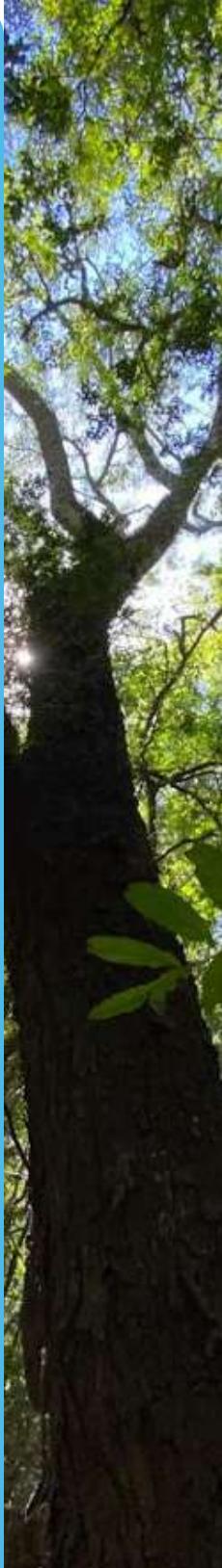




Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa





Realização:

Rede Sul de Restauração Ecológica

Organizadores:

Bruna Balestrin Piaia Avila
Betina Camargo
Cláudia Alessandra Peixoto de Barros
Djoney Procknow
Guilherme Diego Fockink
Jessica Puhl Croda

Revisores:

Rodrigo Dutra-Silva
Sandra Cristina Müller
Ana Paula Rovedder
Leonardo Urruth
Joana Bassi
Fabio Piccin Torchelsen

Consultoria:

B&A Ambiental Company



Apoio Financeiro:

Projeto Estratégias de Conservação, Restauração e Manejo para a Biodiversidade da Caatinga, Pampa e Pantanal – Projeto GEF Terrestre, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança de Clima (MMA) e financiado com recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF) e tem o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) como agência implementadora e o Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO) como agência executora.



GEF
Terrestre

FUNBIO
Fundo Brasileiro para a Biodiversidade

BID
Banco Interamericano de Desenvolvimento

gef

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO



ISBN:

FICHA CATALOGRÁFICA

01	O Pampa e sua biodiversidade	11
02	O papel da restauração ecológica no Pampa	15
03	Princípios ecológicos para a restauração no bioma Pampa	19
04	Diagnóstico ambiental	23
4.1	Identificação dos fatores de degradação	26
4.2	Avaliação do estado de conservação do solo	27
4.2.1	Tipos de solo	28
4.2.2	Excesso de fertilização	29
4.2.3	Processos erosivos	30
4.2.4	Compactação do solo	33
4.2.5	Baixo teor de matéria orgânica	35
4.3	Avaliação da regeneração natural e espécies exóticas invasoras	35
4.4	Definição dos objetivos da restauração	36

5.1 Estratégias para recuperação do solo e controle de espécies exóticas invasoras	38
5.1.1 Práticas de manejo e conservação do solo	38
5.1.2 Ajuste da carga animal	39
5.1.3 Controle de espécies exóticas invasoras	40
5.2 Técnicas de restauração ecológica de acordo com a fisionomia de vegetação	42
5.2.1 Técnicas de restauração da vegetação campestre	43
5.2.1.1 Regeneração natural assistida ou condução da regeneração natural	43
5.2.1.2 Semeadura direta de espécies campestris	45
5.2.1.3 Transferência de feno	48
5.2.1.4 Transplante de leivas	49
5.2.1.5 Transposição de topsoil	52
5.2.2 Técnicas para restauração da vegetação florestal	56
5.2.2.1 Restauração passiva	56
5.2.2.2 Técnicas de nucleação	57
5.2.2.2.1 Plantio em núcleos	59
5.2.2.2.2 Transposição do banco de sementes	60
5.2.2.2.3 Transposição de galharias	61
5.2.2.2.4 Poleiros artificiais	62
5.2.2.3 Semeadura direta	64
5.2.2.4 Plantio de mudas em área total	65
5.2.3 Recuperação produtiva	67
5.2.3.1 Sistemas agroflorestais	67
5.2.3.2 Pecuária sustentável	68



06 Monitoramento

71

6.1 O que é o monitoramento?	72
6.2 Como monitorar?	72
6.3 Monitoramento no Pampa	73
6.4 Por quanto tempo monitorar um projeto de restauração?	78

07 Manejo adaptativo

80

08 Árvore de decisão

82

Referências bibliográficas

87





Figura 1. Delimitação do bioma Pampa brasileiro e suas diferentes unidades fitofisionômicas.

Figura 2. Fatores que devem ser considerados ao planejar a restauração ecológica.

Figura 3. Campo dominado por capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) em Alegrete/RS.

Figura 4. Delimitação do bioma Pampa e suas diferentes classes de solos.

Figura 5. Cinco fatores que afetam a erosão do solo (hídrica e eólica).

Figura 6. Formas de erosão hídrica do solo a) entressulco/laminar; b) sulco; c) intenso processo erosivo encaminhando-se para voçoroca.

Figura 7. Identificação de áreas compactadas por meio do diagnóstico do solo em áreas de restauração ecológica.

Figura 8. Técnicas de restauração ecológica conforme a fitofisionomia e o nível de resiliência, intervenções para restauração e custos.

Figura 9. Imagens ilustrando a colheita de misturas (1 a, b) e a mistura diretamente colhida (1 c) na Alemanha; colheita de misturas na Itália (2 a, b); colheitas de misturas experimentais no Pampa sul-americano, na Argentina (3), Uruguai (4) e Brasil (5 a, b, c).

Figura 10. Experimento de semeadura direta de espécies herbáceas nativas do bioma Pampa, no momento da semeadura (direita) e 180 dias após (esquerda).

Figura 11. Área de referência e demonstração de coleta, pesagem e transferência de feno em unidades experimentais no Parque Nacional Lagoa do Peixe/Sul do Brasil. A) área de referência com a realização da coleta de feno coleta, b) pesagem de feno, c) Unidade experimental preparada (após remoção da serapilheira), e) parcela após a aplicação de feno.



Figura 12. Leivas transplantadas originalmente com 20 x 20 cm, com predominância de *Axonopus*, após um mês de transplante no Parque Nacional da Lagoa do Peixe em área de recuperação após retirada de *Pinus*, sobre dunas.

Figura 13. Área de preservação permanente em restauração passiva há 07 anos, Caçapava do Sul/RS.

Figura 14. Desenvolvimento da vegetação a partir da implantação de núcleos com três mudas.

Figura 15. Exemplo de núcleos com diferentes números de indivíduos e grupos ecológicos.

Figura 16. Plantio em núcleo em área de preservação permanente em Pantano Grande, bioma Pampa.

Figura 17. Etapas de execução da transposição do banco de sementes.

Figura 18. Representação esquemática e utilização de galharias em área sob restauração no Pampa.

Figura 19. Exemplos de poleiros confeccionados com bambu (a e b) e de cabo aéreo.

Figura 20. Poleiros artificiais e aves utilizando os poleiros em área sob restauração de mineração no Pampa.

Figura 21. Semeadura direta com espécies florestais em área sob restauração no bioma Pampa.

Figura 22. Esquema tradicional de plantio de mudas em área total com espaçamento 2x3m.

Figura 23. Campo pastejado em Alegrete/RS.



Figura 24. Demonstração de indicadores ecológicos utilizados em áreas sob restauração florestal no bioma Pampa.

Figura 25. Análise da regeneração natural como indicador ecológico em área de restauração florestal no Pampa.

Figura 26. Análise de árvores plantadas como indicador ecológico de desenvolvimento dos indivíduos arbóreos sob restauração florestal.

Figura 27. Análise da cobertura do solo como indicador ecológico em área campestre sob restauração no Pampa.



Este documento reúne bases teóricas e práticas fundamentais para a restauração ecológica no bioma Pampa, a partir de conhecimentos produzidos e publicados até o momento por diferentes atores da restauração. A realização deste documento foi possível por intermédio da Rede Sul de Restauração Ecológica, via apoio financeiro do projeto GEF Terrestre para elaboração do mesmo por uma consultoria especializada. A obra foi construída a partir de revisão bibliográfica e do diálogo com especialistas da área, durante oficinas técnicas e reuniões, resultando em uma construção coletiva advinda da integração de diferentes saberes e experiências, supervisionada e validada pela Rede Sul de Restauração Ecológica.

A abordagem é predominantemente prática e contextualizada em experiências efetivas. Apresentamos uma gama diversificada de técnicas de restauração de ecossistemas, principalmente campestres e florestais, aplicadas no bioma Pampa, respeitando suas particularidades ecológicas, sociais e culturais. O objetivo central é oferecer subsídios para profissionais da restauração ecológica, gestores, pesquisadores e tomadores de decisão. A publicação, porém, não esgota o tema, mas busca contribuir com o avanço das iniciativas de restauração na região e incentivar o aprofundamento de estudos e práticas ao longo do tempo.

Esta obra é, portanto, um convite à reflexão e à ação em prol da restauração ecológica, fortalecendo os esforços coletivos pela conservação e recuperação da biodiversidade dos ecossistemas do Pampa, seguindo em frente num contínuo e enriquecedor aprendizado.

Boa leitura!



01

O Pampa e sua biodiversidade

Foto: Bruna Balestrin Piaia Avila

Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa

O Pampa é um dos seis **biomas** brasileiros, com uma área de 193.836 km², correspondendo a 2,3% do território brasileiro (IBGE, 2019). Ele abrange 69% do território do Rio Grande do Sul (RS) (Figura 1). Esse limite geográfico constitui a porção brasileira de uma região biogeográfica mais ampla, denominada Campos do Rio da Prata (Pastizales del Río de la Plata), que se estende até a Argentina e o Uruguai (Baez-Lizarazo, Köhler, Reginato, 2023). Constitui a maior extensão de ecossistemas campestres de clima temperado do continente sul-americano (Bencke *et al.*, 2016). Ao Norte, o Pampa limita-se com o bioma brasileiro Mata Atlântica (IBGE, 2019).

O Pampa gaúcho só foi reconhecido como um bioma brasileiro no ano de 2004. A sua vegetação é bem diversificada, formando mosaicos de diferentes tipos de **fitofisionomias** campestres, formações arbustivas e florestas. As florestas variam em composição e estrutura de espécies (Bergamin *et al.*, 2023) e predominam ao longo dos cursos d'água ou em encostas com relevos mais acidentados (Bencke *et al.*, 2016). Essas áreas representam tanto prolongamentos de formações da Mata Atlântica, quanto formações típicas das regiões mais austrais, sob influência de elementos austral-antárticos e chaquenhos (Bergamin *et al.*, 2023).

As áreas florestais mais contínuas ocorrem junto às regiões geomorfológicas da Encosta do Sudeste e da Depressão Central e são cobertas por florestas estacionais. Há também a presença de manchas florestais que ocorrem em mosaico com os campos, na Serra do Sudeste, às vezes dominadas por *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze ou *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl., ou por espécies de Floresta Estacional. Essas manchas se expandem em vales como corredores ripários em direção às fronteiras do estado (Bergamin *et al.*, 2023).

