

THAYANNA YARA FURTADO GADELHA



**DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO E PRODUTIVO DE ESPINAFRE-  
AMAZÔNICO (*Alternanthera sessilis* L.) SOB ESTRESSE HÍDRICO E  
ADUBAÇÃO NITROGENADA**

RIO BRANCO - AC

2023

THAYANNA YARA FURTADO GADELHA

**DESEMPENHO FOTOSSINTÉTICO E PRODUTIVO DE ESPINAFRE-  
AMAZÔNICO (*Alternanthera sessilis* L.) SOB ESTRESSE HÍDRICO E  
ADUBAÇÃO NITROGENADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal - PPGPV, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para a obtenção de título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Marcio de Oliveira Martins

RIO BRANCO - AC

2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

- G124d Gadelha, Thayanna Yara Furtado, 1994 -  
Desempenho fotossintético e produtivo de espinafre-amazônico (*alternanthera sessilis* L.) sob estresse hídrico e adubação nitrogenada / Thayanna Yara Furtado Gadelha; orientador: Dr. Marcio de Oliveira Martins. – 2023.  
38 f.:il; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGPV, Área de concentração em Produção Vegetal, Rio Branco, 2023.  
Inclui referências bibliográficas.
1. Déficit hídrico. 2. Produtividade. 3. Suplementação de nitrogênio. I. Martins, Marcio de Oliveira. II. Título.

---

CDD: 338.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM PRODUÇÃO VEGETAL

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DA DISSERTAÇÃO DE THAYANNA YARA FURTADO GADELHA, DISCENTE DO CURSO DE MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL, REALIZADA NO DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2023.

No dia 28 de fevereiro de 2023, às 13 horas, de maneira híbrida, realizou-se a defesa da dissertação intitulada **Desempenho fotossintético e produtivo de espinafre-amazônico (*Alternanthera sessilis* L.) sob estresse hídrico e adubação nitrogenada**, de autoria da mestrande Thayanna Yara Furtado Gadelha, do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal. A Comissão examinadora esteve constituída pelos Doutores Marcio de Oliveira Martins, Milton Costa Lima Neto e Frederico Henrique da Silva Costa. Após a exposição oral, a discente foi arguida pelos examinadores e, às 16 horas e 5 minutos, a sessão foi suspensa e em reunião secreta os examinadores atribuíram o resultado. Reaberta a sessão para anunciar o resultado, a discente foi considerada APROVADA pela Comissão Examinadora. E para constar, foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme, vai assinada eletronicamente pelos membros da banca.

Rio Branco, 28 de fevereiro de 2023.

Assinado Eletronicamente

DR. MARCIO DE OLIVEIRA MARTINS

Orientador (UFAC)

DR. FREDERICO HENRIQUE DA SILVA COSTA

Membro interno (UFAC)

DR. MILTON COSTA LIMA NETO

Membro externo (UNESP)



Documento assinado eletronicamente por **Frederico Henrique da Silva Costa, Professor do Magisterio Superior**, em 02/03/2023, às 08:01, conforme horário de Rio Branco, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio de Oliveira Martins, Professor do Magisterio Superior**, em 02/03/2023, às 13:25, conforme horário de Rio Branco, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **MILTON COSTA LIMA NETO, Usuário Externo**, em 02/03/2023, às 13:36, conforme horário de Rio Branco, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade do documento pode ser conferida no site [https://sei.ufac.br/sei/valida\\_documento](https://sei.ufac.br/sei/valida_documento) ou click no link [Verificar Autenticidade](#) informando o código verificador **0810080** e o código CRC **294C43AF**.

---

Rod. BR-364 Km-04 - Bairro Distrito Industrial  
CEP 69920-900 - Rio Branco-AC  
- <http://www.ufac.br>

---

Referência: Processo nº 23107.003204/2023-12

SEI nº 0810080

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me conceder vida, e por manter meus passos firmes para alcançar meus objetivos e sonhos.

A Universidade Federal do Acre, e ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcio de Oliveira Martins, por sua dedicação extrema ao papel de professor e orientador.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal pelo conhecimento científico transmitido durante esse ciclo.

Aos membros da banca, Dr. Frederico Henrique da Silva Costa e Dr. Milton Costa Lima Neto, e Dra. Almecina Balbino Ferreira, pelas contribuições no trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Vegetal da UFAC.

A minha família e amigos, pelo apoio e incentivo, indispensáveis para que esse momento fosse possível.

A todos, que de alguma forma contribuíram para a concretização desse sonho.

*“Consagre ao Senhor tudo o que você faz,  
e os seus planos serão bem-sucedidos”.*

Provérbios 16: 6.

## RESUMO

A deficiência hídrica é um estresse abiótico presente na região amazônica. Durante determinada época do ano, ocorre a estação seca, onde as chuvas são reduzidas e as plantas são expostas a condições estressantes. Espinafre da Amazônia [*Alternanthera sessilis* (L.) R. Br. ex DC] é uma planta alimentícia não convencional, sendo uma espécie adaptada a diversos ambientes. Durante este trabalho, objetivou-se avaliar os parâmetros fisiológicos e produtivos das plantas de espinafre da Amazônia quando submetidas a níveis de regimes hídricos e adubação nitrogenada. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três níveis de capacidades hídricas (90%, 60% e 20% da capacidade do vaso) e três níveis de adubação nitrogenada (3 g, 1 g e sem adição de N) totalizando 9 tratamentos e quatro repetições por tratamento. A fotossíntese líquida, a condutância estomática e a transpiração foliar foram reduzidas nas plantas sem adubação nitrogenada (69%, 74% e 63%, respectivamente) em todos os níveis de água, enquanto a pressão parcial de CO<sub>2</sub> não foi alterada. O quenching fotoquímico, eficiência quântica atual e taxa de transporte de elétrons foram reduzidos em 57,8%, 74% e 73,4% respectivamente, no tratamento sem adubação nitrogenada em todos os regimes hídricos enquanto quenching não fotoquímico teve um aumento considerável (47,7%) nas plantas sem adição de N em todas as capacidades hídricas. A eficiência quântica potencial foi reduzida (10,46%) nas plantas sem adição de N, independente do fator água a que foram submetidas. O CRA não apresentou diferença significativa entre os tratamentos avaliados. Em conclusão, o déficit hídrico reduziu o crescimento de parte aérea mas a suplementação de nitrogênio foi essencial para mitigar o estresse, uma vez que a assimilação deste elemento consome energia, aliviando os sintomas do estresse hídrico.

**Palavras-chave:** Déficit hídrico, produtividade, suplementação de nitrogênio.

## ABSTRACT

Water deficiency is an abiotic stress present in the Amazon region. During a certain time of the year, the dry season occurs, where rainfall is reduced, and plants are exposed to stressful conditions. Amazonian spinach [*Alternanthera sessilis* (L.) R. Br. ex DC] is an unconventional food plant, being a species adapted to different environments. During this work, the objective was to evaluate the physiological and productive parameters of spinach plants from the Amazon when submitted to levels of hydric regimes and nitrogen fertilization. The experimental design was completely randomized with three levels of water capacity (90%, 60% and 20% of the pot capacity) and three levels of nitrogen fertilization (3 g, 1 g and no addition of N) totaling 9 treatments and four replications per treatment. Net photosynthesis, stomatal conductance and leaf transpiration were reduced in plants without nitrogen fertilization (69%, 74% and 63%, respectively) at all water levels, while CO<sub>2</sub> partial pressure was not altered. Photochemical quenching, actual quantum efficiency and electron transport rate were reduced by 57.8%, 74% and 73.4% respectively, in the treatment without nitrogen fertilization in all water regimes while non-photochemical quenching had a considerable increase (47.7%) in plants without N addition among water capacities. The potential quantum efficiency was reduced (10.46%) in plants without N addition, regardless of the water factor to which they were subjected. The WRC showed no significant difference between the evaluated treatments. In conclusion, water stress reduced the shoot growth but the nitrogen supply was essential to alleviate stress, since its assimilation consumes energy, relieving the water stress symptoms.

**Keywords:** Water deficit, productivity, nitrogen supplementation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trocas gasosas em <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.....	19
Figura 2: Eficiência quântica atual ( $\Delta F/F_m'$ ) do fotossistema II (A); eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada. ....	21
Figura 3: Quenching fotoquímico (A), quenching não-fotoquímico (B) e taxa aparente de transporte de elétrons (C) em <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada. ....	22
Figura 4: Dano de membrana (A); Conteúdo relativo de água (B) em plantas de <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada. ....	23
Figura 5: Teor de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e carotenoides em <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.....	24
Figura 6: Teor de clorofila total e relação clorofila <i>a/b</i> em <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrica e adubação nitrogenada.....	26
Figura 7: Massa seca de folha (A), caule (B), raiz (C) e total (D) em <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.....	27

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxa de crescimento absoluto (TCA) em plantas de <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.	28
Tabela 2 - Alocação de biomassa em plantas de <i>Alternanthera sessilis</i> L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.	29

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	10
2.1 ESPINAFRE-AMAZÔNICO .....	10
2.2 FOTOSSÍNTESE .....	11
2.2 NITROGÊNIO .....	12
2.2 DÉFICIT HÍDRICO .....	13
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
3.1 INSTALAÇÃO E MANEJO DO EXPERIMENTO .....	15
3.2 ANÁLISES .....	16
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	18
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	19
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	30
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	31

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui mais de 46.000 espécies de plantas catalogadas, mas apenas uma pequena parte dessa biodiversidade é conhecida do meio científico (FLORA DO BRASIL, 2017). Um ponto relevante que está relacionado a diversidade vegetal é a segurança alimentar, onde busca-se minimizar a fome em países subdesenvolvidos. Essa crise alimentar tem como um combustível fatores climáticos, políticos, econômicos (PASCHOAL GOUVEIA & SOUZA, 2016). Há uma crescente preocupação em conseguir alimentar a população mundial que está em crescimento acelerado. Apesar da redução da área de produção nos últimos anos em decorrência da crise econômica, o ramo das olerícolas permanece consolidada no econômico e social, onde em 2015 o valor de produção chegou a R\$ 23,2 bilhões, e ao ser comparado com 2011, houve um aumento de 39,6% (CARVALHO et al., 2016).

