. C. B. (2009). Estresse por deficiência hídrica em espécies forrageiras. *Documentos / Embrapa Caprinos*, 50p.
- Chiulele, R. M. (2010). *Breeding cowpea for improved drought tolerance in Mozambique* (PhD thesis, University of Kwazulu Natal, Durban).
- Correia, F. (2003). Políticas da água e do ambiente na construção europeia. In V. Soromenho-Marques (Coord.), *O desafio da água no século XXI: Entre o conflito e a cooperação* (pp. 135-149). Editorial Notícias.
- Cui, Q. (2019). Avaliação da tolerância à seca em linhagens de feijão-caupi do Arkansas na fase de muda. *Teses de Graduação em Ciências Agrárias, do Solo e Ambientais*. Recuperado de <https://scholarworks.uark.edu/csesuht/20>
- Doss, B. D., Asheley, D. A., & Bennett, O. L. (1960). Effect of soil moisture regime on root distribution of W 13/9/2022.
- Endres, L., Souza, J. L., Teodoro, L., Marroquim, P. M. G., Santos, C. M., & Brito, J. E. D. (2010). Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 11-16.
- FAO. (2016). FAO policy series: Climate Smart Agriculture. *FAO, YouTube* (2:57). <https://youtu.be/KYeFNnPJVEg?si=q9Uzbd7TLl6MSIud>

- FAO. (2023). Official launch of the new strategy on climate change. *FAO, YouTube* (1.0.05). <https://youtu.be/KYeFNnPJVEg?si=q9Uzbd7TLl6MSIud>
- FAOSTAT. (2020). Statistics of cowpea production and yield. Disponível em <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acessado em 13/09/2022.
- Ferrari, E., Paz, A., & Silva, A. (2015). Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no Mato Grosso. *Sinop*, 3(1), 67-77.
- Ferreira, A. C. T., Felito, R. A., Da Rocha, A. M., De Carvalho, M. A. C., & Yamashita, O. M. (2004). Water and salt stresses on germination of cowpea (*Vigna unguiculata* cv. Brustumucumaque) seeds. *Revista Caatinga*, 30(4), 1009–1016.
- Freire, J. (2012). A nova mitologia desportiva e a busca da alta performance. *Revista de Comunicação e Cultura*, 13, 39-52.
- Golldack, D., Li, C., Mohan, H., & Probst, N. (2014). Tolerância a seca e estresse salino em plantas: Desvendando as redes de sinalização. *Frontiers in Plant Science*, 5, 151.
- Gomes, A. M. F., Nhantumbo, N., Ferreira-Pinto, M., Massinga, R., Ramalho, J. C., & Ribeiro-Barros, A. (2019). Breeding elite cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) varieties for improved food security and income in Africa: Opportunities and challenges. *IntechOpen*.
- Isma'ila, M., Ramlatu, M. A., & Zakari, B. G. (2015). Screening of selected varieties of cowpea seedlings (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) for drought tolerance. *Journal of Biology and Nature*.
- Iuchi, S., Kobayashi, M., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2000). Um gene induzível por estresse para 9-cis-epoxicarotenoide dioxigenase envolvido na biossíntese de ácido abscísico sob estresse hídrico em feijão-caupi tolerante à seca. *Plant Physiology*.
- Jaleel, C. A., Manivannan, P., Wahid, A., Farook, M., Al-Juburi, J., Somasundaram, T., & Panneerselvam, R. (2009). Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agricultural Biology*, 11, 100-105.
- Kebede, H., Subudhi, P. K., Rosenow, D. T., & Nguyen, H. T. (2001). Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Theoretical and Applied Genetics*, 103(2–3), 266–276. <https://doi.org/10.1007/s001220100541>
- Kerbaudy, G. B. (1997). Clonagem de plantas in vitro. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, 1(1), 30-33.
- Kröner, N., Kotlarski, S., Fischer, E., Lüthi, D., Zubler, E., Schär, C. (2017). Separating climate change signals into thermodynamic, lapse-rate and circulation effects: Theory and application to the European summer climate. *Climate Dynamics*, 48, 3425–3440. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3276-3>