Os mosaicos de floresta e campo no bioma, onde espécies florestais adentram as paisagens eminentemente abertas, incrementam a biodiversidade regional (Bencke *et al.*, 2016). Contudo,

Bioma: conjunto de vida vegetal e animal, constituído pelo agrupamento de tipos de vegetação que são próximos e que podem ser identificados em nível regional, com condições de geologia e clima semelhantes e que, historicamente, sofreram os mesmos processos de formação da paisagem, resultando em uma diversidade de flora e fauna própria (IBGE, 2019).

Fitofisionomia: vegetação típica em termos da estrutura e composição em um determinado ambiente ou local. Mesmo que muitas espécies ocorram em praticamente toda a extensão de um bioma, cada um dos ambientes abriga conjuntos de espécies únicos, típicos, que caracterizam sua fisionomia, tornando-os distinguíveis (Minervini *et al.*, 2023).

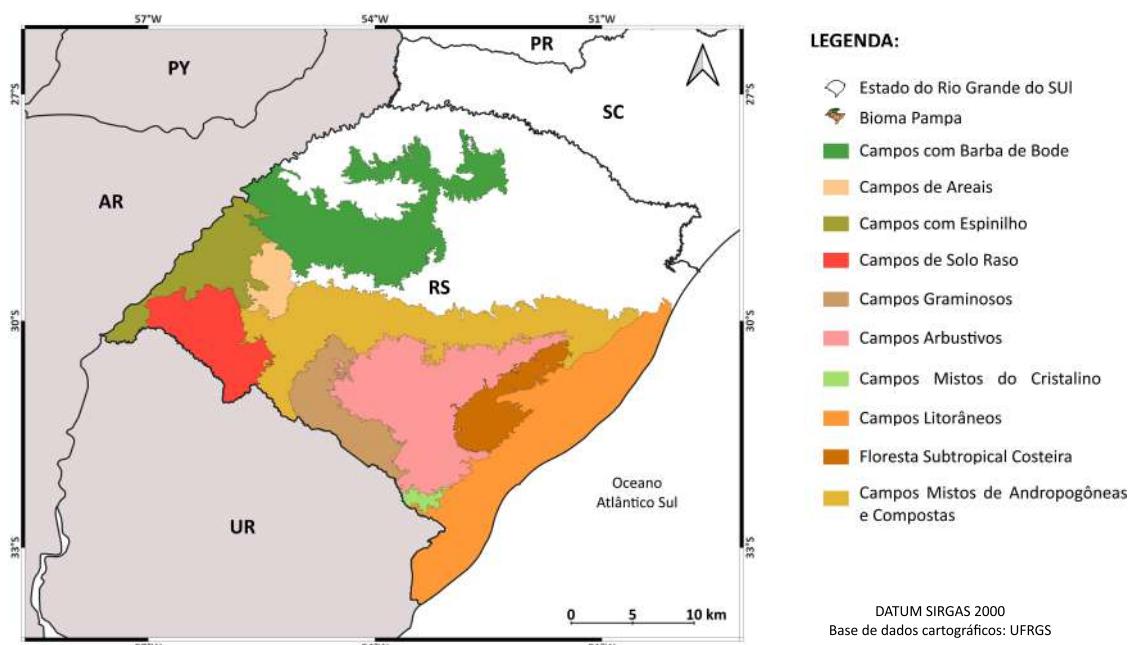
a formação campestre é predominante no Pampa (Boldrini, 2009). Os campos do Pampa, quando somados aos campos de altitude na região nordeste do Rio Grande do Sul, em Santa Catarina e no Paraná, pertencentes ao bioma Mata Atlântica, são denominados Campos Sulinos (Overbeck *et al.*, 2015). A maior parte do bioma é constituída pelo domínio de ervas, gramíneas e outras plantas rasteiras, adaptadas às condições climáticas e aos solos da região, formando um complexo sistema de campos naturais (Bencke *et al.*, 2016).

Os campos do Pampa apresentam uma rica e singular diversidade, sendo conhecidas mais de 12.500 espécies de plantas, animais, fungos e bactérias (Andrade *et al.*, 2023). Há dominância de gramíneas (Poaceae), mas várias famílias botânicas contribuem com a diversidade e fisionomia destes campos, como as Compostas, Leguminosas, Ciperáceas, Verbenáceas, Lamiáceas, Iridáceas e Apiáceas (Boldrini *et al.*, 2015). Além das plantas, diversos pesquisadores destacam a alta diversidade de artrópodes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos (Mendonça Jr. *et al.*; Iop *et al.*; Verrastro, Borges-Martins; Fontana, Bencke; Luza *et al.*, 2015).

O Pampa apresenta diferentes fitofisionomias de campos (Figura 1), principalmente influenciadas por características geomorfológicas, além das climáticas e relacionadas ao manejo e uso do solo (Overbeck *et al.*, 2015). Podem ser divididos em nove unidades fitofisionômicas, de acordo com a composição de espécies, características edáficas e de relevo (Boldrini *et al.*, 2010; Hasenack *et al.*, 2023), sendo elas:

- Campos com Barba-de-Bode;
- Campos de Areais;
- Campos de Solo Raso;
- Campos Graminosos;
- Campos Arbustivos;
- Campos Mistos do Cristalino Oriental;
- Campos Litorâneos;
- Campos Mistos de Andropogôneas e Compostas;
- Campos com Espinilho.

Figura 1. Delimitação do bioma Pampa brasileiro e suas diferentes unidades fitofisionômicas.



Fonte: Adaptado de Hasenack *et al.*, 2023.

Duas formações vegetais peculiares pertencentes ao bioma são o Parque do Espinilho e os Butiazaís (Bencke *et al.*, 2016). O Parque do Espinilho é uma formação vegetal restrita a uma pequena porção no extremo sudoeste do RS, na divisa com Uruguai e Argentina (Redin *et al.*, 2011) e que possui continuidade com esses países. Denominada pelo IBGE como savana-estépica ou savana parque (IBGE, 2012), abriga uma vegetação que não ocorre em outra área do país, mantendo espécies endêmicas e vulneráveis (Redin *et al.*, 2011). Apresenta espécies arbóreas características, como o espinilho (*Vachellia caven* (Molina) Seigler & Ebinger), o algarrobo (*Neltuma nigra* (Griseb.) C.E. Hughes & G. P. Lewis) e o inhanduvá (*Neltuma affinis* (Spreng.) C.E. Hughes & G. P. Lewis) (Hughes *et al.* 2022) espalhadas pelas pastagens, além de várias espécies da fauna associadas à formação (Secretaria do Meio Ambiente-RS, 2024). Os Butiazaís são regiões campestres com palmeiras nativas do gênero *Butia*. É um ecossistema natural não florestal caracterizado por uma alta abundância de grupos de espécies de palmeiras espalhadas em vegetação campestre, com ocorrência no Brasil, Paraguai e Uruguai (Sosinski Jr *et al.*, 2019) e formam uma paisagem típica (Bergamin *et al.*, 2023). Diferentes espécies de *Butia* são encontradas com maior ou menor frequência ao longo do Pampa, com destaque ao *Butia catarinensis* Noblick & Lorenzi, *Butia eriospatha* (Mart. ex Drude) Becc., *Butia exilata* Deble & Marchiori, *Butia lallemandii* Deble & Marchiori, *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick, *Butia paraguayensis* (Barb. Rodr.) L.H. Bailey, *Butia witeckii* K. Soares & S. J. Longhi e *Butia yatay* (Mart.) Becc. que possuem maior ocorrência no estado do RS (Soares *et al.*, 2014).

02

O papel da restauração ecológica no Pampa

Foto: Guilherme Diego Fockink

Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa

O Pampa compõe uma complexa rede de interações entre distintos ecossistemas, envolvendo os organismos e diversos fatores associados ao solo, relevo, clima e o manejo pastoril. Sendo assim, a conservação dos campos nativos do bioma propicia inúmeros serviços ecossistêmicos, como por exemplo, a regulação hídrica, fornecimento de água limpa, a produção de forragem para a atividade pecuária, a manutenção de polinizadores e de predadores, de pragas de culturas agrícolas, o potencial para a recreação ao ar livre, a estocagem de carbono no solo, que ajuda a mitigar as mudanças climáticas globais, entre outros (Pillar *et al.*, 2015).

Mesmo possuindo uma rica biodiversidade e inúmeros **serviços ecossistêmicos** atribuídos a todas as interações existentes, as áreas naturais do Pampa são ameaçadas constantemente. A mudança no uso da terra aumentou consideravelmente na última década (Andrade *et al.*, 2015), onde a integridade dos ecossistemas pampeanos vem sendo progressivamente comprometida com ações como a conversão de áreas naturais para plantações de árvores com espécies exóticas, principalmente *Pinus* e *Eucalyptus*, a invasão das áreas naturais por espécies exóticas e a conversão dos campos naturais por lavouras de culturas anuais, principalmente a soja (Andrade *et al.* 2015; Steil *et al.*, 2023).

Dados divulgados no ano de 2025 pelo Projeto MapBiomas, demonstram que nos últimos 38 anos (1985 a 2023), o Pampa perdeu 3,3 milhões de hectares de vegetação nativa, sendo considerado um dos biomas que mais perdeu cobertura natural neste período proporcionalmente em relação ao total da sua área. Uma análise sobre os ganhos e perdas recentes da vegetação nativa nos municípios, com base na Lei 12.651/2012 com dados de 2008 a 2023, revelou que o bioma apresenta a maior proporção de municípios com perdas acentuadas de vegetação nativa (MapBiomas, 2025).

A redução da área de campos remanescentes causa seu empobrecimento biológico (Vélez-Martins *et al.*, 2015). Toda vez que diminui a área dos campos, reduz-se a área de **habitat** disponível para as espécies presentes. Por consequência, diminui o tamanho das suas populações. E, quando restam

Serviços ecossistêmicos: são os benefícios que as populações humanas obtêm com a manutenção dos processos ecológicos (PILLAR *et al.*, 2015).

Habitat: lugar onde determinado organismo/indivíduo vive (ODUM, 1988).

poucos indivíduos de cada espécie, aumenta-se o risco de extinções locais. Além disso, em cada região existem espécies com distribuição muito restrita, que evoluíram somente nesses locais ao longo dos milhares de anos de evolução biológica. São as denominadas **espécies endêmicas**. Nos campos sulinos, já foram catalogadas mais de 500 espécies de plantas endêmicas que correm o risco de serem extintas para sempre por conta da supressão dos campos (Vélez-Martins *et al.*, 2015).

Considerando toda essa perda de vegetação nativa e biodiversidade ao longo dos anos, a restauração ecológica é uma forte aliada para a conservação da biodiversidade e para a manutenção dos serviços ecossistêmicos inerentes às áreas nativas do Pampa. Iniciativas de restauração estão sendo cada vez mais priorizadas mundialmente. A Organização das Nações Unidas (ONU) declarou o período de 2021-2030 como “A Década da ONU da Restauração de Ecossistemas”. Tem por objetivo deter a degradação de ecossistemas e restaurá-los, além de desenvolver e catalisar iniciativas de restauração em todo o mundo (ONU, 2021). No Brasil, o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG) foi instituído pelo Decreto nº 8.972/2017, e recentemente atualizado (para o período de 2025 a 2028), como parte da Política Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Proveg), pois o Brasil tem a meta de recuperar 12 milhões hectares de áreas degradadas em todo o país até 2030. A meta do país leva em consideração análises de déficit de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) em cumprimento à Lei 12.651/2012 e outros mecanismos que poderiam incentivar a recuperação de áreas degradadas.

