Avaliação do impacto da disponibilidade hídrica na morfologia e perfil mineral de dois genótipos de grão-de-bico (*Cicer arietinum*)

Janaína Silva Medeiros
Mestrada em Engenharia Agronómica
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2022

Orientadora
Marta Nunes da Silva, Investigadora Doutorada, Universidade Católica Portuguesa

Coorientadora
Marta W. Vasconcelos, Professora Auxiliar, Universidade Católica Portuguesa

Coorientadora
Susana M. P. Carvalho, Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto


U.PORTO
FACULDADE DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DO PORTO

Declaração de Honra

Eu, Janaína da Silva Medeiros, inscrito(a) no Mestrado em Engenharia Agronómica da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto declaro, nos termos do disposto na alínea a) do artigo 14.º do Código Ético de Conduta Académica da U.Porto, que o conteúdo da presente dissertação de projeto "Avaliação do impacto da disponibilidade hídrica na morfologia e perfil mineral de dois genótipos de grão-de-bico (*Cicer arietinum*)" reflete as perspetivas, o trabalho de investigação e as minhas interpretações no momento da sua entrega.

Ao entregar esta dissertação de projeto "Avaliação do impacto da disponibilidade hídrica na morfologia e perfil mineral de dois genótipos de grão-de-bico (*Cicer arietinum*)", declaro, ainda, que a mesma é resultado do meu próprio trabalho de investigação e contém contributos que não foram utilizados previamente noutros trabalhos apresentados a esta ou outra instituição.

Mais declaro que todas as referências a outros autores respeitam escrupulosamente as regras da atribuição, encontrando-se devidamente citadas no corpo do texto e identificadas na secção de referências bibliográficas. Não são divulgados na presente dissertação de projeto "Avaliação do impacto da disponibilidade hídrica na morfologia e perfil mineral de dois genótipos de grão-de-bico (*Cicer arietinum*)" quaisquer conteúdos cuja reprodução esteja vedada por direitos de autor.

Tenho consciência de que a prática de plágio e auto-plágio constitui um ilícito académico.

Porto, 30 de outubro de 2022

Agradecimentos

À minha orientadora, Doutora Marta Nunes da Silva, Martinha, pelo apoio incondicional em todos os momentos, desde os primeiros ensinamentos quando cheguei ao laboratório até à incansável ajuda no desenvolvimento do trabalho final. Sou grata por todo apoio, que, definitivamente, foi determinante para todas as etapas deste trabalho. Obrigada pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência, disposição e amizade. Guardarei não só a aprendizagem, como todos os bons momentos partilhados durante este tempo.

Às minhas coorientadoras, Doutora Marta Vasconcelos e Doutora Susana Maria Pinto de Carvalho, por auxiliarem com os seus conhecimentos e orientação sempre que necessário, e pela disposição em fazerem parte deste trabalho tão importante no meu percurso acadêmico.

À minha mãe, Fátima Medeiros, que continua a ser o pilar da minha vida, a minha maior inspiração. A minha gratidão por todo apoio e esforço a mim dedicado ainda perdura e tenha a certeza de que será eterna, eu te amo.

Agradeço ao meu pai, Marcos Medeiros e aos meus irmãos, Lorena, Átila e Tatiane, por sempre fazerem parte da minha história, aconselhando-me, torcendo e vibrando com todas as minhas conquistas, vocês são muito importantes para mim.

À Universidade Católica Portuguesa e toda a equipa de laboratório de Biotecnologia e Nutrição Vegetal para a Sustentabilidade, envolvida direta e indiretamente na realização desse trabalho. À estrutura disponibilizada, tão importante e definitiva para que toda a parte prática deste projeto pudesse ser concretizada com tanta qualidade.

À Universidade do Porto, por viabilizar a obtenção de mais um grau dentro do meu percurso acadêmico, com excelência e tradição.

Ao Programa de Investigação e Inovação Horizonte 2020 da União Europeia através do projeto “RADIANT - Realising Dynamic Value Chains for Underutilized Crops” (Refª: 101000622) e ao projeto “HSoil4Food - Healthy soils for healthy foods”, financiado por fundos FEDER (Refª NORTE-01-0145-FEDER-000066), que me possibilitou realizar um trabalho laboratorial e académico de alto valor e com o apoio de uma grande associação, contribuindo para a produção científica e de conhecimento.

Ao produtor e técnico agrícola, Luís Batista, da empresa B-choice, e à empresa Lusosem – Produtos para Agricultura, pelo fornecimento do grão-de-bico desi (preto) e kabuli

(branco), respetivamente. Obrigada pelo interesse e disponibilidade em participarem desse trabalho.

Aos meus companheiros de mestrado e amigos na vida, Luan Marvão, Ingrid Brock e Valeria Testa, pela amizade, companheirismo, paciência e principalmente, por me divertirem e estarem comigo nos momentos em que eu mais preciso.

Aos meus queridos amigos Carol Rosa e Joames Paulo, por estarem comigo na alegria e na tristeza, mesmo que de longe. Pela amizade incondicional e por ser apoio, agora e em tantos momentos da minha jornada, eu amo vocês.

À minha filha de quatro patas, Sophie Maria, o amor da minha vida, que me presenteia com a sua companhia em todos os momentos, preenchendo-me de alegria e amor.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a Deus, por ter me abençoado com o dom da vida, por ser o meu guia, proporcionando-me oportunidades ímpares e por ter-me dado forças, em meio a tantas dificuldades, para que eu pudesse alcançar os meus objetivos.

A todos que de alguma forma contribuíram para o sucesso não só deste trabalho, mas, também, influenciaram e fizeram parte da minha vida, obrigada.

"O que vale na vida não é o ponto de partida e sim a caminhada. Caminhando e semeando, no fim terás o que colher."

- Cora Coralina

Resumo

As alterações climáticas e a crescente procura alimentar a nível global levam a que a comunidade científica tenha que procurar métodos mais sustentáveis para a produção de alimentos nutritivos. A família das leguminosas (Fabaceae) engloba diversas espécies agronómicas altamente nutritivas que têm vindo a ganhar um maior destaque em sistemas agroalimentares sustentáveis. No entanto, vários fatores abióticos, como a escassez de água, influenciam diretamente o desenvolvimento e a produtividade das leguminosas. O grão-de-bico (*Cicer arietinum*) é uma cultura sensível à falta de água, principalmente na sua fase reprodutiva. Neste trabalho foram analisados dois genótipos de grão-de-bico: um grão comercial com tegumento branco (kabuli), e outro tradicional, com tegumento preto (desi). Ambos os genótipos foram crescidos em ambiente controlado até à fase de colheita do grão sob quatro níveis de disponibilidade hídrica, tendo em conta a capacidade de campo do substrato: disponibilidade hídrica elevada, disponibilidade hídrica média-elevada, disponibilidade hídrica média-baixa e disponibilidade hídrica baixa. Na fase da colheita foram analisados vários parâmetros biométricos (raiz, parte aérea, vagens e sementes) e nutricional (perfil mineral das sementes). Os resultados demonstraram que o grão kabuli é geralmente mais afetado negativamente pela baixa disponibilidade hídrica do que o grão desi. Em comparação com plantas cultivadas com disponibilidade hídrica elevada, plantas kabuli cultivadas com baixa disponibilidade hídrica, apresentaram menores pesos fresco e seco da raiz (até 56%) e parte aérea (até 47%), que se refletiu num aumento da razão raiz/parte aérea (21%). De facto, grão-de-bico kabuli pareceu demonstrar maiores alterações fenotípicas cultivado com baixa disponibilidade hídrica, apresentando raízes mais alongadas (16%) e com menor teor de água (14%), comparativamente com desi. O número de vagens e sementes por planta também reduziu com a diminuição da disponibilidade hídrica, mas o grão-de-bico desi foi capaz de produzir mais 55% de sementes por planta do que kabuli a disponibilidade hídrica média-baixa. A concentração de minerais no grão-de-bico kabuli (potássio - K, fósforo - P, cálcio - Ca, magnésio - Mg, zinco - Zn, ferro - Fe, manganês - Mn e boro - B) foi também afetado de forma negativa (de 29 a 61%), demonstrando que as reduções de disponibilidade hídrica previstas para o futuro poderão afetar negativamente o seu perfil mineral. No entanto, o grão-de-bico desi parece ter uma maior resiliência à baixa disponibilidade hídrica, apresentando maiores concentrações de P (110%), Mg (61%), Zn (135%), Fe (32%), Mn (59%) e B (85%), comparativamente com kabuli. Este estudo contribui para reforçar a importância de apostar em variedades tradicionais pouco exploradas pelo contributo que as mesmas podem trazer para a resiliência às alterações climáticas (nomeadamente a falta de água) e para a promoção da biodiversidade dos sistemas agrícolas.

Palavras-Chave: *Cicer arietinum*, alterações climáticas, seca, leguminosas, nutrição

Abstract

Climate change and the increasing global demand for food means that the scientific community must seek more sustainable methods for the production of nutritious food. The legume family (Fabaceae) encompasses several highly nutritious agronomic species that are gaining more prominence in sustainable agrifood systems. However, several abiotic factors, such as water scarcity, directly influence the development and productivity of legumes. Chickpea (*Cicer arietinum*) is a legume crop sensitive to water deficit, especially in its reproductive phase. In this work, two chickpea genotypes were analysed: a commercial chickpea with white tegument (kabuli), and a traditional one, with black tegument (desi). Both genotypes were grown in a controlled environment until the harvest stage under four levels of water availability, taking into consideration the field capacity of the substrate: high water availability, medium-high water availability, medium-low water availability, and low water availability. In the harvesting phase, several biometric (root, shoot, pods and seeds) and nutritional (seed mineral profile) parameters were analysed. The results showed that kabuli is generally more negatively affected by low water availability than desi. Compared to plants grown with high water availability, kabuli plants grown with low water availability, exhibited lower fresh and dry weights of the root (up to 56%) and shoot (up to 47%), which was reflected in an increase in the root to shoot ratio (21%). In fact, kabuli chickpeas appeared to show greater phenotypic changes grown with low water availability, showing more elongated roots (16%) and lower water content (14%) compared to desi. The number of pods and seeds per plant also decreased with decreasing water availability, but desi chickpea was able to produce 55% more seeds per plant than kabuli at medium-low water availability. The concentration of minerals in kabuli chickpea (potassium - K, phosphorus - P, calcium - Ca, magnesium - Mg, zinc - Zn, iron - Fe, manganese - Mn, and boron - B) was also negatively affected (from 29 to 61%), demonstrating that predicted future reductions in water availability could negatively affect chickpeas mineral profile. However, the desi chickpea appears to have greater resilience to low water supplies, showing higher concentrations of P (110%), Mg (61%), Zn (135%), Fe (32%), Mn (59%) and B (85%), compared to kabuli. This study contributes to reinforcing the importance of investing in under-exploited traditional varieties for the contribution that they can bring to climate change resilience (including water shortage) and to the promotion of biodiversity in agricultural systems.

Keywords: *Cicer arietinum*, climate change, drought, legumes, nutrition

Índice

Agradecimentos iii
Resumo v
Abstract vi
Lista de Figuras viii
Resultados científicos i
Introdução 1
1. Revisão bibliográfica 2
1.1. As plantas leguminosas 2
2.2. O grão-de-bico 3
2.2.1. Origem, taxonomia e fisiologia 3
2.2.2. Cultivo e preferências edafoclimáticas 6
2.2.3. Propriedades nutricionais 7
1.3. Alterações climáticas e a escassez de água 8
1.3.1. Impacto na produção agrícola 8
1.3.2. Impacto morfofisiológico e nutricional 10
2. Objetivos 12
3. Material e métodos 13
3.1. Origem do material genético 13
3.2. Germinação e manutenção da cultura 13
3.3. Amostragem e avaliação morfológica das plantas 14
3.4. Determinação do conteúdo de água e razão raiz/parte aérea 15
3.5. Determinação do perfil nutricional do grão 15
3.6. Análise estatística 15
4. Resultados e discussão 16
4.1. Parâmetros morfológicos das plantas 16
4.2. Perfil mineral do grão 21
5. Conclusão 25
Referências bibliográficas 27

Lista de Figuras

Figura 1. Distribuição da produção mundial de grão-de-bico tipo kabuli e desi.. 4

Figura 2. Produção mundial do grão-de-bico seco, por região, em 2020.. 5

Figura 3. Superfície cultivada (ha) e produção (t) de feijão e grão-de-bico seco, por região de Portugal.. 6

Figura 4. Estados de crescimento da planta de grão-de-bico. 7

Figura 5. Projeção da incidência de stress hídrico a nível mundial em 2040. 9

Figura 6. Aspeto geral do grão-de-bico utilizado neste trabalho. (A) Grão-de-bico kabuli (branco) e (B) Grão-de-bico desi (preto). 13

Figura 7. Plantas após transplantação, instaladas numa câmara de fitoclima. (A) Grão-de-bico kabuli (branco) e (B) Grão-de-bico desi (preto). 14

Figura 8. Pesos frescos e secos da parte aérea e raiz de plantas *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). 16

Figura 9. Conteúdo de água e comprimento da parte aérea e raiz de plantas *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). 18

Figura 10. Razão raiz/parte aérea de plantas *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B).. 19

Figura 11. Número de vagens e sementes por planta de *Cicer arietinum* do tipo kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B).. 20

Figura 12. Número de sementes por planta (produtividade individual) de *Cicer arietinum* do tipo kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). 21

Figura 13. Concentração de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em grãos de *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). 22

Figura 14. Concentração de zinco, ferro, manganês e boro em grãos de plantas *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B).. 23

Resultados científicos

Comunicações por painel em encontros científicos:

Medeiros, JS; Nunes da Silva, M.; Santos, CS; Vasconcelos, MW. "Mineral profile and resilience to low water provision of white and black chickpea varieties (*Cicer arietinum*)". Trabalho apresentado em *International Plant Nutrition Colloquium. Paraná, Brazil*, 2022.

