



Universidade Federal de Ouro Preto

Instituto de Ciências Exatas e Biológicas

Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente



Ana Cristina Cirilo

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE GRAMÍNEAS (POACEAE) NATIVAS DE  
CAMPOS RUPESTRES E EFEITO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES**

**Ouro Preto**

**2025**

Ana Cristina Cirilo

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE GRAMÍNEAS (POACEAE) NATIVAS DE  
CAMPOS RUPESTRES E EFEITO DE MICROORGANISMOS EFICIENTES**

Monografia apresentada ao Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Alessandra Rodrigues Kozovits

Coorientadora: Nayara Vieira Trevisani

**Ouro Preto**

**2025**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE BIODIVERSIDADE, EVOLUÇÃO E  
MEIO AMBIENTE



**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Ana Cristina Cirilo**

**Germinação de sementes de gramíneas (Poaceae) nativas de Campos Rupestres e efeito de microorganismos eficientes**

Monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas

Aprovada em 17 de fevereiro de 2025

**Membros da banca**

Dra. Alessandra Rodrigues Kozovits – Presidente da banca - Universidade Federal de Ouro Preto  
Dr. Fernando Augusto de Oliveira e Silveira - Universidade Federal de Minas Gerais  
Dr. Maurílio de Assis Figueiredo - Universidade Federal de Ouro Preto

Alessandra Rodrigues Kozovits, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 17/02/2025



Documento assinado eletronicamente por **Alessandra Rodrigues Kozovits, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/02/2025, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0860741** e o código CRC **98B560C6**.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto pelo ensino gratuito e de qualidade e à agência de fomento FAPEMIG pelo suporte essencial.

À Nayara, pela parceria e coorientação. À minha orientadora, professora Alessandra, pela dedicação, paciência e pelos ensinamentos, que foram essenciais para o meu aprendizado e para a realização desse trabalho.

Ao pessoal do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da UFOP, ao Maurílio pelo auxílio principalmente nos experimentos na B.O.D. e ao Diego, pela ajuda em campo e com os experimentos.

À Vivi e à Deborah, do herbário, e ao Luciano, do Horto, pela prestatividade e pelo auxílio ao longo da minha trajetória.

A todos professores da Botânica. Foi um privilégio aprender com cada um de vocês, que me orientaram com dedicação e carinho. São pessoas que sempre serão inspiração para mim.

Ao Laboratório de Anatomia Vegetal da UFOP, agradeço ao professor Hilde pela primeira oportunidade, pelos anos de aprendizado no laboratório e pela amizade.

À professora Maria Cristina, pelo acolhimento, pelos ensinamentos, e por tantas oportunidades que transformaram minha caminhada.

À professora Lívia, pelas oportunidades, pelo apoio e pelos valiosos ensinamentos.

À minha amiga Dani, que amo tanto e que foi uma das pessoas mais importantes da minha graduação, pela parceria de sempre, por toda ajuda e por cada momento vivido.

As minhas amigas Isabel e Jocielle. À Fernanda, pela companhia e por tornar meus dias mais especiais. São pessoas fundamentais na minha vida. Amo vocês muito!

À Rebeca, Isabela, Cláudio e Jéssica (da Bio), pelos momentos descontraídos e de alegria.

À Dona Lúcia, minha vizinha, por fazer meus dias ficarem mais agradáveis.

E, por fim, à minha família – meu pai, minha mãe, meu irmão, minha avó Jandira e minha tia Dorinha – pelo apoio incondicional em todos os momentos. Amo vocês!

## RESUMO

Os campos rupestres são ecossistemas essenciais para a manutenção de diversos serviços ecológicos e possuem alta taxa de espécies endêmicas. No entanto, estão ameaçados pela degradação, especialmente devido à mineração. Muitas das espécies dessas fitofisionomias apresentam baixas taxas de germinação, resultantes da produção de sementes inviáveis. A compreensão do potencial germinativo de espécies nativas desses ambientes é de extrema relevância para a restauração ambiental, pois o sucesso das sementes e o estabelecimento das espécies no ambiente depende de condições favoráveis a germinação. A inoculação de microrganismos do solo de área preservada de campo rupestre, pode ser uma estratégia para melhorar esse processo, aumentando e acelerando a germinação. O objetivo desse estudo foi avaliar a germinação de sementes de nove espécies de gramíneas nativas de campos rupestres, e mensurar se a aplicação de Microrganismos eficientes (EM), coletados nas áreas de referências, melhoram o potencial germinativo. Avaliou-se também se a irrigação com água clorada influencia a ação do EM sobre a germinação. Os experimentos foram conduzidos em placa de Petri na câmara de germinação e em solo na casa de vegetação. As variáveis analisadas incluíram a taxa de germinação, a velocidade de germinação e a resposta das sementes aos diferentes tratamentos de concentração do EM e irrigação. Os resultados indicaram uma alta variação na germinabilidade entre as espécies, com *Sporobolus metallicolus* e *Sporobolus indicus* apresentando melhorias significativas nas taxas de germinação quando inoculadas com EM, com maior eficiência na concentração de 1%. A irrigação com água clorada não interferiu nos resultados, o que sugere a viabilidade do uso de água tratada em processos de germinação em larga escala. A aplicação de EM pode ser uma estratégia eficaz para aumentar a germinação e acelerar o processo germinativo das gramíneas nativas de campos rupestres *S. indicus* e *S. metallicolus*. Entretanto, a eficácia do tratamento depende da porcentagem de diluição dos EM, das características específicas de cada espécie e das condições ambientais.

Palavras chave: germinabilidade, microrganismos, área degradada, restauração

## ABSTRACT

Rupestrian grassland are essential ecosystems for the maintenance of several ecological services and have a high rate of endemic species. However, they are threatened by degradation, especially due to mining. Many of the species in these phytophysiognomies have low germination rates, resulting production of non-viable seeds. Understanding the germination potential of native species in these environments is extremely relevant for environmental restoration, since the success of seeds and the establishment of species in the environment depend on conditions favorable to germination. The inoculation of microorganisms from the soil of a preserved area of rupestrian grassland can be a strategy to improve this process, increasing and accelerating germination. The objective of this study was to evaluate the germination of seeds of nine species of native grasses from rocky fields, and to test whether the application of efficient microorganisms (EM), collected in reference areas, improves germination potential. It was also evaluated whether irrigation with chlorinated water influences the action of EM on germination. The experiments were conducted in a Petri dish in a germination chamber and in a greenhouse on the substrate. The variables analyzed included germination rate, germination speed, and seed response to different EM concentration and irrigation treatments. The results indicated a high variation in germination among species, with *Sporobolus metallicolus* and *Sporobolus indicus* showing significant improvements in germination rates when inoculated with EM, with greater efficiency at a concentration of 1%. Irrigation with chlorinated water did not interfere with the results, which suggests the feasibility of using treated water in large-scale germination processes. The application of EM can be an effective strategy to increase germination and accelerate the germination process of native grasses from rocky fields *S. indicus* and *S. metallicolus*. However, the effectiveness of the treatment depends on the percentage of EM dilution, the specific characteristics of each species, and the environmental conditions.

Key words: germinability, microorganisms, degraded area, restoration

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Imagem indicando a região de campo rupestre estudada, localizada na Serra da Brígida, Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG. Imagem obtida pelo Google Earth..... 13
- Figura 2. Espécies estudadas de gramíneas nativas de campos rupestres, A: *Aristida torta* (Foto cedida por Trevisani, N. V.), B: *Dichanthelium sciurotoides*, C: *Echinolaena inflexa*, D: *Eragrostis rufescens*, E: *Paspalum glaucescens*, F: *Paspalum hyalinum*, G: *Paspalum polyphyllum*, H: *Sporobolus indicus* (Foto cedida por Trevisani, N. V.) e I: *Sporobolus metallicolus* (Foto cedida por Trevisani, N.V). Foto C: retirada de *Echinolaena* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at:<<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB13191>>. Acesso em: 01 fev. 2025. Foto E: retirada de *Paspalum* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB13468>>. Acesso em: 01 fev. 2025. Foto G: retirada de *Paspalum* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB13497>>. Acesso em: 01 fev. 2025..... 15
- Figura 3. A: placas de Petri contendo cariopses de gramíneas nativas de campo rupestre, Ouro Preto, MG, prontas para serem colocadas na câmara de germinação. B: coleótilos de *Sporobolus metallicolus*. ..... 18
- Figura 4. A: bandeja de arroz sendo colocada em região de campo rupestre, Serra da Brígida, Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG. B: arroz colonizado por microrganismos eficientes (EM), processo de separação das colônias de EM no laboratório de Ecofisiologia Vegetal da UFOP. C: galões interligados por mangueira em recipiente com água..... 19
- Figura 5. A: Bandejas experimentais contendo 1:1 de substrato comercial para plantio de mudas sem fertilizantes e substrato da área degradada peneirado em casa de vegetação. B: coleótilos de *Aristida torta*..... 21
- Figura 6. Porcentagem de germinação das cariopses de quatro espécies de gramíneas nativas de campo rupestre, Quadrilátero Ferrífero, MG (At: *Aristida torta*, Er: *Eragrostis rufescens*, Si: *Sporobolus indicus* e Sm: *Sporobolus metallicolus*) testadas com inoculação no solo com microrganismos eficientes (EM) 0,1% e 1,0%, além do grupo controle. Letras diferentes (a; b) indicam que há diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) nas taxas de germinação entre os tratamentos em cada espécie. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação..... 24
- Figura 7. Germinação acumulada (0 a 35 dias) das sementes das gramíneas nativas de campo rupestre, Quadrilátero Ferrífero, MG, que mais germinaram (26-80%) nos tratamentos com inoculação no solo de EM 0,1% e 1,0%, e grupo controle. Letras diferentes (a, b, c) nas linhas de tendência indicam que há diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) na velocidade de germinação entre os tratamentos em cada espécie. As equações dos ajustes de regressões encontram-se nos apêndices..... 25
- Figura 8. Porcentagem de germinação de sementes de *Sporobolus metallicolus* submetidas a tratamento de irrigação com água destilada e água clorada, e com e sem inoculação de EM 0,1% e 1,0%. Letras iguais indicam que não há diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) nas taxas de germinação entre os tratamentos. .... 26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Números de vouchers das espécies selecionadas de gramíneas nativas de campo rupestre, Quadrilátero Ferrífero, MG. ....	14
Tabela 2. Principal mês de coleta de sementes das espécies nativas de campos rupestres, Ouro Preto, Quadrilátero ferrífero, MG. ....	16
Tabela 3. Valores médios de porcentagem de germinação de cariopses de nove espécies de gramíneas nativas de campo rupestre, do Quadrilátero Ferrífero, MG, submetidas à câmara de germinação regulada à 25° C e fotoperíodo de 12h de luz .....	23

