

ESTRESSE HÍDRICO: SECA E OS DANOS NA PRODUTIVIDADE

WATER STRESS: DROUGHT AND DAMAGE TO PRODUCTIVITY

¹LIMA, J.L.;²VARASQUIN, G.I.; ³GOUVEIA, A.M.S.

¹⁻³Graduação em Engenharia Agrônômica - Centro Universitário das
Faculdades Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

RESUMO

O estresse hídrico se resume na ausência de água para suprir a demanda hídrica das plantas. As plantas possuem diferentes mecanismos de adaptação ao estresse hídrico, incluindo mudanças morfológicas, fisiológicas e bioquímicas. A fotossíntese é o processo pelo qual as plantas e outros organismos fotossintéticos convertem água, CO₂ e energia solar em energia química, armazenando-a na forma de açúcares, amido e outras moléculas orgânicas. Plantas C₃, C₄ e CAM usam de diferentes estratégias para a fixação e incorporação de carbono atmosférico em moléculas orgânicas, e neste processo a presença da água é fundamental. Adotar práticas de manejo da água, como o uso de técnicas de irrigação eficientes e o cultivo de plantas resistentes ao estresse hídrico favorecem as produções agrícolas. Em contrapartida, o déficit hídrico pode ter impactos negativos significativos no crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas. Por isso, é importante entender os mecanismos e adaptações das plantas ao estresse hídrico para uma tomada de decisão mais acertiva sobre a adoção de práticas de manejo da água e do solo a fim de minimizar seus efeitos.

Palavras-chave: Demanda Hídrica da Planta; Fotossíntese; Plantas Resistentes; Produção Agrícola.

ABSTRACT

Water stress is summed up in the absence of water to meet the plants' water demand. Plants have different adaptation mechanisms to water stress, including morphological, physiological and biochemical changes. Photosynthesis is the process by which plants and other photosynthetic organisms convert water, CO₂ and solar energy into chemical energy, storing it in the form of sugars, starch and other organic molecules. C₃, C₄ and CAM plants use different strategies for fixing and incorporating atmospheric carbon into organic molecules, and in this process the presence of water is essential. Adopt water management practices, such as the use of efficient safety techniques and the cultivation of plants resistant to water stress, favoring agricultural production. On the other hand, water deficit can have negative effects on plant growth, development and productivity. Therefore, it is important to understand the mechanisms and adaptations of plants to water stress to make more accurate decisions about adopting water and soil management practices with the aim of minimizing its effects.

Keywords: Plant Water Demand; Photosynthesis; Resistant Plants; Agricultural Production.

INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel crucial na maioria das atividades bioquímicas das células, influenciando diversos processos fisiológicos. Pesquisas demonstram que a água é um componente essencial, compreendendo aproximadamente 90% da biomassa verde das plantas (OLIVEIRA, 2022). A ausência desse recurso impacta negativamente o desenvolvimento natural das plantas.

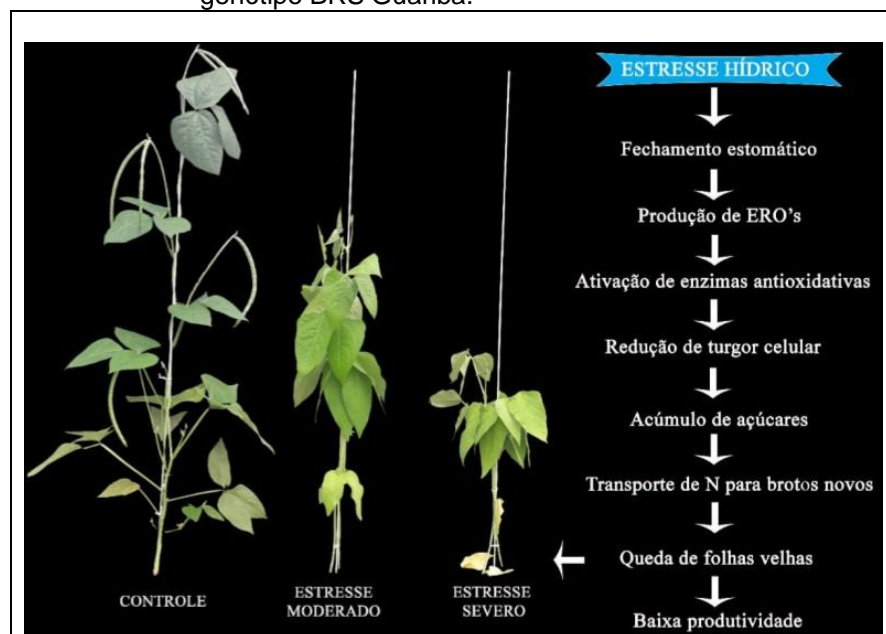
O déficit hídrico conceitua na falta de água no solo para sua demanda, o que ocasiona o estresse na planta. O suprimento de água é de extrema importância para o desenvolvimento da planta, sendo responsável por um dos processos vitais, a fotossíntese. Durante esse importante processo fisiológico ocorre a abertura e fechamento estomático; transporte de nutrientes; trocas gasosas e regulação na transpiração, processos bioquímicos fundamentais para garantir elevadas

