

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**Plantas herbáceas: perspectivas para mitigação de impactos antrópicos
no entorno de trilhas em áreas protegidas**

Anderson Moraes da Silva

Passo Fundo

2022

Anderson Moraes da Silva

Plantas herbáceas: perspectivas para mitigação de impactos antrópicos no entorno de trilhas em áreas protegidas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora:

Dra. Carla Denise Tedesco

Coorientadora:

Dra. Gladis Hermes Thomé

Passo Fundo

2022

CIP – Catalogação na Publicação

S586p Silva, Anderson Moraes da
Plantas herbáceas [recurso eletrônico] : perspectivas para
mitigação de impactos antrópicos no entorno de trilhas em áreas
protegidas / Anderson Moraes da Silva. – 2022.
1 MB ; PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Carla Denise Tedesco.
Coorientadora: Profa. Dra. Gladis Hermes Thomé.
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) –
Universidade de Passo Fundo, 2022.

1. Diversidade biológica. 2. Plantas herbáceas. 3. Trilhas.
4. Solos - Compactação. 5. Áreas protegidas. I. Tedesco, Carla
Denise, orientadora. II. Thomé, Gladis Hermes, coorientadora.
III. Título.

CIP – Catalogação na Publicação

CDU: 504.03

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

A Banca Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação:

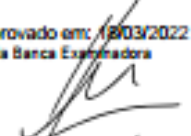
"Plantas herbáceas: perspectivas para mitigação de impactos antrópicos no entorno de trilhas em áreas protegidas"


Elaborada por

ANDERSON MORAES DA SILVA

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
"Mestre em Ciências Ambientais"

Aprovado em: 18/03/2022
Pela Banca Examinadora


Prof. Dr. Cristiano Roberto Buzatto
Presidente da Comissão Examinadora - UPF/PPGCiamb


p/ Prof. Dr. Jaime Martinez
Universidade de Passo Fundo - UPF/PPGCiamb


p/ Profa. Dra. Patricia Braga Lovatto
Universidade Federal de Rio Grande - FURG

DEDICATÓRIA

Profa. Dra. Carla Denise Tedesco e Profa. Dra. Gladis Hermes Thomé, foi uma honra tê-las como orientadora e coorientadora. Como disse Newton “se vi mais longe, foi por estar sobre o ombro de gigantes”.

AGRADECIMENTOS

Chegar até aqui só foi possível por meio de muitos incentivos, aos quais registro os meus profundos agradecimentos:

- À CAPES pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

- Um agradecimento em especial à minha amada mãe, que ao longo da minha trajetória acadêmica nunca mediu esforços para que isso fosse possível.

- Aos meus avós, por compreenderem a minha ausência física e por todo incentivo.

- À minha orientadora, Profa. Dra. Carla Denise Tedesco, por toda preocupação que demonstrou para comigo, pela amizade construída e por sempre estar disposta a contribuir com esta pesquisa. Obrigado pelos ensinamentos, disponibilidade e atenção.

- Um agradecimento em especial à minha coorientadora, Profa. Dra. Gladis Hermes Thomé, que em todos os momentos esteve presente, com grandes contribuições para esta pesquisa. Obrigado pelos ensinamentos, disponibilidade e atenção.

- Às minhas grandes amigas, Letícia e Camila, que sempre estiveram presente na minha trajetória acadêmica, ajudando-me e incentivando-me a seguir em frente.

- Ao Giovani, por toda ajuda e incentivo. E principalmente, por fazer-me acreditar que isso seria possível.

- À Fátima Moraes e à Caren Mello, por sempre estarem me apoiando e incentivando para seguir em busca dos meus almejos.

- Aos colegas do Laboratório de Ecologia, pelo auxílio com os experimentos nos momentos mais trabalhosos.

- Ao Prof. Dr. Cristiano Roberto Buzatto, pela identificação das espécies.

- Ao Prof. Dr. Alexandre Augusto Nienow, pelo empréstimo da estufa para a execução dos experimentos e pelos esforços no conserto da mesma.

- Ao Prof. Dr. José Luis Chiomento, pelo empenho no conserto da estufa.

- À Profa. Dra. Jaqueline Huzar Novakowski pelo auxílio nas análises estatísticas.

- À funcionária do Laboratório de Bioquímica, Sirlei Cazarotto, pela disposição em ajudar sempre que necessário e pelo empréstimo de materiais.

- À secretária do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Dionice Ozelame, pela atenção e dedicação sempre que necessário.

- Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pela grande aprendizagem durante este processo.

- Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pelas aulas enriquecedoras.

- À Fundação Universidade de Passo Fundo, por oferecer esse extraordinário Programa de Pós-Graduação, pela bolsa concedida e pela infraestrutura.