Medeiros, JS; Nunes da Silva, M.; Santos, CS; Vasconcelos, MW. "Low water provision differently affects plant growth and seed mineral profile of kabuli and desi chickpeas (*Cicer arietinum*)". Trabalho apresentado em *31st International Horticultural Congress. Angers, France*, 2022.

Medeiros, JS; Nunes da Silva, M.; Santos, CS; Vasconcelos, MW. "Nutritional and morphological responses of kabuli and desi chickpeas (*Cicer arietinum*) to different water supplies". Trabalho apresentado em *Smart and Circular Agriculture towards Sustainability 2022. Porto, Portugal*, 2022.

Medeiros, J; Nunes da Silva, M.; Santos, CS; Vasconcelos, MW. "Nutritional analysis of chickpeas and valorization of traditional varieties". Trabalho apresentado em *Encontro Ciência 2022. Lisbon, Portugal*, 2022.

Introdução

Ricas em proteínas, minerais e vitaminas, as leguminosas, tais como o grão-de-bico são uma excelente opção para uma alimentação equilibrada (Iannetta *et al*., 2016), tanto como ração como para alimentação humana (Magrini *et al*., 2016). As contribuições benéficas das leguminosas não se limitam aos seus reconhecidos valores nutritivos, uma vez que elas também possuem uma grande importância para a agricultura e o meio ambiente, sendo utilizadas para o enriquecimento dos solos devido à sua capacidade de fixação simbiótica do azoto atmosférico. Com o auxílio de rizóbios, as bactérias simbióticas responsáveis por essa fixação, as plantas leguminosas têm a capacidade de reduzir o azoto atmosférico em compostos azotados, tais como a amónia, que são depois absorvidos pelas plantas, promovendo o seu crescimento e a fertilidade do solo (Roy *et al*., 2020). Assim, as plantas leguminosas contribuem para a redução do aquecimento global, através da redução da necessidade de fertilizantes à base de azoto que são responsáveis por metade das emissões de gases de efeito estufa na agricultura (Magrini *et al*., 2016). Quando geridas de forma adequada em conjunto com os recursos do solo, as leguminosas podem fornecer produtividade e perfis nutricionais aprimorados, sendo os seus grãos uma fonte económica de nutrientes, proteínas, fibras e vários fitoquímicos promotores da saúde humana (Ferreira *et al*., 2021). No entanto, as alterações climáticas, e em particular a escassez de água, irá afetar a produtividade agrícola, incluindo a das plantas leguminosas (Daryanto *et al*., 2015). Torna-se, então, necessário implementar medidas integradas para aumentar a resiliência e sustentabilidade dos sistemas agrícolas, as quais deverão incluir a identificação e adoção de espécies e variedades mais produtivas, nutritivas e mais bem-adaptadas a condições ambientais adversas.

1. Revisão bibliográfica

1.1. As plantas leguminosas

As leguminosas são plantas pertencentes à família *Leguminosae*, também chamadas de Fabaceae, que produzem sementes dentro de uma vagem. Esta família contém mais de 18.000 espécies de trepadeiras, ervas, arbustos e árvores, das quais apenas um número limitado é usado como alimento humano. As leguminosas mais usadas para consumo humano incluem ervilhas, favas, lentilhas, soja, feijão e grão-de-bico. Desde os primórdios da agricultura, as leguminosas têm sido usadas para diversos fins, sendo empregues como alimento humano e animal, na produção de forragem, ração e adubo (Hernándo Bermejo e León, 1994). O seu sistema de cultivo é muito variado, podendo ser irrigado ou de sequeiro, extensivo ou consorciado, dependendo do ambiente e cultura utilizada. No entanto, por muitas décadas as leguminosas não foram alvo de investigação pela comunidade científica, visando, por exemplo, o desenvolvimento de novas técnicas agrícolas e melhoramento genético, a não ser que tivessem um uso hortícola como alimento refinado para a dieta humana e não como alimento básico. De facto, muito do conhecimento agronómico disponível na atualidade provém de observações empíricas recolhidas por agricultores ao longo das décadas, daí que seja imperativo desenvolver investigação fundamental que promova um melhor conhecimento das culturas e que apoie o desenvolvimento de técnicas agronómicas aprimoradas.

A agricultura de subsistência nos países em desenvolvimento sustentou por muito tempo, como ainda hoje se verifica, a produção de leguminosas como fonte de proteína. Nesse contexto, a Índia destaca-se como o maior produtor de leguminosas do mundo, sendo também o maior produtor de grão-de-bico, tendo assinalado uma produção de 11 milhões de toneladas em 2020 (FAO, 2022). A marginalização das leguminosas nos países desenvolvidos deve-se, em grande parte, à sua chegada tardia ao mundo do marketing (Yadav *et al*., 2007). Mesmo com os incentivos e subsídios fornecidos pela União Europeia para promover o cultivo de grãos e leguminosas, a sua produção tem sido afetada pela coevolução dos sistemas de culturas que promovem os cereais, com base em políticas públicas, paradigmas agroquímicos, dinâmica do mercado, e sistemas alimentares, que favorecem o investimento em cereais em detrimento das leguminosas. Assim, por forma a fomentar uma agricultura mais

sustentável deverá haver uma maior inovação agronómica e tecnológica que visem a promoção das leguminosas (Magrini *et al*., 2016).

A procura de leguminosas como fonte nutricional tem vindo a aumentar em todo o mundo devido a uma maior conscientização do consumidor sobre os seus benefícios para a saúde. Além disso, nos últimos anos tem-se vindo a verificar uma substituição gradual da proteína animal pela proteína vegetal, aumentando ainda mais a procura por leguminosas, devido ao elevado teor neste macronutriente. No entanto, é necessário otimizar o processo de preparação das leguminosas, uma vez que alguns procedimentos tradicionais de processamento de alimentos, como a fervura, podem reduzir ou até eliminar alguns nutrientes (Samtiya *et al*., 2020). Adicionalmente, com o aumento do interesse público por estilos de vida mais saudáveis e sustentáveis, o que inclui uma dieta com alimentos mais "naturais", o interesse pela agricultura sustentável tem sido alavancado com a utilização de sistemas biológicos que necessitem de menos aplicações externas, tais como fertilizantes sintéticos e pesticidas. Neste contexto, o cultivo em rotação com cereais e leguminosas auxiliam a quebra do ciclo de diversas doenças, protegendo também contra o ataque de insetos e ervas infestantes (Yadav *et al*., 2007). A gestão do pousio de chuvas curtas com leguminosas diminui também as infestações por ervas daninhas e aumenta a disponibilidade de azoto para as culturas subsequentes (Cheruiyot *et al*., 2003). As leguminosas são, assim, excelentes culturas para pequenos agricultores com recursos limitados de irrigação e fertilizantes, uma vez que estas conseguem adaptar-se a solos pobres e condições climáticas adversas, sendo altamente resistentes a pragas e doenças. Tendo em conta o aumento do seu interesse agronómico e nutricional, torna-se, assim, necessário melhorar a sua produtividade e qualidade, aumentar a utilização de leguminosas subutilizadas, produzir mercadorias mais económicas e inovadoras de valor acrescentado à base de leguminosas, educar os consumidores sobre o valor nutricional das leguminosas, bem como identificar novas formas de incentivar o uso de leguminosas, do campo até ao prato.

2.2. O grão-de-bico

2.2.1. Origem, taxonomia e fisiologia

O grão-de-bico (*Cicer arietinum*), é uma das leguminosas mais antigas a serem cultivadas nos tempos modernos, com origem na região do Crescente Fértil, da Turquia ao Irão, onde as evidências arqueológicas do cultivo do grão-de-bico precedem os 8 mil

anos a.C. Esta cultura foi introduzida no Novo Mundo através dos portugueses e espanhóis no século 16 d.C, na época das grandes navegações (van der Maesen, 1972). É uma planta herbácea com ciclo de vida anual, que se ramifica a partir da sua base, e é geralmente coberta por pêlos que libertam compostos que protegem as plantas contra insetos e pragas (Reed *et al*., 1987). O género Cicer é diploide e possui reprodução unicamente por autofecundação. As sementes de *C. arietinum* são obovoides ou globulares, lisas ou ásperas, sendo diferenciadas em dois genótipos distintos: desi, ou microesperma, e kabuli, ou macroesperma. O tipo de grão-de-bico desi apresenta maior diversidade genética do que o tipo kabuli, e possui sementes de menor tamanho, de forma angular e cores variadas (preto, castanho, amarelo e verde) e vagens e folhas de porte reduzido. Já as do tipo kabuli possuem sementes grandes de cor creme e vagens e folhas de porte mais alto (van der Maesen, 1972; Moreno e Cubero, 1978; Agropedia, 2010). A sua distribuição geográfica também é diferente: o tipo desi distribui-se principalmente entre o Mediterrâneo oriental até à Ásia central e ao subcontinente indiano, e o tipo kabuli tem maior presença no Mediterrâneo (Moreno e Cubero, 1978) (Figura 1). Desta forma, pode-se caracterizar o grão-de-bico atualmente comercializado na europa como tipo kabuli, sendo que o tipo desi é mais tradicional, sendo a sua produção na Europa negligenciável.

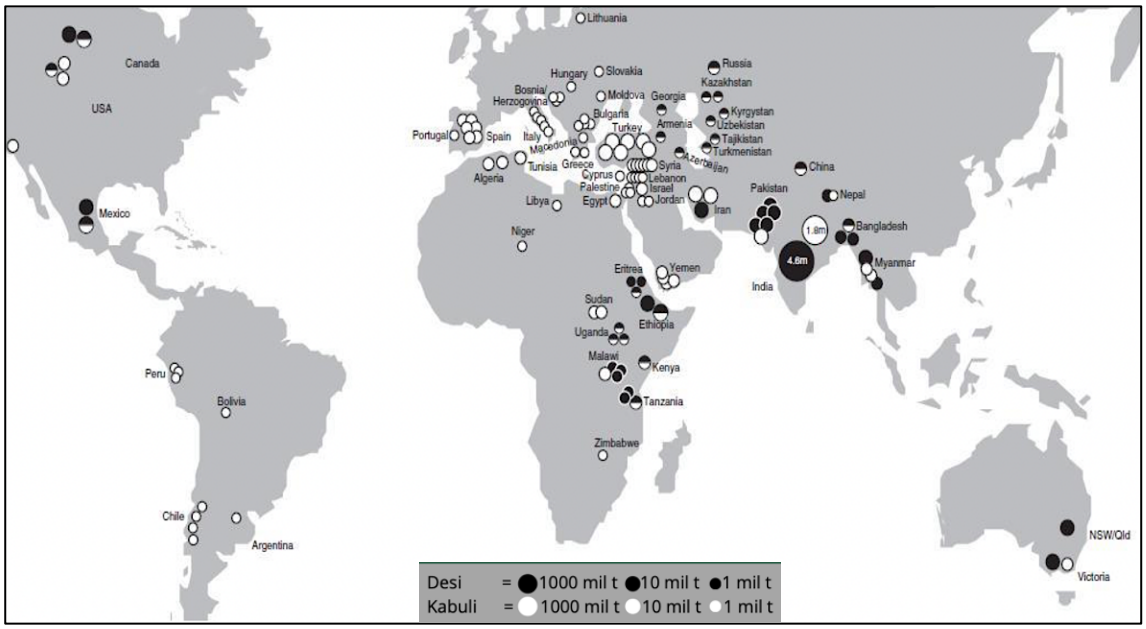


Figura 1. Distribuição da produção mundial de grão-de-bico tipo kabuli e desi. Fonte: Knights *et al*., 2007.