produtividades agrícolas (PLANTIER, 2019).

Segundo Melo (2021), alguns fatores podem afetar negativamente o crescimento, desenvolvimento e produtividade das plantas, sendo a deficiência hídrica (seca) um destes fatores. Os efeitos do estresse hídrico podem causar alterações fisiológicas e anatômicas na planta. O fechamento estomático é o primeiro ponto negativo, por limitar a fixação de CO₂, conseqüentemente limitar o processo de fotossíntese devido ao excesso de energia disponível nos fotossistemas, e como consequência geram as espécies reativas de oxigênio (EROs), que podem levar a morte celular.

É importante ressaltar que há níveis de estresse hídrico, sendo eles: moderado e o grave. Pode-se considerar que o estresse hídrico inicia-se quando acima de 30% das águas das bacias hidrográficas da região são utilizadas, e chega ou ultrapassa o nível de estresse hídrico grave quando atinge 70% do uso destas bacias (Melo, A.A.R., 2021).

Figura 1: Sintoma visual do efeito do déficit hídrico moderado e severo na cultura do feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) genótipo BRS Guariba.



Fonte: Melo (2021).

Para mitigar os efeitos do estresse hídrico, torna-se imprescindível uma análise criteriosa dos elementos envolvidos. Além disso, é crucial compreender os principais mecanismos que determinam a susceptibilidade de um genótipo ao estresse (MELO, 2021).

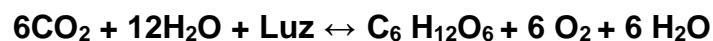
METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento das pesquisas em sites como Embrapa, Physiotek Crop Science, e em vários artigos relacionados ao assunto. Foi examinado as respostas de plantas, C3, C4 e CAM submetidas ao estresse hídrico, e os resultados mais relevantes sobre o estresse hídrico em plantas foram compilados neste trabalho.

DESENVOLVIMENTO

Fotossíntese

Neste processo, a planta faz trocas gasosas com o ambiente por meio da abertura e fechamento de estômatos. A equação da fotossíntese:



Nos mostra que as plantas capturam a luz solar por meio de pigmentos fotossintéticos, como a clorofila, e utilizam essa energia para transformar dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O) em glicose (um açúcar) e oxigênio (O₂). Dentro dos estômatos, são encontrados nutrientes cruciais como potássio, cloro, cálcio e hormônios vegetais, como o ácido abscísico (ABA), que desempenham um papel fundamental em situações de estresse hídrico nas plantas. O ácido abscísico (ABA) é um hormônio vegetal cuja concentração aumenta em períodos de seca, tornando-se um indicador sensível da falta de água no solo. Este hormônio age como um "sinal de alerta". O cálcio (Ca) presente no interior do estômato, juntamente com o potássio (K) e o cloro (Cl), regula a abertura e o fechamento dos estômatos. Esse mecanismo é de extrema importância em condições de seca, pois manter os estômatos abertos resultaria na evaporação da água presente na planta. Vale destacar que a água necessária para a fotossíntese é absorvida do solo e transportada pelo xilema.

Com isto, as plantas C₃, C₄ e CAM apresentam mecanismos de eficiência no uso da água, que em determinados regimes hídricos, conseguem se adaptar (TAIZ; ZEIGER, 2018):

- C₃: 400 a 500 g de água por cada grama de CO₂ fixado;
- C₄: 250 a 300 g de água por cada grama de CO₂ fixado;
- CAM: 50 a 100 g de água por cada grama de CO₂ fixado.

Fixação de carbono

Como citado acima, existem diferenças em plantas C_3 , C_4 e CAM e, com isto, há uma grande importância que deve ser levado em consideração em casos de déficit hídrico, pois cada uma se comporta de um jeito e cada uma tem uma forma de amenizar perdas ou até mesmo evitar a murcha permanente.