EPIGRAFE

*“Esse não é o fim.
Não é sequer o começo do fim.
Mas é, talvez, o fim do começo”.*

Winston Churchill

RESUMO

SILVA, Anderson Moraes da. Plantas herbáceas: perspectivas para mitigação de impactos antrópicos no entorno de trilhas em áreas protegidas. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Passo Fundo, 2022.

As áreas protegidas são imprescindíveis para a conservação da biodiversidade. Nas áreas protegidas com visitação pública, as trilhas são uma oportunidade de maior contato com a natureza e apreciação dos recursos naturais. No entanto, impactos negativos são causados pelo uso de trilhas, como a compactação do solo, o aumento do escoamento superficial da água e conseqüentemente, a erosão. Na Universidade de Passo Fundo, um projeto de extensão de visitação em trilhas, também detectou impactos que demandavam soluções de pesquisa para minimizá-los. As áreas protegidas são ricas em espécies herbáceas com potencial para contribuir na mitigação dos impactos antrópicos no entorno de trilhas. No entanto, estudos que mostrem essa estratégia de manejo sustentável e indiquem tais espécies com potencial de utilização nessas ações, ainda são inexistentes. Nesse sentido, o presente estudo buscou identificar espécies herbáceas com potencial de utilização em ações de redução dos impactos antrópicos no entorno de trilhas em áreas protegidas, testar o potencial de propagação e sobrevivência *ex situ* das espécies e avaliar a resposta das plantas escolhidas quanto aos fatores compactação do substrato e restrição hídrica. Foram realizadas expedições de campo e selecionadas as espécies *Tradescantia fluminensis* e *Calyptocarpus brasiliensis* que se destacaram pela cobertura homogênea do solo e presença em locais com diferentes condições de umidade e luminosidade. Nos experimentos realizados com estas espécies, a combinação dos fatores compactação do substrato e restrição hídrica foram os tratamentos. As variáveis resposta foram a massa seca da parte aérea, a cobertura do substrato pela parte aérea das plantas e o crescimento de raízes. As espécies foram avaliadas em condições de inverno e verão. Ambas as espécies apresentaram excelentes percentuais de sobrevivência e propagação *ex situ*, tanto no experimento realizado no verão quanto no experimento realizado no inverno. Concluímos que *T. fluminensis* e *C. brasiliensis* apresentam potencial para contribuir na mitigação de impactos antrópicos no entorno de trilhas, podendo amenizar a compactação e a erosão do solo.

Palavras-chave: 1. Conservação biológica. 2. Manejo sustentável 3. *Propagação ex situ*. 4. *Tradescantia fluminensis*. 5. *Calyptocarpus brasiliensis*

ABSTRACT

SILVA, Anderson Moraes da. Herbaceous plants: perspectives on mitigating human impacts around trails in protected areas. 52 f. Dissertation (Masters in Environmental Sciences) – University of Passo Fundo, 2022.

Protected areas are essential for the conservation of biodiversity. In protected areas with public visitation, the trails are an opportunity for greater contact with nature and appreciation of natural resources. However, negative impacts are caused by the use of trails. Among the main impacts is soil compaction, increased surface water runoff and, consequently, erosion. At the university, a project to extend visitation on trails also detected impacts that required research solutions to minimize them. Protected areas are rich in herbaceous species with the potential to contribute to the mitigation of human impacts around trails. However, studies that show this sustainable management strategy and indicate such species with potential for use in these actions are still lacking. In this sense, the present study sought to identify herbaceous species with potential for use in actions to reduce anthropic impacts around trails in protected areas, test the potential for propagation and ex situ survival of the species and evaluate the response of the chosen plants regarding the factors substrate compaction and water restriction. Field expeditions were carried out and the species *Tradescantia fluminensis* and *Calyptocarpus brasiliensis* were selected, which stood out for their homogeneous soil cover and presence in places with different conditions of humidity and luminosity. In the experiments carried out with these species, the combination of substrate compaction and water restriction factors were the treatments. The response variables were the shoot dry mass, the substrate coverage by the shoots of the plants and the root growth. The species were evaluated under winter and summer conditions. Both species showed excellent percentages of survival and ex situ propagation, both in the experiment carried out in summer and in the experiment carried out in winter. We conclude that *T. fluminensis* and *C. brasiliensis* have the potential to contribute to the mitigation of anthropic impacts in the surroundings of trails, which can alleviate soil compaction and erosion.