A espécie *Alternanthera sessilis* L é considerada uma PANC (planta alimentícia não convencional). É encontrada na América central, América do Sul, Ásia e Índia. Na Malásia, é consumida crua em salada (BACHOK et al., 2014). Também pode ser usada em decoração, e suas folhas secas podem ser preparadas como um chá (MONDAL et al., 2014). As folhas têm sido usadas na China no tratamento de doenças oculares, de pele, picadas de cobra e cicatrização de feridas (KUMARASAMYRAJA, JEGANATHAN, & MANAVA-LA, 2012). Além disso, essa espécie possui atividades diurética, anti-inflamatória, estimulantes e analgésicas, e propriedades antiulcerosas (MONDAL et al., 2014).

As plantas estão expostas a estresses abióticos diariamente. Em condições de baixos níveis de disponibilidade de água no solo, metabólicos essenciais das plantas tendem a ser influenciados levando ao declínio no processo fotossintético, conseqüentemente no crescimento vegetal (GOMES et al., 2004). Existe a necessidade de estudar espécies que podem aumentar a oferta de produtos acessíveis e nutritivos para a população. O cenário para as plantas alimentícias não convencionais - PANCS, conhecidas como espontâneas e rústicas e potencialmente nutritivas, ainda é de poucos estudos relacionados (PASCHOAL et al., 2016). Saber como se dá os processos fisiológicos e as respostas dessa espécie quando submetida a esses fatores torna-se de interesse. Esse trabalho objetivou avaliar os parâmetros fisiológicos e produtivos das plantas de espinafre da Amazônia quando submetidas a níveis de regimes hídricos e adubação nitrogenada.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Por ter um clima tropical, no Brasil é possível cultivar uma grande variedade de culturas. As plantas alimentícias não convencionais (PANC) estão na contramão das grandes culturas e são consideradas, portanto plantas que comumente não são consumidas pela população de determinadas regiões (KINUPP; LORENZI, 2014). Atualmente existe oferta de 30 mil plantas diferentes consideradas PANC. Diversas dessas espécies são chamadas de plantas espontâneas (VIEIRA, ZÁRATE & LEONEL, 2018). As plantas alimentícias não convencionais são uma alternativa para garantir a segurança alimentar. Utilizar essas plantas na alimentação humana, tem impacto ecológico, econômico, nutricional e cultural, além de auxiliar uma melhor distribuição e produção dos alimentos (KELLEN, et al 2015)

Ao analisar as hortaliças não convencionais, muitas possuem valor nutricional elevado, ao comparar com as convencionais (KINUPP; BARROS, 2007). Ainda não é amplo o conhecimento nutricional sobre as plantas alimentícias não convencionais, tanto no âmbito científico, quanto popular. Trazer de volta o uso desses alimentos que são de fácil manejo e acesso, torna diversificada, acessível e de melhor qualidade a dieta nutricional da população (KINUPP, 2006; SOUZA et al, 2009).

### 2.1 ESPINAFRE-AMAZÔNICO

Espinafre amazônico é uma planta herbácea perene, que possui caule ereto ou decumbente, folhas encarquilhadas de 1 a 6 cm de comprimento, e até 30 cm de altura. Sua propagação é feita por estaquia que podem ser enraizadas provenientes do seccionamento das hastes. Essas estacas devem ser cultivadas à sombra, para produzir folhas maiores (KINUPP; LORENZI, 2014).

A planta pertencente à família Amaranthaceae, que possui 71 gêneros e cerca de 1000 espécies, originárias de zonas tropicais, sub-tropicais e temperadas da África, América do Sul e Sudoeste Asiático. São plantas rústicas, adaptadas as condições da região Amazônica (PAIVA, 1978; SIQUEIRA, 1987). Já existe alguns estudos sobre outras espécies do gênero *Alternanthera* já acerca do seu potencial uso medicinal, como por exemplo a *A. brasiliana* que é combate a diarreia e é utilizada como adstringente pelos povos indígenas (GRENAND, MORETTI &

JACQUEMIN, 1987). É uma espécie que ainda requer estudos, e é consumida principalmente no interior da região amazônica, inclusive já pode ser encontrada na forma minimamente processada, em feiras de Manaus (KINUPP; LORENZI, 2014).

Estudos sobre as plantas alimentícias não convencionais (PANC'S) relatam espécies com elevados teores de proteínas, fibras, e consideráveis níveis de ácido ascórbico, quando comparadas a hortaliças convencionais (SOUZA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2013). Sabendo que é bem difundido o alto valor biológico da proteína animal, essas plantas seriam uma alternativa de segurança alimentar também para populações sem acesso a esses produtos. Identificar espécies com teores consideráveis de proteínas pode contribuir como uma opção alimentar para a população (ALETOR, OSHODI & IPINMOROTI, 2002).

## 2.2 FOTOSSÍNTESE

A fotossíntese gera suporte para a vida na terra, sendo a fonte fundamental de todos os alimentos e oxigênio da humanidade. Esse processo bioquímico mantém a biosfera sendo a base da cadeia alimentar (MAROTTA et al., 2022). O processo fotossintético converte bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> em compostos orgânicos e libera bilhões de toneladas de oxigênio na atmosfera anualmente (BLANKENSHIP, 2021). Ao facilitar a conversão de energia solar em energia química, a fotossíntese atua como a principal entrada de energia na cadeia alimentar global (NAJAFPOUR et al 2017).

Esse processo vital, no caso das plantas superiores envolve duas etapas: A fotoquímica e a bioquímica. Está envolvido nas reações luminosas a transferência de elétrons e prótons pela luz, que ocorrem na membrana tilacóide (HAN et al., 2022). E as reações que envolvem a fixação de CO<sub>2</sub> em carboidratos, por meio do ciclo de Calvin-Benson. Portanto a fotoquímica é onde a água fornece elétrons por meio de sua fotooxidação no lúmen do tilacóide e libera O<sub>2</sub>, e a bioquímica onde tem a fixação do carbono proveniente do CO<sub>2</sub>, resultando na formação de triose fosfato, que poderá ser usada para formar amido no cloroplasto ou sacarose no citosol (MARENCO et al., 2014).

No processo fotossintético, a energia luminosa passa pelos pigmentos que são parte desse processo vital. Os organismos fotossintetizantes possuem esses sistemas antena (NAJAFPOUR et al., 2017). É feita a transferência dessa energia para dentro dos centros de reações. Sem esses pigmentos a energia não pode

passar por esse processo (GREEN, ANDERSON & PARSON, 2003). Esses pigmentos são armazenados nos tilacoides, membranas fotossintéticas especiais. Contudo as clorofilas são frequentemente destruídas e sintetizadas em um sistema que sofre interferência de fatores externos e internos (TAIZ et al., 2017).

Portanto é de conhecimento que o processo fotossintético sofre interferência dos fatores bióticos e abióticos que incluem, mudanças climáticas, disponibilidade de hídrica, nutrição de solo e planta, temperatura, irradiância, concentração de CO<sub>2</sub>, características genéticas das plantas, espessura da lâmina foliar, clorofila e idade da folha (GONZALEZ CRUZ & PASTENES, 2012).

### 2.3 NITROGÊNIO

O nitrogênio é abundante na atmosfera, na forma de gás. O nitrogênio é importante para a manutenção da vida, e é requerido em elevadas quantidades por estar presente nas proteínas, ácidos nucleicos e outros constituintes celulares e processos fisiológicos (FISCHER, HEMP & JOHNSON., 2016). Valores insuficientes do nitrogênio para as plantas podem levar a alterações morfológicas, redução da resistência de plantas a doenças durante o cultivo redução no potencial produtivo (SCARANO et al., 2009; RODRIGUES et al., 2017). Entretanto o uso em excesso pode limitar a assimilação de outros nutrientes, podendo causar uma inibição competitiva. Os extremos como excesso ou falta desse nutriente pode provocar condições prejudiciais para o desenvolvimento das plantas (NOHATTO et al., 2013).

Existe um processo fundamental para a nutrição e crescimento das plantas chamado ciclo do nitrogênio. A nível metabólico, o nitrogênio é incorporado às proteínas e outros compostos nitrogenados por meio da fixação de nitrogênio, assimilação de nitrato e amônio, e síntese de aminoácidos. A nível enzimático, o ciclo do nitrogênio envolve a degradação de proteínas e outros compostos nitrogenados através da ação de enzimas como a protease e a urease (XING et al., 2019; RODRIGUES et al., 2017)

O metabolismo de N sofre ajustes por interferência de sinais e quando as plantas são submetidas a estresses abióticos, esse metabolismo deve ser reprogramado visando a adaptação as mudanças ambientais (HAN et al., 2022). O nitrogênio está presente em biomoléculas importantes para o processo fotossintético como ATP, NADH, NADPH, clorofila, proteínas e outras enzimas

(MIFLIN & LEA, 1976; BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000). As duas fontes principais de N (Nitrato e Amônio) podem ser utilizadas pela maioria das plantas superiores. Em sistemas de produção esse elemento disponível é um fator observado com rigor, pois influencia no desempenho produtivo das culturas (HAN et al., 2022; DA SILVA et al., 2020).

## 2.4 DÉFICIT HÍDRICO

A falta de água, ou seja, o estresse por déficit hídrico, é considerado um dos maiores riscos para a sobrevivência das plantas em relação aos estresses abióticos (SUN et al., 2020). Esse fator pode ter efeitos prejudiciais no desempenho das plantas, impactando em sua fisiologia e metabolismo. Como resultado, o crescimento das plantas pode ser reduzido e o seu desenvolvimento pode ser comprometido (SIMOVA-STOILOVA et al., 2015).

A água é um dos elementos mais influentes sobre a fotossíntese e crescimento vegetativo. O excesso hídrico pode ocasionar prejuízos a aeração na zona radicular e a lixiviação dos nutrientes, e o déficit hídrico pode inibir o crescimento da planta, reduzindo a expansão celular, o metabolismo fisiológico e a produtividade (BILIBIO et al., 2010). O estresse por deficiência hídrica é uma das condições mais estudadas porque limita severamente crescimento, sobrevivência e produtividade vegetal (FERREIRA et al., 2015; MASEDA & FERNÁNDEZ, 2016). Devido as mudanças climáticas as plantas têm diversos desafios incluindo a de indisponibilidade hídrica (FRANZ et al., 2012).