➤ **Plantas C_3 :** quando os estômatos (poros da folha) estão abertos, o CO_2 entra nestes poros e o O_2 e o vapor da água saem, diminuindo a fotorrespiração, porém, quando estes estômatos estão fechados, o O_2 que entra no decorrer da fotossíntese se acumula na folha, como consequência, inicia-se um processo chamado de fotorrespiração, onde ao invés de fixar o CO_2 , este carbono é perdido, com isto a fotorrespiração a energia diminui a produção de glicose (Khan Academy, S/D).

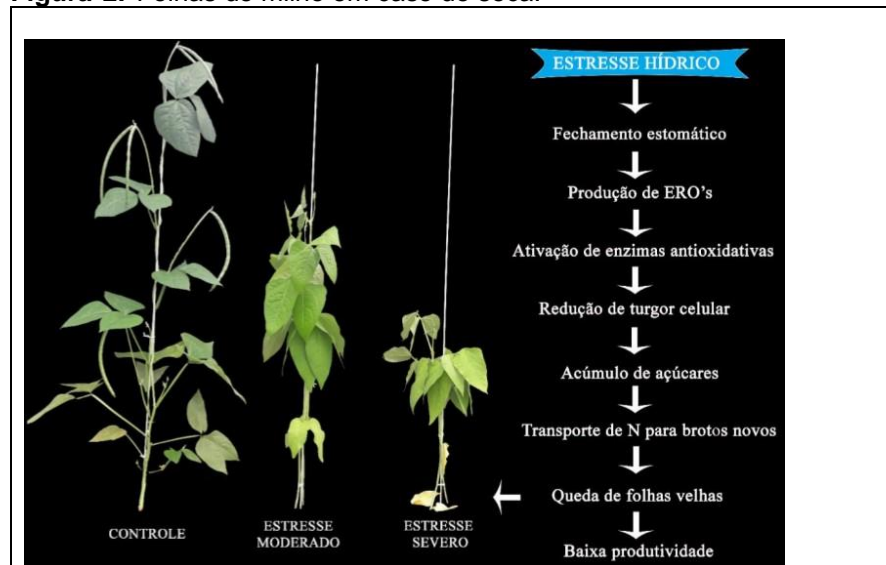
É o caso das leguminosas em geral, de cereais entre outros.

➤ **Plantas C_4 :** nestas plantas, o processo de fixação de carbono é um pouco mais longo, exigindo mais energia em forma de Trifosfato de Adenosina (ATP).

Inicia-se o processo quando o carbono contido na atmosfera se fixa no mesófilo, formando um ácido com quatro carbonos simples (oxaloacetato), a enzima de Fosfoenolpiruvato (PEP) que é responsável pela realização desta etapa, na qual não tem intenção de ligar-se ao O_2 . Os quatro carbonos simples são convertidos em malato, para que seja transportado para a bainha do feixe vascular, onde é quebrado e libera CO_2 , que é fixado pela rubisco (enzima) e transformado em açúcares através do Ciclo de Calvin (Khan Academy, S/D).

Não é realizado o processo de fotorrespiração, pois como o processo é mais longo, é possível que estas plantas não possuam energia suficiente para realizar o processo, porém, existe uma técnica no milho, por exemplo, que, em casos de seca, a planta curva suas folhas para dentro, impedindo a evaporação da água.

Figura 2: Folhas de milho em caso de seca.



Fonte: Sementes Biomatrix, 2021

➤ **Plantas CAM:** são adaptadas a ambientes mais secos, como cactos e abacaxis, estas plantas usam a via do metabolismo ácido das crassuláceas para diminuir a fotorrespiração, para que isto aconteça, elas abrem seus estômatos à noite, permitindo a difusão do CO_2 para dentro das folhas, onde é fixado em oxaloacetato pela PEP carboxilase, sendo convertido em malato ou outro tipo de ácido, que são armazenados nos vacúolos.

Durante a luz do dia, estas plantas não abrem seus estômatos, porém, fazem fotossíntese, pois os ácidos são transportados para fora dos vacúolos e quebrados, liberando carbono, esta liberação, quando controlada, mantém alta concentração de carbono ao redor do rubisco (enzima) (Khan Academy, S/D).

No caso dos cactos, eles possuem suas folhas reduzidas em espinhos, pois como são originários de locais desérticos, devem controlar ao máximo a perda de água.