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	8
2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	12
2.1. Área de estudo .....	12
2.2. Seleção das espécies .....	13
2.3. Coleta e manipulação de sementes .....	16
2.4. Coleta de solos .....	16
2.5. Experimento em câmara de germinação.....	17
2.6. Coleta e preparo de microrganismos eficientes (EM) .....	18
2.7. Experimentos em casa de vegetação – inoculação de Microrganismos Eficientes no solo.....	19
2.7.1. Experimento de inoculação de microrganismos eficientes no solo .....	20
2.7.2. Experimento de inoculação de microrganismos eficientes no solo com uso de água destilada e água clorada durante irrigação.....	21
2.8. Análises estatísticas .....	21
3. RESULTADOS .....	22
3.1. Germinabilidade em placa de Petri sob condições controladas.....	22
3.2. Germinabilidade em substrato em casa de vegetação e efeito dos EM .....	23
3.3. Velocidade de germinação .....	24
3.4. Efeito da água clorada .....	25
4. DISCUSSÃO.....	26
5. CONCLUSÃO .....	30
REFERÊNCIAS .....	30
APÊNDICES .....	37

## 1. INTRODUÇÃO

A degradação dos campos rupestres apresenta um grande desafio para a área da restauração ecológica (FERNANDES *et al.*, 2020). Esses ecossistemas são encontrados em regiões montanhosas de altitudes elevadas, geralmente acima de 900 metros (RAPINI *et al.*, 2008) e são caracterizados por condições ambientais severas como alta radiação solar e ventos intensos (JACOBI & CARMO, 2008). Os solos são predominantemente rasos e estão intercalados por afloramentos rochosos compostos principalmente de quartzitos, arenitos ou formações ferruginosas conhecidas por cangas (FERRARI *et al.*, 2016). A vegetação é composta principalmente por plantas herbáceas e subarbustos (ALVES *et al.*, 2014) adaptados às condições impostas pelo ambiente, como baixa fertilidade dos solos, sazonalidade hídrica e alta amplitude térmica (GIULIETTI *et al.*, 1997; FERNANDES *et al.*, 2020).

Embora ocupem menos de 1% do território brasileiro, os campos rupestres oferecem serviços ecossistêmicos essenciais e abrigam biodiversidade excepcional (SILVEIRA *et al.*, 2016), com elevado endemismo (ECHTERNACHT *et al.*, 2011). As particularidades desses ambientes selecionaram espécies com adaptações específicas e características diretamente relacionadas a este tipo de ambiente, de modo que muitas delas são dependentes dessas condições (PERILLO, 2022).

Os solos de campos rupestres são pobres em nutrientes, refletindo a geoquímica das rochas de origem que possuem altas concentrações de elementos como alumínio e ferro (BENITES *et al.*, 2007), o que as torna atrativas para atividades mineradoras. A mineração no Brasil representa um histórico econômico e social importante (NEVES *et al.*, 2016; ALVES *et al.*, 2021), porém é a causa de diversos impactos ambientais (GRIFFITH & TOY, 2001) como redução da biodiversidade local, erosão e remoção da camada fértil do solo (REZENDE, 2016). A retirada completa do solo e da vegetação no processo de exploração mineral à céu aberto

impede ou dificulta muito a regeneração natural e o reestabelecimento de novas comunidades (NEGREIROS *et al.*, 2011). Nesse contexto, métodos ativos de reintrodução de mudas de espécies nativas (MACHADO *et al.*, 2013; FIGUEIREDO *et al.*, 2023), além da transposição de topsoil (ONÉSIMO *et al.*, 2021; FIGUEIREDO *et al.*, 2024) e da semeadura direta (FIGUEIREDO *et al.*, 2021) parecem ser as estratégias possíveis para iniciar a restauração ecológica de áreas de campos rupestres degradadas pela mineração (GAIROLA *et al.*, 2023; ARRUDA *et al.*, 2023). Nos últimos anos, esses impactos têm se agravado em razão da expansão da atividade de extração mineral, especialmente de ferro (SOUZA *et al.*, 2022).

Embora a legislação preconize o uso de espécies nativas nas ações de recuperação de áreas degradadas pela mineração, o uso de espécies exóticas é ainda comum, causando diversos prejuízos ao ambiente (MARTINS, 2001) devido aos riscos associados à invasão biológica e alterações nas dinâmicas dos ecossistemas (SANTILLI & DURIGAN, 2014; FERNANDES *et al.*, 2016). Métodos inadequados como a fertilização do solo, agravam ainda mais o cenário, prejudicando as espécies nativas, favorecendo a invasão por espécies exóticas (VALLANO *et al.*, 2012; GAIA SHIVEGA & ALDRICH-WOLF, 2017) e desestabilizando o equilíbrio do ambiente.

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de estratégias mais eficazes e sustentáveis para a restauração ecológica que considerem, acima de tudo, as condições naturais dos ecossistemas de referência. Nesse sentido, a utilização de espécies nativas deve ser prioridade e para tal, o aprimoramento de técnicas que superem os desafios relacionados à germinação e ao estabelecimento dessas plantas são fundamentais para o sucesso dos programas de recuperação ambiental (LÁZARO-GONZÁLEZ *et al.*, 2023; ARRUDA *et al.*, 2023).

Nos campos rupestres muitas espécies enfrentam desafios relacionados às baixas taxas de germinação, pois além de possuírem restrições nos mecanismos de dispersão, frequentemente produzem sementes inviáveis (CARMONA *et al.*, 1999; FERNANDES *et al.*, 2020). Estudos sobre a germinação de sementes são fundamentais, pois a taxa de germinação influencia diretamente a viabilidade e o sucesso das sementes em programas de restauração.

As gramíneas (Poaceae) possuem grande potencial para revegetação de áreas degradadas (ÁLVARES-HOLGUÍN *et al.*, 2024) devido a sua capacidade de tolerar condições adversas (LANDI *et al.*, 2017), se espalharem facilmente, e proporcionarem proteção ao solo (BRINDLE, 2003). Sua densa morfologia radicular aumenta a retenção de umidade, promove a estabilidade do solo (ROCHA *et al.*, 2021), e auxilia no controle da erosão (GYSSSELS & POESEN, 2003; HALLI *et al.*, 2022). Além disso, muitas espécies dessa família funcionam como fitoremediadoras melhorando a qualidade do solo de áreas degradadas pela mineração (PATRA *et al.*, 2021). Elas também criam condições favoráveis para o estabelecimento de outras espécies. Contudo, ainda existem lacunas de conhecimento sobre a germinação de gramíneas nativas, incluindo as dos campos rupestres (ORDOÑEZ-PARRA *et al.*, 2022).

Embora avanços significativos tenham ocorrido na última década, a busca por alternativas sustentáveis que melhorem as taxas de germinação de espécies nativas (JARRAR *et al.*, 2023) permanece como alvo da pesquisa. Uma alternativa com potencial de uso direto e simples, é o uso de Microrganismos Eficientes (EM) coletados nas áreas de referência. Estes podem apresentar melhores resultados por estarem adaptados às características locais, uma vez que eles coevoluíram com a vegetação no ambiente de campo rupestre exercendo papéis ecológicos importantes na interação solo-planta (PROCÓPIO & BARRETO, 2021). Os campos rupestres possuem alta diversidade de microrganismos no solo, embora ainda pouco estudados (MIOLA, 2019; FIGUEIREDO *et al.*, 2023), fato que está diretamente relacionado ao mosaico

florístico e geomorfológico existente nas regiões (MESSIAS *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2012). A introdução de EM nativos pode minimizar os efeitos causados pela degradação do solo (LI *et al.*, 2024) e melhorar a taxa de germinação de sementes (ANDRADE, 2020). Segundo Higa & Parr (1994), esses inoculantes microbianos são uma mistura de diversos microrganismos benéficos naturais como bactérias lácticas e fotossintéticas, leveduras, actinomicetos e fungos micorrízicos. Ao serem aplicados no solo ou diretamente nas plantas, são capazes de potencializar o aproveitamento de nutrientes, estimular crescimento e desenvolvimento das plantas (HIGA & PARR, 1994; WANG *et al.*, 2022; TALAAT & ABDEL-SALAM, 2024). Podem ser uma alternativa na restauração de solos degradados pós-mineração pois interagem diretamente com o solo, promovendo alterações na microbiota local e melhoria em suas propriedades (LOPES *et al.*, 2021). Embora o uso dos EM seja uma técnica bastante utilizada atualmente na agricultura demonstrando excelentes resultados (AVILA, 2021) a aplicação em estudos de germinação de gramíneas nativas e melhoramento de solos degradados ainda são escassos.