Quando as plantas estão submetidas ao déficit hídrico, o principal processo é o fechamento dos estômatos, visando manter a capacidade das plantas de reter água possibilitando a permanência delas em ambientes estressantes (HETHERINGTON & WOODWARD., 2003). O principal órgão fotossintetizante nas plantas terrestres são as folhas. Existem regiões encontradas nas folhas chamadas estômatos, por onde acontece a entrada de CO<sub>2</sub>. A variação da abertura estomática é regulada por células-guarda, respondendo ao conteúdo de água da folha (LUBITZ, CHRYSINA, & COX., 2019). Quando a folha está hidratada, ocorre maior condutância estomática possibilitando a entrada de CO<sub>2</sub>. Ao acontecer a limitação a disponibilidade hídrica para a planta, as células-guarda reduzem a pressão de turgor levando ao fechamento dos estômatos, visando reduzir a perda de água via

transpiração (HAN et al., 2022). O estresse hídrico por déficit pode reduzir a taxa de fotossíntese, aumentar o acúmulo de peróxido de hidrogênio e superóxido, reduzir a atividade da enzima glutamato desidrogenase e aumentar a atividade da glutamina sintetase. Além disso esse tipo de estresse pode elevar os teores de aminoácidos livres nas plantas, portanto interferir no funcionamento da planta (SUN et al., 2020). Estudar os efeitos do estresse hídrico em plantas de *Alternanthera*, e como isso interfere na fisiologia, atividade enzimática, metabolismo de antioxidantes, carboidratos, aminoácidos e compostos secundários mostra-se de interesse no meio científico.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em estufa tipo túnel, localizada na Unidade de Experimentação Agrícola da Universidade Federal do Acre (Ufac), Rio Branco, AC. Segundo classificação de Köppen, o clima da região é do tipo AWI (quente e úmido), com temperaturas médias de 21 °C a 31 °C, precipitação anual de 1.648,94 mm e umidade relativa de 83% (AGRITEMPO, 2016).

#### 3.1 INSTALAÇÃO E MANEJO DO EXPERIMENTO

O objeto de estudo utilizado foi a espécie *Alternanthera sessilis* L., comumente conhecida como espinafre amazônico. As mudas foram multiplicadas através da técnica de estaquia. Após 15 dias foram transplantadas para vasos de 8 litros, contendo substrato comercial e areia lavada na proporção 1:1 v/v. Em relação ao fator água, para o estabelecimento das capacidades hídricas foi verificado o conteúdo de água retido pelo substrato seco após sofrer saturação e posterior drenagem do excesso. Para que fosse considerado 100% dessa capacidade, diariamente os vasos eram pesados até obter valor constante. A massa de água retida no substrato foi considerada como 100% da capacidade de campo (CAIRO, 1995). Posteriormente, as demais capacidades hídricas foram estabelecidas calculando-se as respectivas porcentagens do peso de água retido no tratamento hídrico 100%. No dia do transplante foi feita adubação com N.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado - DIC. Os tratamentos consistiram em doses de nitrogênio: SN (sem adição de N), BN (1g de N/ planta/ vaso), AN (3 g de N/ planta/ vaso) onde foi utilizada a ureia como fonte de nitrogênio. Para manter as capacidades hídricas foi utilizado uma balança digital para pesar os vasos e repor o volume de água transpirada de acordo com cada tratamento. O experimento durou 50 dias e ao final do período experimental foram realizadas as análises de acordo com a metodologia descrita a seguir.

#### 3.2 TROCAS GASOSAS

Para a avaliação das trocas gasosas foram selecionadas as folhas mais novas totalmente expandidas de cada planta para serem conectadas ao analisador de gás no infravermelho (LI-6400XT; Li-Cor Inc., Lincoln, EUA). As

medições foram realizadas para determinar fotossíntese líquida ( $A$ , em  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ , em  $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), pressão parcial do  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ , em Pa) e transpiração foliar ( $E$ , em  $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Além disso, a eficiência do uso da água (EUA, em  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$ ) foi calculada como a razão entre a fotossíntese e a transpiração, e eficiência de carboxilação (EC, em  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ) calculada pela razão entre fotossíntese e pressão parcial de  $\text{CO}_2$  (FAN et al, 2020).

### 3.3 FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA *a*

Para as medidas foi utilizado o analisador de gás no infravermelho (IRGA) com um fluorômetro acoplado modelo Li-6400-40 (Li-Cor Inc., Lincoln, EUA). As medidas foram realizadas por meio do método de pulso de saturação nas folhas iluminadas e adaptadas ao escuro por 30 minutos. A intensidade e duração do pulso de saturação de luz foram de  $8000 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e 0,7 segundos, respectivamente. A luz azul foi mantida em 10% da radiação aplicada para maximizar a abertura estomática. Portanto, os seguintes par\u00e2metros foram medidos: efici\u00eancia qu\u00e2ntica atual do fotossistema II ( $[\Delta F/F_m'=(F_m'-F_s)/F_m']$ ), quenching fotoqu\u00edmico [ $qP=(F_m'-F_s)/(F_m'-F_o')$ ] e taxa aparente de transporte de el\u00e9trons [ $ETR=[(F_m'-F_s)/F_m']\times\text{PPFD}\times 0,5\times 0,85$ ]. Ap\u00f3s 30 minutos de aclima\u00e7\u00e3o ao escuro novamente foi realizado a medida, obtendo a efici\u00eancia qu\u00e2ntica potencial do fotossistema II [ $F_v/F_m=(F_m-F_o)/F_m$ ] e o quenching n\u00e3o-fotoqu\u00edmico [ $NPQ=(F_m-F_m')/F_m'$ ]. Para avalia\u00e7\u00e3o de ETR, 0,5 como a fra\u00e7\u00e3o de energia de excita\u00e7\u00e3o direcionada para o fotossistema II e 0,85 como a fra\u00e7\u00e3o de luz absorvida pelas folhas e PPFD como a densidade de fluxo de f\u00f3tons fotossint\u00e9ticos.  $F_m$  e  $F_o$  s\u00e3o, respectivamente, fluoresc\u00eancia m\u00e1xima e m\u00ednima de folhas adaptadas ao escuro;  $F_m'$  e  $F_s$  s\u00e3o, respectivamente, fluoresc\u00eancia m\u00e1xima e em equil\u00edbrio din\u00e2mico em folhas adaptadas ao claro e  $F_o'$  \u00e9 a fluoresc\u00eancia m\u00ednima ap\u00f3s ilumina\u00e7\u00e3o no vermelho-distante de folhas previamente expostas \u00e0 luz (GENTY, BRIANTAIS & BAKER., 1989; SCHREIBER, BILGER & NEUBAUER, 1994; SILVA et al., 2010).

### 3.4 CONTE\u00daDO RELATIVO DE \u00c1GUA E DANO DE MEMBRANA

O conte\u00fado relativo de \u00e1gua (CRA) foi determinado a partir de cortes circulares feito nas folhas no dia da coleta do experimento. Objetivando a obten\u00e7\u00e3o da massa

fresca (MF), 10 discos foliares foram pesados em balança analítica. Posteriormente esse material foi ser transferido para placas de Petri contendo 10 mL de água destilada e mantidos por 48h em ambiente refrigerado (8 °C). Após esse período, foi retirado o excesso de água dos discos e novamente pesado o material para se obter a massa túrgida (MT). Em seguida, os discos foram colocados em sacos de papel e levados para uma estufa de circulação forçada de ar (65 °C) até atingirem massa constante e pesados para determinação da massa seca (MS). De posse dos dados, foi calculado:  $CRA = (MF-MS/MT-MS) \times 100$ . O resultado foi apresentado em percentual (CAIRO 1995).

O dano de membrana (DM) foi calculado por meio do vazamento de eletrólitos utilizando discos foliares coletados no dia da análise destrutiva do experimento. Esses discos foram alocados em tubos rosqueáveis contendo água destilada. Posteriormente, foi realizada a medida de condutividade elétrica desse material utilizando um condutivímetro de bancada modelo (mCA-150), onde foi obtido primeira condutividade (C1). Posteriormente, o material foi levado a banho-maria a 100°C durante 1h, em seguida resfriado, e foi realizada nova medida da condutividade elétrica, obtendo a segunda condutividade (C2). O DM foi obtido por meio do cálculo:  $DM = (C1/C2) \times 100$  (SILVA et al., 2010).

### 3.5 DETERMINAÇÃO DO CONTEÚDO DE PIGMENTOS

Para a quantificação das clorofilas *a* e *b*, e carotenoides foi utilizado 50 mg de tecido foliar, obtido da região mediana do limbo sem a nervura central, que foi cortado em pedaços e imediatamente transferidos para tubos de ensaio com 7 mL de acetona 80% (v/v). Os tubos foram envoltos com papel alumínio para evitar a fotoxidação dos pigmentos, em seguida mantidos em geladeira a 8 °C por 48 h para extração dos pigmentos, e vertidos diariamente. Com auxílio de espectrofotômetro modelo JENWAY 6705 UV/Vis foram realizadas as leituras da absorbância nos comprimentos de onda 663, 647 e 470 nm. De posse desses resultados foi calculado os valores para clorofila *a*, *b* e carotenoides conforme a metodologia de Lichtenthaler e Wellburn (1983), com as seguintes fórmulas: clorofila total =  $(17,3 \times A_{647} + 7,18 \times A_{663})$ ; Clorofila *a* =  $(12,21 \times A_{663} - 2,81 \times A_{647})$ ; Clorofila *b* =  $(20,13 \times A_{647} - 5,03 \times A_{663})$  e Carotenoides =  $(1000 \times A_{470} - 3,27 \times [\text{clorofila } a] - 104 \times [\text{clorofila } b]) / 229$ . Os resultados foram obtidos em mg/L e expressos em mg/g de massa fresca (BENINCASA, 2003).