Tendo em conta o total de área e produção entre cereais e leguminosas, a contribuição do grão-de-bico parece pequena, ainda assim, o grão-de-bico é

responsável por 15% da área mundial e 13% da produção de leguminosas alimentícias (Manara e Ribeiro, 1992). Cultivado em mais de 50 países, tem um grande destaque entre as leguminosas mais consumidas, ficando atrás apenas do feijão seco no consumo humano global. O grão-de-bico possui comércio superior a 8 mil milhões de euros anualmente, sendo amplamente cultivado na Índia e África e em menor escala no Oriente Médio e Mediterrâneo (Singh, 1990; Yadav *et al*., 2007). Esta leguminosa é uma das bases alimentares da Ásia e África, que juntas detém 91,4% da produção mundial (Figura 2). Na Europa, o maior produtor é a Espanha, com 85.000 ha com uma produtividade média de 557 kg/ha (FAO, 2022).

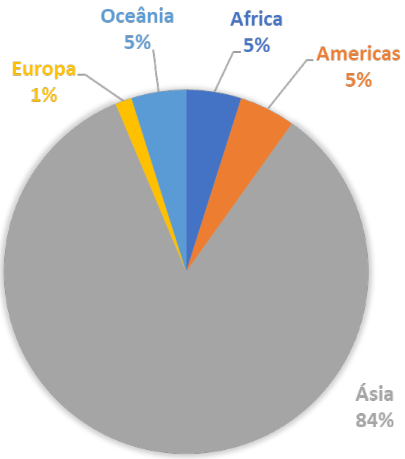


Figura 2. Produção mundial do grão-de-bico seco, por região, em 2020. Fonte: FAOSTAT, 2022.

Em Portugal a cultura do grão-de-bico, apesar de em pequena escala, tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos. Como leguminosa para grão, a sua produção aumentou de 2019 (2 355 mil toneladas) para 2020 (2 890 mil toneladas), demostrando um crescimento de 23,8%, ultrapassando inclusivamente a produção de feijão (INE, 2020). Esta tendência crescente pode também ser observada na extensão da área cultivada, que aumentou 20% de 2019 a 2020. A região do Alentejo destaca-se como a maior produtora em Portugal continental, apresentando uma produção de 2 668 toneladas numa superfície de 2 625 ha, sendo que a região Norte apresenta valores mais modestos (Figura 3).

Culturas / NUTS II	Feijão		Grão-de-bico	
	Superfície	Produção	Superfície	Produção
	ha	t	ha	t
Continente	**3 589**	**2 509**	**2 931**	**2 890**
Norte	873	658	126	95
Centro	1 707	934	158	107
Área Metropolitana de Lisboa	0	0	11	12
Alentejo	996	909	2 625	2 668
Algarve	13	8	11	7

Figura 3. Superfície cultivada (ha) e produção (t) de feijão e grão-de-bico seco, por região de Portugal. Fonte: INE, 2020.

2.2.2. Cultivo e preferências edafoclimáticas

O aumento da procura por grãos alimentícios, o declínio das terras aráveis e a expansão das instalações de irrigação culminaram no cultivo de culturas em consociação em muitos países em desenvolvimento (Ahlawat *et al*., 2003). Neste sentido, nas últimas décadas o grão-de-bico tem ganho cada vez mais destaque, tanto através do aumento da sua produção individual, como também através de consociações com outras culturas, como a cevada, o milho e o trigo (van der Maesen, 1972), o que levou a que esta cultura fosse gradualmente domesticada para se obter uma maior adaptação e rendimento. Ao contrário de outras culturas de leguminosas, a redução da quebra das vagens e a perda da dormência das sementes não foi a chave para a domesticação do grão-de-bico, mas sim a alteração do período de sementeira do outono para a primavera, gerando uma grande diversidade genética com benefícios adaptativos, incluindo a redução do colapso devido a infestação pelo patógeno *Ascochyta* (Ladizinsky, 1987; Abbo *et al*., 2003ab; Pande *et al*., 2005). Esta mudança da sementeira de estações frias para estações quentes permitiu a sua posterior distribuição para os trópicos semiáridos (Abbo *et al*., 2003b).

O grão-de-bico tem sido cultivado em diferentes épocas do ano em vários países em função do clima. No Mediterrâneo, no Oeste da Ásia, na América Latina e nos Estados Unidos, por exemplo, é semeado na primavera (final de março a meados de abril) quando o solo está mais quente e a humidade mais baixa. Já na Índia e no Paquistão, a sementeira ocorre entre setembro e novembro, e na Etiópia, de setembro a janeiro ou abril (Smithson *et al*., 1985). Devido à sua suscetibilidade aos fungos *Ascohyta*, a estação ideal para o cultivo é a primavera, uma vez que a fase reprodutiva coincide com os períodos de deficiência hídrica e altas temperaturas, reduzindo a

infestação por este fungo. Os maiores rendimentos são obtidos com densidade de sementeira de 60 plantas.m^{-2} e espaçamento entre linhas de 30 cm, e o seu ciclo biológico anual dura, em média, 110-140 dias (ICARDA, 1984) (Figura 4).

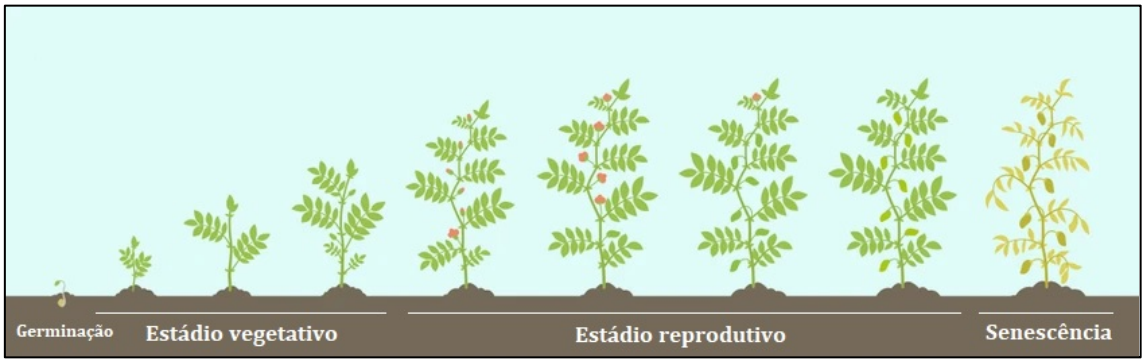


Figura 4. Estados de crescimento da planta de grão-de-bico.

O tipo de solo preferencial para cultivo do grão-de-bico é o de textura mais arenosa, onde a planta apresenta maior adaptação e resiliência. Neste tipo de solo obtém-se uma maturação mais uniforme, uma vez, que os mesmos retêm menos humidade. Assim, o cultivo deve ser priorizado em áreas altas, evitando-se solos excessivamente ácidos e húmidos (Manara e Ribeiro, 1992).

Apesar desta cultura ser frequentemente produzida em agricultura de sequeiro, o seu crescimento e produção são beneficiados em sistemas agrícolas com irrigação nos períodos que antecedem a floração, resultando num aumento da população de plantas, massa seca, área fotossintética, enchimento de vagem, eficiência simbiótica, e melhor aproveitamento da adubação fosfatada e no uso de nematicidas (ICARDA, 1985; Sinha, 1985; ICARDA, 1987).

2.2.3. Propriedades nutricionais

O grão-de-bico fornece diversos macro e micronutrientes, nomeadamente proteínas, hidratos de carbono, minerais, vitaminas e fibras. Diferencia-se das outras leguminosas pela sua maior digestibilidade, baixo teor de substâncias antinutricionais, e maior disponibilidade de potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg), ferro (Fe) e manganês (Mn) (Yadav *et al*., 2007). Os hidratos de carbono e proteínas abrangem grande parte do peso total das sementes secas, sendo que a proteína do grão-de-bico

tem sido considerada uma ótima opção entre as leguminosas, principalmente para a população vegetariana (Chang *et al*., 2022, Kaur *et al*., 2021, Saget *et al*., 2020). As suas sementes também apresentam uma quantidade de óleo considerável (de 3,8 a 10,2%) com elevado teor de ácidos gordos insaturados, particularmente linoleico e oleico. Embora os fatores antinutricionais devam ser equacionados em qualquer leguminosa, a sua importância é minimizada no grão-de-bico. De facto, uma vez que este não é consumido cru, o aquecimento inativa estes antinutrientes, incluindo os oligossacarídeos promotores da flatulência (Ferreira *et al*., 2006).

De acordo com os requisitos da Organização Mundial de Saúde sobre alimentos complementares e os regulamentos da União Europeia sobre fórmulas de transição com adição mínima de óleos, minerais e vitaminas, o grão-de-bico ganha um papel de destaque por ser economicamente acessível para os países em desenvolvimento, sem comprometer a qualidade nutricional (Malunga *et al*., 2014). Recentemente, a farinha de grão-de-bico foi utilizada para a produção de massa, que apresentou 1,5 mais proteína, 3,2 vezes mais fibra e 8 vezes mais ácidos gordos essenciais do que a massa de trigo (Saget *et al*., 2020). Estas evidências reforçam a necessidade de valorizar a qualidade nutricional do grão-de-bico através de práticas agronómicas aprimoradas, bem como da sua inclusão em produtos alimentares de valor nutricional acrescentado.

1.3. Alterações climáticas e a escassez de água

1.3.1. Impacto na produção agrícola

A necessidade global de diversificação de fontes de alimentos tem sido foco de investigação pela comunidade científica nos últimos anos, em grande parte devido ao aumento significativo da população mundial (FAO, 2017). Para apoiar a crescente necessidade alimentar, a produtividade agrícola deverá aumentar 60% até 2050. No entanto, as alterações climáticas, especificamente a escassez de água, trazem novos desafios que irão dificultar os esforços para melhorar a produtividade dos sistemas agrícolas de uma forma sustentável (Bourgault *et al*., 2020). Neste contexto e de acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, as leguminosas podem exercer um papel fundamental na segurança alimentar, nutrição e mitigação das alterações climáticas na saúde humana e nos solos (Calles *et al*., 2019).

Vários fatores ambientais adversos, como a seca, a salinidade e o calor, afetam negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, desde a germinação até

à maturidade (Xu *et al*., 2014, Negrão *et al*., 2017, Nadeem *et al*., 2018, Nadeem *et al*., 2019). De facto, a seca é um dos maiores limitadores para o desenvolvimento e produção das culturas leguminosas (Micheletto *et al*., 2007, Fang *et al*., 2010, Faroog *et al*., 2016). Um estudo realizado em 2015 pelo World Resources Institute (WRI) indica que, até 2040 Portugal irá enfrentar limitações na disponibilidade hídrica extremamente elevadas, sendo, por consequência direta, a produção agrícola e a autossuficiência alimentar do país os primeiros setores a serem gravemente afetados (Figura 5).

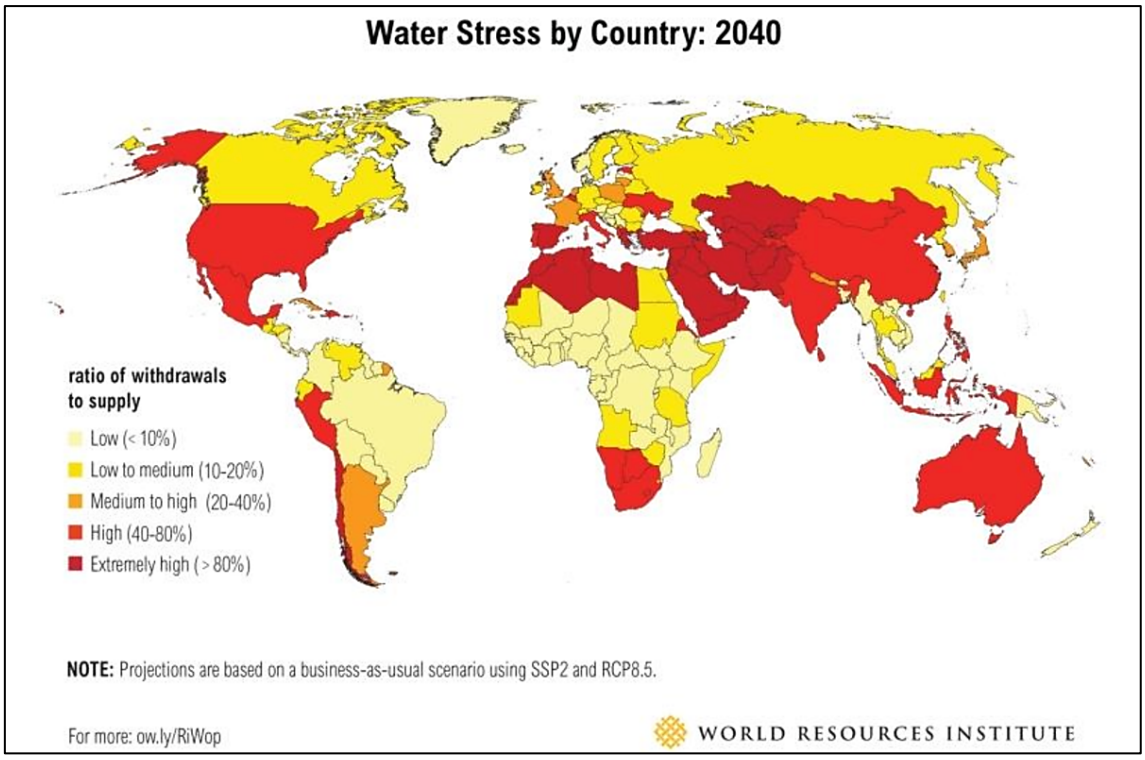


Figura 5. Projeção da incidência de stress hídrico a nível mundial em 2040. Fonte: WRI, 2015.