Quadro 1: Resumo da fixação de carbono.

Tipo	Separação entre a fixação inicial de CO ₂ e o ciclo de Calvin	Estômatos abertos	Mais adaptado a
C ₃	Nenhuma separação	Dia	Ambientes frios e úmidos
C ₄	Entre mesófilos e células da bainha vascular (espacial)	Dia	Ambientes quentes e ensolarados
CAM	Entre a noite e o dia (temporal)	Noite	Ambientes muito quentes e secos

Fonte: Khan Academy, S/D.

Adaptação das plantas ao regime hídrico

Segundo Cavalcante *et al.* (2009), na determinação de como o solo e o clima limitam a distribuição de espécies vegetais, o estresse desempenha um papel importante, visto que a função da capacidade de adaptação de quantidade de água no ambiente, sendo que elas podem ser classificadas em: hidrófitas, higrófitas, desfitas e xerófitas. A tabela 1 a seguir mostra um resumo do que é em cada espécie de planta.

Tabela 1 - Classificação das plantas em função de sua adaptação ao regime hídrico.

Grupo	Características	Exemplo
Hidrófitas	Não apresentam cutícula nos órgãos submersos. Apresentam cutina na porção não submersa; as folhas contêm estômatos para absorver CO ₂ e transpirar. O xilema é pouco desenvolvido. Abundância de espaços intercelulares volumosos que facilitam a difusão de CO ₂ e O ₂ através dos tecidos. Não toleram dessecação	Algas, pteridófilas e angiospermas
Higrófitas	Plantas terrestres de ambientes úmidos e sombreados. O conteúdo de água é determinado pela umidade relativa do ar. Podem suportar dessecações prolongadas, reiniciando crescimento após reidratação	Musgos, plantas hepáticas e samambaias.
Mesófitas	Plantas que crescem em ambiente bem drenado e em locais de grande variação de umidade relativa do ar. Regulam a perda de água via abertura e fechamento estomatal. Normalmente estômatos se fecham quando há condições favoráveis a evaporação excessiva. Algumas mesófitas são decíduas.	Maioria das espécies nativas e cultivadas de regiões temperadas e tropicais.
Xerófitas	Vivem em ambientes onde a água é escassa. A sobrevivência dessas plantas depende de mecanismos de adaptação, como a fixação do carbono à noite, desenvolvimento de sistema radicular profundo, presença de cutícula e armazenamento de água nos cladódios.	Cactáceas, bromeliáceas.

Fonte: Cavalcante *et al.* (2009).

Torna-se interessante observar que apenas duas destas classificações, as mesófitas e as xerófitas, possuem a capacidade de abrir e fechar seus estômatos, que, quando em períodos de seca podem minimizar as significativas perdas na produtividade, como exemplo de mesófitas temos plantas C3 e C4. As Xerófitas, são cactos que possuem a capacidade de fechar seus estômatos durante o dia e abri-los à noite, fazendo com que estas plantas percam o mínimo possível de água, pois estas são de ambientes secos ou até mesmo desertos, são as plantas CAM. No caso das hidrófitas e das higrófitas, elas vivem em ambientes aquáticos, no caso das hidrófitas totalmente ou parcialmente submersas, que é o caso das vitória-régias, já o caso das higrófitas, seu ambiente natural é em ambientes úmidos e sombreados.

Potencial hídrico do solo

A germinação e o desenvolvimento saudável das plantas dependem essencialmente da presença adequada de água. Sua escassez acarreta diversas consequências, incluindo alterações estruturais, variações na coloração e espessura das folhas, restrição da fotossíntese devido ao fechamento dos estômatos,

diminuição no enchimento dos grãos, e perturbações fisiológicas, entre outros efeitos (FARIAS, *et al.*, 2021).

Para entender melhor sobre o estresse hídrico, sobre as relações hídricas do solo para com as plantas ou seu meio exterior, existe o Potencial Hídrico (ψ_w), ele expressa a energia livre que se associa às moléculas de água.

Segundo CORREIA, S. (2014), os sistemas osmóticos, ou seja, os movimentos de curta distância, a água vai dos locais com maior energia livre (maior potencial hídrico) para os locais com menor energia livre (menor potencial hídrico). Este potencial de uma solução tem-se uma grandeza relativa, pois é sempre medido em relação ao potencial hídrico da água pura, sendo medido nas condições de pressão normal e à temperatura do sistema.