### 3.6 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E MASSA SECA DOS ÓRGÃOS

Foram avaliadas as variáveis: altura de planta (usando-se uma régua, a partir do colo da planta até inserção da última folha desenvolvida), diâmetro do colo (medidos com auxílio de paquímetro digital) e número de folhas (considerada apenas folhas completamente desenvolvidas). Para a avaliação de massa seca, as plantas foram coletadas e separadas em folha, caule e raiz, acondicionados em sacos de papel e levados para estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até obtenção de massa constante. Com os resultados de massa seca, foi calculado a relação raiz/parte aérea por planta, dividindo-se a massa seca da raiz, pela soma das massas secas da folha e caule (BENINCASA, 2003).

### 3.7 ALOCAÇÃO DE BIOMASSA E TAXA DE CRESCIMENTO ABSOLUTO

Para a variável de alocação de biomassa, foram utilizados os dados de massa seca de cada órgão, efetuando a relação entre a massa seca de cada órgão com a massa seca total. Para calcular a taxa de crescimento absoluto (TCA) foram utilizados os dados de altura, número de folhas e diâmetro do caule do início e do final do período experimental, calculado subtraindo a avaliação do último dia pela avaliação do primeiro dia, dividida pelo número de dias (BENINCASA, 2003; OLIVEIRA, 2021).

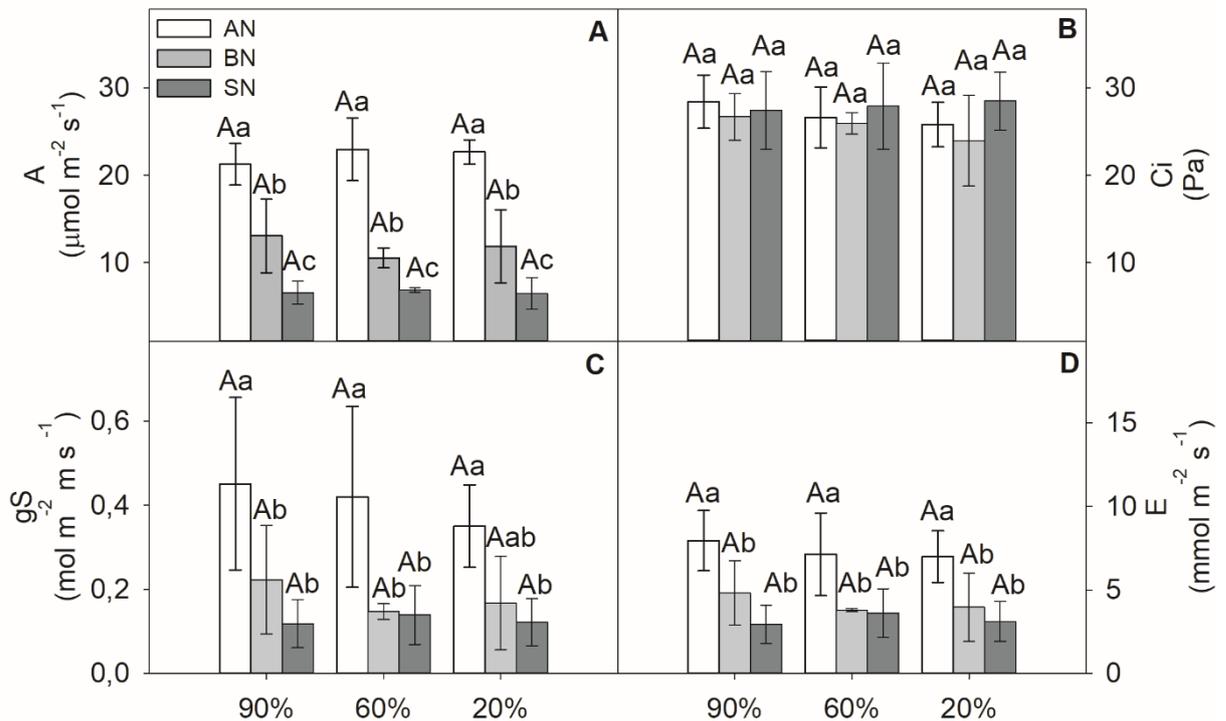
### 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) de dois fatores e em seguida as médias comparadas utilizando o teste de Tukey, a 5% de probabilidade (TUKEY, 1949). O software Sigma Plot versão 12.0 foi utilizado para as análises estatísticas e para a confecção dos gráficos.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fotossíntese foi significativamente superior nas plantas que receberam a maior dose de nitrogênio (AN) independentemente do tratamento hídrico (Fig.1 A). A condutância estomática e transpiração (Fig. 1C e 1D) seguiram a mesma tendência que a fotossíntese. As maiores taxas de transpiração e condutância estomática foram observadas nas plantas cultivadas com alto nível de nitrogênio (AN), em todas as capacidades hídricas. A concentração interna de CO<sub>2</sub> não diferiu estaticamente entre os tratamentos.

Figura 1: Fotossíntese líquida (A), pressão parcial de CO<sub>2</sub> (B), condutância estomática (C) e transpiração foliar (D) em *Alternanthera sessilis* L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.



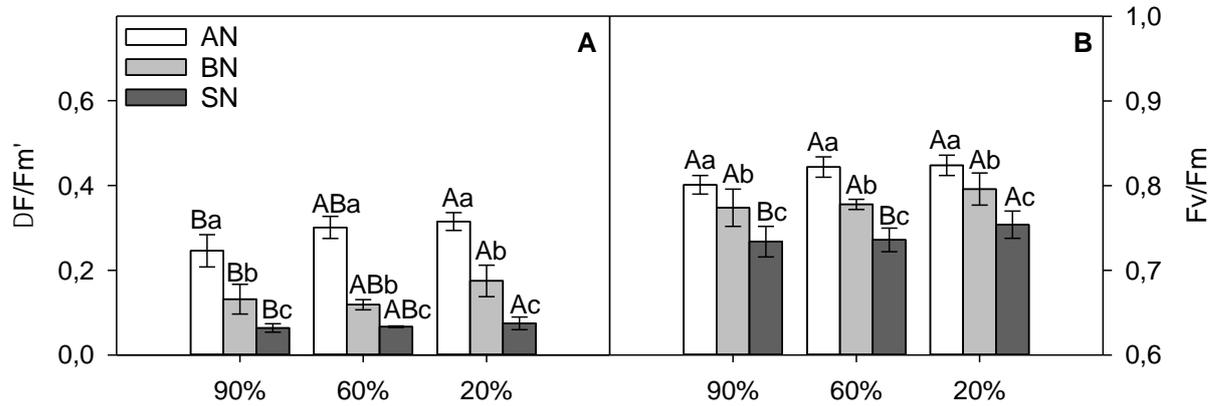
Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

Um parâmetro importante para os processos fisiológicos é a condutividade estomática, onde estômatos abertos permitem a entrada de CO<sub>2</sub> por difusão e estômatos fechados possibilitam manter a turgidez dos tecidos da planta, reduzindo assim os riscos de perda de água para o ambiente (NASCIMENTO et al., 2011). A plena atividade da condutância permite uma rápida alteração da abertura estomática após estímulo externo conforme os íons são ativados através das membranas celulares protetoras para manter o turgor da célula de proteção (CHATER et al., 2011).

Pode ocorrer alterações na abertura e fechamento dos estômatos sob condição de deficiência hídrica (XU, ZHOU, & SHIMIZU, 2010). Observa-se que o fator hídrico interferiu contribuindo para a redução da condutância estomática (Fig. 1C). As plantas sem adição de nitrogênio (SN) obtiveram a condutância estomática sem diferença significativa com o tratamento BN e estatisticamente inferior quando comparado ao tratamento AN em todas as capacidades hídricas. Ao longo de seu desenvolvimento, a planta tende a aumentar a área foliar e seus órgãos vegetativos, conseqüentemente, o número de estômatos, elevando o seu potencial de trocas gasosas. Em condições ideais, as plantas tendem a ter altas taxas de transpiração e, à medida que a disponibilidade hídrica do solo vai reduzindo, a planta começa a decair sua transpiração para reduzir a perda de água (TEIXEIRA et al., 2020). Isso possibilita considerar a redução desses parâmetros pela baixa disponibilidade hídrica que pode ter limitado a expansão dessa área foliar.

Como foi observado durante o período experimental, a menor disponibilidade hídrica combinada com a não adição de nutrição interferiu nesse parâmetro ( $C_i$ ). Vários fatores podem influenciar diretamente no desenvolvimento e rendimento das culturas, sejam estresses abióticos, ou de origem biótica (ABBAS et al., 2022). Neste contexto, o estresse devido à restrição de hídrica e nutricional é relevante, reduzindo a produção de culturas, limitando o crescimento das plantas e conseqüentemente reduzindo seus rendimentos (MENG et al., 2016; ASGHER et al., 2017). Em um estudo com *Alternanthera philoxeroides* o déficit hídrico na irrigação de 25% afetou mais a abertura e fechamento dos estômatos no solo natural (sem adição de nutrição), causando um desequilíbrio nas trocas gasosas e resultando em uma diminuição na taxa de  $P_N$  e nos valores de  $C_i$  (SUN et al., 2020) Nessas circunstâncias, as plantas precisaram utilizar energia extra para fazer ajustes bioquímicos através da acumulação de osmólitos para extrair água do solo. Essa energia adicional é desviada dos processos envolvidos no crescimento da planta e resulta em redução acentuada no rendimento e no desenvolvimento do crescimento da planta (ASHRAF et al., 2018).