Sendo assim, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de germinação de sementes de gramíneas nativas de campos rupestres e o efeito da inoculação de EM no solo sobre a germinação, a fim de conhecer a germinabilidade das espécies estudadas e aprimorar técnicas de germinação. Em escala ainda laboratorial, os testes de germinação são normalmente realizados com água destilada. Entretanto, espera-se que, em dado momento, as técnicas desenvolvidas possam ser ampliadas para escalas comerciais, que certamente se utilizarão de fontes de água tratada com cloro para a germinação e irrigação das mudas. Assim, objetiva-se também verificar se irrigação com água clorada pode influenciar o efeito de EM na resposta germinativa das sementes. Essa abordagem visa contribuir em programas de recuperação de

áreas degradadas de campo rupestre, contribuindo para a recuperação dessas fitofisionomias e reintrodução de espécies nativas.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo**

As áreas doadoras de sementes e de substrato para o estudo encontram-se na Serra da Brígida (20°21'35''S, 43°30'12''W), na área de proteção ambiental (APA) da Cachoeira das Andorinhas, município de Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG. Com exceção para as espécies *Sporobolus indicus* e *Aristida torta*, que foram coletadas no campus morro do cruzeiro da UFOP (20°39'60''S, 43°51'05''W), e *Echinolaena inflexa* que foi coletada no parque Estadual do Itacolomi (20°24'27" S, 43°30'31" W), município de Ouro Preto, Minas Gerais. A altitude da Serra da Brígida varia entre 1470 a 1500 m e o clima é o Cwb, temperado quente (úmido mesotérmico), segundo a classificação de Köppen, apresentando estação chuvosa de outubro a março e seca de abril a setembro (ALVARES *et al.*, 2014) e é comum a ocorrência de dias com neblina durante o ano inteiro (BOANARES *et al.*, 2019). No local há uma área pós minerada de bauxita (de onde se retirou o substrato para testes em casa de vegetação) e ao seu redor, fragmentos e áreas contínuas de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos (Figura 1).



Figura 1. Imagem indicando a região de campo rupestre estudada, localizada na Serra da Brígida, Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG. Imagem obtida pelo Google Earth.

## 2.2. Seleção das espécies

Foram selecionadas nove espécies nativas de gramíneas, típicas dos campos rupestres, sendo elas: *Aristida torta* (Ness) Kunt (Fig. 2-A), *Dichantherium sciurotoides* Zuloaga & Morrone (Fig. 2-B), *Echinolaena inflexa* (Poir.) Chase (Fig. 2-C), *Eragrostis rufescens* Schrad. ex Schult. (Fig. 2-D), *Paspalum hyalinum* Ness ex Trin. (Fig. 2-E), *Paspalum cf. glaucescens* Hack. (Fig. 2-F), *Paspalum polyphyllum* Nees (Fig. 2-G), *Sporobolus indicus* (L.) R.Br. Fig. 2-H) e *Sporobolus metallicolus* Longhi-Wagner & Boechat (Fig. 2-I). A seleção das espécies se deu pela disponibilidade de sementes e de populações maiores encontradas nas áreas de coleta. Exemplares de cada espécie contendo estruturas reprodutivas foram coletados, herborizados e

depositados no Herbário Professor José Badini (OUPR) na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). A tabela abaixo contém os respectivos números de vouchers das espécies (Tab. 1).

Tabela 1. Números de registros das espécies selecionadas de gramíneas nativas de campo rupestre, Quadrilátero Ferrífero, MG.

Espécie	Número de voucher
<i>Aristida torta</i>	OUPR 39617
<i>Dichantherium sciurotoides</i>	OUPR 39619
<i>Echinolaena inflexa</i>	OUPR 44115
<i>Eragrostis rufescens</i>	OUPR 44117
<i>Paspalum glaucescens</i>	OUPR 44116
<i>Paspalum hyalinum</i>	OUPR 39620
<i>Paspalum polyphyllum</i>	OUPR 44118
<i>Sporobolus indicus</i>	Em processo de depósito
<i>Sporobolus metallicolus</i>	OUPR 44120

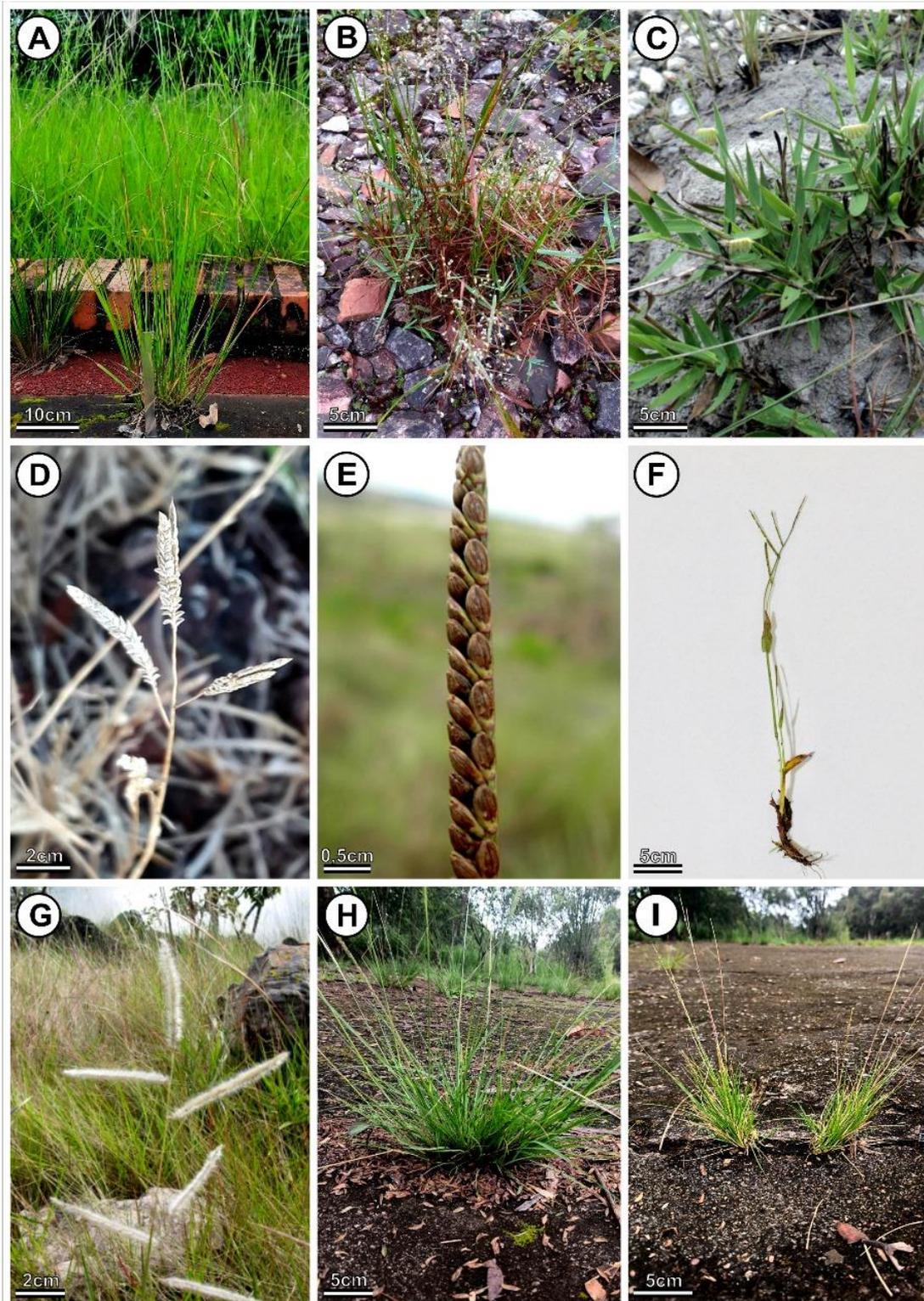


Figura 2. Espécies estudadas de gramíneas nativas de campos rupestres, A: *Aristida torta* (Foto cedida por Trevisani, N. V.), B: *Dichantherium sciurotoides*, C: *Echinolaena inflexa*, D: *Eragrostis rufescens*, E: *Paspalum glaucescens*, F: *Paspalum hyalinum*, G: *Paspalum polyphyllum*, H: *Sporobolus indicus* (Foto cedida por Trevisani, N. V.) e I: *Sporobolus metallicolus* (Foto cedida por Trevisani, N.V). Foto C: retirada de *Echinolaena* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB13191>.

Acesso em: 01 fev. 2025. Foto E: retirada de *Paspalum* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB13468>. Acesso em: 01 fev. 2025. Foto G: retirada de *Paspalum* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB13497>. Acesso em: 01 fev. 2025

### 2.3. Coleta e manipulação de sementes

Entre janeiro e setembro de 2023 foram realizadas coletas manuais de cariopses (fruto típico das gramíneas) das espécies escolhidas (Tab. 2). A coleta foi realizada aleatoriamente, priorizando cariopses maduras, identificadas por sua coloração acastanhada.

Tabela 2. Principal mês de coleta de sementes das espécies avaliadas no estudo, nativas de campos rupestres, Ouro Preto, Quadrilátero ferrífero, MG.

Espécie	Mês de coleta de sementes
<i>Aristida torta</i>	jan/23
<i>Dichanthelium sciurotoides</i>	jan/23
<i>Echinolaena inflexa</i>	fev/23
<i>Eragrostis rufescens</i>	ago/23
<i>Paspalum glaucescens</i>	fev/23
<i>Paspalum hyalinum</i>	jan/23
<i>Paspalum polyphyllum</i>	fev/23
<i>Sporobolus indicus</i>	ago/23
<i>Sporobolus metallicolus</i>	ago/23

No laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), as sementes coletadas foram dispostas em bandejas à sombra e em temperatura ambiente para secagem. Em seguida, foram colocadas em sacos de papel, etiquetadas e armazenadas em temperatura ambiente. Para as espécies *A. torta*, *E. inflexa*, *S. indicus* e *S. metallicolus* foi possível retirar manualmente as estruturas que envolvem as cariopses, por meio do atrito gerado ao esfregar levemente pequenas quantidades de sementes entre os dedos e a palma da mão (FIGUEIREDO *et al.*, 2012).

### 2.4. Coleta de solos

A coleta das amostras de substrato para o experimento em casa de vegetação foi realizada na Serra da Brígida, em área pós minerada de bauxita. Utilizando uma pá, foram retiradas amostras da camada superficial do substrato pós-minerado, com aproximadamente 20 cm de profundidade. Trata-se de um substrato laterítico pobre em nutrientes com elevadas concentrações de elementos químicos como Al, Fe, Mn. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos de 10L.

## **2.5. Experimento em câmara de germinação**

A fim de verificar a germinabilidade das sementes das espécies estudadas foi realizado um experimento em câmara de germinação B.O.D (Biochemical Oxygen Demand). Para isso, 100 cariopses de cada lote previamente homogeneizado foram distribuídas em quatro repetições contendo 25 unidades. Foram utilizadas placas de Petri de poliestireno transparente, com dimensões de 15 mm de altura por 60 mm de circunferência, forradas com duas folhas de papel filtro (Fig. 3-A).