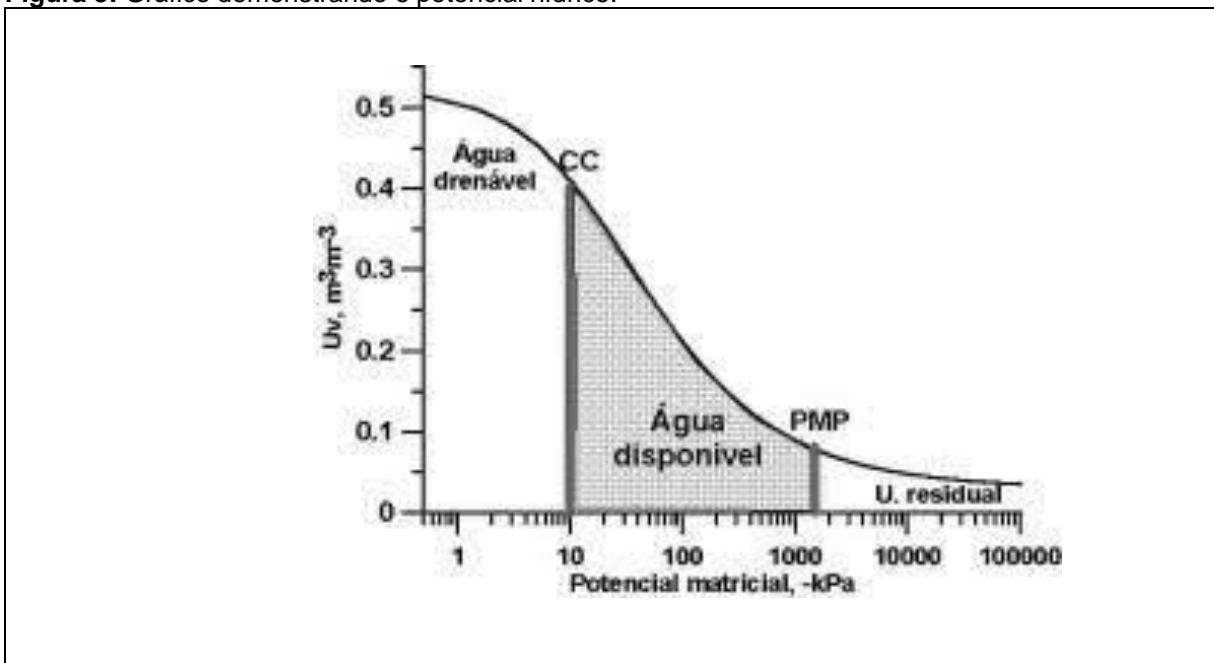
Visto que este potencial hídrico é a soma de alguns componentes, mas os que mais importam são o potencial osmótico e o potencial de pressão de turgescência (CORREIA, 2014). Assim tem-se a fórmula:

$$1 \quad \psi_w = \psi_s + \psi_p$$

Onde:

- Ψ_w : potencial hídrico;
- Ψ_s : potencial osmótico;
- Ψ_p : potencial de pressão de turgescência.

Figura 3: Gráfico demonstrando o potencial hídrico.



Fonte: Borma e Rennó, (2017)

Neste gráfico, pode-se analisar o ponto de murcha permanente (PMP), ou seja, este ponto começa quando a umidade do solo atinge $400\text{L}/\text{m}^3$. Conforme a umidade do solo vai diminuindo, a quantidade de litros por metro cúbico vai diminuindo também, sendo que o nível mínimo de água no solo é de $100\text{L}/\text{m}^3$. Porém, nunca deve-se deixar chegar neste nível, pois esta quantidade é muito baixa por m^3 , assim, quando esta capacidade de campo chegar em torno de $200\text{L}/\text{m}^3$. Deveser tomada uma iniciativa para aumentar esta quantidade de água no solo, um exemplo, é o uso da irrigação.

Quando a capacidade de campo atinge um volume de $400\text{L}/\text{m}^3$, o solo fica encharcado e começa a escoar o excesso de água. Vale ressaltar que, quando o nível estiver próximo aos $150\text{L}/\text{m}^3$, é provável que as plantas contidas neste solo já entrarão no ponto de murcha permanente.

Faz-se de imprescindível importância, entender que cada solo possui uma curva de retenção que, quantomenor carga no solo, maior a perda de água, ou seja, em solos arenosos possui maior capacidade de infiltração. Porém, esta água não permanece disponível para as plantas, pois a água se aprofunda demais no solo. Já em solos argilosos, a capacidade de infiltração é mais rápida, porém a água fica mais tempo disponível para as plantas.