Key words: 1. Biological conservation. 2. Sustainable management. 3. *Ex situ propagation*. 4. *Tradescantia fluminensis*. 5. *Calyptocarpus brasiliensis*.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Cobertura do substrato (A, B, C, D) e crescimento das raízes (E, F) de *Tradescantia fluminensis* no experimento de verão, submetida aos tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄*.....30
- Figura 2 - Cobertura do substrato (A, B, C, D) e crescimento das raízes (E, F) de *Tradescantia fluminensis* no experimento de inverno, submetida aos tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄*.....32
- Figura 3 - Cobertura do substrato (A, B), senescência (C, D) e crescimento das raízes (E, F, G, H) de *Calyptocarpus brasiliensis* no experimento de verão, submetida aos tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄*.....34
- Figura 4 - Cobertura do substrato (A, B) e crescimento das raízes (C, D, E, F) de *Calyptocarpus brasiliensis* no experimento de inverno, submetida aos tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄*.....36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química do substrato utilizado nos experimentos.....	25
Tabela 2 - Médias de massa seca da parte aérea (g), cobertura do substrato e presença de raízes de <i>T. fluminensis</i> no experimento de verão, submetida aos tratamentos T ₁ , T ₂ , T ₃ e T ₄	29
Tabela 3 - Médias de massa seca da parte aérea (g), cobertura do substrato e presença de raízes de <i>T. fluminensis</i> no experimento de verão, em relação as variáveis de compactação do substrato e restrição hídrica.....	29
Tabela 4 - Médias de massa seca da parte aérea (g), cobertura do substrato e presença de raízes de <i>T. fluminensis</i> no experimento de inverno, submetida aos tratamentos T ₁ , T ₂ , T ₃ e T ₄	31
Tabela 5 - Médias de massa seca da parte aérea (g), cobertura do substrato e presença de raízes de <i>T. fluminensis</i> no experimento de inverno, em relação as variáveis de compactação do substrato e restrição hídrica.....	31
Tabela 6 - Médias de massa seca da parte aérea (g), cobertura do substrato e presença de raízes de <i>C. brasiliensis</i> no experimento de verão, submetida aos tratamentos T ₁ , T ₂ , T ₃ e T ₄	33
Tabela 7 - Médias de massa seca da parte aérea (g), cobertura do substrato e presença de raízes de <i>C. brasiliensis</i> no experimento de verão, em relação as variáveis de compactação do substrato e restrição hídrica.....	33
Tabela 8 - Médias de massa seca da parte aérea (g), cobertura do substrato e presença de raízes de <i>C. brasiliensis</i> no experimento de inverno, submetida aos tratamentos T ₁ , T ₂ , T ₃ e T ₄	35
Tabela 9 - Médias de massa seca da parte aérea (g), cobertura do substrato e presença de raízes de <i>C. brasiliensis</i> no experimento de inverno, em relação as variáveis de compactação do substrato e restrição hídrica.....	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CDB - Convenção da Diversidade Biológica

AP – Área protegida

CO₂ - Dióxido de carbono

ABA - Ácido Abscísico

Rubisco - Ribulose 1,5 Bifosfato Carboxilase/Oxigenase

3 PGA - 3-fosfoglicerato

2 PG -2-fosfoglicolato

ATP - Adenosina trifosfato

NADPH - Nicotinamida Adenina Dinucleotidio Fosfato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	ALGUMAS DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO ENTORNO DE TRILHAS	17
2.2	COMPACTAÇÃO DO SOLO COMO EFEITO DO PISOTEIO NAS TRILHAS	18
2.3	O ESTRESSE COMO RESULTADO DO DÉFICIT HÍDRICO NAS PLANTAS	19
2.4	ESTRESSE TÉRMICO NAS PLANTAS	20
3	PRODUÇÃO CIENTÍFICA	22
3.1	INTRODUÇÃO	22
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.2.1	Seleção das espécies	23
3.2.2	As espécies	24
3.2.3	Materiais vegetativos e condições de cultivo	24
3.2.4	Análises dos dados	27
3.3	RESULTADOS	28
3.3.1	<i>Tradescantia fluminensis</i>	28
3.3.2	<i>Calyptocarpus brasiliensis</i>	32
3.4	DISCUSSÃO	37
3.4.1	<i>Tradescantia fluminensis</i>	37
3.4.2	<i>Calyptocarpus brasiliensis</i>	38
3.5	CONCLUSÃO	40
3.6	REFERÊNCIAS	41
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
5	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é rico em biodiversidade, que é definida como a “variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte, compreendendo, ainda, a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas” (CDB, 2000, p.11).

Áreas protegidas (APs) são “áreas definidas geograficamente que são destinadas, ou regulamentadas, e administradas para alcançar objetivos específicos de conservação” (CDB, 2000, p.11), que são classificadas de acordo com o Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (MMA, 2011). E estão no centro de ações para reduzir a perda da biodiversidade e, por isso, são imprescindíveis para a preservação de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, tornando-se a base da conservação em várias partes do mundo (ZAFRA-CALVO; GELDMANN, 2020). A Convenção da Diversidade Biológica (CDB), por meio da Meta 11 de Aichi, determinou que até 2020 pelo menos 17% das áreas terrestres do mundo fossem protegidas (CDB, 2010). Nesse prazo, alcançou-se 15,2% de áreas terrestres protegidas no planeta (UNEP-WCMC et al., 2020). Até 2030, há a meta de alcançar 30% de áreas terrestres protegidas no planeta (CDB, 2020).