Para diminuir a ação de patógenos durante a germinação, seguiu-se a metodologia adotada por Figueiredo *et al.* (2012). As placas de Petri foram previamente lavadas com água e sabão e submersas juntamente com os papéis filtro em solução de água destilada e ácido clorídrico (HCl) a 1% por 30 minutos. Em seguida, os materiais foram lavados em água destilada por três vezes, com permanência de 2 minutos em imersão para cada lavagem e secos na estufa a 100° C.

As cariopses foram distribuídas sobre os filtros de papel que foram umedecidos com solução de 1 ml de Nistatina (antifúngico) diluída a 2% em água destilada, aplicada em cada placa de Petri (Fig. 3-A). Estas foram então, colocadas na câmara de germinação regulada a temperatura constante de 25°C com fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

O experimento foi monitorado diariamente durante 30 dias. Os papéis filtros foram mantidos constantemente úmidos com água destilada, e as placas de Petri foram rotacionadas aleatoriamente a cada 24 horas dentro da B.O.D. Considerou-se como germinação o aparecimento do coleóptilo e foi feita a retirada das sementes à medida que germinavam (Fig. 3-B).

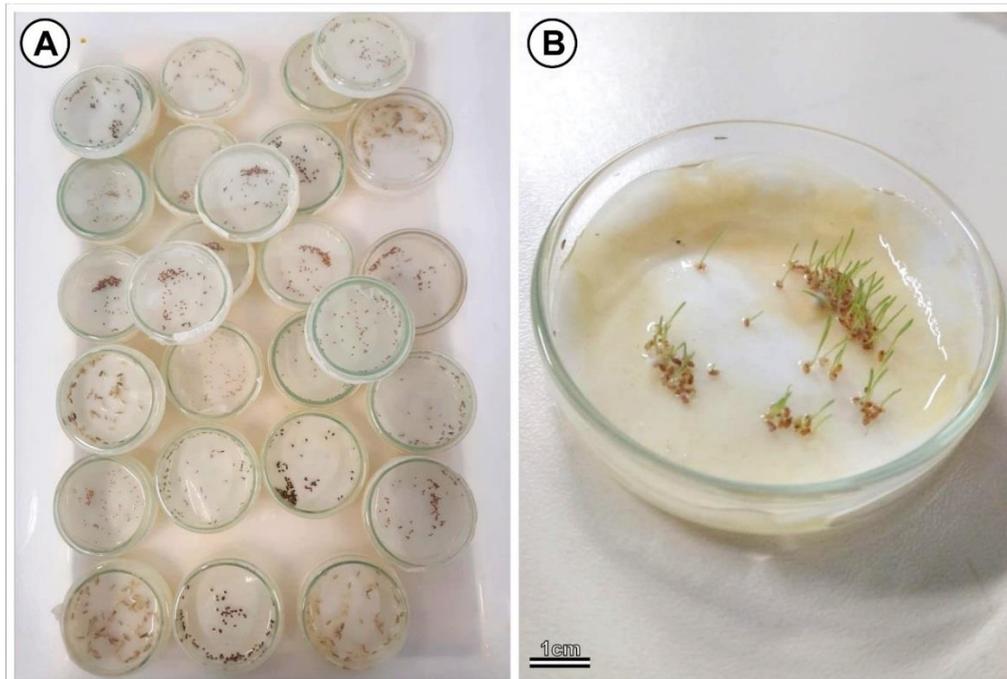


Figura 3. A: placas de Petri contendo cariopses de gramíneas avaliadas nesse estudo, nativas de campo rupestre, Ouro Preto, MG, antes da colocação na câmara de germinação. B: coleótilos de *Sporobolus metallicolus*.

## 2.6. Coleta e preparo de microrganismos eficientes (EM)

Os microrganismos para a produção do EM foram coletados em área preservada de campo rupestre, na Serra da Brígida, Parque Natural Municipal das Andorinhas em Ouro Preto. Para a captura dos microrganismos, utilizaram-se 700 g de arroz cozido sem sal, seguindo a proporção indicada por Andrade (2020). O arroz foi distribuído em bandeja plástica (50x35x7 cm) furada embaixo e coberta por uma tela fina para evitar predação (Fig. 4-A). A bandeja foi colocada em área sombreada diretamente sobre o solo e coberta com uma camada de

serapilheira, permanecendo no local por cerca de 15 dias, tempo necessário para que os microrganismos presentes no ambiente colonizassem o arroz.

Após a colonização, no Laboratório de Ecofisiologia Vegetal da UFOP, foi realizada a separação das colônias com base na coloração do arroz (Fig. 4-B). Cores escuras como preto e cinza, foram descartadas e as demais cores foram selecionadas para a próxima etapa (ANDRADE 2020). A ativação do EM consistiu em juntar o material selecionado com uma mistura de 1 L de melão de cana e 10 L de água destilada em um galão, fornecendo energia para o desenvolvimento dos microrganismos. O galão com capacidade para 10 L foi fechado para o desenvolvimento da fermentação anaeróbica, mas com uma mangueira interligada a um recipiente com água para permitir a liberação controlada dos gases gerados durante o processo (Fig. 4-C). Após cerca de 40 dias, quando a liberação dos gases cessou, a solução ativada de Microrganismos Eficientes estava pronta para uso, sendo coada e armazenada em garrafas plásticas em local sombreado.

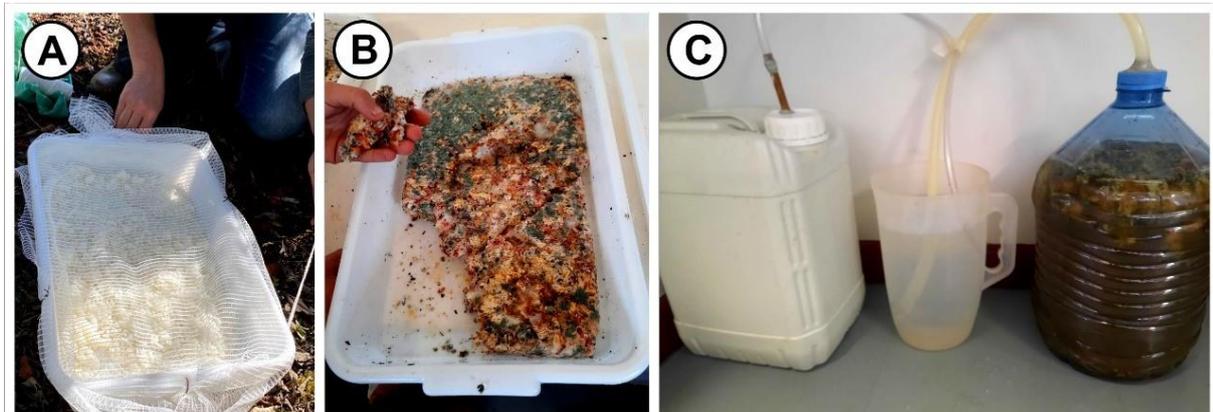


Figura 4. A: bandeja de arroz sendo colocada em área de campo rupestre, Serra da Brígida, Ouro Preto, Quadrilátero Ferrífero, MG. B: arroz colonizado por microrganismos eficientes (EM), processo de separação das colônias de EM no laboratório de Ecofisiologia Vegetal da UFOP. C: galões interligados por mangueira em recipiente com água.

## 2.7. Experimentos em casa de vegetação – inoculação de Microrganismos Eficientes no solo

### **2.7.1. Experimento de inoculação de microrganismos eficientes no solo**

Para o experimento de inoculação do solo utilizando os microrganismos eficientes, foram selecionadas 300 cariopses de cada espécie de gramínea, divididas em três tratamentos com quatro repetições contendo 25 cariopses cada. O EM foi diluído em água destilada em um tratamento com proporção de 0,1% e outro com 1,0%, aplicando-se 50 ml da solução sete dias antes da semeadura, em bandejas de alumínio de 16x9x4 cm contendo substrato preparado (Fig. 5-A). O grupo controle não recebeu aplicação de EM, apenas 50 ml de água destilada, permitindo comparação com os tratamentos. O substrato preparado foi composto por mistura em partes iguais de 1:1 de substrato comercial para plantio de mudas sem fertilizantes e substrato peneirado coletado na área degradada por mineração de bauxita. A semeadura foi realizada de forma espaçada nas bandejas que foram mantidas em casa de vegetação no Horto Botânico “Jorge Luis da Silva” do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. A irrigação via micro aspersão foi realizada diariamente por cerca de 5 minutos. O experimento foi monitorado por 35 dias, considerou-se como germinação o aparecimento do coleóptilo (Fig. 5-B).

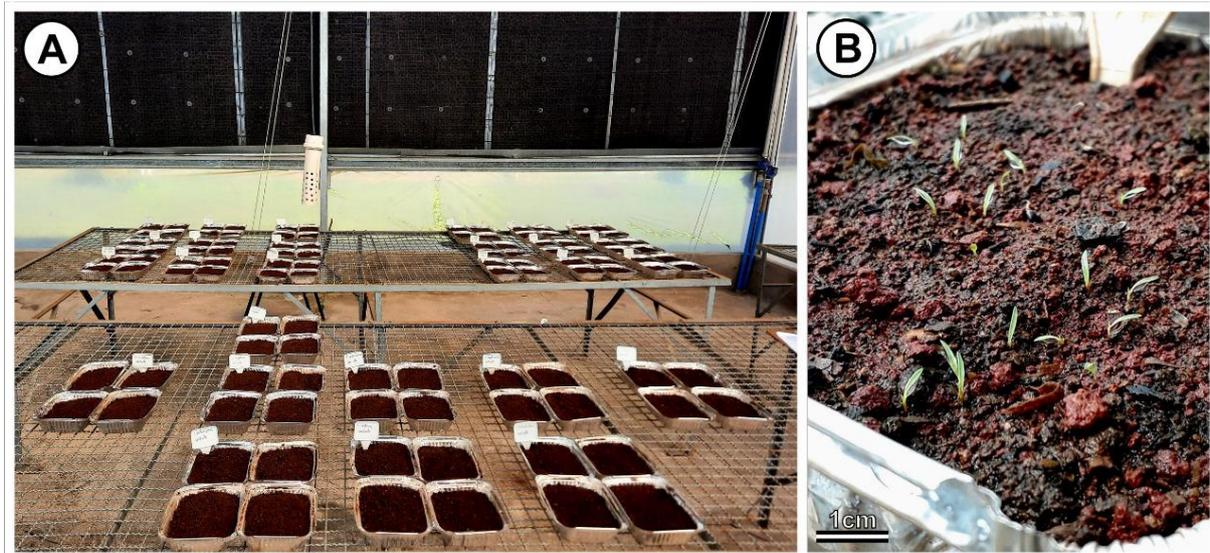


Figura 5. A: Bandejas experimentais contendo 1:1 de substrato comercial para plantio de mudas sem fertilizantes e substrato da área degradada peneirado em casa de vegetação. B: coleótilos de *Aristida torta*.