Sob o ponto de vista da legislação ambiental brasileira, as políticas públicas voltadas à proteção dos campos nativos ainda são incipientes. Embora existam previsões legais aplicáveis a todos os biomas, como a Reserva Legal (RL) e a Área de Preservação Permanente (APP), historicamente não havia uma legislação específica para a proteção dos campos do bioma Pampa ou para a regulação da conversão de áreas campestres remanescentes (Overbeck *et al.* 2023). No entanto, essa lacuna começou a ser preenchida com a publicação do Decreto nº 57.528/2025, que estabelece diretrizes para a conservação, uso e manejo sustentável dos campos nativos no estado do Rio Grande do Sul, reconhecendo sua importância ecológica, econômica e sociocultural. Ainda assim, conforme apontado por Overbeck *et al.* (2023), sem a efetiva

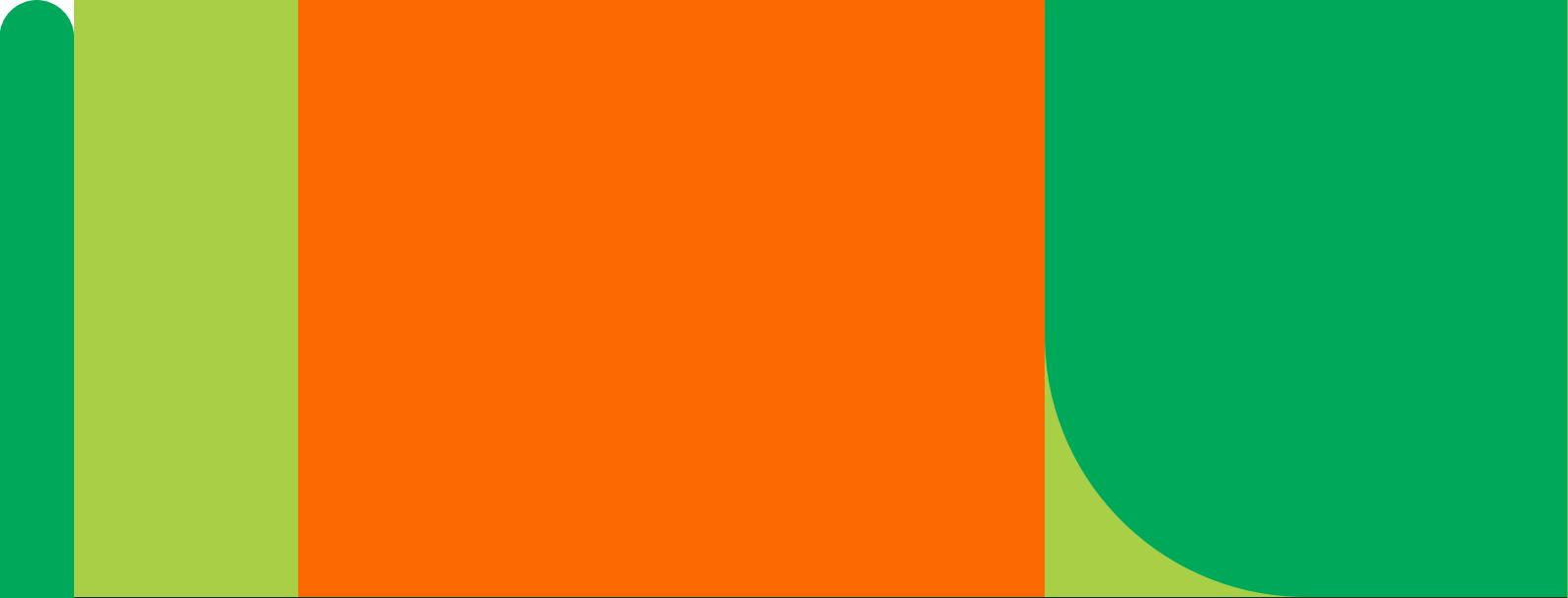
Espécies endêmicas: são espécies nativas que ocorrem exclusivamente em determinada região, não sendo encontradas de forma natural em outra região do mundo.

implementação do Programa de Regularização Ambiental (PRA), que prevê a recuperação de passivos ambientais em APP e RL por imóvel rural, a demanda por áreas de restauração continua limitada. Essa ausência de exigência prática impede que a legislação existente se traduza em incentivos concretos à restauração dos campos ou de outros ecossistemas do Pampa.

Dentro desta perspectiva, também é importante frisar que o bioma possui a menor proporção de Unidades de Conservação (UCs), totalizando apenas 3% do seu território (MapBiomas, 2022), o que destaca novamente, a necessidade de investimentos e iniciativas de restauração. Nesse sentido, as próprias terras públicas, incluindo as UCs, devem ser alvos prioritários de restauração, pois possuem milhares de hectares de áreas degradadas (Dutra-Silva, Overbeck 2024).

Mesmo havendo uma forte pressão científica relatando a necessidade de restauração das áreas campestres nativas no Pampa, perante a legislação ambiental, segundo Overbeck *et al.* (2023), a restauração ecológica em escala no bioma somente será possível com a implementação do PRA e iniciativa política como meta de Estado, pois a maioria das áreas de campo pertence a propriedades particulares. É urgente que os campos nativos do bioma sejam tratados pela gestão pública com o mesmo cuidado com que as florestas têm sido consideradas nas últimas décadas (Rede Campos Sulinos, 2020).

Desta forma, fica evidente a urgente necessidade de promover e desenvolver cada vez mais a restauração ecológica no Pampa, principalmente em áreas campestres. Minervini *et al.* (2023) destaca que a restauração ecológica de campo é algo ainda novo, com poucos estudos, e há muito o que se aprender e que todo esse processo leva tempo. Contudo, os resultados obtidos da restauração ecológica vão muito além da recuperação da biodiversidade, eles são fundamentais para a transformação sustentável da sociedade e da economia, sendo necessários para manter a qualidade de vida tanto no bioma Pampa, quanto no planeta terra (Overbeck *et al.*, 2023).



03

Princípios ecológicos para a restauração no bioma Pampa

Foto: Leonardo Marques Urruth



Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa

Reparar ecossistemas degradados é uma tarefa complexa que requer tempo, recursos e conhecimento significativos (Gann *et al.*, 2019). Apesar dos desafios, a restauração ecológica desempenha um papel crucial ao restaurar áreas degradadas, além de preservar a biodiversidade e promover benefícios sociais e econômicos. Esse processo é fundamentado pelos princípios ecológicos, que orientam suas práticas e estratégias.

Princípios ecológicos são fundamentos científicos baseados nos processos naturais do ecossistema. Servem como guia para a redução de impactos (Gann *et al.*, 2019) e direcionam as ações restaurativas em áreas degradadas. A adoção desses princípios permite que a restauração ecológica não apenas recupere ecossistemas degradados, mas também fortaleça sua funcionalidade.

A Sociedade Internacional para Restauração Ecológica (SER) define oito princípios ecológicos para a prática da restauração (Gann *et al.*, 2019):

- 1) Envolvimento de diversos atores na restauração ecológica;**
- 2) Utilização de múltiplos tipos de conhecimento;**
- 3) A prática da restauração é baseada em ecossistemas de referência;**
- 4) A restauração ecológica apoia os processos naturais de manutenção do ecossistema;**
- 5) O sucesso da restauração é avaliado por metas e objetivos claros, mensurando indicadores ecológicos;**
- 6) Restauração ecológica visa ao mais alto nível de recuperação alcançável;**
- 7) Há valor cumulativo na restauração em larga escala;**
- 8) A restauração ecológica faz parte de um *continuum* de atividades restaurativas.**

Nesse sentido, é imprescindível conhecer o **ecossistema de referência** e o seu funcionamento, para orientar as ações de restauração. O ecossistema de referência é, por definição, a fisionomia de vegetação alvo ou modelo da restauração, sendo que não é apenas um remanescente na paisagem, mas um mosaico de remanescentes em diferentes estados de conservação. O

Restauração ecológica: é a ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e no funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais (SER, 2004).

ecossistema cujas características biológicas e estruturais representam o objetivo final da restauração, funcionando como guia para as ações e como referência para avaliar os indicadores de sucesso do processo de restauração (Gann *et al.*, 2019). A definição do ecossistema de referência pode ser realizada por meio de levantamento de campo, com base em literatura e estudos científicos, amostragem de solos e levando em consideração o conhecimento tradicional (Brancalion, Gandolfi e Rodrigues, 2015).

Conhecer a fisionomia de vegetação e os processos ecológicos que a mantém norteiam a definição das ações de restauração, e uso futuro da área. Nos campos do bioma Pampa, por exemplo, há gramíneas e leguminosas com alto valor forrageiro, que viabilizam a pecuária em campos nativos (Nabinger *et al.*, 2009). Quando manejados adequadamente, esses sistemas preservam a biodiversidade (Ferreira *et al.*, 2020). Essa combinação única de conservação ambiental e uso econômico é resultado das características ecológicas dos ecossistemas campestres do Pampa (Overbeck *et al.*, 2023). Em ecossistemas de campo com condições de solo e clima favoráveis e uma alta produtividade primária, os distúrbios como queimadas periódicas e o pastoreio por herbívoros são componentes essenciais (Overbeck *et al.*, 2023; Bond, 2019). Na ausência desses distúrbios, há tendência de perda de diversidade de plantas herbáceas devido à exclusão competitiva por gramíneas dominantes (como plantas C4) ou pelo aumento de espécies lenhosas (Overbeck e Müller, 2017). Atualmente, os animais domésticos (gado bovino, ovino, equino) são os responsáveis por manter as características fisionômicas e a biodiversidade dos campos.

A vegetação campestre, portanto, evoluiu em interação com distúrbios e, adaptabilidades como gemas protegidas, órgãos subterrâneos robustos (como xilopódios), alta capacidade de rebrote, florescimento pós-fogo e mecanismos de recuperação de biomassa após a desfolha por herbívoros demonstram a relação das plantas campestres com esses processos (Fidelis e Pivello, 2011). A restauração deve levar em conta a necessidade de equilibrar esses eventos, promovendo a regeneração de espécies nativas que são adaptadas a esse cenário e garantindo que os distúrbios sejam controlados de maneira que favoreçam a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema.

Outro princípio é o incentivo da participação dos atores locais nos projetos de restauração ecológica. Quando os atores participam nas várias etapas de um projeto de restauração, esta experiência coletiva possibilita o envolvimento desde o momento do diagnóstico da degradação

e, nesta etapa, através do uso de informação científica e percepção local, é possível estabelecer um diálogo de saberes entre todos os participantes, gerando conhecimentos e reflexão entre os participantes (Ceccon, 2023). Os atores locais têm conhecimentos profundos sobre o ecossistema, incluindo práticas sustentáveis de uso do solo e identificação de espécies nativas que podem ser incorporadas aos projetos de restauração. O envolvimento das comunidades do Pampa não apenas beneficia a biodiversidade e os ecossistemas, mas também promove a inclusão social, fortalece a economia local e desenvolve o sentimento de pertencimento, porque os restauradores ecológicos não somente auxiliam os processos naturais, mas participam deles (Gross, 2006).