A resposta das leguminosas ao stresse hídrico varia muito dependendo da espécie, mas em todos os casos seu rendimento final é substancialmente reduzido (Pushpavalli *et al*., 2015). A seca severa afeta a germinação da plântula, a sua capacidade fotossintética, reduz a capacidade de produzir flores e o seu período de floração, levando consequentemente a uma menor produção de vagens e grãos (Pushpavalli *et al*., 2015; Chowdhury *et al*., 2016). Apesar do seu alto potencial, os rendimentos baixos e instáveis do grão-de-bico devem-se, geralmente, às condições bióticas e abióticas adversas, que incluem, por ordem de importância, a seca, o calor e o frio (Singh, 1987; Ryan, 1997; Singh *et al*., 1993; Croser *et al*., 2003). Assim, as

limitações impostas pelas alterações climáticas, e, em particular, a falta de água no solo, afetam de forma negativa a produtividade desta cultura.

A procura por variedades e genótipos que possuam melhor eficiência do uso da água e tolerância à seca tendem a aumentar o desempenho da cultura e, consequentemente, a sua produtividade em áreas propensas a períodos de baixa disponibilidade hídrica (Ulemele *et al*., 2013). O grão-de-bico tem a capacidade de desenvolver raízes finas mais aptas para captar água das camadas mais interiores do solo, o que lhe garante maior resistência à falta de água, comparativamente com a soja e a ervilha (Yadav *et al*., 2007). Inclusivamente, algumas variedades de grão-de-bico apresentam tolerância à seca, apresentando elevada produtividade mesmo com baixa irrigação (Parameshwarappa e Salimath, 2008; Khamssi *et al*., 2011; Shende *et al*., 2020), abrindo a possibilidade de selecionar genótipos mais resilientes a esta condição ambiental de modo a apoiar programas de melhoramento genético. Adicionalmente, a recuperação de variedades tradicionais pouco exploradas poderá contribuir ainda para a preservação da biodiversidade e promoção da sustentabilidade dos sistemas agroecológicos, oferecendo maior variabilidade genética e de resiliência a condições ambientais adversas. Face ao exposto, torna-se imperativa a diversificação dos sistemas agronómicos com genótipos tradicionais produtivos e nutritivos capazes de resistir às alterações climáticas. No entanto, a escassez de dados acerca da diversidade nutricional de variedades tradicionais de grão-de-bico (como, por exemplo, o grão-de-bico preto) e da sua resiliência a condições de stress hídrico são fatores determinantes que, por enquanto, limitam a valorização desta leguminosa.

1.3.2. Impacto morfofisiológico e nutricional

O stress hídrico afeta vários estágios de crescimento do grão-de-bico, incluindo a germinação e o seu rendimento final (Yücel *et al*., 2010; Azimi *et al*., 2015). Adicionalmente, a seca terminal e o stress térmico na fase de floração e no desenvolvimento das sementes, pode reduzir a produção de 40 a 45% (Rani *et al*., 2019). De facto, diversos genótipos de grão-de-bico, cultivados sob condição de stresse hídrico, demostraram menor desenvolvimento de partes reprodutivas ou abortamento de suas flores, vagens e redução do tamanho das sementes em genótipos sensíveis a seca (Pang *et al*., 2017). O aprovisionamento mineral também é afetado quando a planta é submetida a stresse hídrico, fazendo com que a planta invista nos seus recursos metabólicos no seu reequilíbrio iónico e nutricional através de ajustes osmóticos (Zhang

et al., 1999; Iannucci *et al*., 2002). De facto, o perfil mineral das leguminosas é frequentemente afetado de forma negativa por condições de baixa disponibilidade hídrica devido a limitações na absorção de iões pelas raízes e ao maior gasto energético necessário para que a planta consiga mitigar os efeitos da escassez de água (Khatun *et al*., 2021). Não obstante, a utilização de irrigação nos diferentes estágios fisiológicos de crescimento, nomeadamente na fase de floração e enchimento de vagens, pode melhorar as propriedades nutricionais do grão-de-bico, incluindo o seu teor em proteína, amido, óleo e aminoácidos (Varol *et al*., 2020). A irrigação antes da floração parece favorecer o seu nível de proteína (29,52%), enquanto que a irrigação no início da floração promove o nível de amido (36%) (Varol *et al*., 2020). Assim, os episódios de secas mais frequentes previstos para o futuro poderão afetar a disponibilidade nutricional do grão-de-bico, mas uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos no solo poderá minimizar estes efeitos adversos. São, então, necessárias estratégias que visem a produção de alimentos nutritivos em cenários de alterações climáticas, que deverão incluir esforços de melhoramento de culturas focados na identificação de genótipos enriquecidos em nutrientes essenciais e promotores da saúde em condições ambientais adversas (Dias e Correia, 2020).

2. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo principal valorizar a cultura do grão-de-bico, e promover a nutrição humana num contexto de alterações climáticas, nomeadamente no que diz respeito à redução da disponibilidade hídrica. Através da análise do impacto de diferentes disponibilidades de água no desenvolvimento, crescimento e perfil nutricionais de dois genótipos de *C. arietinum*, os objetivos específicos deste trabalho foram:

1. Comparar parâmetros morfológicos e de crescimento das plantas de grão-de-bico kabuli e desi;
2. Comparar parâmetros nutricionais, nomeadamente a concentração de minerais, dos grãos kabuli e desi;
3. Avaliar o impacto de diferentes disponibilidades hídricas nos parâmetros morfológicos e de crescimento das plantas de grão-de-bico kabuli e desi; e
4. Avaliar o impacto de diferentes disponibilidades hídricas nos parâmetros nutricionais, nomeadamente a concentração de minerais, dos grãos kabuli e desi.

3. Material e métodos

3.1. Origem do material genético

O trabalho foi realizado no Centro de Biotecnologia e Química Fina – Laboratório Associado, Universidade Católica Portuguesa (Porto, Portugal). Neste trabalho foram utilizadas sementes de dois genótipos de grão-de-bico (*C. arietinum*): um genótipo comercial a nível europeu, o grão-de-bico kabuli (branco), fornecida pela Lusosem – Produtos Para Agricultura (Algés, Portugal), e um genótipo tradicional, pouco explorado na europa, o grão-de-bico desi (preto), fornecido pelo produtor e técnico agrícola Luís Batista (B-choice, Loures, Portugal) (Figura 6).

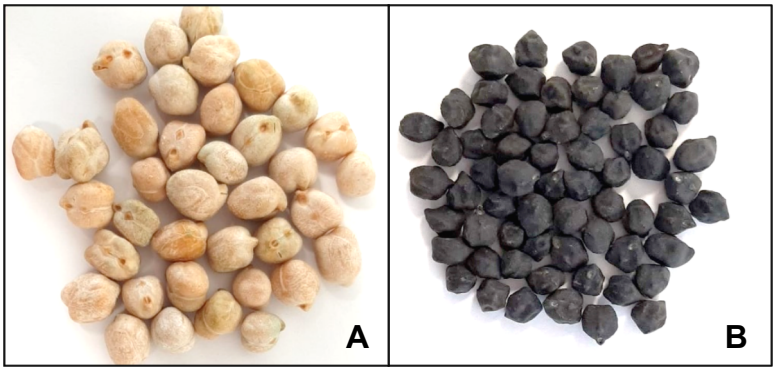


Figura 6. Aspeto geral do grão-de-bico utilizado neste trabalho. (A) Grão-de-bico kabuli (branco) e (B) Grão-de-bico desi (preto).

3.2. Germinação e manutenção da cultura

Os dois genótipos de grão-de-bico, kabuli e desi, foram germinados em sementeira, após 12 dias, as plântulas foram transplantadas para vaso, com composto universal (COMPO SANA, Compo Group, Alemanha) e perlite (SIRO, Portugal), na proporção 2:1 (v:v). As plantas foram cultivadas em ambiente controlado numa câmara de fitoclima (Fitoclima 5000EH, Aralab, Rio de Mouro, Portugal) com um fotoperíodo de 16h de luz e uma intensidade luminosa de 200 µmol/s/m^2 (Figura 7). As temperaturas foram ajustadas para 22°C durante o período de luz e para 20°C durante o período escuro, e a humidade relativa foi mantida a 65%.

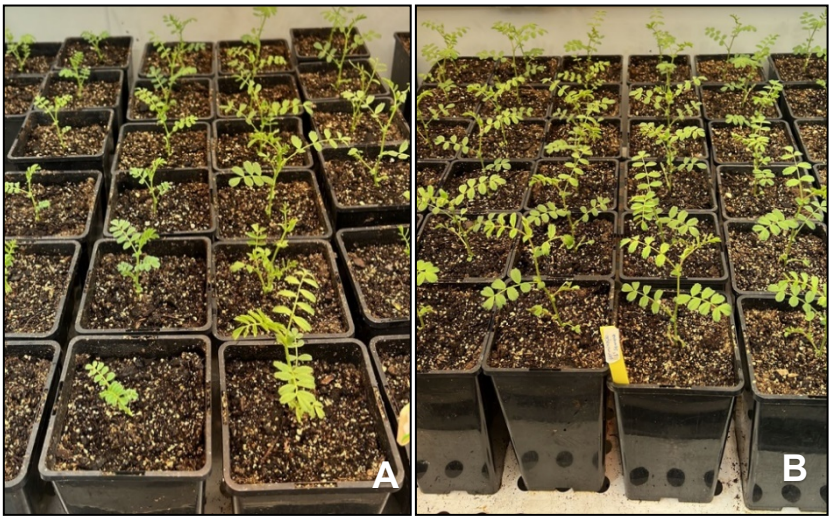


Figura 7. Plantas após transplantação, instaladas numa câmara de fitoclima. (A) Grão-de-bico kabuli (branco) e (B) Grão-de-bico desi (preto).

Para cada genótipo, foram crescidas 60 plantas, submetidas a quatro tratamentos de disponibilidade hídrica (n=15). Para a aplicação das diferentes disponibilidades de água, os vasos foram pesados, e o volume de água ajustado semanalmente, correspondendo a:

- 90% da capacidade de campo - disponibilidade hídrica elevada (E),
- 75% da capacidade de campo - disponibilidade hídrica média-elevada (ME),
- 50% da capacidade de campo - disponibilidade hídrica média-baixa (MB), e
- 25% da capacidade de campo - disponibilidade hídrica baixa (B).

A aplicação das diferentes disponibilidades de água iniciou-se 15 dias após a transplantação das plantas, e manteve-se até à maturação do grão (105 dias após transplantação).

3.3. Amostragem e avaliação morfológica das plantas

No dia de amostragem (112 dias após a transplantação), as plantas foram cuidadosamente retiradas do solo, lavadas, e separadas em: raiz, parte aérea e vagens. A altura da parte aérea e comprimento da raiz foram registados com recurso a uma régua, e o seu peso fresco foi avaliado numa balança digital. As amostras foram colocadas separadamente em sacos de papel e deixadas a secar em estufa por 72 h a 70°C. Após este período, o peso seco da raiz, parte aérea e vagens foi registado numa

balança digital, e as sementes retiradas das vagens e contabilizadas. Os grãos foram triturados num moinho de café para análise do seu perfil mineral.

3.4. Determinação do conteúdo de água e razão raiz/parte aérea

O conteúdo de água nas raízes e parte aérea foi calculado através da seguinte equação (Jin *et al*., 2017):

$$Conteúdo\ de\ água\ (\%) = \frac{Peso\ fresco - Peso\ seco}{Peso\ seco} \times 100$$

A razão raiz/parte aérea, foi calculada através do rácio entre o peso seco da raiz e o peso seco da parte aérea (Xu *et al*., 2015)

3.5. Determinação do perfil nutricional do grão

A composição mineral das amostras foi avaliada por espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). Quinhentos miligramas de cada amostra de grão foram misturados com 10 mL de ácido nítrico 65% em recipientes de reação de Teflon, aquecidos num sistema de micro-ondas (Microwave Digestion System MARS 5, CEM Corporation, EUA), de acordo com as instruções do fabricante. Após a digestão, as soluções resultantes foram diluídas com água ultrapura até um volume final de amostra de 50 mL, e a determinação da concentração de potássio (K), fósforo (P), magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), e boro (B) foi realizada usando o ICP-OES Optima 7000 DV (PerkinElmer, EUA).