### 2.7.2. Experimento de inoculação de microrganismos eficientes no solo com uso de água destilada e água clorada durante irrigação

Com o intuito de avaliar se a utilização de água tratada (presença de cloro e/ou outros compostos químicos) interfere na ação dos EM durante a germinação, foi realizado um experimento comparativo entre irrigação com água destilada e água clorada. O experimento foi conduzido em bandejas contendo substrato inoculado com EM 0,1% e EM 1,0%, além do grupo controle. Para este estudo, foram utilizadas exclusivamente cariopses da espécie *Sporobolus metallicolus*, totalizando 1200 unidades. A escolha da espécie se deu devido a disponibilidade de sementes encontradas e da alta germinabilidade obtida no experimento em B.O.D. As condições do experimento foram mantidas semelhantes às do experimento anterior (item 2.7.1.), com a única diferença de que a irrigação foi realizada manualmente, adicionando-se 25 ml de água destilada ou clorada por dia em cada bandeja, de acordo com os tratamentos.

### 2.8. Análises estatísticas

Foram calculadas as porcentagens de germinação para cada espécie e tratamento. Para verificar se o EM diluído a 0,1% e 1,0% interfere na taxa de germinação das espécies e se a presença de água clorada tem influência sobre o efeito do EM, foram feitos testes estatísticos não paramétricos (Qui-Quadrado). Para analisar a velocidade de germinação foi realizado o teste de Shapiro-Wilk para testar a distribuição dos dados e após a verificação da normalidade, seguiu-se com o teste paramétrico de regressão comparando as inclinações das curvas ( $\alpha$ ) entre duas regressões para análise dos resultados. A significância entre os coeficientes de regressão gerados, deu-se a partir do teste T considerando significativo o p-valor abaixo de 0,05. Todas as análises foram feitas utilizando o software gratuito BioEstat 5.0.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Germinabilidade em placa de Petri sob condições controladas**

As sementes de seis das nove espécies estudadas apresentaram algum nível de germinação sob as condições da câmara de germinação e placa de Petri (Tab. 3). Destas, apenas *Paspalum polyphyllum* e *Sporobolus metallicolus* se destacaram por apresentarem 12% e 73% de germinação, respectivamente.

Tabela 3. Valores médios de porcentagem de germinação de cariopses de nove espécies de gramíneas nativas de campo rupestre, do Quadrilátero Ferrífero, MG, submetidas à câmara de germinação regulada à 25° C e fotoperíodo de 12h de luz

Espécie	Germinação (%)
<i>Aristida torta</i>	4
<i>Dichanthelium sciurotoides</i>	0
<i>Echinolaena inflexa</i>	0
<i>Eragrostis rufescens</i>	3
<i>Paspalum glaucescens</i>	0
<i>Paspalum hyalinum</i>	3
<i>Paspalum polyphyllum</i>	12
<i>Sporobolus indicus</i>	4
<i>Sporobolus metallicolus</i>	73

### 3.2. Germinabilidade em substrato em casa de vegetação e efeito dos EM

Foi encontrada grande variação na porcentagem de germinação também no experimento na casa de vegetação, com taxas entre 0 e 80%. Enquanto as espécies *Dichanthelium sciurotoides* e *Paspalum hyalinum* não apresentaram germinação em nenhum dos tratamentos, e valores inferiores a 5% foram verificados em *E. inflexa* (1% no controle) e *P. glaucescens* (1%, nos dois tratamentos com EM), reproduzindo a baixa germinabilidade encontrada na câmara de germinação, as condições da casa de vegetação favoreceram expressivamente a germinação das sementes de *A. torta*, *E. rufescens* e *S. indicus*, que atingiram, respectivamente, 80%, 59% e 40% no controle (Tab. 3, Fig. 6). Por outro lado, a germinabilidade das sementes de *P. polyphyllum* e *S. metallicolus* foi reduzida em comparação ao verificado sob condições da câmara de germinação.

A adição dos EMs no substrato afetou significativamente a germinação das sementes apenas nas duas espécies de *Sporobolus* testadas (Fig. 6). No tratamento com EM 1,0%, observou-se aumentos de 73% na germinação de *S. metallicolus* ( $p=0,0327$ ) e 78% na germinação de *S. indicus* ( $p=0,0044$ ) em relação ao controle. Não foram encontradas diferenças

significativas no tratamento com EM 0,1% em relação aos outros tratamentos. Por possuírem porcentagem de germinação abaixo de 5%, os resultados das outras cinco espécies não foram apresentados.

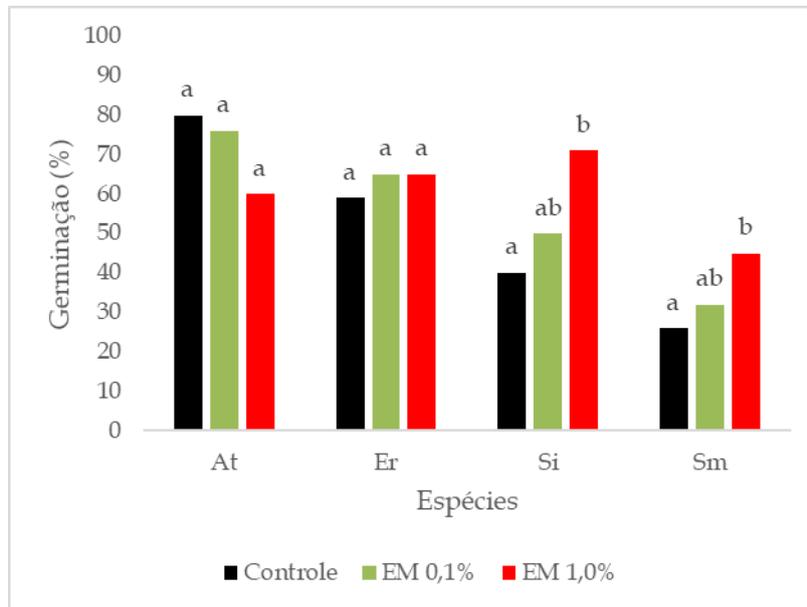


Figura 6. Porcentagem de germinação das cariopses de quatro espécies de gramíneas nativas de campo rupestre, Quadrilátero Ferrífero, MG (At: *Aristida torta*, Er: *Eragrostis rufescens*, Si: *Sporobolus indicus* e Sm: *Sporobolus metallicolus*) testadas com inoculação no solo com microrganismos eficientes (EM) 0,1% e 1,0%, além do grupo controle. Letras diferentes (a; b) indicam que há diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) nas taxas de germinação entre os tratamentos em cada espécie. Os experimentos foram realizados em casa de vegetação.

### 3.3. Velocidade de germinação

As curvas ajustadas da germinação acumulada ao longo dos 35 dias do experimento para as espécies que apresentaram taxas de germinação acima de 25% encontram-se na figura 7, e as equações dos ajustes de regressões nos apêndices.

Diferenças significativas entre as inclinações das curvas nos diferentes tratamentos foram verificadas apenas nas duas espécies de *Sporobolus*. A inoculação do solo com EM 1% acelerou significativamente a germinação nas duas espécies em relação ao controle, e de S.

*metallicolus* em relação também ao tratamento com 0,1%. Este tratamento também apresentou maior velocidade de germinação em relação ao controle em *S. metallicolus*.

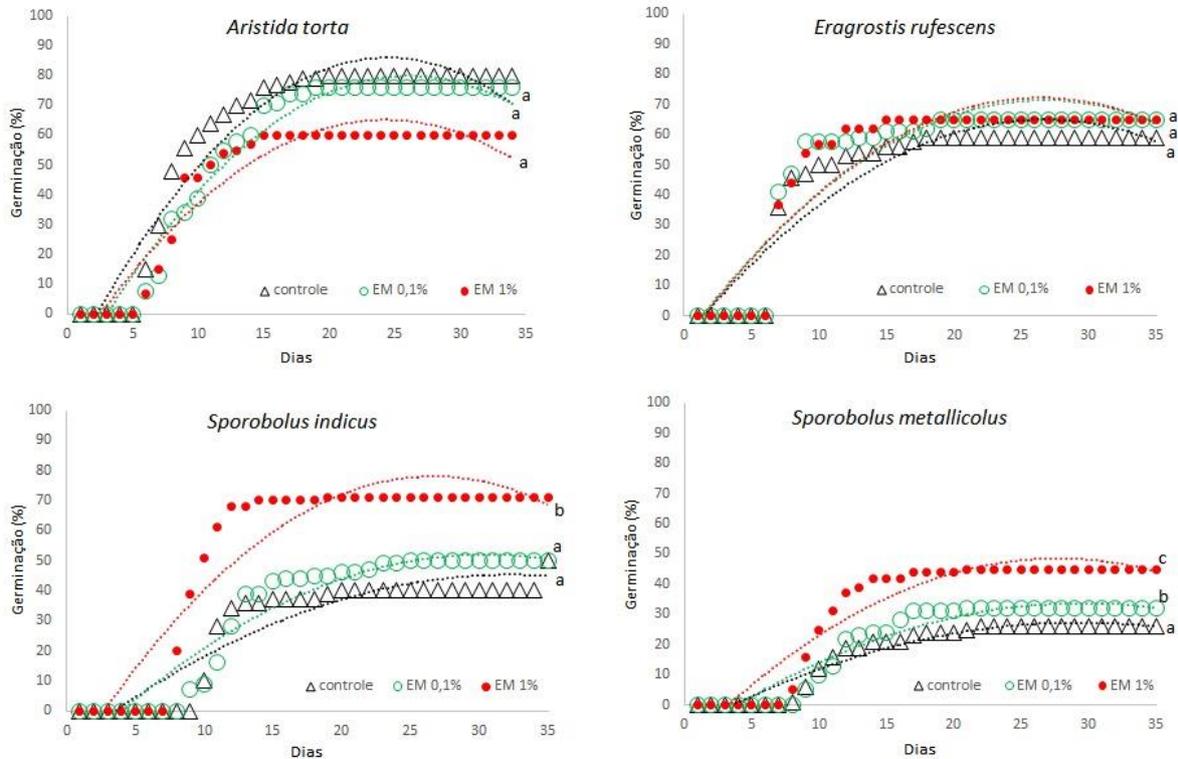


Figura 7. Germinação acumulada (0 a 35 dias) das sementes das gramíneas nativas de campo rupestre, Quadrilátero Ferrífero, MG, que mais germinaram (26-80%) nos tratamentos com inoculação no solo de EM 0,1% e 1,0%, e grupo controle. Letras diferentes (a, b, c) nas linhas de tendência indicam que há diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) na velocidade de germinação entre os tratamentos em cada espécie. As equações dos ajustes de regressões encontram-se nos apêndices.