04

Diagnóstico ambiental

Foto: Leonardo Marques Urruth



Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa

A análise e interpretação do ambiente a ser restaurado representam uma etapa crucial para determinar as estratégias mais adequadas. Esse processo constitui a base para a restauração, pois é nele que são definidas todas as ações e intervenções necessárias. O diagnóstico das condições de degradação em uma área específica envolve a avaliação das características estruturais e dinâmicas da paisagem em que as áreas degradadas estão inseridas, bem como uma análise detalhada do local.

A etapa de diagnóstico de áreas degradadas envolve a avaliação do histórico de uso da terra, do contexto da paisagem e da resiliência ecológica (Holl e Aide, 2011). Esse diagnóstico detalhado permite obter uma perspectiva realista sobre o nível de degradação, o potencial de regeneração e as ações necessárias para restaurar o ecossistema. Também orienta a definição de metas específicas, considerando esforços e recursos envolvidos (Holl e Aide, 2011; Guarino *et al.*, 2023; Buisson *et al.*, 2019; Overbeck *et al.*, 2013) (Figura 2).

Figura 2. Fatores que devem ser considerados ao planejar a restauração ecológica.



Fonte: Adaptado de Holl e Aide (2011).

A **resiliência** de um ecossistema considera sua capacidade e velocidade de retornar a condições similares às originais após o término do uso humano. Por exemplo, em áreas onde a vegetação nativa começa a se regenerar naturalmente, sem necessidade de introdução de espécies, a resiliência pode ser considerada alta, e intervenções mais leves são suficientes. Contudo, em locais dominados por espécies exóticas ou invasoras, as ações de restauração mais intensivas tornam-se indispensáveis para reverter a degradação e restaurar a biodiversidade original (Guarino *et al.*, 2023; Andrade *et al.*, 2019).

O **contexto paisagístico** é determinante para o sucesso das iniciativas de restauração. Na análise da paisagem regional, é essencial considerar aspectos como a fragmentação e a conectividade das formações naturais. Essa avaliação, geralmente realizada com o auxílio de imagens aéreas de alta resolução, permite estimar a resiliência da paisagem. Em seguida, é feita a análise detalhada da área a ser restaurada, levando em conta o histórico de degradação, as condições bióticas e abióticas, além da identificação de fatores de impacto e do nível de resiliência local. Áreas rodeadas por remanescentes de vegetação nativa têm maior chance de colonização natural por espécies locais, enquanto regiões cercadas por monoculturas ou silvicultura enfrentam desafios adicionais, como maior pressão de espécies invasoras. Essas condições afetam não apenas a biodiversidade local, mas também a conectividade ecológica, essencial para processos de dispersão e polinização (Jaurena *et al.*, 2021; Andrade *et al.*, 2019).

O **histórico de uso** desempenha papel fundamental na avaliação do grau de dificuldade da restauração. Áreas submetidas a práticas agrícolas intensivas, com aração e gradagem profunda e uso de fertilizantes químicos e orgânicos, frequentemente apresentam bancos de sementes reduzidos e alterações químicas no solo, dificultando a regeneração natural. Em contraste, locais utilizados para pastejo com sobrecarga animal, embora degradados, tendem a reter maior potencial de recuperação por meio de sementes e rizomas presentes no solo (Nabinger *et al.*, 2009; Guarino *et al.*, 2023). Outro exemplo importante de histórico de uso é a silvicultura, onde as áreas podem manter condições favoráveis para a restauração devido ao cultivo mínimo e rotações longas. Contudo, sugere-se a avaliação do banco de sementes, já que a rotação longa pode influenciar na sua viabilidade.

Resiliência: capacidade de um ecossistema natural em retornar à condição anterior à degradação sem intervenção humana (Aronson; Durigan; Brancalion, 2011).

Durante o diagnóstico, são levantados os fatores limitantes, assim como os favoráveis, que podem comprometer o sucesso da restauração. Com base nessas informações, são recomendados métodos específicos e ajustados às particularidades de cada área. Em casos onde o grau de degradação é menor, a simples eliminação dos fatores causadores da degradação (por exemplo, espécies exóticas invasoras e sobrepastoreio) pode ser suficiente para promover a regeneração natural com sucesso. Abaixo, são descritas etapas e avaliações a serem realizadas para o diagnóstico ambiental da área degradada visando a definição das ações e técnicas de restauração ecológica.

4.1 Identificação dos fatores de degradação

É fundamental registrar os fatores que causaram ou ainda causam a degradação das áreas a serem restauradas, os quais exigem medidas de controle. A remoção do fator de degradação é uma das primeiras ações visando a restauração. Muitas vezes, apenas interrompendo o fator ou causa de degradação já é possível levar a uma trajetória de restauração. Entre os fatores de degradação mais frequentemente observados no Pampa, podemos destacar a invasão biológica, o sobrepastoreio, e principalmente a conversão de áreas para agricultura e silvicultura, o que consequentemente, leva a perda de habitats e de biodiversidade (Michel e Overbeck, 2024; Veléz-Martin *et al.*, 2015).

Nas últimas décadas, as áreas de vegetação natural do Pampa vêm sendo substituídas por culturas anuais, como soja e arroz, ou perenes, como eucalipto, acácia-negra e pinus (Oliveira *et al.*, 2017). A redução drástica da vegetação campestre, pode causar perdas irreparáveis como a extinção de espécies, mesmo sob níveis moderados de conversão do uso da terra (Staude, *et al.*, 2017). E, inclusive, indiretamente, a conversão dos campos tradicionalmente ocupados com a pecuária, para uso da agricultura convencional acaba acarretando impactos negativos, como a contaminação de populações de abelhas por agrotóxicos (Nunes, *et al.*, 2021).

Outro importante problema é a invasão biológica, principalmente por *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni) (Figura 3), *Cynodon dactylon* L. Pers. (grama-bermuda), *Senecio madagascariensis* Poir. (margaridinha) e *Ulex europaeus* L (tojo), que ocorre principalmente pelo mau manejo da vegetação, pelas condições climáticas e pela estrutura fragmentada da paisagem (Guido *et al.*, 2016).

Figura 3. Campo dominado por capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) em Alegrete/RS.

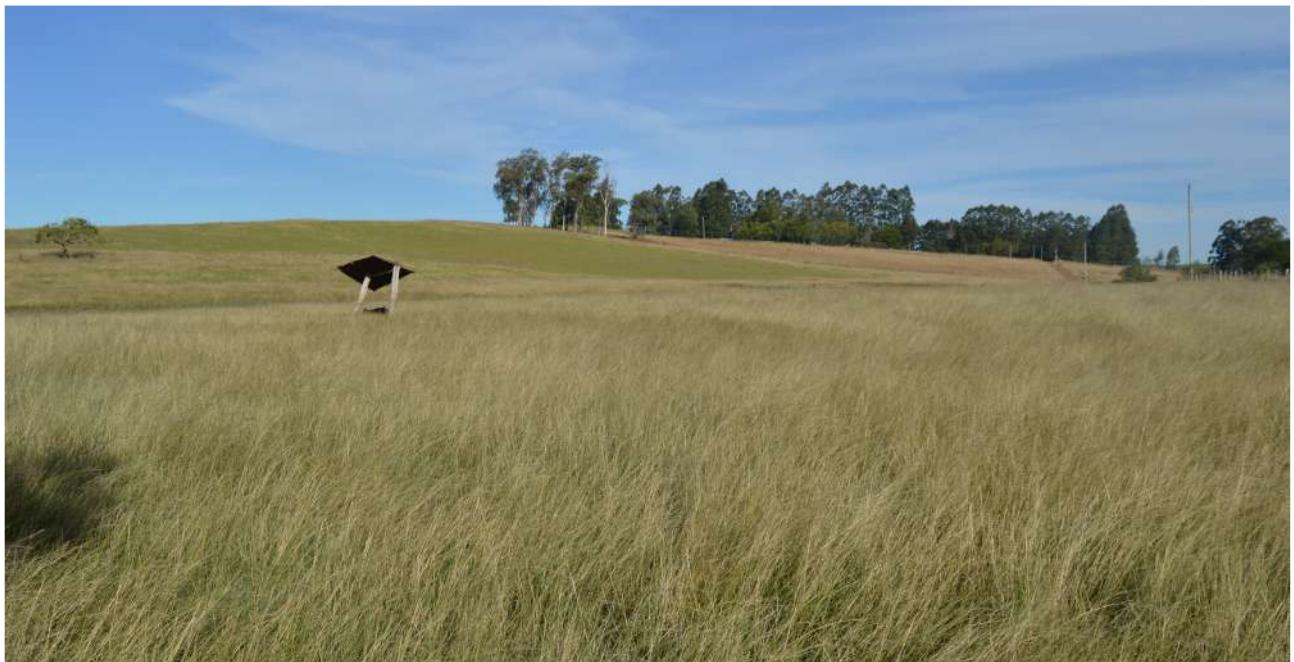


Foto: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Recuperação de Áreas Degradas (NEPRADE/UFSM).

Na avaliação dos fatores de degradação em uma área a ser restaurada são documentadas as causas, intensidade e extensão da degradação e descritos os efeitos da degradação no ambiente, além disso, é importante identificar o tipo e a intensidade dos fatores que impulsionaram ou ameaçaram a restauração, e determinar maneiras de eliminá-los, reduzi-los ou se adaptar a eles (Gann *et al.*, 2019).