3.6. Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi levada a cabo com recurso ao software GraphPad Prism v 9.0 (Dotmatics, Reino Unido). As diferenças estatísticas entre amostras foram determinadas através da análise de variância (ANOVA) corrigida para comparações múltiplas pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

4. Resultados e discussão

4.1. Parâmetros morfológicos das plantas

A água é necessária para a divisão e expansão celular e para a manutenção da sua turgescência, estabelecida ao longo do sistema solo-planta-atmosfera, onde a condição hídrica da cultura depende fortemente desta interação recíproca. Com a redução da disponibilidade da água no solo ocorre o aumento da força de retenção tornando-se mais difícil a absorção de água pela planta e gerando respostas fisiológicas que afetam o crescimento vegetativo, a divisão celular, a fotossíntese e a produtividade (Santo e Carlesso, 1998, Taiz *et al*., 2015).

Neste trabalho, com a diminuição da disponibilidade de água, observou-se uma diminuição dos pesos frescos e secos, quer das raízes quer das partes aéreas, tanto de kabuli como desi (Figura 8).

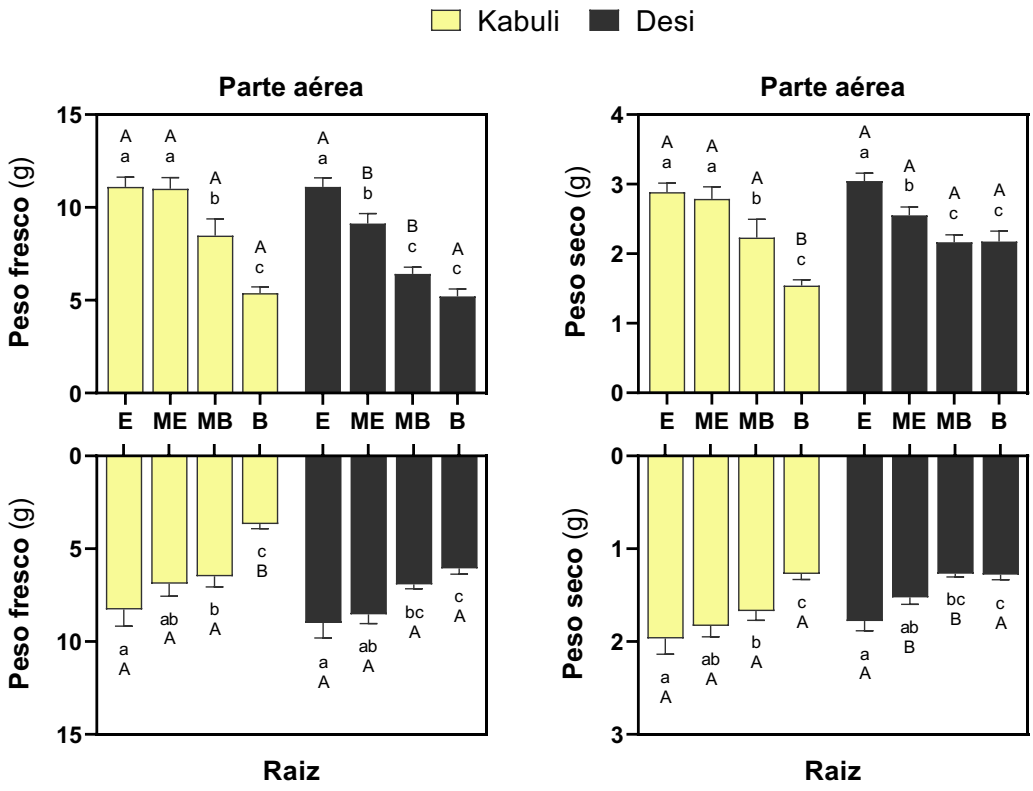


Figura 8. Pesos frescos e secos da parte aérea e raiz de plantas *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). Cada valor representa a média ± erro padrão, e letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes a $p < 0.05$. Letras maiúsculas representam comparações entre genótipos dentro da mesma disponibilidade hídrica, enquanto que letras minúsculas representam comparações entre as diferentes disponibilidades de água dentro de cada genótipo.

Em kabuli, comparando com a disponibilidade hídrica elevada, a baixa disponibilidade hídrica levou a uma diminuição dos pesos frescos e secos da raiz (56% e 35%, respetivamente) e parte aérea (52% e 47%, respetivamente). Nas plantas desi, a baixa disponibilidade hídrica teve geralmente um impacto menos drástico, levando a uma diminuição de 33% e 53% dos pesos frescos da raiz e parte aérea, respetivamente, e de 28% e 29% dos pesos secos da raiz e parte aérea, respetivamente. Assim, o peso fresco das raízes e peso seco da parte aérea das plantas desi crescidas a baixa disponibilidade hídrica foram 65% e 41% superiores do que na kabuli, o que poderá indicar um grau de resiliência mais elevado das plantas desi. Estudos similares com alfavaca-do-campo (*Satureja hortensis* L.), mostraram de igual forma que o défice hídrico no solo leva a uma diminuição dos pesos fresco e seco da planta (Baher *et al*., 2002). Nas plantas que crescem com baixa disponibilidade hídrica, o crescimento das raízes é normalmente retardado, devido à ausência de transpiração pelo fecho dos estomas, por forma a impedir a perda de água da planta (Steudle, 2000). Nestas condições, barreiras apoplásticas bloqueiam o transporte de água e solutos para a planta, levando, assim, a uma menor acumulação de biomassa (Cambell e Reece, 2002).

Nas plantas kabuli mantidas com baixa disponibilidade hídrica observou-se uma diminuição de até 14% no conteúdo de água da raiz e um aumento de até 16% no seu comprimento (Figura 9). O crescimento radicular de kabuli a baixa disponibilidade de água representa uma estratégia de mitigação contra a falta de água frequentemente observada ainda no início do ciclo de desenvolvimento em plantas em stress hídrico (Kramer, 1963), na qual as plantas desenvolvem uma raiz mais fina e comprida na tentativa de captar mais água do solo (Hoogenbomm *et al*.,1987). De facto, sob deficiência hídrica, o crescimento da parte aérea é frequentemente inibido enquanto o crescimento das raízes é favorecido (Hsiao e Xu, 2000). Pelo contrário, nas plantas desi mantidas com baixa disponibilidade hídrica houve uma redução de até 20% do conteúdo de água da parte aérea, comparativamente com a disponibilidade hídrica mais elevada (Figura 2). Tal poderá dever-se a uma redução do crescimento celular provocado pelo decréscimo da turgescência das células e da perda de extensibilidade das paredes e de proteínas envolvidas nos processos de osmorregulação. Este fenómeno resulta não só na perda de água nos tecidos, mas também uma redução do crescimento e alteração da geometria da folhagem (Boyer, 1988). Assim, as plantas kabuli e desi parecem ter estratégias distintas relativas ao seu crescimento e alocação de biomassa quando crescidas a baixas disponibilidades de água.

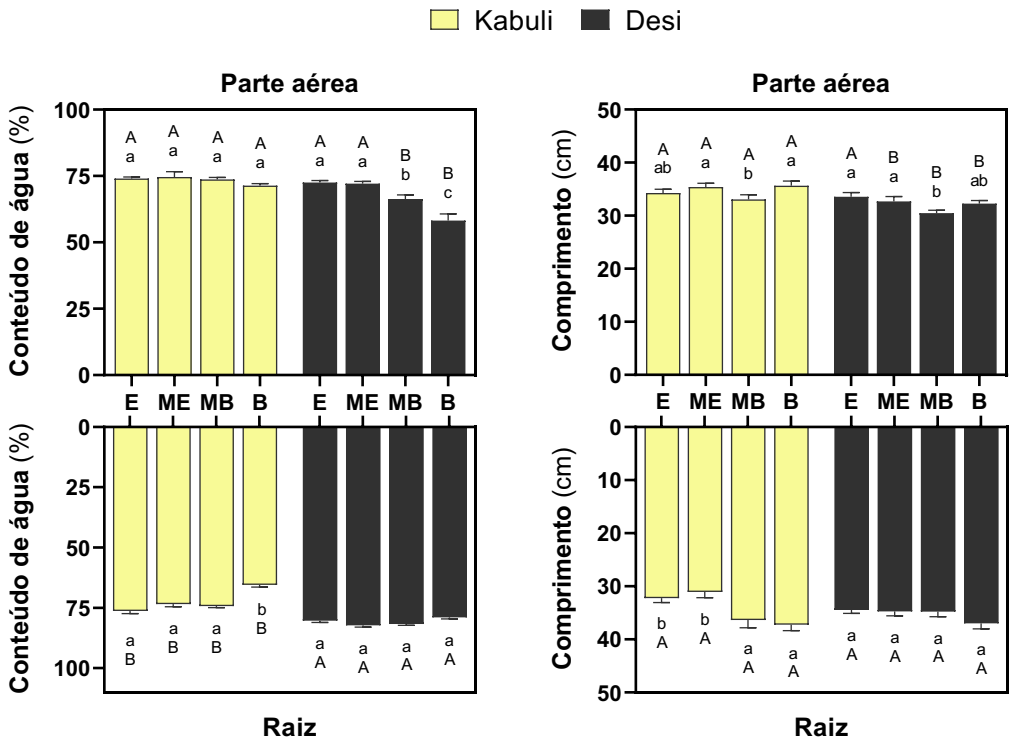


Figura 9. Conteúdo de água e comprimento da parte aérea e raiz de plantas *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). Cada valor representa a média ± erro padrão, e letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes a $p < 0.05$. Letras maiúsculas representam comparações entre genótipos dentro da mesma disponibilidade hídrica, enquanto que letras minúsculas representam comparações entre as diferentes disponibilidades de água dentro de cada genótipo.

De facto, em kabuli parece haver uma maior alocação de biomassa para as raízes em detrimento da parte aérea, resultando em valores superiores da razão raiz/parte aérea nestas plantas (Figura 10). Em condições stress hídrico, a planta sofre reações bioquímicas geradas nas raízes que aumentam a concentração de ácido abscísico (ABA) no xilema, responsável por regular o fecho dos estomas (Davies e Zhang, 1991). O ABA regula ainda as características morfofisiológicas das plantas, podendo influenciar de forma direta a razão raiz/parte aérea na resposta da planta ao stress hídrico (Lea *et al*., 1995). Em plantas de milho, a acumulação de ABA nas raízes reduz o desenvolvimento das folhas e promove o desenvolvimento do sistema radicular (Lea *et al*., 1995) como forma de promover a captação de água, particularmente durante o estágio reprodutivo das plantas (Purushothaman *et al*., 2016). Contrariamente, o

genótipo desi não apresentou diferenças significativa neste parâmetro entre os diferentes tratamentos, assim demonstrando que a baixa disponibilidade hídrica não afeta a distribuição de biomassa entre a raiz e a parte aérea neste genótipo.

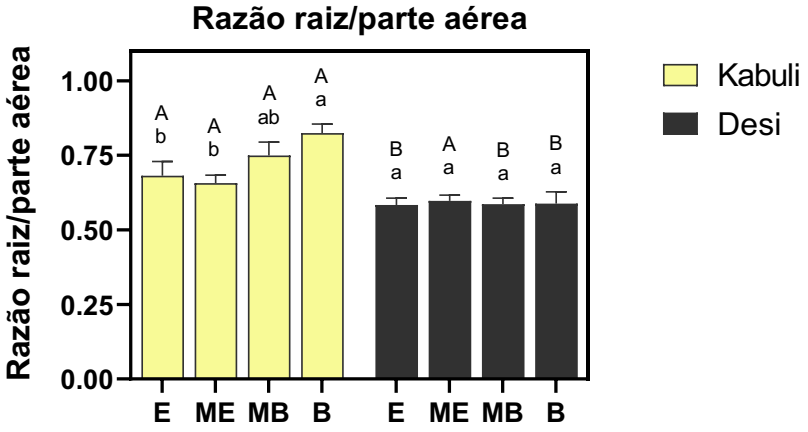


Figura 10. Razão raiz/parte aérea de plantas *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). Cada valor representa a média ± erro padrão, e letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes a $p < 0.05$. Letras maiúsculas representam comparações entre genótipos dentro da mesma disponibilidade hídrica, enquanto que letras minúsculas representam comparações entre as diferentes disponibilidades de água dentro de cada genótipo.