Nas APs com visitação pública, as trilhas oferecem a oportunidade de maior contato com a natureza, de descoberta de novas paisagens e de seus processos ambientais (CASTILHO; TRIANE; MARIA, 2008; SOUZA; MARTOS, 2008; KROEFF; VERDUM, 2012). No entanto, ao mesmo tempo que as trilhas agregam benefícios em favor da conservação dos recursos naturais, elas também causam impactos negativos nesses ambientes (BODOQUE et al., 2017).

Entre os principais impactos estão a exposição direta do solo à radiação solar, variações de temperatura, compactação do solo, erosão, alargamento da trilha, proliferação de trilhas laterais criadas involuntariamente pelos visitantes e degradação da

vegetação (CUNHA, 2010; PICKERING et al.,2010; RAWAT et al., 2010; BALLANTYNE; PICKERING, 2015a; BALLANTYNE; PICKERING, 2015b; CORRADINI et al., 2021).

A conservação das trilhas em áreas protegidas é uma grande preocupação dos gestores encarregados de fornecer acesso recreativo preservando as condições naturais, e para visitantes que buscam oportunidades e experiências recreativas significativas (MARION; WIMPEY, 2017).

Com intuito de conservação e uso de áreas protegidas, a Universidade de Passo Fundo desenvolve desde 2008 um projeto de extensão de visitação e monitoramento de trilhas. Neste projeto, através de observações feitas em áreas protegidas com fragmentos florestais, ficou evidente a necessidade de minimizar os impactos de visitação e observou-se que as espécies vegetais herbáceas nativas podem contribuir na mitigação dos impactos antrópicos nesses ambientes, diminuindo a erosão e a compactação do solo. No entanto, estudos indicando tais espécies são inexistentes.

A partir dessa lacuna, os objetivos do presente trabalho foram: 1) Identificar espécies herbáceas com potencial de utilização em ações de redução dos impactos antrópicos no entorno de trilhas degradadas em áreas protegidas; 2) Testar o potencial de propagação e sobrevivência *ex situ* das espécies e 3) Avaliar as respostas das plantas escolhidas quanto aos fatores compactação do substrato e restrição hídrica.

Este trabalho está organizado com uma breve revisão da literatura e uma produção científica na forma de artigo, que será submetida para publicação na Revista Biological Conservation.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão procurou abarcar os grandes tópicos que se articulam com a problemática abordada. Assim, o texto trata das principais técnicas de recuperação de áreas degradadas e alguns dos principais fatores que influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas, como compactação do solo, restrição hídrica e temperatura.

2.1 ALGUMAS DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO ENTORNO DE TRILHAS

Uma das estratégias de manejo utilizadas para mitigar impactos antrópicos em trilhas é o uso de barreiras de contenção para as laterais da trilha. Essa técnica alerta os visitantes sobre onde estão os limites de sua caminhada. Além disso, faz com que o leito da trilha se mantenha estável, favorecendo as condições de caminhada. O uso de barreiras também contribui para manter a serrapilheira sobre a trilha, amenizando a compactação e a erosão do solo (TEIXEIRA; MICHELIN, 2017).

Outra técnica, é a transposição da serrapilheira (FACELLI; PICKETT, 1991). A serrapilheira fornece nutrientes, matéria orgânica e microrganismos essenciais para a recuperação da fertilidade e da atividade biológica do solo. Além disso, funciona como uma manta que facilita a entrada de sementes e sua incorporação ao banco de sementes do solo (RODRIGUES; MARTINS; LEITE, 2010).

A semeadura direta é outra possibilidade que pode ser utilizada em larga escala e facilita o aproveitamento de maior diversidade de espécies. Esse método consiste na introdução de sementes de determinadas espécies florestais diretamente no solo da área a ser reflorestada (MENEGHELLO; MATTEI, 2004; SILVA et al., 2015). A técnica de plantio de mudas arbóreas tem sido praticada de forma constante. Entretanto, práticas com menor custo são fundamentais (FERREIRA, 2002).

2.2 COMPACTAÇÃO DO SOLO COMO EFEITO DO PISOTEIO NAS TRILHAS

O impacto antrópico negativo é mais perceptível em locais turísticos de tráfego concentrado, como nas trilhas para caminhadas (MATULEWSKI et al., 2021). O aumento da atividade de pisoteio em trilhas causa impactos ecológicos consideráveis (OLIVE; MARION, 2009).

A atividade de pisoteio afeta as propriedades do solo por meio de mudanças na compactação do solo e na hidrologia da superfície (MATULEWSKI et al., 2021). O pisoteio nas trilhas compacta o solo em razão da redução do volume de macroporos, o que eleva a impedância mecânica do solo, reduz a infiltração, aumenta o escoamento superficial e eleva a suscetibilidade à erosão. (CASTILHO; TRIANE; MARIA, 2008; OLIVE; MARION, 2009). Além disso, leva à diminuição das taxas de transporte de fluídos, resultando na redução do crescimento da raiz e da produtividade (COLOMBI; KELLER, 2019).