4.2 Avaliação do estado de conservação do solo

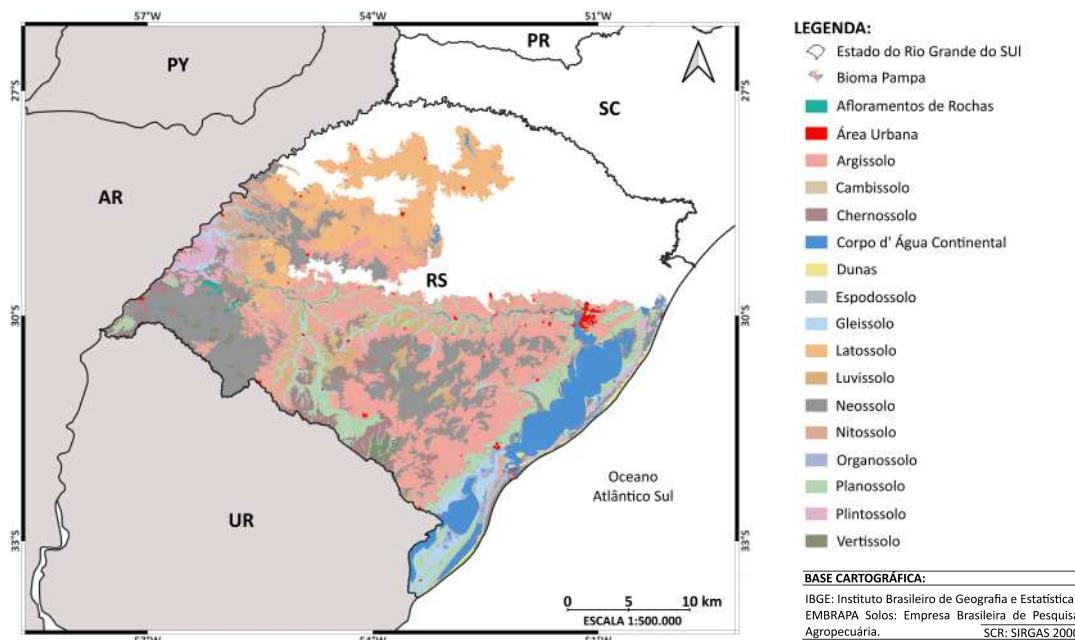
O principal fator que causa impacto negativo significativo nos campos do bioma Pampa, e que faz reduzir a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, é a conversão dos campos para agricultura (principalmente soja, milho e arroz) e silvicultura (pinus, acácia e eucalipto) (Veléz-Martin *et al.*, 2015). Entre os anos de 2000 e 2015 a soja cresceu 188% alterando a paisagem dos campos sulinos, bem como a necessidade de manejo adequado e conservação dos remanescentes do bioma (Kuplich *et al.*, 2018; Petsch *et al.*, 2023). Os campos suprimidos por essa conversão, geram preocupações quanto ao nível de degradação do solo, promovida pela adoção de sistemas de manejo agrícola inadequados que não proporcionam a conservação do solo.

Encontra-se nesse bioma uma diversidade de solos de origem basáltica e arenítica com diferentes características. A conversão dos campos em usos agrícolas e sua degradação geram impactos significativos na conservação do solo, o que ainda é pouco explorado na literatura. Abaixo, serão descritos os principais fatores de degradação do solo no bioma Pampa e os meios de avaliação.

4.2.1 Tipos de solo

A geologia no bioma Pampa imprime uma diversidade de tipos de solo, os quais apresentam diferentes aptidões e capacidade de uso, bem como potencial de resistir a erosão (hídrica ou eólica) (Roesch *et al.*, 2009) (Figura 4). Entender sobre as classes de solo no bioma pampa é importante pois a vegetação campestre evoluiu (diversidade de espécies) conforme as características edafoclimáticas, em especial as características de cada tipo de solo, que variam principalmente nas suas propriedades físicas e químicas (Rovedder, 2013). Na porção Noroeste do Pampa (Formação Serra Geral) são comuns os Neossolos Litólicos e Regolíticos. São solos jovens sem a presença de um horizonte diagnóstico (Horizonte B), e com baixa resistência à erosão uma vez que são caracterizados por serem solos rasos, especialmente o Litólico (Horizonte A < 50 cm).

Figura 4. Delimitação do bioma Pampa e suas diferentes classes de solos.



Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Solos.

Os Vertissolos ocorrem na porção mais plana da encosta, são solos caracterizados pela presença de argila 2:1 expansiva, que em condição de solo seco se contrai e quando úmido torna-se muito pegajoso. Os Vertissolos ocorrem muitas vezes em associação com os Neossolos Regolíticos e Litólicos, sendo caracterizados pela alta fertilidade. Em algumas partes dessa região do Pampa é possível ainda encontrar pontos de afloramento de arenitos, formação Botucatu, o que caracteriza solos com textura extremamente arenosa, como os Neossolos Quartzarênicos. Estes solos são extremamente frágeis aos processos erosivos, pois possuem baixa capacidade de agregação e pouca coesão. Justamente a presença desse tipo de solo (arenoso) aliado ao uso intensivo sem práticas de conservação ou fora da aptidão resulta num processo de degradação no Pampa conhecido como arenização (Suzuki *et al.*, 2023). A vulnerabilidade das áreas com o processo de arenização (solos arenosos, baixa fertilidade e biodiversidade) agravada pelas atividades agrícolas com manejo inadequado do solo causa um cenário de degradação (Granada *et al.*, 2019).

Os Argissolos são característicos da Depressão Central com ocorrência em relevo ondulado, além da presença de um horizonte B com mudança textural abrupta - Bt (<2,5 cm). Essas características também conferem a esse tipo de solo uma alta suscetibilidade ao processo erosivo, pois a descontinuidade do fluxo de água entre o horizonte A (arenoso) e o Horizonte Bt (argiloso) não permite um adequado processo de movimentação da água dentro do solo. Outras classes de solo muito importante encontradas no Pampa são os Planossolos e Gleissolos, os quais ocorrem em relevo plano (0 – 3%) e são caracterizados pela má-drenagem de água (solos hidromórficos). Esses dois tipos de solo são caracterizados pela alta capacidade de retenção de água no solo e ocorrência de inundação, devido a sua posição no relevo. Dessa forma, apenas espécies adaptadas a esses ambientes conseguem se desenvolver.

4.2.2 Excesso de fertilização

De maneira geral, os solos do bioma Pampa apresentam baixa fertilidade natural. Portanto, quando há a conversão dos campos para cultivos anuais, a busca por altas produtividades no setor agropecuário ocasiona o uso intensivo de insumos, sem a devida consideração das necessidades reais do solo e das culturas. Esse uso indiscriminado pode resultar na acidificação do solo, na contaminação de corpos d'água e na perda da biodiversidade do ecossistema local. Além disso, a aplicação excessiva de fertilizantes pode prejudicar a estrutura do solo, reduzindo sua capacidade de retenção de água e aumentando a vulnerabilidade à erosão do solo.

Por isso, são necessárias ações sustentáveis como por exemplo, a realização de uma análise química do solo completa (macronutrientes como N-P-K e micronutrientes como B, Zn, Cu; além de pH em água, saturação por Al e bases - Ca, Mg, K) para que seja avaliada a necessidade de insumos, como os adubos necessários ao desenvolvimento das plantas visando a restauração ecológica.

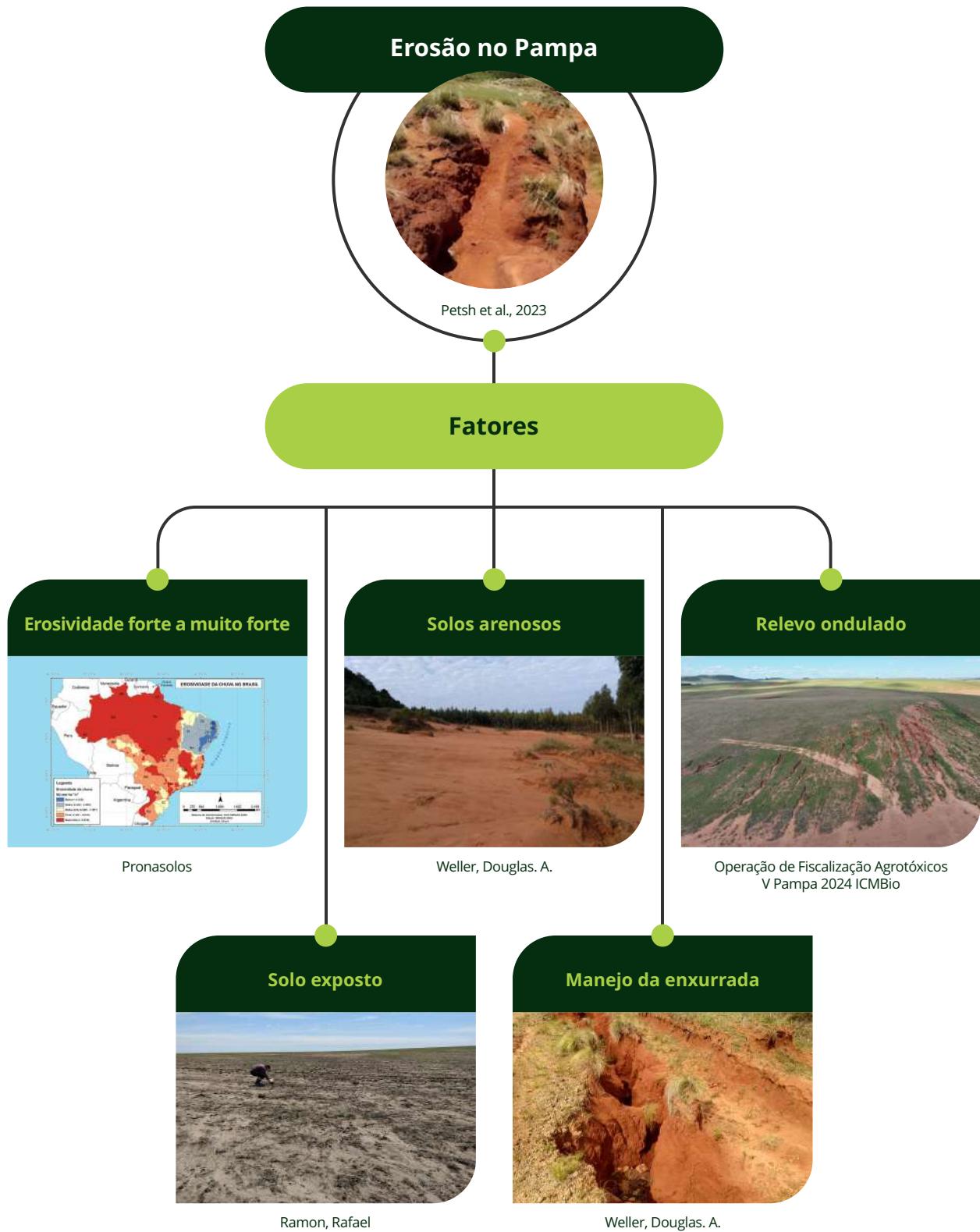
4.2.3 Processos erosivos

A erosão é um problema crescente no Pampa, afetando a qualidade do solo e a sustentabilidade dos ecossistemas. Esse processo é acelerado pela ação antrópica e seu manejo, como o pastoreio excessivo, a conversão de áreas de vegetação nativa e o uso intensivo do solo para agricultura. A conversão de campo nativo para culturas anuais aliada a implementação inadequada do manejo do solo, intensifica a erosão do solo e ao mesmo tempo aumenta a produção de sedimentos nos rios (Didoné *et al.*, 2015; Roesch *et al.*, 2009).

Um estudo na bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã (localizada no bioma Pampa) indicou por meio de monitoramento e modelagem matemática que cerca de 33% do sedimento que alcança o rio é de origem das áreas de agricultura, mas esta representa menos de 10% da área coberta nessa bacia hidrográfica, enquanto apenas 17% são de origem dos campos, que representam 80% da área (Ramon *et al.*, 2024). Portanto, percebe-se que mesmo sendo uma área menor em hectares, a agricultura foi responsável pelo maior aporte de sedimentos devido aos processos erosivos.

O processo erosivo (hídrico ou eólico) é composto por três fases: desagregação, transporte e deposição das partículas para um local fora da sua origem. A erosão eólica é uma fase fundamental para o início do transporte, ou seja, a "iniciação ao movimento". Existem cinco principais fatores que afetam a erosão do solo. No bioma Pampa esses fatores em maior importância são apresentados na Figura 5. Saber como cada fator influencia no processo é importante para que seja possível compreender como a erosão é desencadeada, além de possibilidades de intervenção como agentes técnicos na recuperação dos solos.