Para além de afetar a alocação de biomassa, a escassez de água conduz frequentemente a uma menor produtividade das culturas. Plantas de cevada (*Hordeum vulgare*) crescidas em estufa e submetidas a condições de baixa disponibilidade hídrica, demonstraram uma redução do rendimento, peso individual do grão, e número de perfilhos e espigas por planta (Samarah *et al*., 2005). Um estudo subsequente com cinco variedades de grão-de-bico, revelou, de forma semelhante, uma redução geral na produção de grão e biomassa em condições de sequeiro, que aumentaram significativamente com o aumento da disponibilidade hídrica, obtendo o maior rendimento com 100% das necessidades de rega (Silva *et al*., 2011). Concordantemente, neste trabalho, o número de vagens e sementes por planta foram negativamente afetados pela diminuição da disponibilidade hídrica (Figura 11).

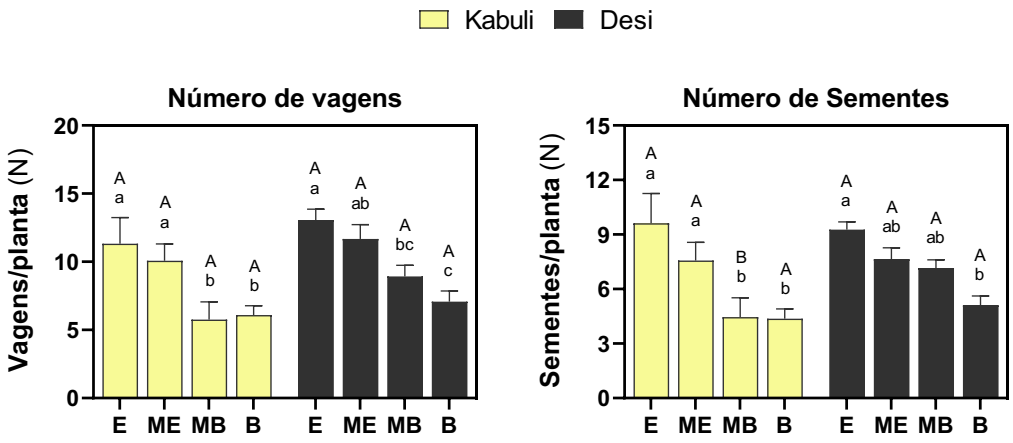


Figura 11. Número de vagens e sementes por planta de *Cicer arietinum* do tipo kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). Cada valor representa a média ± erro padrão, e letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes a $p < 0.05$. Letras maiúsculas representam comparações entre genótipos dentro da mesma disponibilidade hídrica, enquanto que letras minúsculas representam comparações entre as diferentes disponibilidades de água dentro de cada genótipo.

A baixa disponibilidade hídrica observou-se uma diminuição no número de vagens em kabuli (55%) e desi (45%), e de 46% no número de sementes em ambos os genótipos. Não obstante, com uma disponibilidade hídrica moderada-baixa, as plantas desi produziram mais 55% de sementes/planta do que as kabuli, corroborando a maior resiliência das plantas desi a disponibilidades de água limitantes para as kabuli. De facto, a produtividade de sementes por planta (i.e., produtividade individual) foi negativamente afetada pela diminuição da disponibilidade hídrica em kabuli (em cerca de 42%), mas não em desi (Figura 12). Quando crescidas com disponibilidade de água elevada e médio-elevada, as plantas do genótipo kabuli apresentaram produtividade individual ate 36% superior do que desi, mas a disponibilidades hídricas médias-baixas e baixas, o mesmo não foi verificado. Tal pode ser explicado pela diferença de biomassa das sementes, uma vez que as sementes kabuli possuem naturalmente maior diâmetro do que as desi. Não obstante, por não apresentar alterações significativas no peso de sementes por planta sob as diferentes disponibilidades de água, o género desi poderá apresentar melhor indicador de produtividade em condições de escassez de água. Um estudo recente com genótipos de grão-de-bico distintos demonstrou que, para além da biomassa, também o rendimento por planta foi afetado negativamente (até 33%) pela falta de água comparativamente com plantas irrigadas (Mukherjee *et al*., 2022). Assim, o género Cicer parece demonstrar variabilidade genética suficiente para suportar

programas de melhoramento vegetal que visem a produção de sementes de maior dimensão ou em maior número como uma estratégia para aumentar produção individual e a produtividade global da cultura mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica.

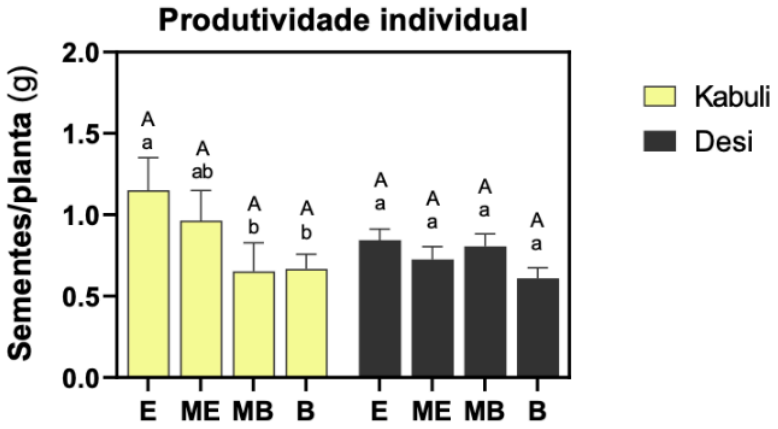


Figura 12. Número de sementes por planta (produtividade individual) de *Cicer arietinum* do tipo kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). Cada valor representa a média ± erro padrão, e letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes a $p < 0.05$. Letras maiúsculas representam comparações entre genótipos dentro da mesma disponibilidade hídrica, enquanto que letras minúsculas representam comparações entre as diferentes disponibilidades de água dentro de cada genótipo.

4.2. Perfil mineral do grão

Em termos de alimentação, o grão-de-bico preto possui alto teor de proteína, baixo teor de gordura e é rico principalmente em Ca, Fe e Zn, sendo uma importante fonte de nutrientes e minerais, principalmente nos países em desenvolvimento (Toğay *et al*., 2019). Desta forma, a valorização desta leguminosa em programas de nutrição humana é muito importante para assegurar a segurança alimentar e fomentar a alimentação saudável. No entanto, são frequentemente verificadas perdas significativas de rendimento e flutuação negativa na acumulação de nutrientes no grão-de-bico devido a condições climáticas adversas, tais como a seca severa (Samineni *et. al*, 2022). Assim, é imperativo que a compreensão do impacto da disponibilidade hídrica se estenda para além da produtividade, e inclua parâmetros nutricionais importantes, tais como o perfil mineral dos grãos.

De uma forma geral, neste trabalho a diminuição da disponibilidade hídrica influenciou de forma negativa a acumulação de K, P, Ca e Mg nos grãos kabuli e desi (Figura 13). No entanto, a concentração destes minerais foi mais afetada sob condições de baixa disponibilidade hídrica em kabuli do que em desi, comparativamente com as plantas crescidas com elevada disponibilidade hídrica. Nas kabuli e desi crescidas com baixa disponibilidade hídrica, a concentração de K diminuiu 29 e 27%, a de P diminuiu 53 e 21%, a de Ca 61 e 28% e a de Mg 45 e 26%, respetivamente, quando comparado com a elevada disponibilidade. Não obstante, os grãos desi apresentaram concentrações mais elevadas de P em relação aos grãos kabuli para as disponibilidades de água média-alta, média-baixa e baixa (de 59 a 110%) e de Mg para a disponibilidade hídrica baixa (61%).

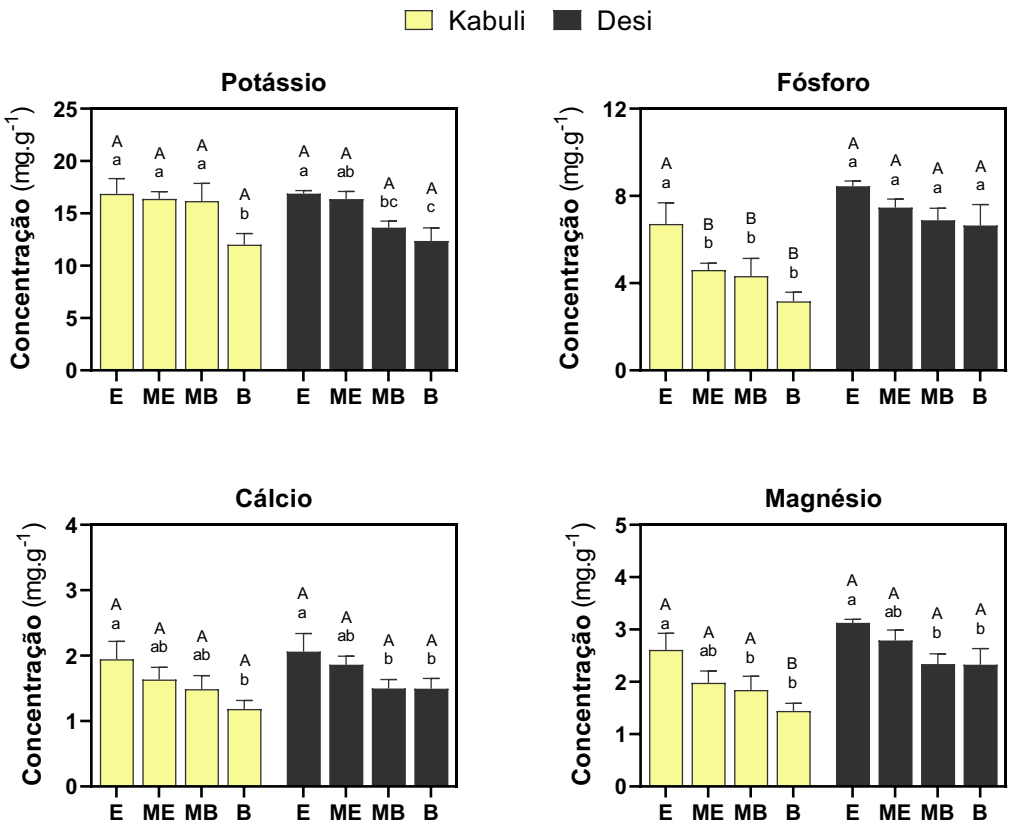


Figura 13. Concentração de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) em grãos de *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). Cada valor representa a média ± erro padrão, e letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes a $p < 0.05$. Letras maiúsculas representam comparações entre genótipos dentro da mesma disponibilidade hídrica, enquanto que letras minúsculas representam comparações entre as diferentes disponibilidades de água dentro de cada genótipo.

Também as concentrações de Fe e Mn foram afetadas de forma negativa em kabuli e em desi com a diminuição da disponibilidade hídrica, enquanto as concentrações de Zn e B diminuíram apenas nos grãos kabuli (Figura 14). Comparativamente com a disponibilidade hídrica elevada, as baixas disponibilidades levaram a uma diminuição na concentração de Zn (38%), Fe (40%), Mn (57%) e B (39%) nos grãos kabuli. Nos grãos desi, a baixa disponibilidade hídrica diminuiu as concentrações de Fe (22%) e Mn (29%), em comparação com a elevada disponibilidade hídrica. Mais importante, as concentrações de Zn (135%) e Fe (82%) foram consistentemente maiores em desi do que em kabuli, independentemente do nível de disponibilidade hídrica. A baixa disponibilidade hídrica, as concentrações de Mn (59%) e B (85%) foram também mais elevadas em desi do que em kabuli.