### 3.4. Efeito da água clorada

A irrigação com a água clorada não modificou significativamente a germinabilidade das sementes de *S. metallicolus* nos tratamentos com EM e no controle (Fig. 8).

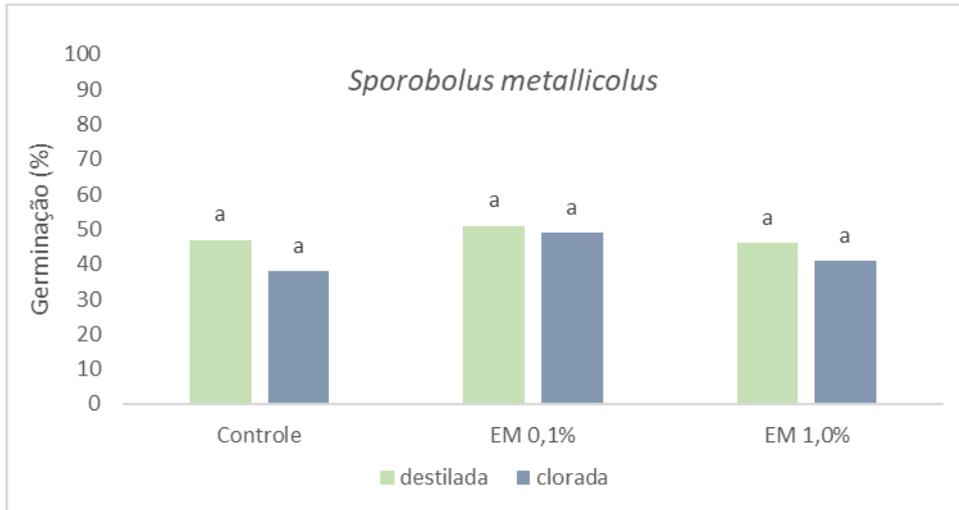


Figura 8. Porcentagem de germinação de sementes de *Sporobolus metallicolus* submetidas a tratamento de irrigação com água destilada e água clorada, e com e sem inoculação de EM 0,1% e 1,0%. Letras iguais indicam que não há diferença estatística significativa ( $p < 0,05$ ) nas taxas de germinação entre os tratamentos.

#### 4. DISCUSSÃO

Para garantir o sucesso de um programa de recuperação ambiental, é fundamental compreender o potencial germinativo das espécies selecionadas, pois essa informação, combinada com dados da qualidade de sementes, permitirá não somente determinar a quantidade de sementes requerida para reabilitar uma área específica (ERICKSON & HALFORD, 2020), mas também otimizar as condições de plantio, assegurando o estabelecimento mais rápido e eficiente das plantas no ambiente.

Os experimentos aqui realizados mostraram grande variação na germinação das sementes entre as espécies e entre condições experimentais (casa de vegetação e câmara de germinação, com e sem adição de EM). Na câmara de germinação a temperatura foi constante a 25°C com fotoperíodo de 12 horas de luz, oferecendo condições muito específicas e homogêneas para a germinação. Além disso, foi feito uso de fungicida. Ao contrário, nas bandejas com solo na casa de vegetação as sementes estiveram expostas a condições mais

heterogêneas em função da rugosidade e porosidade do solo, somadas às variações mais próximas do natural em termos de fotoperíodo, qualidade espectral da radiação, temperatura e umidade. Estudos indicam que o tipo de solo (FAGUNDES *et al.*, 2011), variações de temperatura (ANDRADE *et al.*, 2006), efeito de luz artificial e radiação solar (BARBOSA *et al.*, 1999), e a presença microrganismos no solo (GUNDEL *et al.*, 2006; NELSON, 2018) podem influenciar a germinabilidade das espécies. Outro fator a considerar é a embebição das sementes, que pode ter sido mais eficiente no solo, já que ele retém mais água em comparação às placas de Petri (LE STRADIC, 2012). Interessantemente, em seu estudo, a autora obteve germinabilidade bem inferior a encontrada no presente trabalho, com cerca de 22% para *A. torta* e não encontrou diferenças significativas na germinação de sementes dessa espécie quando comparou a germinação em placas de Petri e em solo, ambas na câmara de germinação regulada em temperaturas inferiores a 25°C. Nesse contexto, nossos resultados sugerem que o aumento na germinabilidade das sementes de *A. torta*, *E. rufescens* e *S. indicus* está relacionado à variação de um conjunto de fatores ambientais, tais como luz e temperatura, e não apenas a presença do solo. Além disso, há de se considerar que diferenças geográficas entre as populações de uma mesma espécie (FREIRE *et al.*, 2007), época de coleta (BIERNASKI *et al.*, 2019), tempo de armazenamento e manipulação das sementes (GOLDFARB & QUEIROGA, 2013), dentre vários outros fatores podem afetar a germinabilidade, dificultando a comparação direta entre os resultados de diferentes estudos.

Ao contrário de *A. torta*, *P. polyphyllum* e *S. metallicolus* apresentaram desempenho inferior na germinação na casa de vegetação. Dada a complexidade das interações dos fatores que afetam a germinação, e por não ter sido observada a colonização de fungos sobre as sementes (pelo menos não dos fungos que foram colônias visíveis a olho nú) é difícil indicar uma única possibilidade para tal resultado. Figueiredo *et al.* (2023) observaram que, nas

proximidades da área de coleta de solos deste estudo, a área degradada pela mineração (área doadora do substrato para o experimento) apresentou redução na diversidade fúngica, com predominância de fungos patógenos e extremófilos, em comparação com a área preservada, de onde foram coletados os EM para este estudo, na qual prevaleceram táxons associados à simbiose e decomposição. A interação com patógenos no solo pode inibir a germinação ou afetar negativamente o desenvolvimento das sementes, como observado em outras espécies (DALLING *et al.*, 1998; FAGUNDES, 2011). Portanto, a resposta das espécies à germinação pode ser influenciada pelas condições ambientais e pela interação com os fatores bióticos presentes no substrato (O'BRIEN *et al.*, 2021; REMKE *et al.*, 2022) o que poderia estar por trás das diferenças observadas. Porém, uma análise detalhada da microbiota do solo e, principalmente daquela associada à semente, seria necessária para lastrear essa hipótese.

A similaridade entre as espécies *E. inflexa*, *D. sciurotooides* e *P. glauscescens* em relação à baixa capacidade de germinação ou à germinação inexistente nos experimentos realizados pode ser atribuída a características intrínsecas dessas espécies, como a dormência de sementes. A dificuldade na germinação de *E. inflexa* também foi observada em estudos anteriores. Por exemplo, Le Stradic (2012) obteve germinação próxima a zero em vários tratamentos testados em câmara de germinação, indicando que essa espécie pode apresentar sementes vazias (como também sugerido por Freitas (2023)). Figueiredo *et al.* (2012) também registraram germinabilidade muito baixa para esta espécie, sugerindo que *E. inflexa* possui sementes dormentes. Embora Aires *et al.* (2014) tenham registrado germinabilidade de aproximadamente 50% para *E. inflexa*, com aumento para 85% após um ano de armazenamento, nossos resultados indicam que as condições testadas em câmara de germinação e na casa de vegetação, mesmo com a presença de EM, não foram suficientes para favorecer a germinabilidade dessa espécie. Essa dificuldade na germinação limita o uso da germinação direta de *E. inflexa* em programas

de restauração ambiental, especialmente pós-colheita. Figueiredo *et al.* (2012) sugerem como alternativa, a propagação vegetativa de *E. inflexa* utilizando seus rizomas.

A interação dos EM com o ambiente solo-planta favorece o controle de patógenos, a liberação de nutrientes através da decomposição de resíduos orgânicos, o equilíbrio da comunidade microbiana do solo, bem como a melhoria da germinação das sementes (BONFIM *et al.*, 2011). Esses efeitos podem ter ocorrido para *S. indicus* e *S. metallicolus*, que mostraram aumento significativo nas taxas de germinação quando semeadas em solo inoculado com EM 1,0%. Santos *et al.* (2020) também observaram aumentos significativos na germinação de sementes da gramínea exótica capim-marandu (*Urochloa brizantha*) quando inoculada com EM 1,0% e 2,0%. Em contraste, o estudo de Amancio (2024) não encontrou resultados significativos ao avaliar a germinação de sementes de aveia em solo degradado, adubado com composto orgânico ou remineralizador de solo, ambos inoculados com EM 0,1%, coletados em diferentes ambientes. Esses resultados indicam que a eficácia do EM na germinação pode depender de fatores como a diluição utilizada (SANTOS *et al.*, 2020), a espécie em questão e as condições ambientais, o que implica ainda em amplo campo de estudo a ser explorado.