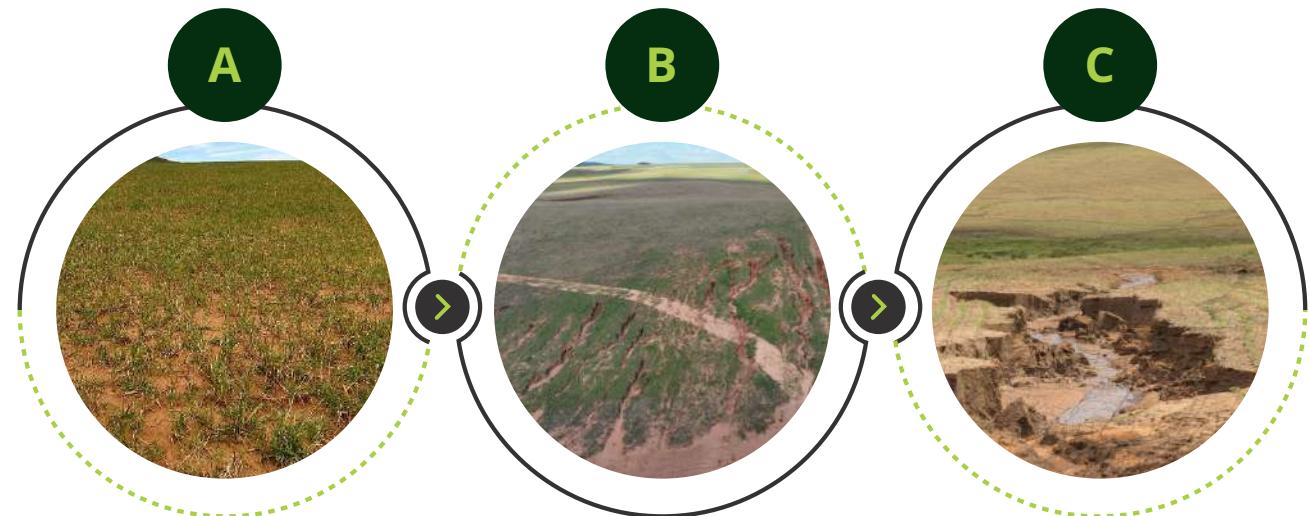
Figura 5. Cinco fatores que afetam a erosão do solo (hídrica e eólica).



Fonte: Cláudia Alessandra Peixoto de Barros

O diagnóstico de um processo físico não é simples, e não há técnica ou protocolo definidos. Dessa forma, em relação ao processo de erosão hídrica do solo, devemos procurar identificá-lo nos diferentes estágios (inicial, intermediário ou avançado) sendo eles: (i) erosão entressulcos (laminar); ou (ii) em forma de sulcos, (iii) ravinas e voçorocas; além de identificar a principal causa do fenômeno. A Figura 6 mostra desde o estágio inicial - erosão entressulco ou laminar, estágio intermediário - erosão em sulcos, até o estágio avançado - voçorocas. Inicialmente, a erosão entressulco é caracterizada pela desagregação do solo causada pelo impacto da gota da chuva, principalmente pela falta de cobertura no solo. É um estágio de erosão de difícil identificação no campo, mas pode ser verificado quando há solo descoberto conforme a Figura 6a. O avanço do processo erosivo ocorre quando os sulcos de erosão (Figura 6b) começam a aparecer na paisagem sendo de fácil identificação no campo. A erosão em sulco é caracterizada pela ocorrência da formação do escoamento superficial concentrado, potencializado pelo relevo (alta declividade e comprimento de rampa). Por fim, voçorocas são o mais intenso processo erosivo, a Figura 6c nos mostra um processo intenso de degradação por erosão, devido provavelmente ao conflito de uso por não ser um tipo de solo para lavouras anuais, além do manejo inadequado do solo. Voçorocas podem ser classificadas no campo, quando uma máquina agrícola (por exemplo) não consegue trafegar.

Figura 6. Formas de erosão hídrica do solo a) entressulco/laminar; b) sulco; c) intenso processo erosivo encaminhando-se para voçoroca.



Fotos: a) Ramon, 2018; b e c) Fiscalização ambiental na Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã/Operação de Fiscalização Agrotóxicos V Pampa 2024 ICMBio

Em relação a erosão eólica, uma das formas de identificar os estágios é observando a presença de solo descoberto em áreas com solo arenoso (condição necessária para ocorrer erosão eólica); e a deposição, após transporte, do material erodido por meio dos depósitos de “areia” os chamados “areais”.

De acordo com a disponibilidade financeira e/ou de recursos humanos pode-se utilizar técnicas mais complexas e completas para avaliação de processos erosivos. Portanto, abaixo são citadas algumas opções de maior complexidade que podem auxiliar de forma subjetiva a identificação de locais com problemas de degradação de solo no Bioma Pampa:

- 1)** Uso de drones para vistoriar áreas em processo erosivo por meio da identificação de sulcos, voçorocas, arenização, lotação de animais;
- 2)** Uso de Sistema de Informações Geográficas - SIG para compreender os fatores que desencadeiam o processo (relevo, tipo de solo, uso e manejo do solo) erosivo tanto eólico quanto hídrico;
- 3)** Monitoramento da produção de sedimentos (erosão hídrica).

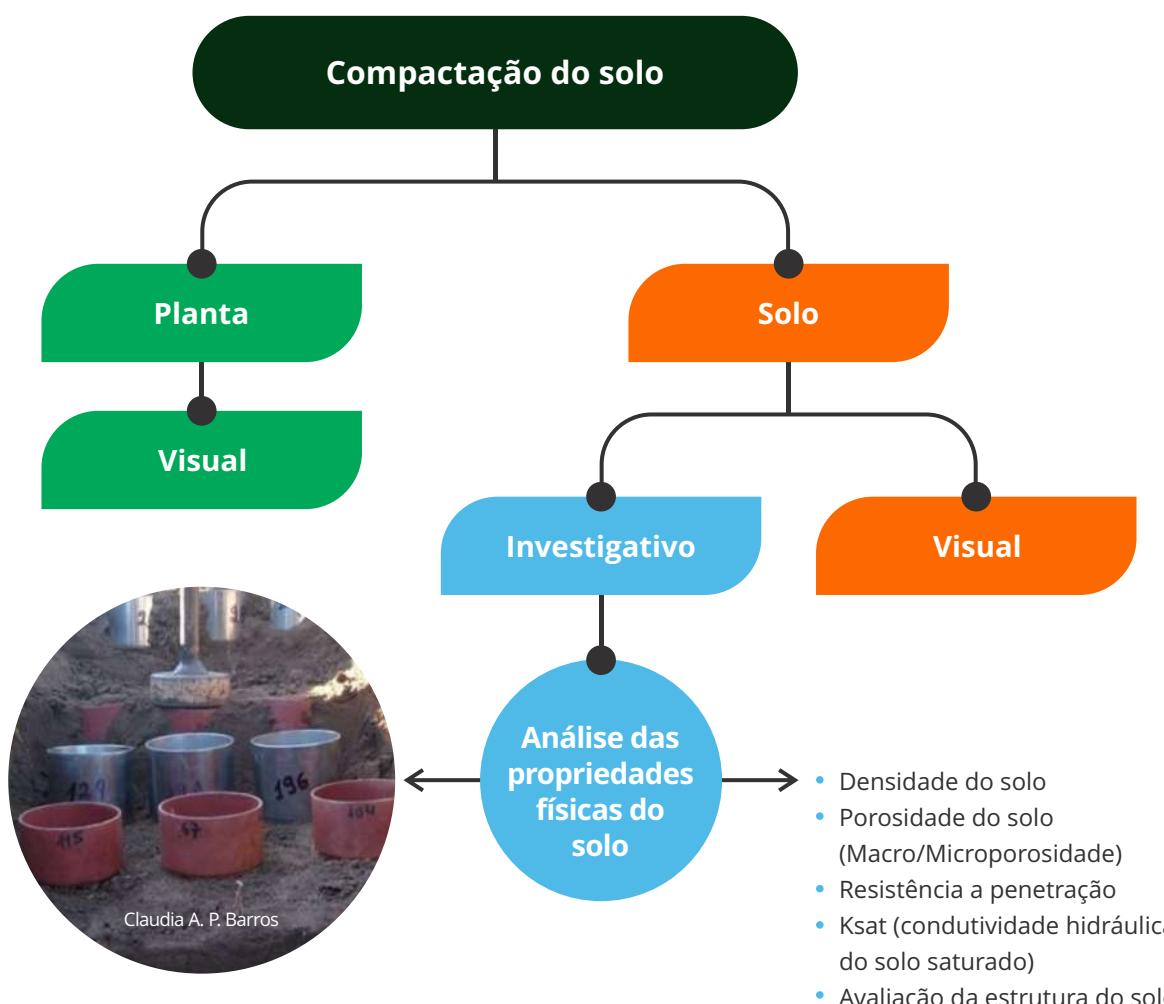
4.2.4 Compactação do solo

Um solo fisicamente ideal é aquele que permite adequadamente as trocas gasosas e de calor, promove a infiltração de água no solo e sua retenção. Além disso, promove o crescimento das raízes e responde ao manejo do solo, evitando assim a sua degradação. Todavia, quando não bem manejado o solo pode tornar-se compactado e então não mais “funcionar” adequadamente. Tráfego de máquinas em condições de umidade do solo elevada, ciclos de umedecimento e secagem do solo, e pisoteio animal em excesso, são algumas das principais causas de degradação do solo pelo processo de compactação. Este resulta na redução da porosidade e aumento da densidade do solo. No bioma Pampa, onde a vegetação nativa é fundamental para a conservação da biodiversidade e da saúde do solo, a compactação afeta diretamente a estrutura do solo, limitando a aeração, o armazenamento de água e a disponibilidade de nutrientes.

A avaliação da compactação do solo, segundo o Documento nº 56 da EMBRAPA (Machado, 2003) pode ser realizada por meio da visualização da planta e solo, além de uma investigação no solo (Figura 7). A abertura de trincheiras é muito utilizada e permite uma avaliação do perfil de solo e

do sistema radicular. Além disso, a análise de algumas propriedades físicas do solo informa o estado de compactação, como, por exemplo, a densidade do solo, a resistência à penetração e a porosidade do solo (Figura 7); as quais podem ser utilizadas para avaliar as áreas a serem restauradas. Essas análises físicas (Manual de Métodos de Análise do Solo, 2017) podem ser verificadas junto com os laboratórios de rotina de solos, os quais realizam de forma contínua as análises de fertilidade e granulometria do solo.

Figura 7. Identificação de áreas compactadas por meio do diagnóstico do solo em áreas de restauração ecológica.



Fonte: Cláudia Alessandra Peixoto de Barros.