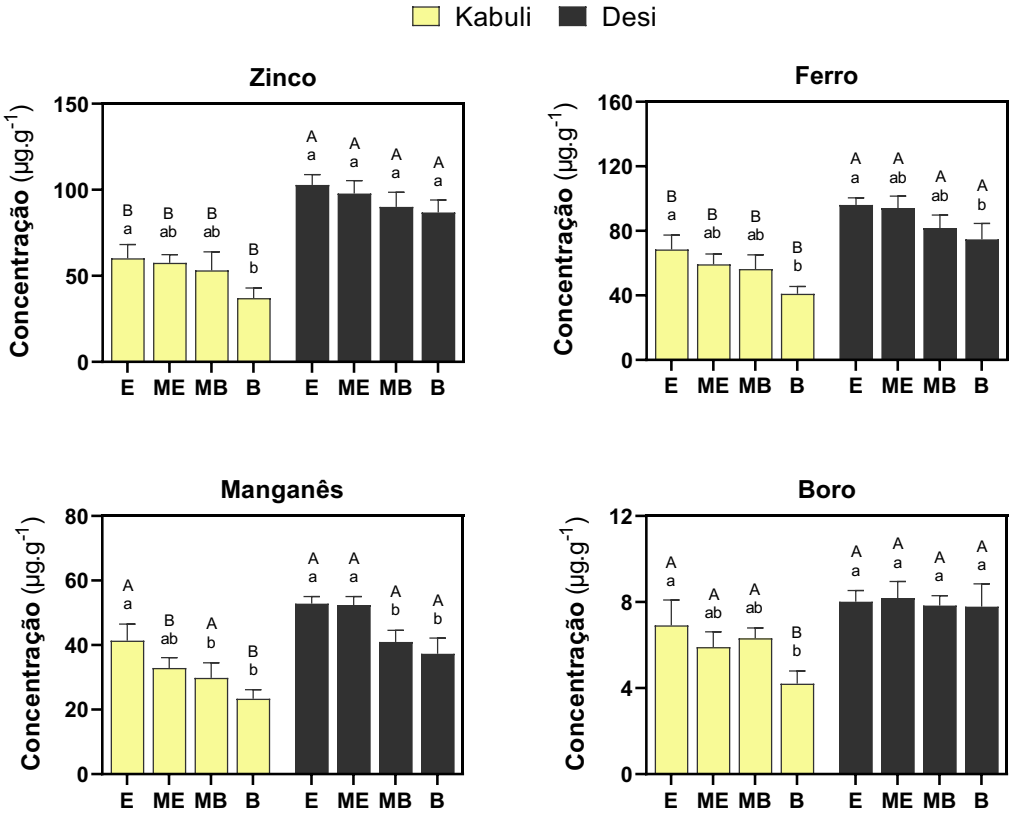


Figura 14. Concentração de zinco, ferro, manganês e boro em grãos de plantas *Cicer arietinum* tipos kabuli e desi crescidas até à maturação do grão a diferentes disponibilidades de água: disponibilidade hídrica elevada (E), disponibilidade hídrica média-elevada (ME), disponibilidade hídrica média-baixa (MB) e disponibilidade hídrica baixa (B). Cada valor representa a média ± erro padrão, e letras diferentes indicam médias estatisticamente diferentes a $p < 0.05$. Letras maiúsculas representam comparações entre genótipos dentro da mesma disponibilidade hídrica, enquanto que letras minúsculas representam comparações entre as diferentes disponibilidades de água dentro de cada genótipo.

Um estudo recente que avaliou nutricionalmente 140 genótipos diferentes de grão-de-bico sob condições de seca, demonstrou um aumento de Fe (6%) e Zn (10%) no grão, em comparação a condições sob irrigação (Samineni *et al*., 2022), corroborando os resultados deste trabalho que reportam um enriquecimento mineral dos grãos desi em condições de baixa disponibilidade de água. O grão-de-bico, que é cultivado numa ampla gama de ambientes, é considerado uma das leguminosas alimentares mais tolerantes à seca, desempenhando um papel importante dentro da agricultura sustentável, principalmente nas áreas tradicionalmente semiáridas (Pacucci *et al*., 2006). Uma vez que os recursos hídricos continuam a diminuir a cada ano a uma escala global, encontrando-se em estado crítico em Portugal, estes resultados demonstram que em ambientes de baixa pluviosidade e com escassez de água é possível obter bons rendimentos de sementes escolhendo as cultivares mais adequadas a serem cultivadas (Pacucci *et al*., 2006). Assim, um investimento suficiente em atividades de investigação e desenvolvimento poderá suportar o melhoramento genético da cultura do grão-de-bico através da valorização de genótipos mais resilientes à baixa disponibilidade hídrica, tais como os genótipos desi.

5. Conclusão

As leguminosas representam um importante recurso nutricional e ambiental, pois constituem uma importante fonte de nutrientes essenciais, contribuindo para a manutenção da qualidade do solo e a sustentabilidade dos sistemas agroecológicos. O grão-de-bico ganha destaque por ser a terceira leguminosa mais consumida a nível mundial, tendo ainda a particularidade de ser uma cultura frequentemente utilizada em sistemas de sequeiro. Contudo, apesar da sua resiliência intrínseca a baixos níveis de disponibilidade hídrica, quando submetida a condições de seca esta cultura pode apresentar uma redução da produtividade. Não obstante, alguns genótipos de grão-de-bico podem apresentar maior tolerância à seca, tendo potencial para suportar programas de melhoramento desta cultura. Adicionalmente, ainda pouco se sabe sobre o impacto de baixos níveis de disponibilidade hídrica na qualidade nutricional desta cultura. Assim, este estudo avaliou o crescimento e produtividade de um genótipo comercial de grão-de-bico branco e uma variedade tradicional pouco explorada de grão-de-bico preto sob condições de disponibilidade hídrica distintas. Foi possível gerar dados inovadores sobre o impacto da baixa disponibilidade de água no desenvolvimento das plantas e no perfil mineral dos grãos. Neste trabalho verificou-se que, com a diminuição acentuada da disponibilidade hídrica, o grão-de-bico apresenta menores valores de biomassa (pesos frescos e secos da raiz e parte aérea), particularmente o genótipo kabuli, que se refletiu num aumento da razão raiz/parte aérea neste genótipo. O grão-de-bico kabuli pareceu demonstrar um grau de stress mais elevado, apresentando raízes mais alongadas e com menor teor de água a baixas disponibilidades hídricas, comparativamente com desi. Também o número de vagens e sementes por planta diminuíram com a diminuição da disponibilidade hídrica, mas o grão-de-bico desi foi capaz de produzir mais sementes por planta do que kabuli a disponibilidades de água médias-baixas, oferecendo uma vantagem adaptativa em zonas de cultivo moderadamente afetadas pela seca. O perfil mineral o grão-de-bico kabuli foi também geralmente afetado de forma negativa pela baixa disponibilidade hídrica, revelando que a escassez deste recurso poderá levar a uma perda das concentrações de K, P, Ca, Mg, Zn, Fe e B. O grão-de-bico desi parece ter uma maior resiliência mineral à baixa disponibilidade hídrica, apresentando maiores concentrações de P, Mg, Zn, Fe, Mn e B comparativamente com kabuli. Assim, a adoção de sistemas

agronómicos que incluam o grão desi em detrimento de kabuli poderão assegurar uma melhor disponibilidade mineral para fins nutricionais nos cenários de falta de água mais frequentes previstos para o futuro. No entanto, os mecanismos fisiológicos de resiliência ao stress hídrico precisam ainda de ser mais explorados, nomeadamente no que respeita à identificação das vias metabólicas e genéticas responsáveis pelas diferenças morfológicas e minerais observadas entre estes dois genótipos. Adicionalmente, será importante avaliar como outros macronutrientes de elevada importância para a alimentação humana e animal, como a proteína, os hidratos de carbono e a fibra, são afetados pela baixa disponibilidade hídrica. Mais ainda, seria extremamente relevante avaliar a interação entre a temperatura e a seca, uma vez que a combinação de temperaturas elevadas e chuvas reduzidas, previstas ocorrer de forma cada vez mais frequente, aumentam a evaporação e diminuem a humidade do solo, provavelmente agravando os efeitos morfológicos e minerais observados no presente estudo.

Referências bibliográficas

Abbo, S., Berger, J., & Turner, N. C. (2003b). Evolution of cultivated chickpea: four bottlenecks limit diversity and constrain adaptation. *Functional Plant Biology*, *30*(10), 1081-1087.

Abbo, S., Shtienberg, D., Lichtenzveig, J., Lev-Yadun, S., & Gopher, A. (2003a). The chickpea, summer cropping, and a new model for pulse domestication in the ancient Near East. *The Quarterly Review of Biology*, *78*(4), 435-448.

Agarwal, G., Jhanwar, S., Priya, P., Singh, V. K., Saxena, M. S., Parida, S. K., ... & Jain, M. (2012). Comparative analysis of kabuli chickpea transcriptome with desi and wild chickpea provides a rich resource for development of functional markers. *PloS one*, *7*(12), e52443.

Agropedia (2010) Botanical description of chickpea, http://agropedia.iitk.ac.in/content/botanical-description-chickpea (2022)

Ahlawat, I. P. S., Ali, M., & Shivkumar, B. G. (2003). Cropping systems research in chickpea. *Chickpea Research in India. India Institute of Pulse Research*.

Ali, S., & Kim, W. C. (2018). Plant growth promotion under water: decrease of waterlogging-induced ACC and ethylene levels by ACC deaminase-producing bacteria. *Frontiers in microbiology*, *9*, 1096.

Azimi, S. M., Kor, N. M., Ahmadi, M., Shaaban, M., Motlagh, Z. R., & Shamsizadeh, M. (2015). Investigation of growth analysis in chickpea (Cicer arietinum L.) cultivars under drought stress. *International Journal of Life Sciences*, *9*(5), 91-94.

Baher, Z. F., Mirza, M., Ghorbanli, M., & Bagher Rezaii, M. (2002). The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in Satureja hortensis L. *Flavour and Fragrance Journal*, *17*(4), 275-277.

Bezvershenko, A., disponível em: https://pt.dreamstime.com/bezvershenko_info. Acesso em: 25/10/2022.

Bharti, N., & Barnawal, D. (2019). Amelioration of salinity stress by PGPR: ACC deaminase and ROS scavenging enzymes activity. In *PGPR amelioration in sustainable agriculture* (pp. 85-106). Woodhead Publishing.

Bourgault, M., Webber, H. A., Chenu, K., O'Leary, G. J., Gaiser, T., Siebert, S., ... & Ewert, F. (2020). Early vigour in wheat: Could it lead to more severe terminal drought stress under elevated atmospheric [CO2] and semi-arid conditions?. *Global Change Biology*, *26*(7), 4079-4093.

Boyer, J. (1970a). Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. *Plant physiology*, *46*(2), 233-235.

Boyer, J. S. (1988). Cell enlargement and growth-induced water potentials. *Physiologia Plantarum*, *73*(2), 311-316.

Calles, T., Del Castello, R., Baratelli, M., Xipsiti, M., & Navarro, D. K. (2019). International Year of Pulses.

Cambell, N.A., Reece, J.B. (2002). Biology. California: Benjamin Cummings. 753-754.

Chang, L., Lan, Y., Bandillo, N., Ohm, J. B., Chen, B., & Rao, J. (2022). Plant proteins from green pea and chickpea: Extraction, fractionation, structural characterization and functional properties. *Food Hydrocolloids*, *123*, 107165.

Cheruiyot, E. K., Mumera, L. M., Nakhone, L. N., & Mwonga, S. M. (2003). Effect of legume-managed fallow on weeds and soil nitrogen in following maize (Zea mays L.) and wheat (Triticum aestivum L.) crops in the Rift Valley highlands of Kenya. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, *43*(6), 597-604.

Chowdhury, J. A., Karim, M. A., Khaliq, Q. A., Ahmed, A. U., & Khan, M. S. A. (2016). Effect of drought stress on gas exchange characteristics of four soybean genotypes. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, *41*(2), 195-205.

Croser, J. S., Ahmad, F., Clarke, H. J., & Siddique, K. H. M. (2003). Utilisation of wild Cicer in chickpea improvement—progress, constraints, and prospects. *Australian Journal of Agricultural Research*, *54*(5), 429-444.

Daryanto, S., Wang, L., & Jacinthe, P. A. (2015). Global synthesis of drought effects on food legume production. *PloS one*, *10*(6), e0127401.

Davies, W. J., & Zhang, J. (1991). Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual review of plant biology*, *42*(1), 55-76.

Dias F, Correia C (2020) O uso da água em Portugal –– olhar, compreender e actuar com os protagonistas chave. In, Vol 2022, Fundação Calouste Gulbenkian e Return On Ideas.

Fang, X., Turner, N. C., Yan, G., Li, F., & Siddique, K. H. (2010). Flower numbers, pod production, pollen viability, and pistil function are reduced and flower and pod abortion increased in chickpea (Cicer arietinum L.) under terminal drought. *Journal of experimental botany*, *61*(2), 335-345.

Farooq, M., Gogoi, N., Barthakur, S., Baroowa, B., Bharadwaj, N., Alghamdi, S. S., & Siddique, K. H. (2017). Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *203*(2), 81-102.

Ferreira, A. C. P., Brazaca, S. G. C., & Arthur, V. (2006). Nutritional and chemical alteration of raw, irradiated and cooked chickpea (Cicer arietinum L.). *Food Science and Technology*, *26*, 80-88.

Ferreira, H., Vasconcelos, M., Gil, A. M., & Pinto, E. (2021). Benefits of pulse consumption on metabolism and health: A systematic review of randomized controlled trials. *Critical reviews in food science and nutrition*, *61*(1), 85-96.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2017) Committee on Agriculture – Neglected and underutilized crops species. In Report No. COAG/2018/INF/7.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT) (2022).

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT) (2017).

Geraldo, R., Santos, C. S., Pinto, E., & Vasconcelos, M. W. (2022). Widening the perspectives for legume consumption: the case of bioactive non-nutrients. *Frontiers in Plant Science*, 56.