Além de aumentar as taxas de germinação de *S. metallicolus* e *S. indicus*, o EM também acelerou o processo, mostrando que ele pode não apenas estimular, mas também acelerar a germinação (SANTOS *et al.*, 2020) dessas espécies, o que é importante em contextos de recuperação ambiental, onde a rapidez de estabelecimento das plantas somada a outros fatores é relevante no sucesso da restauração. Dentre as nove espécies de gramíneas nativas testadas, observou-se influência estatisticamente significativa do EM tanto na germinação quanto na velocidade de germinação, mas apenas nas duas espécies de *Sporobolus*. O efeito positivo na

germinação dessas espécies pode estar relacionado a características particulares do gênero associadas aos microrganismos presentes, uma vez que foram as únicas influenciadas pelo EM.

A ausência de resultados significativos entre os tratamentos com água destilada e clorada demonstra que o cloro não interferiu na atividade dos EM sobre a germinação. Este resultado é relevante para a aplicação de EM em sistemas de produção de mudas, pois demonstra que, sob as condições testadas, a irrigação com água clorada não interfere na inoculação do solo com EM o que pode ser importante para processos de escalonamento na recuperação ambiental e comercialização de mudas.

Os resultados desse estudo indicam que o uso de EM pode ser uma ferramenta sustentável eficaz para aumentar a germinação e acelerar o processo germinativo de algumas espécies de gramíneas nativas. No entanto, é essencial considerar as especificidades de cada espécie, as condições ambientais e as concentrações utilizadas para otimizar o uso do EM em programas de recuperação ambiental.

## **5. CONCLUSÃO**

Conclui-se que o uso de EM pode ser uma alternativa sustentável para acelerar e aumentar a taxa de germinação de sementes das espécies de gramíneas nativas de campos rupestres *S. indicus* e *S. metallicolus*. A diluição do EM a 1% demonstrou ser mais eficaz, indicando que diferentes concentrações podem ter efeitos distintos. A água tratada com cloro não interferiu na eficácia do EM sobre as taxas de germinação de *S. metallicolus*, viabilizando a irrigação e produção de mudas em maiores quantidades desta espécie.

## **REFERÊNCIAS**

AIRES, S. S., SATO, M. N., MIRANDA, H. S. Seed characterization and direct sowing of native grass species as a management tool. **Grass and Forage Science**, v. 69, p. 470-478, 2014. DOI:10.1111/gfs.12077.

ALVARES, C. A., *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711–728. 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

ÁLVAREZ-HOLGUÍN, A., *et al.* Grass species with potential for rangelands restoration in northern Mexico: an assessment with environmental niche modeling. **Scientific Reports**, v. 14, p. 6318, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-56918-1.

ALVES, W., FERREIRA, P., ARAÚJO, M. Challenges and pathways for Brazilian mining sustainability. **Resources Policy**, v. 74, p. 101648, 2021. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101648.

ALVES, R. J. V., *et al.* Circumscribing campo rupestre–megadiverse Brazilian rocky montane savanas. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, p. 355-362, 2014. DOI: 10.1590/1519-6984.23212.

AMANCIO, N. A. **Microorganismos eficientes (EM) associados à adubação com compost orgânico e remineralizador de solo no cultivo de aveia em solo degradado**. 2024. 61 f. Dissertação. Universidade Federal de Alfenas.

ANDRADE, A. C. S., *et al.* Substrato, temperatura de germinação e desenvolvimento pós-seminal de sementes de *Dalbergia nigra* **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v. 41, p. 517-523, 2006. DOI: 10.1590/S0100-204X2006000300020.

ANDRADE, F. M. C. **Caderno dos microorganismos eficientes (E.M.): instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, IPPDS, 2020.

ARRUDA, A. J., *et al.* Ten principles for restoring *campo rupestre*, a threatened tropical, megadiverse, nutrient-impooverished montane grassland. **Restoration Ecology**. 2023. DOI: 10.1111/rec.13924.

AVILA, G. M. A., *et al.* Use of efficient microorganisms in agriculture. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. 1-13, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17515

BARBOSA, A. R., YAMAMOTO, K. & VALIO, I. F. M. Effect of light and temperature on germination and early growth of *Vochysia tucanorum* Mart., Vochysiaceae, in cerrado and forest soil under different radiation levels. **Revista Brasileira de Botânica** v. 22, p.275-280, 1999. DOI: 10.1590/S0100-84041999000500008.

BENITES, V. M., *et al.* Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, p. 569-577, 2007. DOI: 10.1590/S0100-84042007000400003.

BIERNASKI, F. A., *et al.* Influência da época de coleta e da densidade aparente de cones na qualidade de sementes de *Pinus maximinoi* H. E. Moore. **Scientia Forestalis**, v. 47, n.124, p. 714-723, 2019. DOI: 10.18671/scifor.v47n124.13

BOANARES, D., *et al.* Foliar water-uptake strategies are related to leaf water status and gas exchange in plants from a ferruginous rupestrian field. **American Journal of Botany**, v. 106, p. 935–942, 2019. DOI: 10.1002/ajb2.1322.

BONFIM, F. P. G., *et al.* **Caderno dos microrganismos eficientes (EM):** instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. Universidade Federal de Viçosa: Departamento de Fitotecnia, 32p, 2011.

BRINDLE, F. A. Use of native vegetation and biostimulants for controlling soil erosion on steep terrain. **Transportation Research Record**, v. 1819, p. 203-209, 2003. DOI: 10.3141/1819a-30.

CARMONA, R., MARTINS, C. R. & FÁVERO, A. P. Características de sementes de gramíneas nativas do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 1066-1074, 1999. DOI: 10.1590/S0100-204X1999000600019.

CARVALHO, F., *et al.* The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi, **Applied Soil Ecology**, v. 52, p. 9-19, 2012. ISSN 0929-1393, DOI: 10.1016/j.apsoil.2011.10.001.

DALLING, J. W., SWAINE, M. D. & GARWOOD, N. C. Dispersal patterns and seed bank dynamics of pioneer trees in moist tropical forest. **Ecology**, v. 79, n. 2, p. 564–578, 1998. DOI: 10.1890/0012-9658(1998)079[0564:dpsabd]2.0.co;2.

ECHTERNACHT, L., *et al.* Areas of endemism in the Espinhaço Range in Minas Gerais, Brazil. **Flora**, 2011. DOI: 10.1016/j.flora.2011.04.003.

ERICKSON, V. J. & HALFORD, A. Seed planning, sourcing, and procurement. **Restoration Ecology**, v. 28, p. S219-S227, 2020.

FAGUNDES, M., CAMARGOS, M. G. & COSTA, F. V. A. Qualidade do solo afeta a Germinação das Sementes e o Desenvolvimento das Plântulas de *Dimorphandra mollis* Benth. (Leguminosae: Mimosoidae). **Acta Botanica Brasílica**, v. 25, p. 908-915, 2011. DOI: 10.1590/S0102-33062011000400018 .

FERRARI, L. T., *et al.* Thermic and Hydric Dynamics of Ironstone (Canga) and Quartzite Rupestrian Grasslands in the Quadrilátero Ferrífero: The Ecological Importance of Water. In: Fernandes, G. (ed.). **Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil**. Cham: Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-29808-5\_4.

FERNANDES, G. W., *et al.* Challenges in the restoration of quartzitic and ironstone rupestrian grasslands. In: Fernandes, G. W. (ed.). **Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil**. Switzerland: Springer International Publishing, p. 449-478, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-29808-5\_19.

FERNANDES, G. W., *et al.* Biodiversity and ecosystem services in the Campo Rupestre: A road map for the sustainability of the hottest Brazilian biodiversity hotspot. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 18, n. 4, p. 213-222, 2020. DOI: 10.1016/j.pecon.2020.10.004.

FIGUEIREDO, M. A., BAÊTA, H. E. & KOZOVITS, A. R. Germination of native grasses with potential application in the recovery of degraded areas in Quadrilátero Ferrífero, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 12, n. 3, p. 118-123, 2012. DOI: 10.1590/S1676-06032012000300013.

FIGUEIREDO, M. A., *et al.* Direct seeding in the restoration of post-mined campo rupestre: germination and establishment of 14 native species. **Flora**, p. 276-277, 2021. DOI: 10.1016/j.flora.2021.151772.

FIGUEIREDO, M. A., *et al.* Metabarcodificação de comunidades fúngicas do solo em áreas de pastagens rupestres preservadas e degradadas pela mineração: implicações para a restauração. **Microb Ecol**, v. 85, p. 1045–1055. 2023. DOI: 10.1007/s00248-023-02177-y

FIGUEIREDO, M. A., *et al.* Native grass sod and plug production as an alternative technique to restore neotropical rupestrian grassland after mining. **Restoration Ecology**, v.31. n.8, e13966, jun. 2023. DOI:10.1111/rec.13966.

FIGUEIREDO, M. A., *et al.* Topsoil volume optimization in the restoration of post-mined areas. **Restoration Ecology**, v. 32. 2024. DOI: 10.1111/rec.14222.

FREIRE, J. M., *et al.* Germinação e dormência de sementes entre e dentro de populações de guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (vell.) Blake) oriundas dos municípios de Paraty e Miguel Pereira-RJ. **Revista Brasileira de Biociências** v. 5, n. S2, p. 168-170. 2007.

FREITAS, K. M. **Aspectos germinativos e período de coleta de sementes de espécies nativas de campo rupestre ferruginoso: uma contribuição para a restauração ecológica de um ambiente megadiverso.** 2023. 68 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Ecossistemas Naturais e Agrários) - Universidade Federal de Viçosa, Florestal, 2023.

GAIROLA, S. U., BAHUGUNA, R. & BHATT, S. S. Correction to: Native Plant Species: a Tool for Restoration of Mined Lands. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 2892, 2023. DOI: 10.1007/s42729-023-01204-8.

GAYA SHIVEGA, W. & ALDRICH-WOLFE, L. Native plants fare better against an introduced competitor with native microbes and lower nitrogen availability. **AoB Plants**, v. 9, n. 1, p. plx004, 2017. DOI: 10.1093/aobpla/plx004.