Em solo compactado, o crescimento das raízes pode ser retardado na camada superficial do solo ou no subsolo. A consequência para as plantas é o acesso limitado aos recursos, como a água e os nutrientes (COLOMBI; KELLER, 2019; WU et al., 2022). À medida que o solo seca, consequentemente, se eleva a baixa porosidade e baixa conectividade, aumentando a resistência do solo à penetração das raízes. (SJULGÅRD et al., 2021). Portanto, é provável que a resistência à penetração do solo seja o estresse dominante para raízes em crescimento sob condições secas (COLOMBI; KELLER, 2019).

No entanto, como estratégia, as plantas podem aumentar o crescimento das raízes em locais com condições mais favoráveis, usando macroporos existentes como vias de menor resistência ou como fonte de oxigênio (SJULGÅRD et al., 2021).

2.3 O ESTRESSE COMO RESULTADO DO DÉFICIT HÍDRICO NAS PLANTAS

O aumento da concentração do CO₂ atmosférico devido ao aquecimento global, está aumentando a intensidade e frequência das secas meteorológicas, que podem ter um impacto profundo nos ciclos biogeoquímicos dos ecossistemas terrestres (LI et al., 2020; JIANG et al., 2021). A longo prazo, levam a um déficit na umidade do solo, o que pode agravar a escassez de recursos hídricos, causando estresse hídrico nas plantas (BISTA et al., 2018; YANG et al., 2022). O déficit hídrico é o resultado da redução do potencial hídrico da planta. O estresse hídrico é considerado a consequência do déficit hídrico, caracterizado pela redução do turgor, fechamento dos estômatos e diminuição do crescimento celular, podendo resultar na senescência da planta (SHAO et al., 2008).

Frequentemente, as plantas são submetidas a situações de déficit hídrico, tendo que se adaptar a tais condições. Para sobreviver, precisam de mecanismos que permitam tolerar a perda de água em seus tecidos para que o metabolismo ocorra sob baixo potencial hídrico (SUGUIYAMA et al., 2016).

As condições de estresse são causa direta do distúrbio das funções fisiológicas essenciais e dos processos fotossintéticos, causando aumento do estresse oxidativo e diminuição do teor de água, que prejudicam o crescimento e desenvolvimento da planta, bem como a produtividade (FAROOQ et al., 2009; BISTA et al., 2018; AHMAD et al., 2019; RODRIGUES et al., 2019).

As plantas exibem perturbações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas sob déficit hídrico, tanto para tentar evitar o estresse quanto para tolerá-lo (PARKASH; SINGH, 2020). As plantas tendem a diminuir a transpiração através de dois meios. Primeiro, o fechamento dos estômatos, que é sinalizado pelo acúmulo do fitormônio ácido abscísico (ABA). O ABA é o principal hormônio responsivo ao estresse, que regula as trocas gasosas com o meio ambiente e a perda de água por meio da transpiração. Consequentemente, reduz a assimilação de CO₂ e interfere no processo fotossintético, causando danos às atividades de várias enzimas, especialmente aquelas fixadoras de CO₂ (YANG et al., 2014; PARKASH et al., 2021; ZHANG et al., 2021).

Outra resposta fisiológica consiste na redução da área foliar, diminuindo o crescimento ou ocorrendo a senescência das folhas, o que pode promover a sobrevivência da planta ao permitir a remobilização de nutrientes e a manutenção de um balanço hídrico favorável por meio da redução da área de transpiração (TARDIEU, 2005; DU TOIT et al., 2021).

2.4 ESTRESSE TÉRMICO NAS PLANTAS

As plantas terrestres são frequentemente expostas a grandes variações de temperatura (SAIDI; FINKA; GOLOUBINOFF, 2010). A flexibilidade é um requisito essencial para sobreviver ao estresse. As plantas mantêm essa flexibilidade operando estratégias que lhes permitem reprogramar rapidamente seu desenvolvimento, fisiologia e metabolismo em resposta ao estresse ambiental, um fenômeno conhecido como aclimação (ASENSI-FABADO; AMTMANN; PERRELLA, 2017; ASHRAF et al., 2018).

Um dos estresses ambientais mais severos é o estresse causado pelo frio, que afeta diversos componentes fisiológicos e bioquímicos, interferindo no crescimento e desenvolvimento das plantas (YADAV, 2010; KAZEMI-SHAHANDASHTI et al., 2014). Para tolerar esse estresse, as plantas desenvolveram alguns mecanismos. Pequenas moléculas de sinalização transmitem sinais celulares que são cruciais para suportar o estresse causado pelo frio (ZHENG et al., 2021). Essa sinalização é influenciada por vários fitormônios: etileno, ácido jasmônico, brassinosteróides, ácido abscísico, giberilinas, auxinas e citocininas (ACHARD et al., 2008; CATALÁ et al., 2014; NOVÁK et al., 2021).