4.2.5 Baixo teor de matéria orgânica

O baixo teor de matéria orgânica no solo (MOS) é um desafio ambiental significativo no bioma Pampa não somente para as áreas que foram convertidas em atividade agrícola ou silvicultura, mas também para os solos com baixa capacidade de agregação, ou seja, os arenosos como aqueles com mais de 90% de areia em sua composição. A MOS, composta principalmente pela decomposição de plantas e animais, é crucial para a fertilidade do solo, pois favorece a atividade microbiana além de melhorar sua estrutura e aumentar a retenção de água e de nutrientes. Práticas inadequadas do uso do solo, como o sobrepastoreio e o preparo convencional, levam à redução da matéria orgânica no solo.

A remoção de vegetação nativa e o uso das áreas para pastagem cultivada ou agricultura, sem a reposição adequada de nutrientes, contribuem para esse empobrecimento. A diminuição da MOS compromete a capacidade do solo de sustentar a vegetação, reduzindo a produtividade agrícola e pecuária e tornando o solo mais vulnerável à erosão e à compactação. Nesse sentido, fica evidente a vulnerabilidade e fragilidade dos solos arenosos do Pampa e que a alteração de uso compromete a sua qualidade (Reichert et al., 2016).

Para a avaliação de teores de carbono e matéria orgânica do solo, atualmente, equipamentos como analisador elementar automático de carbono (e nitrogênio) geram rapidez na determinação, além de menor passivo ambiental (menor uso de reagentes químicos). Nessa técnica, é necessário apenas uma pequena quantidade de solo seco e peneirado (< 2 mm) e a análise pode ser realizada em diversos laboratórios no sul do país. Com o dado do teor de carbono, densidade e espessura do solo pode-se obter o estoque de carbono no solo. Assim, pode-se verificar como a restauração ecológica, por meio do monitoramento, está sendo eficaz no incremento do estoque de carbono.

4.3 Avaliação da regeneração natural e espécies exóticas invasoras

A avaliação da vegetação na área degradada é crucial e deve ser realizada em parcelas representativas distribuídas uniformemente. Indicadores como altura da vegetação, exposição do solo, densidade e diversidade de espécies nativas fornecem informações relevantes sobre o estado atual e orientam as ações de restauração. Essas avaliações, associadas a um planejamento detalhado, são fundamentais para alinhar os esforços de restauração ecológica

com os objetivos de conservação e uso sustentável (Buisson *et al.*, 2019; Overbeck *et al.*, 2013). A avaliação da vegetação é importante para o aproveitamento do potencial de **regeneração natural**, que é influenciado pela quantidade e distribuição de espécies e indivíduos nativos remanescentes, pela capacidade de brotações e permanência do banco de sementes e estruturas reprodutivas no solo, todos afetados pelo histórico do uso da área. Quanto maior o potencial de regeneração, menos intensivas são as técnicas de restauração.

Observar, ainda, se há, na área degradada, **invasão biológica** por espécies exóticas invasoras e realizar uma estimativa da cobertura do solo por essas plantas (por exemplo, porcentagem do solo coberto). Quando alguma **espécie exótica invasora** for registrada, é necessário realizar o controle (métodos de controle são apresentados em tópicos seguintes). Entre as exóticas invasoras frequentemente encontradas no Pampa estão o capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees), a grama-bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), o tojo (*Ulex europaeus* L.) e o pinus (*Pinus* spp.) (Guido *et al.*, 2016).

4.4 Definição dos objetivos da restauração

A escolha das técnicas de restauração deve ser realizada com base no ecossistema de referência, no diagnóstico do local e nos objetivos do projeto (Gann *et al.*, 2019). O objetivo da restauração ecológica está normalmente ligado ao retorno da vegetação nativa conforme o ecossistema de referência em termos de biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Além disso, os objetivos podem incluir aspectos socioeconômicos considerando seu uso futuro. Para o Pampa, o uso do campo nativo com pecuária é uma possibilidade de uso socioeconômico aliado à restauração.

Regeneração natural: conjunto de processos pelos quais plantas se estabelecem em área a ser restaurada ou em restauração, sem que tenham sido introduzidas por ação humana (Aronson; Durigan; Brancalion, 2011).

Invasão biológica: Processo que ocorre quando espécies exóticas ou alóctones se estabelecem em outro território.

Espécie exótica invasora: Organismos que foram introduzidos fora de sua área de distribuição natural e se adaptam, reproduzem e espalham, ameaçando a biodiversidade, a saúde humana e a economia.

05

Ações e métodos de restauração ecológica

Foto: Guilherme Diego Fockink

5.1 Estratégias para recuperação do solo e controle de espécies exóticas invasoras

5.1.1 Práticas de manejo e conservação do solo

O conhecimento do solo é essencial para que possamos manejá-lo adequadamente a fim de minimizar efeitos dos eventos extremos, os quais irão ocorrer numa frequência maior, e das mudanças de uso do solo. Na prática da restauração ecológica, onde o objetivo é o retorno da vegetação nativa conforme o ecossistema de referência, as estratégias de recuperação do solo devem ser formuladas após o diagnóstico da sua conservação, conforme descrito no item 4.2, sendo uma das principais observações a relacionada à capacidade do solo em sustentação da vida, ou seja, de desenvolvimento da flora e fauna associada.

Em relação ao manejo da fertilidade e do solo principalmente no início do processo de restauração, utilizar-se de análise do solo é muito importante quando na restauração produtiva pela pecuária, por exemplo. Dessa forma, pode ser recomendado o uso de calcário e/ou fertilizantes, além de plantas para adubação verde para melhorar a fertilidade desse solo com vista ao desenvolvimento do campo e, consequentemente, da pecuária sustentável com manejo adequado. Já em áreas que não são destinadas à restauração produtiva, não precisam necessariamente da aplicação desses insumos; uma vez que as espécies que se desenvolvem nesses solos já são adaptadas a baixa fertilidade. Um exemplo são os Neossolos Quartzarênicos, de baixa fertilidade natural e capacidade de retenção de água.

Outro aspecto importante na recuperação e conservação do solo é a manutenção da cobertura do solo. A promoção da cobertura do solo pode ser favorecida pelo ajuste da carga animal em campos com pastoreio excessivo e por outras técnicas visando o desenvolvimento da vegetação, conforme apresentado nos tópicos seguintes. Ao promover uma variedade de sistemas radiculares, fontes de nutrientes, e interações biológicas, ela fortalece a estrutura do solo, aumenta sua fertilidade, melhora a retenção de água e reduz os impactos de erosão e compactação. Além disso, contribui para um ecossistema mais resiliente e sustentável, beneficiando tanto as plantas quanto os microrganismos e outros seres vivos que dependem do solo. Rovedder e Eltz (2008) avaliando o potencial de plantas de cobertura em reduzir o processo de arenização e recuperação de áreas degradadas no Pampa, puderem concluir que as culturas de aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) e aveia-preta+tremoço (*Lupinus* spp.) foram eficientes na redução do transporte de areia pelo processo de erosão eólica.

Para a recuperação do solo com **processos erosivos**, após a identificação das causas, deve-se atuar de modo a buscar a estabilização desse processo erosivo. Porém, sabe-se que em estágio avançado, a recuperação do solo será mais lenta e gradual. Métodos de estabilização e/ou recuperação de solos erodidos variam de acordo com a intensidade da erosão (hídrica ou eólica). Como exemplos de medidas de recuperação, podemos citar:

- 1) Interrupção das atividades agrícolas e/ou silvicultura que estejam degradando o solo pelo processo de erosão para promover o crescimento da vegetação nativa.
- 2) Se necessário, em áreas com sulcos profundos de erosão, preencher os sulcos com solo e posteriormente semear plantas de cobertura para promover a estruturação do solo.
- 3) Estabilização de voçorocas: identificar os caminhos das águas que estão intensificando o escoamento superficial e dessa forma barrar a água da enxurrada por meio de canais escoadouros construídos ou naturais. Além disso, não deixar a área com acesso aos animais e nem outra atividade, para evitar a intensificação do processo e para que a vegetação nativa se desenvolva. Ainda, podem ser semeadas ou plantadas espécies com diferentes portes para que se estabilize as margens das voçorocas. Exemplos: gramíneas de porte rasteiro como a grama-forquilha (*Paspalum notatum* Flüggé), em situações de recuperação ambiental, na indisponibilidade de espécie nativa com função semelhante, amendoim-forrageiro (*Arachis pintoi* Krapov. & W.C.Greg.), plantas de cobertura em geral como milheto (*Pennisetum americanum* (L.) K.Schum.). Essas espécies de menor porte são utilizadas principalmente ao fundo das voçorocas para o solo tornar-se mais fértil e estruturado e assim a vegetação nativa poder se desenvolver. Contudo, não é possível estabelecer uma cobertura vegetal sem antes interromper o processo erosivo.
- 4) Quebra-ventos e cobertura vegetal que se adapte às áreas com degradação por erosão eólicas são medidas para minimizar o efeito da energia do vento, por exemplo, para os solos arenosos e relevo plano encontrado na região Sudoeste do Pampa.

5.1.2 Ajuste da carga animal

O sobrepastoreio é um dos problemas de degradação do solo e dos campos nativos no Bioma Pampa, sendo causado pela utilização de um número de animais acima do que poderia ser suportado pela pastagem natural. O que acaba resultando em uma degradação do solo, perda de nutrientes, diminuição da biodiversidade e, a longo prazo, em quedas na produtividade da pastagem. A mudança no uso do solo e o manejo de pastoreio com baixa disponibilidade de forragem podem ser associados a efeitos negativos na prestação de serviços ecossistêmicos,

reduzindo os estoques de carbono orgânico do solo e a diversidade de plantas, aves e mamíferos, e aumentando a erosão do solo (Modernel *et al.*, 2016). Contudo, técnicas de ajuste de carga e o diferimento (exclusão da área por alguns meses) fazem com que a regeneração natural responda positiva e rapidamente (Fedrigo, 2015). O manejo da pastagem nativa juntamente com o conhecimento técnico-científico é a ferramenta para melhorar simultaneamente o desempenho dos animais e mitigar as emissões de CH₄ nas pastagens nativas do bioma Pampa (Cezimbra *et al.*, 2021). Além disso, o uso do solo com campo nativo pastejado no Pampa mostra-se favorável à preservação da biodiversidade do solo e desse bioma (Góes *et al.*, 2021).

Cabe ressaltar que estudos já demonstram que o sobrepastoreio prejudica não somente o solo, mas o desenvolvimento das pastagens. Por outro lado, é por meio do manejo das pastagens e ajustes de carga animal que irão se recuperar ao longo do tempo funções importantes do solo (capacidade de armazenamento de água no solo) além de permitir o desenvolvimento da vegetação nativa e permitir uma pecuária rentável e sustentável ao produtor. Abaixo, são elencadas algumas das principais alternativas para a redução do sobrepastoreio nos campos nativos do Bioma Pampa. Lembrando que o primeiro passo é o ajuste da lotação animal no campo, somente depois disso é que outras medidas deverão ser realizadas.