GIULIETTI, A. M., PIRANI, J. R. & HARLEY, R. M. Espinhaço Range region, eastern Brazil. In: Davis, S. D.; Heywood, V. H.; Herrera-MacBryde, O.; Villa-Lobos, J.; Hamilton, A. C. (eds). **Centers of Plant Diversity: A Guide and Strategies for the Conservation**, v. 3, p. 397-404. Cambridge: WWF/IUCN, 1997.

GOLDFARB, M. & QUEIROGA, V. P. Considerações sobre o armazenamento de sementes. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 7, n. 3, p. 71-74, 2013.

GRIFFITH, J. & TOY, T. J. Evolution in revegetation of iron-ore mines in Minas Gerais State, Brazil. **Unasyva**, v. 52, p. 9-15, 2001.

GUNDEL, P. E., *et al.* Effects of Neotyphodium fungi on Lolium multiflorum seed germination in relation to water availability. **Annals of Botany** v. 97, p. 571-577. 2006. DOI: 10.1093/aob/mcl004

GYSSSELS, G. & POESEN, J. The importance of plant root characteristics in controlling concentrated flow erosion rates. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 28, p. 371-384, 2003. DOI: 10.1002/esp.447.

HALLI, H. M., *et al.* Range grasses to improve soil properties, carbon sustainability, and fodder security in degraded lands of semi-arid regions. **Science of The Total Environment**, v. 851, p. 158211, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158211.

HIGA, T. & PARR, J. F. Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment. **Atami: International Nature Farming Research Center**, 16 p. 1994.

JACOBI, C. M. & CARMO, F. F. The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. **AMBIO**, v. 37, p. 324-326, 2008. DOI: 10.1579/0044-7447(2008)37[324:tcoiot]2.0.co;2.

JARRAR, H., *et al.* Seed enhancement technologies for sustainable dryland restoration: coating and scarification. **Science of the Total Environment**, v. 904, p. 166150, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166150.

LANDI, S., *et al.* Poaceae vs. Abiotic Stress: focus on drought and salt stress, recent insights and perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 12-14, 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.01214.

LÁZARO-GONZÁLEZ, A., *et al.* Revegetation through seeding or planting: a worldwide systematic map. **Journal of Environmental Management**, v. 337, p. 117713, 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117713.

LE STRADIC, S. Composition, phenology and restoration of campo rupestre mountain grasslands - Brazil. **Agricultural sciences**. Université d'Avignon; Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. English.

LI, J., *et al.* Effective microorganisms input efficiently improves the vegetation and microbial community of degraded alpine grassland. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1330149, 2024. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1330149.

LOPES, M. J. S., DIAS-FILHO, M. B. & GURGEL, E. S. C. Successful plant growth-promoting microbes: inoculation methods and abiotic factors. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 5, p. e606454, 2021. DOI: 10.3389/fsufs.2021.606454.

MACHADO, N. A. d. M., *et al.* Growing *Eremanthus erythropappus* in crushed laterite: A promising alternative to topsoil for bauxite-mine revegetation. **Journal of Environmental Management**, v.129. p. 149-156, 2013. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.07.006.

MARTINS, C. R. Recuperação de uma área pela mineração de cascalho com o uso de gramíneas nativas. **Revista Árvore**, v. 25, p. 157-166, 2001.

MESSIAS, M. C. T. B., *et al.* Soil-Vegetation Relationship in Quartzitic and Ferruginous Brazilian Rocky Outcrops. **Folia Geobot** v. 48, p. 509–521. 2013. DOI: 10.1007/s12224-013-9154-4

MIOLA, D. T. B. **Uma breve história do Campo Rupestre: ecologia, conservação e política ambiental** (manuscrito) – 2019. 91 f. Tese doutorado – Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Ciências Biológicas – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

NEGREIROS, D., *et al.* Physicochemical characterization of quartzitic degraded soils and adjacent areas of rupestrian fields, Serra do Cipó, MG, Brazil. **Neotropical Biology and Conservation**, Sofia, v. 6, p. 156-161, 2011. DOI: 10.4013/nbc.2011.63.02.

NEVES, A. C. d. O., *et al.* The human dimension in the Espinhaço Mountains: land conversion and ecosystem services. In: Fernandes, G. (Ed.). **Ecology and Conservation of Mountaintop Grasslands in Brazil**. Cham: Springer, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-29808-5\_21.

NELSON, E. B. The seed microbiome: Origins, interactions, and impacts. **Plant Soil** v. 422, p. 7–34 2018. DOI: 10.1007/s11104-017-3289-7

O'BRIEN, A. M., *et al.* Microbial effects on plant phenology and fitness. **American Journal of Botany**, v. 108, n. 10, p. 1824-1837, 2021. DOI: 10.1002/ajb2.1743.

ONÉSIMO, C. M. G., *et al.* Ecological succession in areas degraded by bauxite mining indicates successful use of topsoil. **Restoration Ecology**, v. 29, 2021. DOI: 10.1111/rec.13303.

ORDÓÑEZ-PARRA, C. A., *et al.* Rock n' Seeds: A database of seed functional traits and germination experiments from Brazilian rock outcrop vegetation. **Ecology**, v. 104, n. 1, e3852, 2023. DOI: 10.1002/ecy.3852. Epub 2022. PMID: 36053857.

PATRA, D. K., *et al.* Poaceae plants as potential phytoremediators of heavy metals and eco-restoration in contaminated mining sites. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, p. 101293, 2021. DOI: 10.1016/j.eti.2020.101293.

- PERILLO, L. N. Aspectos ecológicos das paisagens rupestres. **PISTA: Periódico Interdisciplinar [Sociedade Tecnologia Ambiente]**, v.4, n. 1, p. 23-41. 2022.
- PROCOPIO, L. & BARRETO, C. The soil microbiomes of the Brazilian Cerrado. **Journal of Soils and Sediments**, v. 21. 2021. DOI: 10.1007/s11368-021-02936-9.
- RAPINI, A., *et al.* A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 16-24, 2008.
- REMKE, M., JOHNSON, N. & BOWKER, M. Biota simpátrica do solo atenua um clima mais quente e seco para *Bouteloua gracilis*. **Biologia da Mudança Global**, v. 28, n. 21, p. 6280 - 6292, 2021. DOI: 10.1111/gcb.16369
- REZENDE, V. L. A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. **Sociedade & Natureza**, v. 28, p. 375-384, 2016. DOI: 10.1590/1982-451320160304
- ROCHA, F. C. G., *et al.* Chemical and microstructural behaviour of ferruginous rocky outcrops topsoils applied to degraded mining areas. **International Journal of Mining, Reclamation and Environment**, v. 35, n. 3, p. 219–234. 2020. DOI: 10.1080/17480930.2020.1815932
- SANTILLI, C. & DURIGAN, G. Do alien species dominate plant communities undergoing restoration? A case study in the Brazilian savanna. **Science for Forests**, v. 42, p. 371-382, 2014.
- SANTOS, L.F., *et al.* Effective microorganisms inoculant: Diversity and effect on the germination of palisade grass seeds. **Acadêmia Brasileira de Ciências** v. 92, e20180426, 2020. DOI: 10.1590/0001-3765202020180426.
- SILVEIRA, F. A. O., *et al.* Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. **Plant and Soil**, v. 403, p. 129-152, 2016. DOI: 10.1007/s11104-015-2637-8.
- SOUZA, I. E. M. de., *et al.* Arsenic contamination in soils and groundwater in the State of Minas Gerais, Brazil: sources, health risks, mitigation strategies. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e0111526960, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.26960
- TALAAT, N. B. & ABDEL-SALAM, S. A. An innovative, sustainable, and environmentally friendly approach for wheat drought tolerance using vermicompost and effective microorganisms: upregulating the antioxidant defense machinery, glyoxalase system, and osmotic regulatory substances. **BMC Plant Biology**, v. 24, p. 866, 2024. DOI:10.1186/s12870-024-05550-2
- VALLANO, D. M., SELMANTS, P. C. & ZAVALETA, E. S. Simulated nitrogen deposition enhances the performance of an exotic grass relative to native serpentine grassland competitors. **Plant Ecology**, v. 213, p. 1015-1026, 2012. DOI:10.1007/s11258-012-0061-1

WANG, Y., *et al.* Primary investigation of phenotypic plasticity in *Fritillaria cirrhosa* based on metabolome and transcriptome analyses. *Cells*, v. 11, p. 3844, 2022. DOI: 10.3390/cells1123384

## APÊNDICES

Tabela 1: Valores das equações da linha de tendência e os respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos nos testes de velocidade de germinação para as espécies *Aristida torta*, *Eragrostis rufescens*, *Sporobolus indicus* e *Sporobolus metallicolus*, submetidas a diferentes tratamentos. Os tratamentos consistem na aplicação de EM (Microrganismos eficientes) nas concentrações de 0,1% e 1,0%, além do grupo controle.

Espécie	Tratamento	Equação da linha de tendência	Valor de $R^2$
<i>Aristida torta</i>	controle	$y = -0,1625x^2 + 8,0097x - 13,003$	0,9058
	EM 0,1%	$y = -0,1528x^2 + 7,9442x - 23,046$	0,9446
	EM 1,0%	$y = -0,1329x^2 + 6,4624x - 13,464$	0,8731
<i>Eragrostis rufescens</i>	controle	$y = -0,0827x^2 + 4,2757x + 8,5225$	0,7441
	EM 0,1%	$y = -0,0883x^2 + 4,577x + 10,701$	0,7172
	EM 1,0%	$y = -0,0952x^2 + 4,8628x + 8,8159$	0,7326
<i>Sporobolus indicus</i>	controle	$y = -0,057x^2 + 3,6438x - 12,839$	0,8016
	EM 0,1%	$y = -0,0827x^2 + 4,9407x - 21,391$	0,8891
	EM 1,0%	$y = -0,1282x^2 + 6,8509x - 13,878$	0,7992
<i>Sporobolus metallicolus</i>	controle	$y = -0,0432x^2 + 2,5098x - 9,0622$	0,9014
	EM 0,1%	$y = -0,0561x^2 + 3,2641x - 13,552$	0,8955
	EM 1,0%	$y = -0,0813x^2 + 4,4947x - 13,551$	0,8585