- Machado Neto, N. B., Custódio, C. C., Costa, P. R., & Dona, F. L. (2006). Deficiência hídrica induzida por diferentes agentes osmóticos na germinação e vigor de sementes de feijão. *Revista Brasileira de Sementes*, 28, 142–148. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000100020>
- Mader, R. (2020). *Inquérito Agrário de Moçambique*. Ministério da Agricultura e Desenvolvimento Rural. Recuperado de <https://www.agricultura.gov.mz/estatisticas/inquerito-agricola-integrado/>
- Mai-Kodomi, Y., Singh, B. B., Myers, O., Yopp, J. H., Gibson, P. J., & Terao, T. (1999). Two mechanisms of drought tolerance in cowpea. *Indian Journal of Genetics & Plant Breeding*, 59, 309-316.
- Mantell, S. H., Matthews, J. A., & McKee, R. A. (1994). Técnicas de cultura de tecidos. In S. H. Mantell, J. A. Matthews, & R. A. McKee (Eds.), *Princípios de biotecnologia em plantas: Uma introdução à engenharia genética em plantas* (pp. 101-181). Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética.
- Marenco, R. A., & Lopes, N. F. (2005). Fisiologia vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.
- Mendes, R. M. S., Távora, F. J. A. F., Pinho, J. L. N., & Pitombeira, J. B. (2007). Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. *Ciência Agronômica*, 38, 95-103.
- Muchero, W., Roberts, P. A., Diop, N. N., Drabo, I., Cissé, N., Close, T. J., Muranaka, S., Boukar, O., & Ehlers, J. D. (2013). Arquitetura genética de senescência tardia, biomassa e rendimento de grãos sob estresse hídrico em feijão-caupi. *Planta Molecular Biology*, 9(4), 415-415.
- Mwale, S. E., Ochwo-Ssemakula, M., Sadik, K., Achola, E., Okul, V., Gibson, P., Edema, R., Singini, W., & Rubaihayo, P. (2017). Resposta de genótipos de feijão-caupi para estresse por seca em Uganda. *American Journal of Plant Sciences*, 8, 720-733. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.84050>
- Nepomuceno, A. L., Neumaier, N., Farias, J. R. B., & Oya, T. (2001). Tolerância à seca em plantas. *Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento*, 23, 12-18.
- Oliveira, A. D., Fernandes, E. J., & Rodrigues, T. J. D. (2005). Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. *Engenharia Agrícola*, 25, 86-95.
- Oliveira, J. O. L., Medeiros, R. D., Silva, P. R. V. P., Smiderle, O. J., & Mourão, M. (2002). Técnicas de manejo para o cultivo do caupi em Roraima. *Circular Técnica*, 03.
- Parfit, J., Berthel, M., & Macnaughton, S. (2017). Food waste within food supply chains: Quantifications and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 35, 207-217.
- Portes, T. de A., Carvalho, S. I. C. de, Oliveira, I. P. de, & Kluthcouski, J. (2000). Análise de crescimento de uma cultivar de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(7), 1349-1358.

- Pungulani, L. L. M., Milner, J. P., Warren, M. W., & Banda, M. (2013). Improvement of leaf wilting scoring system in cowpea: From qualitative scale to quantitative index. *Australian Journal of Crop Science*, 7, 1262-1269.
- Quilambo, O. A. (2000). Functioning of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) under nutrient deficiency and drought stress in relation to symbiotic associations. Van Denderen B. V., Groningemn.
- Ravelombola, W., Shi, A., Qin, J., Weng, Y., Bhattarai, G., Zia, B., Zhou, W., & Mou, B. (2020). Investigation on various aboveground traits to identify drought tolerance in cowpea seedlings. *HortScience*, 53, 1757–1765.
- Ravelombola, W., Shi, A., Weng, Y., Clark, J., Motes, D., Chen, P., & Srivastava, V. (2018). Evaluation of salt tolerance at germination stage in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *HortScience*, 52(9), 1168–1176.
- Sardhara, K., & Mehta, K. (2018). Effect of abiotic and biotic stress on the plant. *Academic Journal of Botanical Sciences*, 1(1), 5-9.
- Sharma, K., & Kumar, (2018). Genetic diversity for plant water relations, gaseous exchange, leaf anatomical characteristics and seed yield in cowpea under receding soil moisture. *Indian Journal of Genetics*, 68(4), 435-440.
- Silva, C. D. S., Santos, P. A. A., Lira, J. M. S., Santana, M. C., & Silva, C. D. (2010). Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. *Revista Caatinga*, 23, 7-13.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* (4th ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L., Zeiger, E., & Molle, J. (2013). *Fisiologia vegetal* (5th ed.). Arned.
- Taiz, L., Zeiger, E., Molle, J., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal* (6th ed.). Arned.
- Verbree, D. A., Singh, B. B., & Payne, W. A. (2015). Genetics and heritability of shoot drought tolerance in cowpea seedlings. *Crop Science*, 55(1), 146–153.
- Verslues, P. E., Agarwal, M., Katiyar, S., Zhu, J., & Zhu, J. K. (2006). Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt, and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *The Plant Journal*, 45, 523–539.
- World Food Programme. (2018). *Análise de clima em Moçambique: Food security analysis* (pp. 48).
- Wright, L. N., & Jordan, G. L. (1970). Artificial selection for seedling drought tolerance in hoer lovegrass (*Eragrostis curvula* Nees). *Crop Science*, 10, 99-102.

Xu, W., Subudhi, O. R., Crasta, D. T., Rosenow, J. E., Mullet, J. E., & Nguyen, H. T. (2000). Mapping molecular QTLs conferring stay-green in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Genome*, 43, 461–469.

7. ANEXOS

ANEXO A

Legenda: Murcha

FATOR 1: tratamento

FATOR 2: semana

Tabela 1a.