Heatherly, L. G. (1993). Drought stress and irrigation effects on germination of harvested soybean seed. *Crop Science*, *33*(4), 777-781.

Hernándo Bermejo, J.E. and León, J. (1994) Neglected crops: 1492 from a differ- ent perspective. *Plant Production and Protection,* Series No. 26. FAO, Rome, Italy, pp. 289–301.

Hoogenboom, G., Peterson, C. M., & Huck, M. G. (1987). Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress 1. *Agronomy Journal*, *79*(4), 697-614.

Hsiao, T. C., & Xu, L. K. (2000). Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of experimental botany*, *51*(350), 1595-1616.

Iannetta, P. P., Young, M., Bachinger, J., Bergkvist, G., Doltra, J., Lopez-Bellido, R. J., ... & Begg, G. S. (2016). A comparative nitrogen balance and productivity analysis of legume and non-legume supported cropping systems: the potential role of biological nitrogen fixation. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 1700.

Iannucci, A., Russo, M., Arena, L., Di Fonzo, N., & Martiniello, P. (2002). Water deficit effects on osmotic adjustment and solute accumulation in leaves of annual clovers. *European Journal of Agronomy*, *16*(2), 111-122.

Instituto Nacional de Estatística (INE) (2022) – Estatística Agrícola 2020.

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) (1984).

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) (1985). 378 p.

International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) (1987). Food Legume Improvement Program 264 p.

Jin, X., Shi, C., Yu, C. Y., Yamada, T., & Sacks, E. J. (2017). Determination of leaf water content by visible and near-infrared spectrometry and multivariate calibration in Miscanthus. *Frontiers in plant science*, *8*, 721.

Kaur, R., & Prasad, K. (2021). Nutritional characteristics and value-added products of Chickpea (Cicer arietinum)—A review. *Journal of Postharvest Technology*, *9*(2), 1-13.

Khamssi, N. N., Golezani, K. G., Najaphy, A., & Zehtab, S. (2011). Evaluation of grain filling rate, effective grain filling period and resistance indices under acclimation to gradual water deficit stress in chickpea cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(8), 1044-1049.

Knights, E. J., Açikgoz, N., Warkentin, T., Bejica, G., Yadav, S. S., Sandhu, J. S. (2007). Area, production and distribution. In: Yadav S. S., Redden, R.J., Chen, W., Sharma, B. (Eds.). Chickpea breeding and management. Wallingford: CABI.

Kramer, P. J. (1963). Water Stress and Plant Growth 1. *Agronomy Journal*, *55*(1), 31-35.

Ladizinsky, G. (1987). Pulse domestication before cultivation. *Economic Botany*, *41*(1), 60-65.

Magrini, M. B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M. H., ... & Walrand, S. (2016). Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics*, *126*, 152-162.

Malunga, L. N., Bar-El, S. D., Zinal, E., Berkovich, Z., Abbo, S., & Reifen, R. (2014). The potential use of chickpeas in development of infant follow-on formula. *Nutrition Journal*, *13*(1), 1-6.

Manara, W., & Ribeiro, N. D. (1992). CHICKPEA. *Ciência Rural*, *22*, 359-365.

Martínez Domínguez, B., Ibáñez Gómez, M., & Rincón León, F. (2002). Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *52*(3), 219-231.

Micheletto, S., Rodriguez-Uribe, L., Hernandez, R., Richins, R. D., Curry, J., & O'Connell, M. A. (2007). Comparative transcript profiling in roots of Phaseolus acutifolius and P. vulgaris under water deficit stress. *Plant Science*, *173*(5), 510-520.

Moreno, M. T., & Cubero, J. I. (1978). Variation in Cicer arietinum L. *Euphytica*, *27*(2), 465-485.

Mukherjee, S., Nandi, R., Kundu, A., Bandyopadhyay, P. K., Nalia, A., Ghatak, P., & Nath, R. (2022). Soil water stress and physiological responses of chickpea (Cicer arietinum L.) subject to tillage and irrigation management in lower Gangetic plain. *Agricultural Water Management*, *263*, 107443.

Nadeem, M., Li, J., Wang, M., Shah, L., Lu, S., Wang, X., & Ma, C. (2018). Unraveling field crops sensitivity to heat stress: Mechanisms, approaches, and future prospects. *Agronomy*, *8*(7), 128.

Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., & Qiu, L. (2019). Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International journal of molecular sciences*, *20*(10), 2541.

Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Wang, M., Ali, A., Cheng, A., ... & Ma, C. (2019). Grain legumes and fear of salt stress: Focus on mechanisms and management strategies. *International journal of molecular sciences*, *20*(4), 799.

Negrão, S., Schmöckel, S. M., & Tester, M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of botany*, *119*(1), 1-11.

Nisa, Z. U., Arif, A., Waheed, M. Q., Shah, T. M., Iqbal, A., Siddiqui, A. J., ... & Musharraf, S. G. (2020). A comparative metabolomic study on desi and kabuli chickpea (Cicer arietinum L.) genotypes under rainfed and irrigated field conditions. *Scientific reports*, *10*(1), 1-11.

Pande, S. K. H. M. S., Siddique, K. H. M., Kishore, G. K., Bayaa, B., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., ... & Crouch, J. H. (2005). Ascochyta blight of chickpea (Cicer arietinum L.): a review of biology, pathogenicity, and disease management. *Australian Journal of Agricultural Research*, *56*(4), 317-332.

Pang, J., Turner, N. C., Du, Y. L., Colmer, T. D., & Siddique, K. H. (2017). Pattern of water use and seed yield under terminal drought in chickpea genotypes. *Frontiers in plant science*, *8*, 1375.

Parameshwarappa, S. G., & Salimath, P. M. (2010). Field screening of chickpea genotypes for drought resistance. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, *21*(1).

Purushothaman, R., Krishnamurthy, L., Upadhyaya, H. D., Vadez, V., & Varshney, R. K. (2016). Genotypic variation in soil water use and root distribution and their implications for drought tolerance in chickpea. *Functional Plant Biology*, *44*(2), 235-252.

Pushpavalli, R., Zaman-Allah, M., Turner, N. C., Baddam, R., Rao, M. V., & Vadez, V. (2014). Higher flower and seed number leads to higher yield under water stress conditions imposed during reproduction in chickpea. *Functional Plant Biology*, *42*(2), 162-174.

Rani, A., Devi, P., Jha, U. C., Sharma, K. D., Siddique, K. H., & Nayyar, H. (2020). Developing climate-resilient chickpea involving physiological and molecular approaches with a focus on temperature and drought stresses. *Frontiers in plant science*, *10*, 1759.

Redden, R. J., & Berger, J. D. (2007). Chickpea breeding and management: history and origin of chickpea. *CAB International, Oxfordshire, UK*.

Reed, W., Cardona, W., Sithanantham, S. *et al*. (1987) Chickpea insect pests and their control. in: saxena, m.c., singh, k.b. The chickpea Oxon: CAB International U.K., cap 13, p. 283-316.

Rehman, Z. U., & Shah, W. H. (2005). Thermal heat processing effects on antinutrients, protein and starch digestibility of food legumes. *Food chemistry*, *91*(2), 327-331.

Roy, S., Liu, W., Nandety, R. S., Crook, A., Mysore, K. S., Pislariu, C. I., ... & Udvardi, M. K. (2020). Celebrating 20 years of genetic discoveries in legume nodulation and symbiotic nitrogen fixation. *The Plant Cell*, *32*(1), 15-41.

Ryan, J.G. (1997) A global perspective on pigeon- pea and chickpea sustainable production systems: present status and future potential. In: Asthana, A.N. and Ali, M. (eds) *Recent Advantages in Pulses Research*. Indian Society of Pulses Research and Development, IIPR, Kanpur, India, 1-31.

Saget, S., Costa, M., Barilli, E., de Vasconcelos, M. W., Santos, C. S., Styles, D., & Williams, M. (2020). Substituting wheat with chickpea flour in pasta production delivers more nutrition at a lower environmental cost. *Sustainable Production and Consumption*, *24*, 26-38.

Saleem, A. R., Brunetti, C., Khalid, A., Della Rocca, G., Raio, A., Emiliani, G., ... & Centritto, M. (2018). Drought response of Mucuna pruriens (L.) DC. inoculated with ACC deaminase and IAA producing rhizobacteria. *PLoS One*, *13*(2), e0191218.

Samarah, N. H. (2005). Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for sustainable development*, *25*(1), 145-149.

Samineni, S., Mahendrakar, M. D., Hotti, A., Chand, U., Rathore, A., & Gaur, P. M. (2022). Impact of heat and drought stresses on grain nutrient content in chickpea: Genome-wide marker-trait associations for protein, Fe and Zn. *Environmental and Experimental Botany*, *194*, 104688.

Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, *2*(1), 1-14.

Santos, R. F., & Carlesso, R. (1998). Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *2*, 287-294.

Shende, R. T., Sengar, R. S., Kumar, M., Gupta, S., Singh, G., & Singh, S. K. (2020). Evaluation of Yield and Yield Related Traits of Chickpea (Cicer arietinum L.) Genotypes under Water Stress Condition. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, *9*(12), 1960-1979.

Siddique, K. H. M., & O'Connell, L. (2000). Understanding growth stresses of cool season pulses. *Shared Solutions Cropping Manual, Australian Grain. Berekua, Brisbane*, 12-16.

Silva, L. L., Duarte, I., Simões, N., Lourenço, E., & Chaves, M. M. (2011). Eficiência de utilização da água pelo grão-de-bico (Cicer arietinum L.) regado em condições Mediterrânicas.

Singh, K. B. (1987). Chickpea breeding. In: Saxena, M.C. and Singh, K.B. (eds) *The Chickpea*. CAB International, Wallingford, UK, 127-162.

Singh, K. B., Malhotra, R. S., Halila, M. H., Knights, E. J., & Verma, M. M. (1993). Current status and future strategy in breeding chickpea for resistance to biotic and abiotic stresses. *Euphytica*, *73*(1), 137-149.

Singh, R. P. (1990). Status of chickpea in the world. *International Chickpea Newsletter*, *22*, 10-16.

Sinha, S. K. (1985). Morphological and physiological requirements of a productive plant of chickpea [Cicer arietinum]. In *International Workshop on Faba Beans, Kabuli, Chickpeas, and Lentils in the 1980's, Aleppo (Syria), 16-20 May 1983*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas.

Smithson, J. B. Thompson, J. A. and Summerfield, R. J. (1985). Chickpea (*Cicer arietinum* L.). In: Summerfield, R. J. and Roberts, E. H. (eds) *Grain Legume Crops*. Collins, London.

Steudle, E. (2000). Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of experimental botany*, *51*(350), 1531-1542.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development* (No. Ed. 6). Sinauer Associates Incorporated.

Ulemale, C. S., Mate, S. N., & Deshmukh, D. V. (2013). Physiological indices for drought tolerance in chickpea (Cicer arietinum L.). *World J. Agric. Sci*, *9*(2), 123-131.

Van der Maesen, L. J. G. (1972). A Monograph of the Genus, with Special Reference to the Chickpea (Cicer arietinum L.). *Its ecology and cultivation. Mededlingen Landbouw Hogeschool (Communication Agricultural University), Wageningen*.

Varol, I. S., Kardes, Y. M., Irik, H. A., Kirnak, H., & Kaplan, M. (2020). Supplementary irrigations at different physiological growth stages of chickpea (Cicer arietinum L.) change grain nutritional composition. *Food chemistry*, *303*, 125402.

Williams, P. C., Singh, U. (1987). Nutritional quality and the evaluation of quality in breeding programme. In Chickpea CAB International, Wallingford Oxon UK

World Resources Institute (WRI) (2015), disponível em: https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040. Acesso em: 29/10/2022.

Xu, J., Yuan, Y., Xu, Y., Zhang, G., Guo, X., Wu, F., ... & Lu, Y. (2014). Identification of candidate genes for drought tolerance by whole-genome resequencing in maize. *BMC Plant Biology*, *14*(1), 1-15.

Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J., & Peng, S. (2015). Drought stress condition increases root to shoot ratio via alteration of carbohydrate partitioning and enzymatic activity in rice seedlings. *Acta physiologiae plantarum*, *37*(2), 1-11.

Yadav, S. S., & Chen, W. (Eds.). (2007). *Chickpea breeding and management*. CABI.

Yadav, S. S., & Chen, W. (Eds.). (2007). *Chickpea breeding and management*. CABI.

Yücel, D. Ö., Anlarsal, A. E., Mart, D., & Yücel, C. (2010). Effects of drought stress on early seedling growth of chickpea (Cicer arietinum L.) genotypes. *World Applied Sciences Journal*, *11*(4), 478-485.

Zhang, J., Nguyen, H. T., & Blum, A. (1999). Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal of experimental Botany*, *50*(332), 291-302.