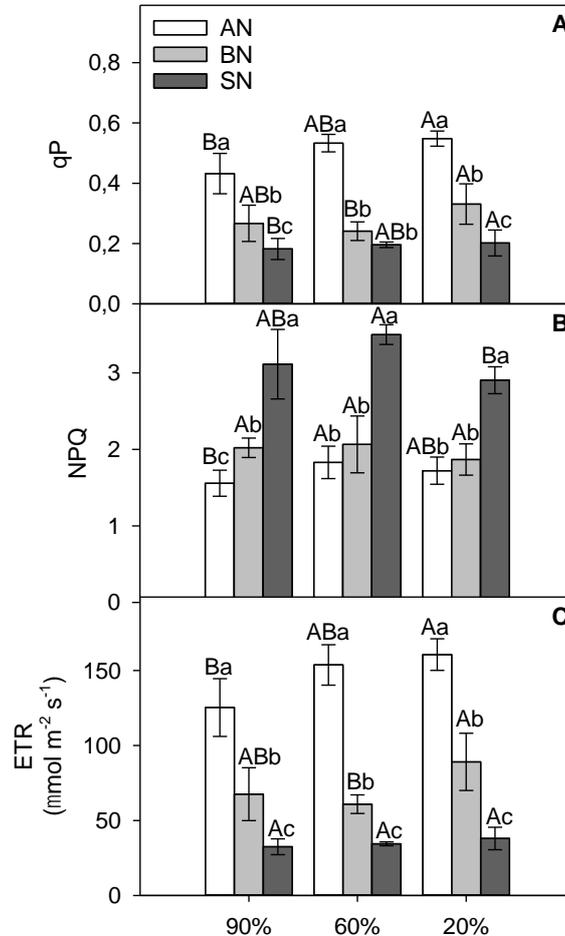
Figura 2: Eficiência quântica atual ( $\Delta F/F_m'$ ) do fotossistema II (A); eficiência quântica potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) em *Alternanthera sessilis* L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.



Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

A eficiência quântica atual teve um declínio em todas as capacidades hídricas conforme a disponibilidade de N. As plantas sem adição de nitrogênio (SN) foram as que obtiveram a menor eficiência quântica atual (Fig. 2A). Em relação a eficiência quântica potencial, as plantas que não tiveram a adição de nitrogênio (SN) apresentaram a eficiência dos seus fotossistemas limitado, em todas as capacidades hídricas (Fig. 2B). As eficiências revelam os níveis de dano no fotossistema II no qual a planta foi submetida, durante o tempo e intensidade do experimento. O  $\Delta F/F_m'$  é a eficiência atual em condição ambiente do fotossistema II, possibilitando verificar que plantas sem adição de nitrogênio (SN) obtiveram a menor eficiência atual. Isso se repetiu na eficiência quântica potencial (Fig. 2B), onde continuaram sendo significativamente inferiores as plantas com adição de N, em todas as capacidades hídricas. Isso pode revelar que o dano causado ao fotossistema, ocorreu nas plantas sem adição de N, em todas as capacidades hídricas, entretanto, esse dano pode ter sido um dano reversível (FLEXAS et al., 2006).

Figura 3: Quenching fotoquímico (A), quenching não-fotoquímico (B) e taxa aparente de transporte de elétrons (C) em *Alternanthera sessilis* L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.



Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

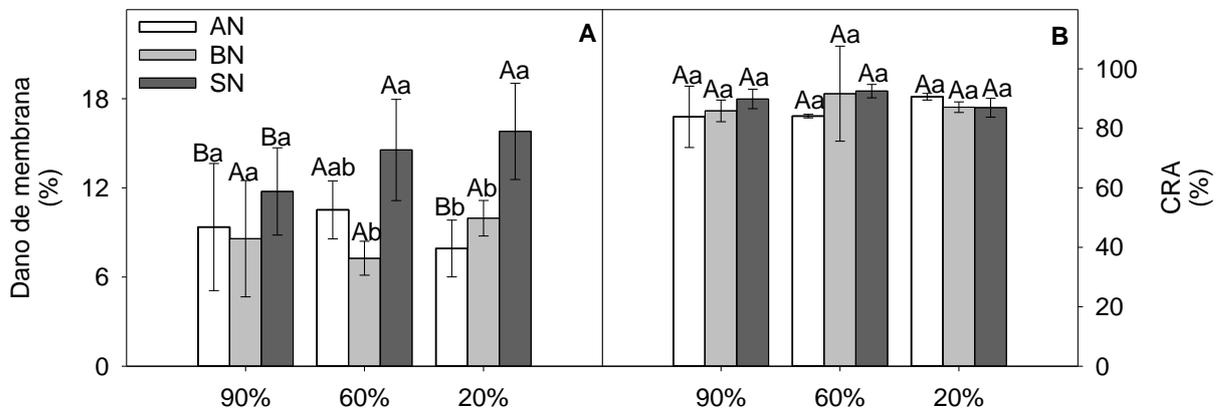
O qP é uma variável que mostra como ocorre a energia que entra no sistema é alocada para fase fotoquímica. O tratamento com menor disponibilidade hídrica combinadas com maior adição de nitrogênio (20% AN) obtiveram um aumento quando comparado com as plantas com maior adição de N e maior disponibilidade hídrica. Essa mesma tendência foi mostrada na variável ETR. Esse parâmetro (Fig. 3C) revela como estava a taxa de transporte de elétrons nesse sistema.

A cadeia transportadora de elétrons possui pigmentos fotossintéticos, como carotenóides, clorofila b, e clorofila a. A síntese desses pigmentos está relacionada com a disponibilidade de nitrogênio. Além do nitrogênio interferir o teor de clorofila também se relaciona positivamente com o teor de carotenoides (NETTO et al., 2005). Esses carotenoides atuam no ciclo da zeaxantina, que participa da

regulação da dissipação de calor no fotossistema II, quando exposto a sobrecarga de energia visando evitar fotodegradação do fotossistema (OLIVER et al., 2020).

Como o observado, o qP apresentou suas maiores taxas de dissipação de energia em plantas com maiores doses de nitrogênio (AN) mesmo quando submetidas a baixos níveis de disponibilidade hídrica (20%). É possível levantar a idéia de que o nitrogênio atenuou o estresse por déficit hídrico por melhorar a dissipação de energia evitando danos para esse fotossistema. Entretanto considera-se novamente o fator da menor área foliar nas plantas A redução desses pigmentos pode ter interferido na taxa de transporte de elétrons por esse fotossistema. Dessa forma a indisponibilidade de nitrogênio foi determinante para esse parâmetro, podendo ter impactado no processo fotossintético.

Figura 4: Dano de membrana (A) e Conteúdo relativo de água (B) em plantas *Alternanthera sessilis* L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.



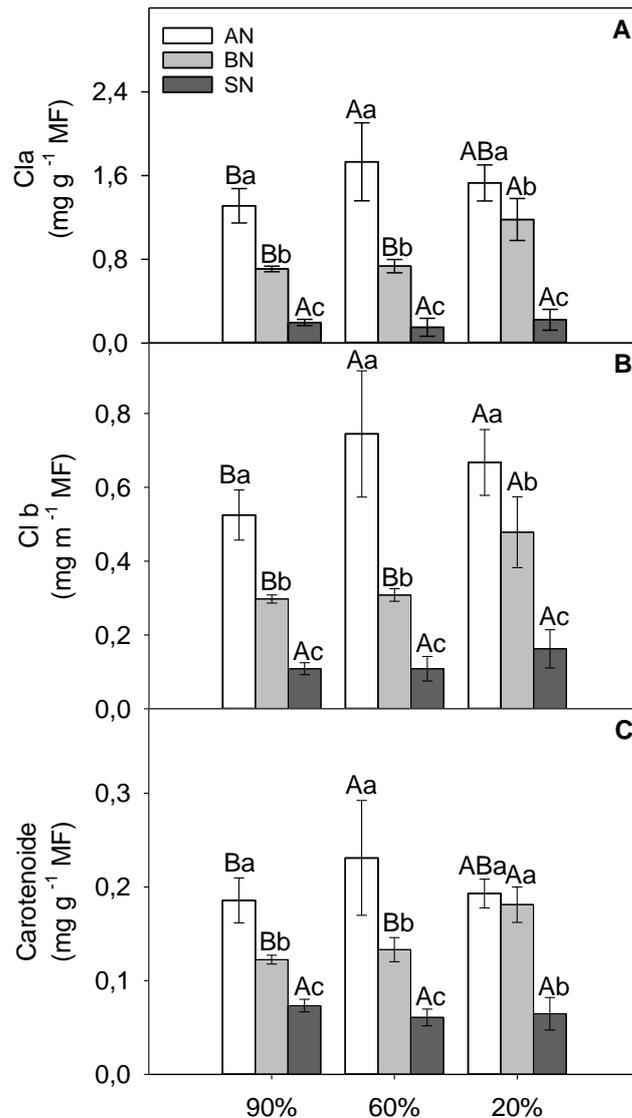
Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

O dano de membrana foi superior nas plantas sem adição de nitrogênio, e estatisticamente maior nas plantas sem N nas capacidades de 20% e 60% (Fig. 4A). A redução do CRA das plantas pode indicar que a condição em que a planta estava submetida afetou o teor de água nas folhas, e essa redução de acordo com a intensificação de restrição hídrica, sugere uma desidratação do protoplasma vegetal, podendo culminar em alterações vitais no crescimento celular (KOCH et al., 2021).

Os resultados (Fig. 4B) apresentados revelam que não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados, mostrando que não foi possível considerar a menor capacidade hídrica como um estresse por déficit hídrico. Segundo Carvalho e Cols. (2011) é possível que aconteça aumento da concentração de solutos e macromoléculas de baixo peso molecular em plantas sob esse tipo de condição.

Os pigmentos fotossintéticos foram significativamente afetados e reduzidos quando não realizado a adição de nitrogênio. A corofila *a* das plantas que não tiveram adição de nitrogênio (SN) foram significativamente inferior independente da capacidade hídrica submetidas. A medida que foi sendo adicionado nitrogênio, os teores de clorofila *a* foram elevados, ao nível de que as plantas com a maior dose de N (AN) foram as que apresentaram respostas visivelmente melhores.

Figura 5: Teor de clorofila *a*, *b*, carotenoides em *Alternanthera sessilis* L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.