Quadro da análise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamento	4	91.74	5	49.323	0.0000e+00
semana	3	31.12	3	22.308	1.0000e-10
tratamento*semana	12	26.58	4	4.763	7.9128e-06
Residuo	80	37.20	2		
Total	99	186.64	1		

CV = 47.35 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

valor-p: 0.671649

5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais!

Tabela 1b

Quadro da análise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
semana	3	31.12	10.37333	22.3082	0
tratamento:semana 1	4	3.84	0.96000	2.0645	0.0932
tratamento:semana 2	4	13.84	3.46000	7.4409	0
tratamento:semana 3	4	35.04	8.76000	18.8387	0
tratamento:semana 4	4	65.60	16.40000	35.2688	0
Residuo	80	37.20	0.46500		
Total	99	186.64	1.88525		

Os níveis de tratamento diferem estatisticamente em quase todas as semanas, com excepção da semana 1

Niveis Medias		
1	Bambey 21	0.4
2	Chiulele 5	0.4
3	IT1105	0.6
4	p108	0.0
5	p123	1.2

tratamento dentro do nivel 2 de semana

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

a	p123	2.6
ab	Bambey 21	2
abc	IT1105	1.4
bc	Chiulele 5	1.2

c p108 0.4

tratamento dentro do nivel 3 de semana

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

a	p123	3.6	
ab	Bambey 21	2.4	
bc	IT1105	1.6	
c	Chiulele 5	0.6	
c	p108	0.4	

Tratamento dentro do nivel 4 de semana

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

a	p123	4	
a	Bambey 21	3.6	
b	IT1105	2	
c	Chiulele 5	0.4	
c	p108	0	

ANEXO B

Legenda: Coloração

FATOR 1: tratamento

FATOR 2: semana

Tabela 2a

Quadro da analise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
tratamento	4	55.54	3	59.085	0.0000e+00
semana	3	26.51	5	37.603	2.9066e-15
tratamento*semana	12	42.14	4	14.943	7.5884e-16
Residuo	80	18.80	2		
Total	99	142.99	1		

CV = 24.36 %

Teste de normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk)

valor-p: 0.139965

5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais!

Tabela 2b

analise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr.Fc
semana	3	26.51	8.83667	37.6028	0
tratamento:semana 1	4	1.04	0.26000	1.1064	0.3594
tratamento:semana 2	4	3.44	0.86000	3.6596	0.0087
tratamento:semana 3	4	16.96	4.24000	18.0426	0
tratamento:semana 4	4	76.24	19.06000	81.1064	0

Residuo	80	18.80	0.23500
Total	99	142.99	1.44434

tratamento dentro do nivel 1 de semana

De acordo com o teste F, as medias desse fator são estatisticamente iguais.

	Niveis	Medias
1	Bambey 21	1.6
2	Chiulele 5	1.2
3	IT1105	1.4
4	p108	1.0
5	p123	1.4

Tratamento dentro do nivel 2 de semana

Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p123	2.4
ab	Bambey 21	1.8
ab	IT1105	1.6
b	Chiulele 5	1.4
b	p108	1.4

tratamento dentro do nivel 3 de semana

Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p123	3.4
a	Bambey 21	2.6
a	IT1105	2.6
b	Chiulele 5	1.4
b	p108	1.2

tratamento dentro do nivel 4 de semana

Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p123	5
a	Bambey 21	4.6
b	IT1105	1.6
b	Chiulele 5	1.2
b	p108	1

ANEXO C

Acamamento do caule (vigor e coloração)

Tabela 3a

da análise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	12.56	3.14	19.625	1.0683e-06
Residuo	20	3.20	0.16		
Total	24	15.76			

CV = 24.39 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

Valor-p: 0.06412709

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais.

Teste de homogeneidade de variancia

valor-p: 0.9903486

De acordo com o teste de bartlett a 5% de significancia, as variancias podem ser consideradas homogeneas.

Tabela 3b

Teste de Tukey

Grupos	Tratamentos	Medias
a	p123	3
b	Bambey 21	1.6
b	IT1105	1.4
b	Chiulele 5	1.2
b	p108	1

ANEXO D

Recuperação

Quadro da análise de variancia

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	13.04	3.26	5.6207	0.0033649
Residuo	20	11.60	0.58		
Total	24	24.64			

CV = 40.51 %

Teste de normalidade dos residuos (Shapiro-Wilk)

Valor-p: 0.1497623

5% de significancia, os residuos podem ser considerados normais!

Teste de homogeneidade de variancia

valor-p: 0.9851746

De acordo com o teste de bartlett a 5% de significancia, as variancias podem ser consideradas homogeneas.

Teste de Tukey

Grupos Tratamentos Medias

a	p108	3	
ab	IT1105	2.2	
ab	Chiulele 5		2
b	Bambey 21	1.2	
b	p123	1	



Figura 1 Anexo: Esterilização do solo



Figura 2 Anexo: Enchimento das bolsas



Figura 3 Anexo: Desbaste