Meios de minimizar ou evitar o estresse hídrico

Para minimizar ou evitar o estresse hídrico, são necessárias medidas para gerenciar a demanda e aumentar a oferta de água. Alguns dos principais meios de minimizar ou evitar o estresse hídrico:

- Conhecimento sobre o histórico e oscilações de chuva da sua região: o planejamento estratégico para lidar com épocas de escassez de água e oscilação de chuvas envolve avaliação do uso de água, investimento em tecnologias de economia de água, desenvolvimento de um plano de emergência, educação dos funcionários, monitoramento e medição do uso de água e avaliação do fornecimento de água. Saber a demanda hídrica da cultura que irá produzir.
- A demanda hídrica de uma cultura é a quantidade de água necessária para atender às necessidades de evapotranspiração da planta durante todo o seu ciclo de vida, desde a germinação até a colheita. A quantidade de água necessária pode variar de acordo com a espécie da planta, a fase de desenvolvimento, as condições climáticas e as características do solo.

- Equação para determinar a demanda hídrica de uma cultura é a Equação de Penman-Monteith, desenvolvida pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura). Leva em consideração diversos fatores como temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do vento, a radiação solar e as características da cultura em si.
- O uso de variedades resistentes à seca: algumas das culturas que têm sido selecionadas para resistência à seca incluem milho, trigo, arroz, feijão, soja e batata. Além disso, técnicas agrícolas como a gestão da água do solo, o uso de cobertura morta e a rotação de culturas também podem ajudar a maximizar a eficácia das variedades resistentes à seca.
- A técnica do uso da irrigação, incluem: Irrigação por gotejamento; Irrigação por aspersão; Irrigação por superfície; Irrigação por sulcos.
- Análise detalhada da compactação dos solos: Monitoramento e avaliação da compactação do solo, por meio de testes de penetração do solo ou análise de densidade do solo.
- Palhada no solo e o sistema de plantio direto: Essas técnicas também podem contribuir para melhorar a qualidade do solo ao longo do tempo, o que pode ter benefícios a longo prazo para a saúde das plantas e para a produção agrícola.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que o estresse hídrico é causado pela falta das chuvas, ou seja, é um problema que não é simples de ser controlado pois depende de fatores naturais, pois é um fator abiótico, na qual pode ser implantadas algumas melhorias nas lavouras, para que seja diminuído ou eliminado.

REFERÊNCIAS

- BORMA, L.S.; RENNÓ, C.D. **Processos Hidrológicos: Infiltração e movimento da água no solo**. 2017. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~camilo/prochidr/pdf/02infiltracao_aguanosolo_2.pdf>.
- CORREIA, S. Potencial hídrico, **Rev. Ciência Elem.**, Correia, S. 2014. V2(01):003. Disponível em: <<https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2014/003/>>.
- FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Sintomas de falta de água**. Embrapa, 2021. Brasília/DF. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/soja/pre->

producao/caracteristicas-da-especie-e- relacoes-com-o-ambiente/exigencias-climaticas/agua/sintomas-de-falta-de-agua>.

KHAN ACADEMY. **Plantas C3, C4 e CAM**. S/D. Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/photorespiration--c3-c4-cam-plants/a/c3-c4-and-cam-plants-agriculture>>.

MELO, A.A.R. Respostas fisiológicas e bioquímicas de plantas leguminosas aodéficit hídrico. **Physiotek Letters** v. 1, p. 6-8, 2021. Disponível em: <https://physiotek.com.br/wp-content/uploads/2021/03/2_Vol1_6-8_AndressaMello-1.pdf>.

OLIVEIRA, C. **Como ocorre e quais os efeitos do estresse hídrico nas plantas**.Aegro, 2022. Disponível em: <<https://blog.aegro.com.br/estresse-hidrico-nas-plantas/>>.

PLANTIER, R.D. **A importância da água às plantas?** Trapp, 2019. Disponível em: <<https://www.trapp.com.br/pt/curiosidades/a-importancia-da-agua-as-plantas/#:~:text=A%20%C3%A1gua%20regula%20a%20abertura,na%20planta%20atrav%C3%A9s%20dos%20est%C3%B4matos>>

BIOMATRIX. Sementes Biomatrix. **Estresse hídrico na cultura do milho: como minimizar os efeitos negativos**. 2021. Disponível em: <<https://sementesbiomatrix.com.br/blog/produtividade/estresse-hidrico/>>.