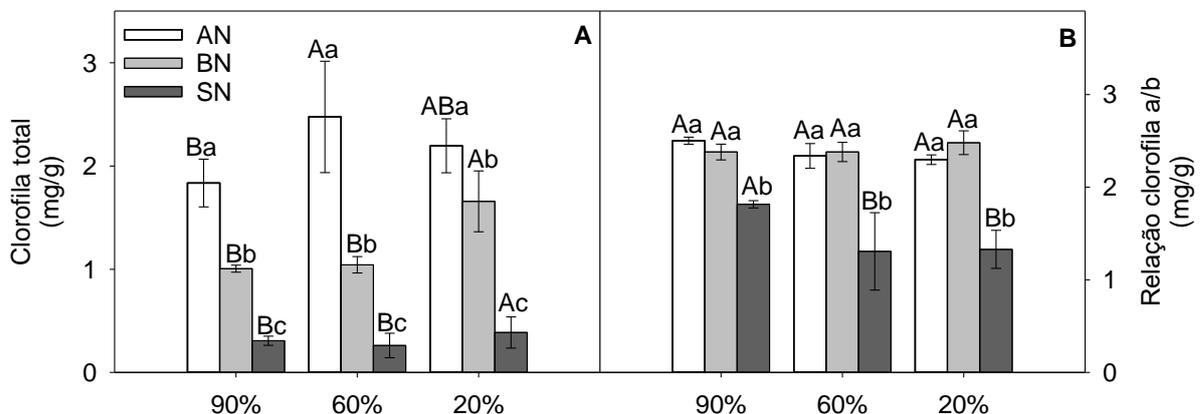
Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

Para clorofila *a*, a combinação de uma disponibilidade hídrica mediana e elevado nitrogênio (60%AN) foi o tratamento que apresentou melhor teor de

clorofila *a*. Quando observado o primeiro pigmento acessório da figura (Fig 6B), o teor de clorofila *b* também foi negativamente afetado pela indisponibilidade de nitrogênio (SN) independente da disponibilidade hídrica que foram submetidas essas plantas. Todavia ao observar as plantas com a adição da maior dose de nitrogênio (AN) não foi observado diferença significativa entre as com baixa irrigação (20%) e média irrigação (60%), mas significativamente superiores as com maior disponibilidade de água (90%). Ao observar o teor de carotenoide na disponibilidade hídrica de 20% (Fig.6C) verifica-se que as plantas submetidas a maior dose de nitrogênio (AN) seguiram a mesma tendência da *cla* e *clb*.

O nitrogênio faz parte síntese dos pigmentos fotossintéticos, portanto está diretamente ligado ao processo de fotossíntese nas plantas, sendo considerado um elemento essencial (LIU, HU & CHU, 2022). Os carotenóides são conhecidos como pigmentos protetores sob estresse por déficit hídrico (TATTINI et al., 2015). As funções fotoprotetoras dos carotenóides incluem: extinção do estado triplo da clorofila (3 Chl\*); dissipação térmica do excesso de energia através das xantofilas (extinção não fotoquímica, NPQ) (BRUNETTI et al., 2015); e uma função antioxidante de zeaxantina (Zea) nos cloroplastos, fortalecendo as membranas tilacoides sob estresse térmico (ESTEBAN et al., 2015), compactuando com os resultados obtidos na figura 3.

Figura 6: Teor de clorofila total e relação clorofila *a/b* em *Alternanthera sessilis L.* sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.



Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

Ao observar a figura 6A, a combinação de uma disponibilidade hídrica mediana e a maior dose de nitrogênio (60%AN) foi a que obteve maior conteúdo de clorofila total, e estatisticamente igual a 20%AN. O tratamento 20%BN foi superior aos

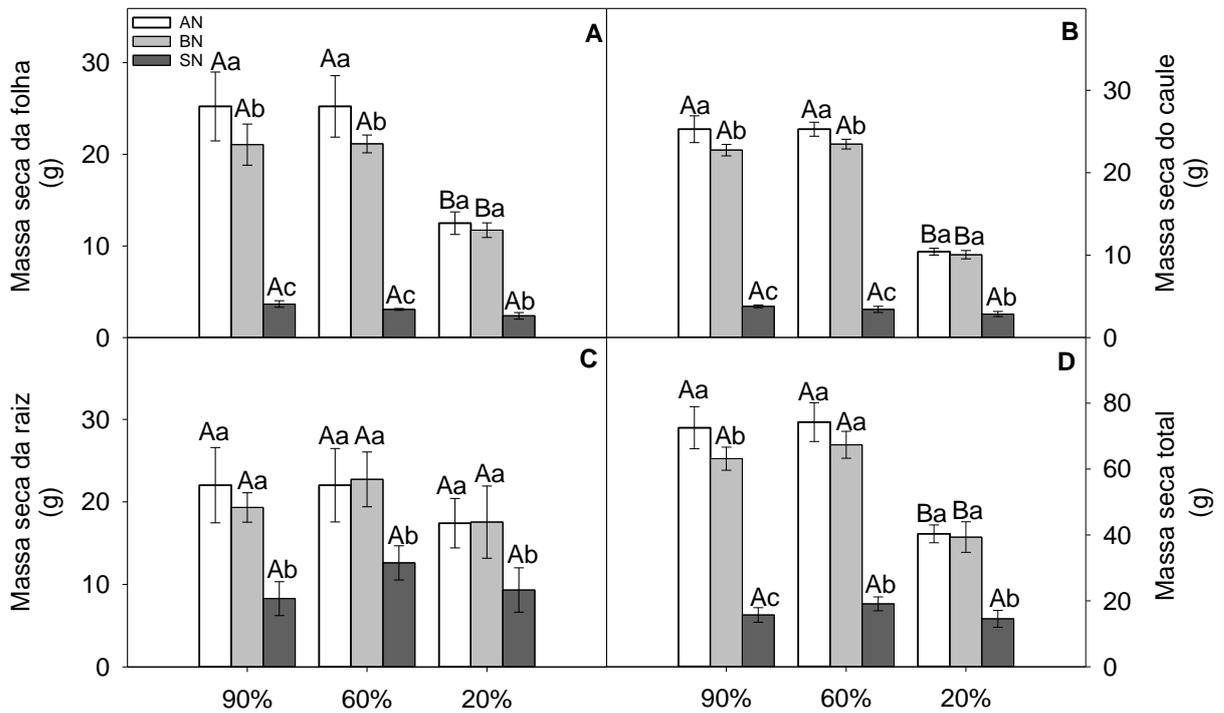
tratamentos com mesma disponibilidade de nitrogênio nas capacidades hídricas de 60% e 90%. As plantas sem adição de nitrogênio, em todas as capacidades hídricas não tiveram diferença significativa em seus valores de clorofila total, mostrando que a não adição de nitrogênio interferiu negativamente no conteúdo de clorofila total dessas plantas durante o período experimental.

Nas figuras referentes aos resultados da relação de clorofila a/b (Fig.6B) é possível observar que apenas nas plantas sem adição de nitrogênio teve diferença significativa em todas as capacidades hídricas. O tratamento SN apresentou menor relação de clorofila a/b quando comparado com as plantas com adição de nitrogênio (AN e BN) em todas as capacidades hídricas.

Segundo Foyer et al., (2001), o nitrogênio exerce um papel fundamental na produção vegetal por está diretamente ligado à fotossíntese, onde nesse processo, essa energia dos fótons é convertida em “energia química” do ATP e intermediários reduzidos, principalmente NADPH, utilizados na síntese de assimilados de carbono e nitrogênio, particularmente carboidratos e aminoácidos, essenciais ao crescimento da planta. Assim podendo ser relacionado com a diferença significativamente inferior nas plantas sem adição de nitrogênio em sua fotossíntese, mesmo com o CO<sub>2</sub> disponível não teve diferença.

O conteúdo foliar de clorofila está frequentemente associado ao conteúdo de nitrogênio da planta (YODER & PETTIGREW-CROSBY, 1995). Confirmando os resultados do presente estudo onde as plantas que não tiveram adição de nenhuma dose de nitrogênio apresentaram menores conteúdos de clorofila a, b, carotenóides e clorofila total, em todas as capacidades hídricas no qual foram submetidas.

Figura 7: Massa seca de folha (A), caule (B), raiz (C) e total (D) de plantas de *Alternanthera sessilis* L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.



Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

As plantas podem apresentar respostas como inibição da expansão foliar e mudanças no desenvolvimento e arquitetura da raiz (SINMONTACCHI et al., 2015). O sistema radicular é alterado pela modificação do crescimento das raízes para melhor absorção de água, que durante o estresse está presente em menor quantidade no solo (HU & XIONG, 2014). Dessa forma, características como comprimento, peso, densidade e volume do sistema radicular são diretamente relacionadas à disponibilidade de água e à tolerância da espécie às condições de cultivo (SINMONTACCHI et al., 2015). Ao observar os resultados da massa seca dos órgãos (folha, caule e raiz) é possível constatar que o fator água foi determinante para esses parâmetros. A não adição de nitrogênio (SN) também afetou a massa seca dos órgãos dessas plantas durante o período experimental, o que pode estar relacionado com a redução da fotossíntese, conseqüentemente menor alocação de biomassa. Possivelmente por se tratar de uma planta considerada espontânea e rustica, ela apresenta uma possível tolerância a seca, mas por ser uma planta com expressivo conteúdo de proteína, o nitrogênio interferiu no desenvolvimento desse vegetal.

Tabela 1: Taxa de crescimento absoluto (TCA) em plantas de *Alternanthera sessilis* L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.

Tratamentos		Taxa de crescimento absoluto		
		N° folhas.dia <sup>-1</sup>	Altura (cm.dia <sup>-1</sup> )	Diâmetro do caule (mm.dia <sup>-1</sup> )
90%	AN	19,0 Aa	0,29 Ab	0,15 Aa
	BN	18,8 Aa	0,29 Ab	0,09 Ab
	SN	16,4 Ab	0,43 Aa	0,10 Ab
60%	AN	19,1 Aa	0,32 Ab	0,17 Aa
	BN	18,9 Aa	0,37 Ab	0,11 Ab
	SN	16,6 Ab	0,47 Aa	0,09 Ab
20%	AN	1,7 Ba	0,29 Ab	0,07 Ba
	BN	1,7 Ba	0,25 Ab	0,04 Bb
	SN	0,9 Bb	0,46 Aa	0,04 Bb

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

A taxa de crescimento absoluto (TCA) pode ser usada para se ter idéia da velocidade média de crescimento ao longo do período de observação (BENINCASA, 2003). Assim, o tratamento sem adição de N (SN), independente da capacidade hídrica, proporcionou maior velocidade de crescimento das plantas em altura.

Sun e colaboradores (2020), observou que plantas quando submetidas estresse hídrico na irrigação de 25% teve um efeito significativamente negativo sobre o crescimento de *A. philoxeroides* em solo natural do que em solo com adição de nutrição, diminuindo os caracteres morfológicos e os caracteres de biomassa. Em solo natural, *A. philoxeroides* teve menor biomassa e crescimento devido a uma baixa capacidade de retenção de água em comparação com os nutrientes do solo.