Respostas são geradas por meio de efeitos do estresse causado pelo frio, em processos essenciais como a fotossíntese, metabolismo de energia, fluidez da membrana e arquitetura da parede celular. Proteínas são aplicadas em várias estratégias e moléculas defensivas contra o estresse são produzidas (KAZEMI-SHAHANDASHTI; MAALI-AMIRI, 2018).

Outro estresse para as plantas são as altas temperaturas. As plantas que são submetidas a esse estresse, apresentam redução no crescimento e na produtividade, que está associada ao declínio induzido pelo estresse térmico na condutância estomática e na fixação líquida de CO₂ (ASHRAF et al., 2018).

Quando as plantas estão sob altas temperaturas, ocorre o fechamento dos estômatos. Consequentemente, ocorre a diminuição da quantidade de CO₂ o que pode levar a enzima Ribulose 1,5 bifosfato carboxilase/oxigenase (Rubisco) a desempenhar a atividade de oxigenase que compete com a fixação de CO₂. Isso resulta na formação de uma molécula de 3-fosfoglicerato (3PGA) e uma molécula de 2-fosfoglicolato (2PG) ao custo de um ATP e um NADPH. O metabólito 2PG não é utilizado no ciclo Calvin-Benson e precisa ser reciclado, tendo alto custo de energia. Esse processo é chamado de fotorrespiração e impacta significativamente a produtividade de plantas C3, podendo reduzi-la em até 50% sob condições severas. (SIMKIN; LÓPEZ-CALCAGNO; ARAINES, 2019; KHURSHID et al., 2020).

Os estresses ambientais mencionados nesta breve revisão da literatura, abrangem amplas condições físicas que influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas. Entender como as plantas, de modo geral, se comportam diante de tais estresses, foi fundamental para a nossa pesquisa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As APs são ricas em diversidade de plantas herbáceas e algumas dessas espécies podem contribuir na mitigação dos impactos antrópicos no entorno de trilhas em áreas protegidas. Identificamos as espécies herbáceas *Tradescantia fluminensis* e *Calyptocarpus brasiliensis* e testamos o potencial de propagação e sobrevivência *ex situ* das espécies, por meio de experimentos realizados em estufa, combinando fatores que podem influenciar no crescimento e desenvolvimento das plantas, como a compactação do substrato e a restrição hídrica.

Nosso estudo mostrou que *T. fluminensis* e *C. brasiliensis* apresentam potencial para contribuir em ações de manejo no entorno de trilhas em áreas protegidas. Sugerimos futuros estudos para compreender melhor o crescimento das espécies quando submetidas a fatores que podem causar estresse. Também, sugerimos futuros estudos com espécies herbáceas nativas que apresentem potencial para contribuir em tais ações.

5 REFERÊNCIAS

ACHARD, P. et al. The Cold-Inducible CBF1 Factor–Dependent Signaling Pathway Modulates the Accumulation of the Growth-Repressing DELLA Proteins via Its Effect on Gibberellin Metabolism. **The Plant Cell**, v. 20, n. 8, p. 2117–2129, 30 set. 2008. Doi: <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.108.058941>.

AHMAD, S. et al. Exogenous melatonin confers drought stress by promoting plant growth, photosynthetic capacity and antioxidant defense system of maize seedlings. **PeerJ**, v. 7, p. e7793, 11 out. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.7793>.

ASENSI-FABADO, M.-A.; AMTMANN, A.; PERRELLA, G. Plant responses to abiotic stress: The chromatin context of transcriptional regulation. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Gene Regulatory Mechanisms**, v. 1860, n. 1, p. 106–122, jan. 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbagr.2016.07.015>.

ASHRAF, M. A. et al. Environmental Stress and Secondary Metabolites in Plants. In: **Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 153–167. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-812689-9.00008-x>.

BALLANTYNE, M.; PICKERING, C. M. Differences in the impacts of formal and informal recreational trails on urban forest loss and tree structure. **Journal of Environmental Management**, v. 159, p. 94–105, ago. 2015. Doi: [10.1016/j.jenvman.2015.05.007](http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.007).

BALLANTYNE, M.; PICKERING, C. M. The impacts of trail infrastructure on vegetation and soils: Current literature and future directions. **Journal of Environmental Management**, v. 164, p. 53–64, dez. 2015. Doi: [10.1016/j.jenvman.2015.08.032](http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.08.032).

BISTA, D. et al. Effects of Drought on Nutrient Uptake and the Levels of Nutrient-Uptake Proteins in Roots of Drought-Sensitive and -Tolerant Grasses. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 28, 30 mar. 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants7020028>.

BODOQUE, J. M. et al. Quantifying Soil Erosion from Hiking Trail in a Protected Natural Area in the Spanish Pyrenees. **Land Degradation & Development**, v. 28, n. 7, p. 2255–2267, out. 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2755>.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE – 2000 – “Convenção da Diversidade Biológica”. Brasília. 32p.