No presente estudo a irrigação de 20% teve um efeito significativamente negativo sobre a TCA das folhas e caule das plantas de espinafre amazônico. A TCA da altura dessas plantas sofreu interferência direta pela não adição de nitrogênio. Dessa forma, plantas que não tiveram adição do nitrogênio, obtiveram a menor velocidade de crescimento das folhas. Em relação ao diâmetro, o TCA das plantas submetidas a maior concentração de N (AN) tiveram a maior velocidade de crescimento em diâmetro, independente da capacidade hídrica que elas foram submetidas.

Tabela 2 – Alocação de biomassa de folhas (ABF), caule (ABC) e raízes (ABR) em plantas de *Alternanthera sessilis* L. sob estresse hídrico e adubação nitrogenada.

Tratamentos		Alocação de biomassa		
		ABF	ABC	ABR
90%	AN	0,35 Aa	0,35 Aa	0,30 Bb
	BN	0,33 Aa	0,36 Aa	0,31 Bb
	SN	0,23 Ab	0,24 Ab	0,53 Ba
60%	AN	0,36 Aa	0,35 Aa	0,29 Bb
	BN	0,31 Aa	0,35 Aa	0,34 Bb
	SN	0,16 Bb	0,18 Bb	0,66 Aa
20%	AN	0,31 Aa	0,26 Ba	0,43 Ab
	BN	0,30 Aa	0,26 Ba	0,45 Ab
	SN	0,16 Bb	0,20 Bb	0,64 Aa

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. As letras maiúsculas indicam a diferença entre as capacidades hídricas, e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de nitrogênio.

Os resultados da alocação de fotossimilados tendem a estimular um aumento da biomassa seca da planta, especialmente nos tecidos radiculares, como estratégia para aumentar a superfície de contato desde as raízes com água disponível no solo (ROCHA et al, 2022). Sob condições estressantes, a alocação de biomassa é redirecionada das folhas e caules para as raízes objetivando absorção de água e de nutrientes. O tratamento sem adição de nitrogênio (SN) foi significativamente inferior tanto para alocação de biomassa da folha como alocação de biomassa do caule, nas três capacidades hídricas, e significativamente superior na alocação de biomassa das raízes, independente da capacidade hídrica. Como resultado do processo, foi possível observar que o fator hídrico interferiu na maior área foliar, resultando nos parâmetros de trocas gasosas e alavancar a alocação de biomassa dos órgãos superiores e o nitrogênio interferiu nos conteúdos de pigmentos fotossintetizante das plantas de espinafre amazônico durante o período experimental.

## 5 CONCLUSÕES

A deficiência hídrica apresentou maior influência no ganho de massa seca, com estas plantas crescendo menos na parte aérea e mantendo crescimento de raiz em situações de alto déficit hídrico. O estresse causado pela deficiência hídrica pode ter sido mitigado pela maior suplementação de nitrogênio, sendo evidenciado pela redução no dano de membrana e manutenção da taxa de transporte de elétrons elevada, mesmo em plantas com maior déficit hídrico, o que demonstra o papel desse elemento como aliviador de estresse uma vez que sua assimilação consome energia que pode estar em excesso em plantas com deficiência hídrica.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, A.; HUANG, P.; DU, Y.; HUSSAIN, S.; SHEN, F.; WANG, H.; DU, D. Invasive plant alligator weed (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.) performs better to salinity, drought and abscisic acid stresses than native plant sessile joy weed (*Alternanthera sessilis* (L.). **Appl. Ecol. Env. Res**, 20, 1173-1187. 2022.
- AGRITEMPO. **Sistema de monitoramento agrometeorológico**. Dados meteorológicos: Acre. 2016.
- ALETOR, V. A.; OSHODI, A. A.; IPINMOROTI, K. Chemical composition of common leafy vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates. **Food Chemistry**, v. 78, n. 1, p. 63-68, jul. 2002.
- ASHRAF, M., SHAHZAD, S. M., IMTIAZ, M., RIZWAN, M. S., ARIF, M. S., & KAUSAR, R. Nitrogen nutrition and adaptation of glycophytes to saline environment: a review. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(9), 1181-1206. 2018.
- ASGHER, M.; PER, T. S.; MASOOD, A.; FATMA, M.; FRESCHI, L.; CORPAS, F. J.; KHAN, N. A. Nitric oxide signaling and its crosstalk with other plant growth regulators in plant responses to abiotic stress. **Environmental Science and Pollution Research**, 24, 2273-2285. 2017.
- BACHOK, M. F.; MOHD YUSOF, B. N.; ISMAIL, A.; HAMID, A. A. Effectiveness of traditional Malaysian vegetables ('ulam') in modulating blood glucose levels. **Asia Pacific journal of clinical nutrition**, 23(3), 369-376. 2014.
- BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: **FUNEP**, p. 42, 2003.
- BILIBIO, C., CARVALHO, J. D. A., MARTINS, M., REZENDE, F. C., DE FREITAS, W. A., & GOMES, L. A. FUNÇÃO DE PRODUÇÃO DA BERINJELA IRRIGADA EM AMBIENTE PROTEGIDO. **Irriga**, v. 15, n. 1, p. 10-22, 2010.
- BLANKENSHIP, R. E. Molecular mechanisms of photosynthesis. **John Wiley & Sons**. 2021
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, 30, 365-372. 2000.
- BRUNETTI, C.; GUIDI, L.; SEBASTIANI, F.; TATTINI, M. Isoprenoids and phenylpropanoids are key components of the antioxidant defense system of plants facing severe excess light stress. **Environmental and Experimental Botany**, 119, 54-62. 2015
- CARVALHO, J. D. F.; MADGWICK, P. J.; POWERS, S. J.; KEYS, A. J.; LEA, P. J.; PARRY, M. A. An engineered pathway for glyoxylate metabolism in tobacco plants aimed to avoid the release of ammonia in photorespiration. **BMC biotechnology**, 11, 1-17. 2011.

CARVALHO, C. de; KIST, B. B.; SANTOS, C. E. dos; TREICHEL, M.; FILTER, C. F. **Anuário brasileiro de hortaliças 2017** - Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, p. 56. 2016.

CAIRO, P. A. E. Curso básico de relações hídricas de plantas. UESB, Vitória da Conquista. 1995.

CHATER, C.; KAMISUGI, Y.; MOVAHEDI, M.; FLEMING, A.; CUMING, A. C., GRAY, J. E.; BEERLING, D. J. Regulatory mechanism controlling stomatal behavior conserved across 400 million years of land plant evolution. **Current Biology**, 21(12), 1025-1029. 2011.

DA SILVA, S. S.; DE LIMA, G. S.; DE LIMA, V. L. A.; GHEYI, H. R.; dos ANJOS SOARES, L. A.; FERNANDES, P. D. Application strategies of saline water and nitrogen doses in mini watermelon cultivation. **Comunicata Scientiae**, 11, e3233-e3233. 2020.

ESTEBAN R.; MORAN, J. F.; BECERRIL, J. M.; GARCÍA-PLAZAOLA, J. I. Versatility of carotenoids: an integrated view on diversity, evolution, functional roles and environmental interactions. **Environ Exp Bot**, 119:63–75. 2015.

FAN, X.; CAO, X.; ZHOU, H.; HAO, L.; DONG, W.; HE, C.; ZHENG, Y. Carbon dioxide fertilization effect on plant growth under soil water stress associates with changes in stomatal traits, leaf photosynthesis, and foliar nitrogen of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). **Environmental and Experimental Botany**, 179, 104203. 2020.

FERREIRA, W. N.; LACERDA, C. F.; COSTA, R. C. D. A.; MEDEIROS, FILHO. S. Effect of water stress on seedling growth in two species with different abundances: the importance of Stress Resistance Syndrome in seasonally dry tropical forest. **Acta Botanica Brasilica**, 29(3): 375-382. 2015.

FISCHER, W. W.; HEMP, J.; JOHNSON, J. E. Evolution of oxygenic photosynthesis. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, 44, 647-683. 2016.

FLEXAS, J.; BARÓN, M.; BOTA, J.; DUCRUET, J.-M.; GALLÉ, A.; GALMÉS, J.; JIMÉNEZ, M.; POU, A.; RIBAS-CARBÓ, M.; SAJNANI, C.; TOMÁS, M.; MEDRANO, H. Photosynthesis limitations during water stress acclimation and recovery in the drought-adapted *Vitis* hybrid Richter-110 (*V berlandieri* x *V rupestris*)., v.127, p.343-352, 2006.

FLORA DO BRASIL. **Espécies do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 05 de dezembro. 2017.

FRANZ, T. E.; CAYLOR, K. K.; KING, E. G.; NORDBOTTEN, J. M.; CELIA, M. A.; RODRÍGUEZ-ITURBE, I. An ecohydrological approach to predicting hillslope-scale vegetation patterns in dryland ecosystems. **Water Resources Research**, 48(1). 2012.

FOYER, C.H. et al. Interactions between carbon and nitrogen metabolism. In: LEA, P.J.; MOROT-GAUDRY, J-F. Plant nitrogen. Berlin- Springer: **Verlag**. p.237-254. 2001.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica Et Biophysica Acta**, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.

GOMES, M. D. M. D. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; MACHADO, M. A. Interactions between leaf water potential, stomatal conductance and abscisic acid content of orange trees submitted to drought stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 16, 155-161. 2004.

GONZÁLEZ-CRUZ, J.; PASTENES, C. Water-stress-induced thermotolerance of photosynthesis in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants: The possible involvement of lipid composition and xanthophyll cycle pigments. **Environmental and Experimental Botany**, 77, 127-140. 2012.

GREEN, B. R.; ANDERSON, J. M.; PARSON, W. W. Photosynthetic membranes and their light-harvesting antennas. **Light-harvesting antennas in photosynthesis**, 1-28. 2003.

GRENAND, P.; MORETTI, C.; JACQUEMIN, H. Pharmacopées Traditionnelles em Guyane: Creoles, Palikur, Wayãpi. Editorial **1-ORSTROM**, Coll. Men. n.108. ParisFrance, 1987.

HAN, M. L., LV, Q. Y., ZHANG, J., WANG, T., ZHANG, C. X., TAN, R. J., CHAO, D. Y. Decreasing nitrogen assimilation under drought stress by suppressing DST-mediated activation of Nitrate Reductase 1.2 in rice. **Molecular Plant**, 15(1), 167-178. 2022.

HETHERINGTON, A. M., WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, 424(6951), 901-908. 2003.

HU, H.; XIONG, L. Genetic engineering and breeding of drought-resistant crops. **Annual review of plant biology**, 65, 715-741. 2014.

KELLEN, M. E. B.; NOUHUYS, I. S. V.; KEHL, L. C.; BRACK, P.; SILVA, D. B. da. **Plantas Alimentícias Não-Convencionais (PANCs): hortaliças espontâneas e nativas**. 1 edição. Porto Alegre. UFRGS, p, 44. 2015.

KINUPP, V. F. Plantas alimentícias alternativas no Brasil: uma fonte complementar de alimento e renda. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 333-336, nov. 2006.

KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. Riqueza de plantas alimentícias não-convencionais na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 63-65, jul. 2007.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. Plantas Alimentícias Não-Convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. **Nova Odessa**: Ed. Plantarum, 768p. 2014.

KOCH, F.; ROLIM, J. M.; MARTINAZZO, E. G.; PEDÓ, T.; VILLELA, F. A., AUMONDE, T. Z. Growth and dry matter partition wheat plants in response to seed vigor and water restriction. **Journal of Seed Science**, 43. 2021.

KUMARASAMYRAJA, D.; JEGANATHAN, N. S.; MANAVALAN, R. A review on medicinal plants with potential wound healing activity. **Int J Pharm Pharm Sci**, 2, 105-11. 2012.

LICHTENTHALER, H. K.; WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, p. 591-592, 1983.

LIU, X.; HU, B.; CHU, C. Nitrogen assimilation in plants: current status and future prospects. **Journal of Genetics and Genomics**, 49(5), 394-404. 2022.

LUBITZ, W., CHRYSINA, M., & COX, N. Water oxidation in photosystem II. **Photosynthesis Research**, 142(1), 105-125. 2019.

MARENCO, R. A., ANTEZANA-VERA, S. A., GOUVÊA, P. R. D. S., CAMARGO, M. A. B., OLIVEIRA, M. F. D., SANTOS, J. K. D. S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, 61, 786-799. 2014.

MAROTTA, R., DEL GIUDICE, A., GURRIERI, L., FANTI, S., SWUEC, P., GALANTINI, L., SPARLA, F. Unravelling the regulation pathway of photosynthetic AB-GAPDH. **Acta Crystallographica Section D: Structural Biology**, 78(11). 2022.

MASEDA, P. H.; FERNÁNDEZ, R. J.; Growth potential limits drought morphological plasticity in seedlings from six Eucalyptus provenances. **Tree Physiology**, 36(1): 243-251. 2016.

MENG, X.; ZHOU, J.; TANG, J., LI, B.; DE OLIVEIRA, M. V.; CHAI, J.; SHAN, L. Ligand-induced receptor-like kinase complex regulates floral organ abscission in Arabidopsis. **Cell reports**, 14(6), 1330-1338. 2016.

MIFLIN, B. J., & LEA, P. J. The pathway of nitrogen assimilation in plants. **Phytochemistry**, 15(6), 873-885. 1976.

MONDAL, H., SAHA, S., AWANG, K., HOSSAIN, H., ABLAT, A., ISLAM, M. K & UDDIN, S. J. Central-stimulating and analgesic activity of the ethanolic extract of *Alternanthera sessilis* in mice. **BMC complementary and alternative medicine**, 14(1), 1-9. 2014.

NAJAFPOUR, M. M., HEIDARI, S., BALAGHI, S. E., HOŁYŃSKA, M., SADR, M. H., SOLTANI, B., ALLAKHVERDIEV, S. I. Proposed mechanisms for water oxidation by Photosystem II and nanosized manganese oxides. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics**, 1858(2), 156-174. 2017.

NASCIMENTO, S. P. D.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. D. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15, 853-860. 2011.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v.104, n.1, p.199-209, 2005.

NOHATTO, M.A.; OLIVEIRA, C. de; AGOSTINETTO, D.; DOMINGUES, W.B.; FRANCO, J.J.; WESTENDORFF, N. da R. Peroxidação e extravasamento de eletrólitos em plantas de arroz competindo com arroz-vermelho por nitrogênio. Anais VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, Santa Maria, 2013.

OLIVEIRA, D. de C. da S.; WOBETO, C.; ZANUZO, M. R. SEVERGNINI, C. Composição mineral e teor de ácido ascórbico nas folhas de quatro espécies olerícolas não-convencionais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 3, p. 472-475, jul./set. 2013.

OLIVEIRA, L. L. D. Interferência de *Urochloa decumbens* no crescimento e fisiologia do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) submetido a adubações fosfatadas. 2021.

OLIVER, M. J.; FARRANT, J. M.; HILHORST, H. W.; MUNDREE, S.; WILLIAMS, B.; BEWLEY, J. D. Desiccation tolerance: avoiding cellular damage during drying and rehydration. **Annual review of plant biology**, 71, 435-460. 2020.

PAIVA, W. O. Amarantáceas: Nova opção de espinafres tropicais para a Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, vol. 8, n. 3, p. 375-363, jul./set. 1978.

PASCHOAL, V.; GOUVEIA, I.; SOUZA, N. dos S. Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs): o potencial da biodiversidade brasileira. **Revista Brasileira de Nutrição Funcional**. São Paulo, v. 68, n. 4, p. 8-14, out./dez. 2016.

ROCHA, M. E. L.; MALAVASI, U. C.; OLIVEIRA NETO, C. F. D.; TEIXEIRA, J. S. S.; SOUSA, D. J. P. D; MALAVASI, M. D. M. Biochemical and Physiological Modifications in Seedlings of *Schinus terebinthifolius* Raddi. After Hardening with Salicylic Acid. **Floresta e Ambiente**, 29. 2022.

RODRIGUES, R.; de MELLO, W. Z.; da CONCEIÇÃO, M. C. G.; de SOUZA, P. A.; da SILVA, J. J. N. Dinâmica do nitrogênio em sistemas agrícolas e florestais tropicais e seu impacto na mudança do clima. **Revista Virtual de Química** (Química Ambiental) v. 9 n. 5. 2017.

SCARANO, F. R.; BARROS, C. F.; LOH, R. K. T.; MATTOS, E. A. D.; WENDT, T. Plant morpho-physiological variation under distinct environmental extremes in restinga vegetation. **Rodriguésia**, 60, 221-235. 2009.

SCHREIBER, U., BILGER, W., NEUBAUER, C. Chlorophyll fluorescence as a nonintrusive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schulze, E. D., Caldwell, M. M. (Ed.). **Ecophysiology of photosynthesis**, Springer, Berlin, p. 49-70. 1994.

SILVA, E. N.; FERREIRA-SILVA, S. L.; FONTENELE, A.V.; RIBEIRO, R. V.; VIÉGAS, R. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic changes and protective mechanisms against oxidative damage subjected to isolated and combined drought and heat stresses in *Jatropha curcas* plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 167, n. 14, p.1157-1164, 2010.

SIMOVA-STOILOVA, L. P., ROMERO-RODRÍGUEZ, M. C., SÁNCHEZ-LUCAS, R., NAVARRO-CERRILLO, R. M., MEDINA-AUNON, J. A., & JORRÍN-NOVO, J. V. 2-DE proteomics analysis of drought treated seedlings of *Quercus ilex* supports a root active strategy for metabolic adaptation in response to water shortage. *Frontiers in plant science*, 6, 627. 2015.

SINMONTACCHI, M.; GALATRO, A.; RAMOS-ARTUSO, F.; SANTA-MARÍA, G. E. Plant survival in a changing environment: the role of nitric oxide in plant responses to abiotic stress. **Frontiers in plant science**, 6, 977. 2015.

SIQUEIRA, J. C. Importância alimentícia e medicinal das Amaranthaceae do Brasil. **Acta Biologica Leopoldensia**, v. 9, n. 1, p. 99-100, 1987.

SOUZA, M. R. M.; CORREA, E. J. A.; GUIMARÃES, G., PEREIRA, P. R. G. O potencial do ora-pro-nobis na diversificação da produção agrícola familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 3550-3554, nov. 2009.

SUN, J., JAVED, Q., AZEEM, A., ULLAH, M. S., RASOOL, G., & DU, D. Addition of Phosphorus and nitrogen support the invasiveness of *Alternanthera philoxeroides* under water stress. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 48(9), 2000059. 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Artmed Editora. 2017.

TATTINI, M.; LORETO, F.; FINI, A.; GUIDI, L.; BRUNETTI, C.; VELIKOVA, V.; FERRINI, F. Isoprenoids and phenylpropanoids are part of the antioxidant defense orchestrated daily by drought-stressed *P. latanus* × *acerifolia* plants during Mediterranean summers. **New Phytologist**, 207(3), 613-626. 2015.

TEIXEIRA, W. F.; SOARES, L. H.; FAGAN, E. B.; DA COSTA MELLO, S.; REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D. Amino acids stress reducers in soybean plant growth under different water-deficit conditions. **Journal of plant growth regulation**, 39, 905-919. 2020.

TUKEY, J. W. Comparing individual means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 5, n. 2, p. 99-114, 1949.

VIEIRA, M. D. C.; ZÁRATE, N.; LEONEL, L. Plantas alimentícias não convencionais (PANCs). Embrapa Agropecuária Oeste-Capítulo em livro técnico (**INFOTECA-E**). p.5-6, 2018.

YODER, B.J.; PETTIGREW-CROSBY, B.E. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500nm) at leaf and canopy scales. **Remote Sensing of Environment**, USA, v.53, p.199-211, 1995.

Xing, Y., Jiang, W., He, X., Fiaz, S., Ahmad, S., Lei, X., ... & Wang, X. (2019). A review of nitrogen translocation and nitrogen-use efficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19), 2624-2641.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Plant responses to drought and rewatering. **Plant signaling & behavior**, 5(6), 649-654. 2010.