CATALÁ, R. et al. The *Arabidopsis* 14-3-3 Protein RARE COLD INDUCIBLE 1A Links Low-Temperature Response and Ethylene Biosynthesis to Regulate Freezing

Tolerance and Cold Acclimation. **The Plant Cell**, v. 26, n. 8, p. 3326–3342, 25 set. 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1105/tpc.114.127605>.

CASTILHO, V.; TRIANE, B. P.; MARIA, N. Impactos ambientais em trilhas: agricultura X Ecoturismo - um estudo de caso na Trilha do Quilombo (PEPB — RJ) O aumento do número de pessoas buscando o convívio direto com a natureza através de atividades ao ar livre. p. 84–113, 2008.

CDB, 2010. Decisão X/2 da COP 10. Plano Estratégico para a Biodiversidade 2011–2020 [Documento WWW]. COP Decis. URL <https://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268> (Acessado em 17 de jan. de 2022).

CBD. Report of the open-ended working group on the post-2020 global biodiversity framework on its Second Meeting (No. CBD/WG2020/2/4). United Nations Convention on Biological Diversity, Rome, Italy (2020). (Acessado em 16 de jan. de 2022).

COLOMBI, T.; KELLER, T. Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction—A plant eco-physiological perspective. **Soil and Tillage Research**, v. 191, p. 156–161, ago. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2019.04.008>.

CORRADINI, A. et al. Effects of cumulated outdoor activity on wildlife habitat use. **Biological Conservation**, v. 253, p. 1088. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108818>.

CUNHA, A. A. Negative effects of tourism in a Brazilian Atlantic forest National Park. **Journal for Nature Conservation**, v. 18, n. 4, p. 291–295, dez. 2010.

DU TOIT, S. F. et al. Physiological characterisation of tissue differentiation in response to desiccation in the homoiochlorophyllous dicot resurrection plant *Craterostigma pumilum* Hochst. **Environmental and Experimental Botany**, v. 192, p. 104650, dez. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104650>.

FACELLI, J. M.; PICKETT, S. T. A. Plant litter: Its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, v. 57, n. 1, p. 1–32, jan. 1991. Doi: <http://dx.doi.org/10.1007/bf02858763>.

FAROOQ, M. et al. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 185–212, mar. 2009. Doi: <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2008021>.

FERREIRA, R.A. Estudo da semeadura direta visando à implantação de matas ciliares. 2002. 138f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

JIANG, T. et al. A novel index for ecological drought monitoring based on ecological water deficit. **Ecological Indicators**, v. 129, p. 107804, out. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107804>.

KAZEMI-SHAHANDASHTI, S.-S. et al. Effect of short-term cold stress on oxidative damage and transcript accumulation of defense-related genes in chickpea seedlings. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 13, p. 1106–1116, ago. 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2014.03.020>.

KAZEMI-SHAHANDASHTI, S.-S.; MAALI-AMIRI, R. Global insights of protein responses to cold stress in plants: Signaling, defence, and degradation. **Journal of Plant Physiology**, v. 226, p. 123–135, jul. 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2018.03.022>.

KHURSHID, G. et al. A cyanobacterial photorespiratory bypass model to enhance photosynthesis by rerouting photorespiratory pathway in C3 plants. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 20879, dez. 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-77894-2>.

KROEFF, L. L.; VERDUM, R. Identificação de áreas potenciais ao mapeamento de trilhas ecoturísticas na propriedade do Ecoparque, Em Canela/RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 131–136, 2012.

LI, J. et al. Drought prediction models driven by meteorological and remote sensing data in Guanzhong Area, China. **Hydrology Research**, v. 51, n. 5, p. 942–958, 1 out. 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.2166/nh.2020.184>.

MARION, J. L.; WIMPEY, J. Assessing the influence of sustainable trail design and maintenance on soil loss. **Journal of Environmental Management**, v. 189, p. 46–57, mar. 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.074>.

MATULEWSKI, P. et al. Trampling as a major ecological factor affecting the radial growth and wood anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) roots on a hiking trail. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107095, fev. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107095>.

MENEGHELLO, G. E.; MATTEI, V. L. Semeadura direta de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), canafístula (*Peltophorum dubium*) e cedro (*Cedrela fissilis*) em campos abandonados. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 21–27, 30 jun. 2004. Doi: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981803>.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Brasília: MMA, 2011. 76 p.

NOVÁK, J. et al. Limited light intensity and low temperature: Can plants survive freezing in light conditions that more accurately replicate the cold season in temperate regions? **Environmental and Experimental Botany**, v. 190, p. 104581, out. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104581>.

OLIVE, N. D.; MARION, J. L. The influence of use-related, environmental, and managerial factors on soil loss from recreational trails. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 3, p. 1483–1493, mar. 2009. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.10.004>.

PARKASH, V. et al. Effect of deficit irrigation on physiology, plant growth, and fruit yield of cucumber cultivars. **Plant Stress**, v. 1, p. 100004, jan. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.stress.2021.100004>.

PARKASH, V.; SINGH, S. A Review on Potential Plant-Based Water Stress Indicators for Vegetable Crops. **Sustainability**, v. 12, n. 10, p. 3945, 12 maio 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su12103945>.

PICKERING, C. M. et al. Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 3, p. 551–562, jan. 2010. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.09.025>.

RAWAT, M. et al. Visitors off the trail: Impacts on the dominant plant, bryophyte and lichen species in alpine heath vegetation in sub-arctic Sweden. **Environmental Challenges**, v. 3, p. 100050, abr. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envc.2021.100050>.

RODRIGUES, B. D.; MARTINS, S. V.; LEITE, H. G. Avaliação do potencial da transposição da serapilheira e do banco de sementes do solo para restauração florestal em áreas degradadas. **Revista Arvore**, v. 34, n. 1, p. 65–73, 2010.

RODRIGUES, T. DE S. et al. Evaluation of *Setaria viridis* physiological and gene expression responses to distinct water-deficit conditions. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, p. 42–58, 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biori.2020.03.001>.

SAIDI, Y.; FINKA, A.; GOLOUBINOFF, P. Heat perception and signalling in plants: a tortuous path to thermotolerance. **New Phytologist**, v. 190, n. 3, p. 556–565, maio 2011. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03571.x>.

SHAO, H.-B. et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215–225, mar. 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>.

- SILVA, K. DE A. et al. semeadura direta com transposição de serapilheira como metodologia de restauração ecológica1. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 811–820, out. 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500004>.
- SIMKIN, A. J.; LÓPEZ-CALCAGNO, P. E.; RAINES, C. A. Feeding the world: improving photosynthetic efficiency for sustainable crop production. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 4, p. 1119–1140, 20 fev. 2019. Doi: <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/ery445>.
- SOUZA, P. C.; MARTOS, H. L. Estudo do uso público e análise ambiental das trilhas em uma unidade de conservação de uso sustentável: Floresta Nacional de Ipanema, Iperó - SP. **Revista Arvore**, v. 32, n. 1, p. 91–100, 2008.
- SJULGÅRD, H. et al. Reversible and irreversible root phenotypic plasticity under fluctuating soil physical conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 188, p. 104494, ago. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104494>.
- SUGUIYAMA, V. F. et al. Physiological responses to water deficit and changes in leaf cell wall composition as modulated by seasonality in the Brazilian resurrection plant *Barbacenia purpurea*. **South African Journal of Botany**, v. 105, p. 270–278, jul. 2016. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2016.03.021>.
- TARDIEU, F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 337, n. 1–2, p. 57–67, jan. 2005. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2004.09.015>.
- TEIXEIRA, P. R.; MICHELIN, R. L. Mapeamento Dos Indicadores De Impacto Ambiental E Manejo Na Trilha Do Parque Nacional Do Viruá - Roraima. **Turismo - Visão e Ação**, v. 19, n. 2, p. 270, 2017.
- UNEP-WCMC, IUCN, NGS. **Protected planet live report 2020 [WWW Document]. Prot. Planet Digit. Rep.** URL: <https://livereport.protectedplanet.net> (2020). Acessado em 20 de janeiro de 2022.
- WU, X. et al. Localized nutrient supply can facilitate root proliferation and increase nitrogen-use efficiency in compacted soil. **Soil and Tillage Research**, v. 215, p. 105198, jan. 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2021.105198>.
- YANG, C. et al. Short-Term and Continuing Stresses Differentially Interplay with Multiple Hormones to Regulate Plant Survival and Growth. **Molecular Plant**, v. 7, n. 5, p. 841–855, maio 2014. Doi: <http://dx.doi.org/10.1093/mp/ssu013>.
- YANG, X. et al. Effects of elevated CO₂ and nitrogen supply on leaf gas exchange, plant water relations and nutrient uptake of tomato plants exposed to progressive soil drying. **Scientia Horticulturae**, v. 292, p. 110643, jan. 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110643>.
-

YADAV, S. K. Cold stress tolerance mechanisms in plants. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 3, p. 515–527, set. 2010. Doi: <http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009050>.

ZAFRA-CALVO, N.; GELDMANN, J. Protected areas to deliver biodiversity need management effectiveness and equity. **Global Ecology and Conservation**, v. 22, p. e01026, jun. 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01026>.

ZHANG, J. et al. The coordination of guard-cell autonomous ABA synthesis and DES1 function in situ regulates plant water deficit responses. **Journal of Advanced Research**, v. 27, p. 191–197, jan. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2020.07.013>.

ZHENG, S. et al. Small signaling molecules in plant response to cold stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 266, p. 153534, nov. 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153534>