Boas práticas para recuperar campos degradados por sobrepastoreio

- 1)** Evitar pastejo intensivo e contínuo nas mesmas áreas, permitindo a rebrotação.
- 2)** Permitir períodos de descanso para diferimento da vegetação (alguns meses sem pastoreio ou estações do ano). *Diferimento*: visa a recuperação de espécies mais pastejadas quanto a reserva de forragem para as épocas de menor desenvolvimento delas.
- 3)** Monitoramento e ajuste de carga em função da disponibilidade de forragem, buscando manter uma oferta entre 8 e 12% do peso vivo. (8 a 12 kg de MS para cada 100 kg de peso vivo) (Nabinger *et al.*, 2009).
- 4)** Controlar a altura da forragem consumida. Estudos demonstram que altura menor que 8 cm resulta em menor ganho de peso e problemas de degradação do solo (Carvalho, *et al.*, 2017).

5.1.3 Controle de espécies exóticas invasoras

O controle de espécies exóticas invasoras (EEI) em projetos de restauração pode envolver técnicas mecânicas, químicas e biológicas. Entre o controle mecânico, citam-se as roçadas, corte e anelamento de indivíduos arbóreos, o recobrimento do solo com biomassa vegetal (*mulching*). Já o controle químico envolve a aplicação de herbicida, de forma seletiva em gramíneas invasoras e nos tocos de indivíduos arbóreos removidos, por exemplo.

O capim-annoni (*Eragrostis plana*) (Poaceae) é atualmente a espécie invasora mais problemática em campos naturais do sul do Brasil. A aplicação de herbicidas específicos para gramíneas, visando o controle do capim-annoni ou outras gramíneas invasoras como a braquiária (*Urochloa decumbens* (Stapf) R.D.Webster), acaba afetando de forma prejudicial às espécies nativas. Dessa forma, para o controle dessas gramíneas invasoras é necessária a aplicação de um herbicida sistêmico de forma seletiva sobre a planta indesejada. A aplicação seletiva de herbicida evita o uso de pulverização e se restringe ao contato direto à folha da planta.

Atualmente, o Método Integrado de Recuperação de Pastagens – MIRAPASTO, desenvolvido pela EMBRAPA Pecuária Sul, de Bagé/RS (Perez, 2010; 2015), é o método mais aceito e viável para o controle de exóticas invasoras e recuperação produtiva de áreas campestres invadidas. O MIRAPASTO, conjunto de técnicas desenvolvido por Perez (2010) envolve entre outras medidas o ajuste da oferta de pasto e introdução temporária de espécies forrageiras, anuais de verão (sorgo, capim-sudão e milheto) ou de inverno (azevém, aveia-preta), com baixo nível de persistência e espécies de inverno com baixa influência na composição florística nativa. A introdução de espécies forrageiras tem o objetivo de recobrimento do solo, evitando assim novas colonizações pela exótica invasora. Portanto, adaptações do método MIRAPASTO podem ser utilizadas para potencializar a restauração de áreas, sobretudo em área com pecuária, devido a necessidade do componente animal para o manejo de pastejo e diferimento na altura dos estratos invasor e nativo. Faz-se necessário tomar cuidado com os níveis de calagem e adubação que envolvem o método, pois influenciarão diretamente nas espécies que se estabelecerão na área em recuperação.

Entre os métodos mais aplicados para controle de EEI, destaca-se também a remoção da camada superficial do solo, que consiste na retirada mecânica dos primeiros 5 cm do solo. Essa técnica reduz rizomas e o banco de sementes de espécies invasoras, mas pode também eliminar sementes de espécies nativas e apresenta custos elevados, especialmente quando aplicada em áreas extensas (Fidelis *et al.*, 2014; Vieira *et al.*, 2015; Thomas *et al.*, 2019). É preciso avaliar com cuidado a técnica no caso concreto, haja vista os riscos de erosão já comentados, bem como a reinvasão por EEI.

Os resultados obtidos por Thomas *et al.* (2019) no controle de *Urochloa decumbens* em campos do Rio Grande do Sul mostram que tanto a aplicação de herbicida quanto a remoção do solo superficial foram eficazes na redução substancial da cobertura da espécie invasora. A aplicação de herbicida foi mais eficiente, resultando em maior recuperação das espécies nativas (Thomas *et al.*, 2019). No entanto, a necessidade de reaplicação frequente e seus possíveis impactos adversos exigem cautela na adoção dessa técnica (Rinella *et al.*, 2009).

5.2 Técnicas de restauração ecológica de acordo com a fitofisionomia de vegetação

Os métodos e técnicas de restauração ecológica devem ser desenvolvidas de acordo com o diagnóstico da degradação e da capacidade de resiliência da área, ajustando-se às condições específicas de cada cenário. Em outras palavras, a restauração de um ecossistema não segue um padrão fixo, cada situação apresenta particularidades que requerem respostas únicas, sendo o sucesso do processo fortemente dependente do diagnóstico ambiental e da seleção das estratégias mais apropriadas.

Além disso, a escolha das técnicas de restauração deve levar em consideração o tipo de ambiente a ser restaurado, uma vez que existem métodos mais adequados para ambientes campestres e outros para ambientes florestais. Algumas técnicas são específicas para cada um desses ambientes, enquanto outras podem ser adaptadas para ambos. Também é crucial considerar os objetivos da restauração, que podem variar dependendo do propósito do projeto, influenciando diretamente na escolha da abordagem e das técnicas a serem aplicadas, além dos recursos disponíveis (Figura 8).

Figura 8. Técnicas de restauração ecológica conforme a fitofisionomia e o nível de resiliência, intervenções para restauração e custos.



Fonte: Autores.

As estratégias podem incluir uma combinação de diferentes técnicas de restauração. Algumas abordagens baseiam-se em intervenções mínimas, aproveitando os processos ecológicos naturais existentes, como a regeneração natural. Nesse contexto, é possível utilizar técnicas como a condução da regeneração natural ou regeneração natural assistida, que focam nos indivíduos regenerantes já presentes na área e nos processos naturais de recuperação.

Outras estratégias, como a nucleação, envolvem intervenções direcionadas para estimular os processos naturais, incluindo a instalação de poleiros artificiais, o plantio em núcleos, a transposição de bancos de sementes, transferência de feno, transplante de touceiras e leivas e o uso de galharias. Essas técnicas geralmente apresentam custos reduzidos e são altamente eficazes em áreas com algum potencial de resiliência.

Já as técnicas de restauração ativa, mais intensivas, são aplicadas em locais onde os processos naturais de regeneração são limitados ou inexistentes. Entre essas técnicas estão a semeadura direta e o plantio em área total que são recomendadas para áreas com baixa capacidade de recuperação natural. A seguir, serão detalhadas as principais técnicas de restauração ecológica aplicadas ao Bioma Pampa de acordo as fisionomias campestre e florestal e ainda, a recuperação produtiva.

5.2.1 Técnicas de restauração da vegetação campestre

5.2.1.1 Regeneração natural assistida ou condução da regeneração natural

A regeneração natural assistida, também conhecida como condução da regeneração natural, é uma abordagem eficaz e de baixo custo para a restauração ecológica, fundamentada no potencial de regeneração intrínseco dos ecossistemas locais (Crouzeilles *et al.*, 2017, Piaia *et al.*, 2020). Essa técnica consiste na remoção de fatores de degradação que inibem o restabelecimento espontâneo da vegetação nativa, como espécies exóticas invasoras e outras perturbações antrópicas ou naturais persistentes (Benayas *et al.*, 2009). Devido às condições evolutivas, as plantas dos ecossistemas do Pampa desenvolveram estruturas de reserva de nutrientes e mecanismos de rebrota a partir de gemas protegidas em órgãos subterrâneos como rizomas e rizóforos, xilopódios, bulbos, raízes tuberosas e outros (Fidelis, 2008; Fidelis; Appezzato; Pfadenhauer, 2009; Bencke, 2016). Portanto, a matéria vegetal viva abaixo da superfície do solo nos campos do Pampa é fundamental para a manutenção da capacidade de regeneração desses ecossistemas, além da enorme reserva estabilizada de carbono que representa (Bencke, 2016).

Outro mecanismo importante é o banco de sementes do solo, que desempenha um papel funcional importante na regeneração natural do campo nativo, servindo como meio para a manutenção populacional de muitas espécies. Os bancos de sementes do solo representam reservatórios de diversidade que podem aumentar a resiliência das comunidades vegetais às mudanças globais (Eskelinen *et al.*, 2021). No entanto, em áreas submetidas a uso intensivo do solo, o banco de sementes pode estar esgotado, comprometendo a regeneração natural e a recuperação da vegetação nativa.

Sob condições adequadas, a regeneração natural assistida permite o aumento da densidade de plantas em comparação com a condição inicial de degradação, a diversificação de espécies, promovendo a recuperação da funcionalidade ecossistêmica (Chazdon, 2017). A condução desse processo frequentemente envolve o controle e monitoramento de espécies exóticas invasoras (EEI), que podem comprometer a regeneração da vegetação nativa, e o manejo da biomassa por meio de práticas como roçadas ou pastejo controlado, quando permitido.

A regeneração natural em áreas campestres no bioma Pampa apresenta um potencial significativo, especialmente em áreas com alto percentual de remanescentes de vegetação nativa, fragmentação reduzida e maior proximidade entre os remanescentes de vegetação nativa, segundo a análise de diferentes cenários visando a avaliação do potencial de regeneração natural no Pampa (Rovedder *et al.*, 2017). Nessas áreas, o mosaico entre formações campestres e florestais, associado a relevos acidentados e baixos índices de supressão vegetal, cria condições favoráveis para a recuperação espontânea da biodiversidade. Além disso, em áreas com solos pouco explorados pela agricultura é possível alcançar altos níveis de regeneração, mesmo em presença de espécies invasoras, desde que manejadas adequadamente, demonstrando que o histórico de uso do solo e a vegetação remanescente são determinantes para o sucesso dessa técnica (Rovedder *et al.*, 2017).

Por outro lado, diversos desafios limitam a eficácia da regeneração natural em áreas campestres, como a fragmentação intensa e grandes distâncias entre remanescentes de vegetação nativa, que dificultam a dispersão de sementes e a conectividade ecológica, reduzindo o potencial regenerativo. A presença de espécies invasoras, como *Eragrostis plana* e *Pinus* sp., também representa uma barreira significativa, pois essas plantas dominam extensas áreas, competindo com as espécies nativas. Em regiões de uso agropecuário intensivo, a compactação do solo, a remoção contínua da cobertura vegetal e a alternância de culturas dificultam o estabelecimento de condições estáveis para a regeneração. Além disso, solos degradados e com histórico de

ocupação antiga para agricultura ou silvicultura apresentam menor capacidade de suporte para a regeneração natural, exigindo manejo ativo para superar essas limitações (Rovedder *et al.*, 2017).

Outro mecanismo que influencia a dinâmica e a regeneração da comunidade vegetal é a dispersão de sementes. A endozoocoria pelo gado, por exemplo, é um tipo particularmente importante de dispersão em campos nativos, mas ainda pouco compreendida, com potenciais aplicações no manejo e restauração de campos nativos (Minervini; Overbeck, 2021).

5.2.1.2 Semeadura direta de espécies campestres

A semeadura direta é uma técnica promissora para a restauração de áreas degradadas, pois requer menor investimento financeiro e facilita a introdução de uma maior diversidade de espécies de diferentes grupos funcionais (Figueiredo *et al.*, 2021). Apesar disso, sua aplicação em ambientes campestres, como os campos nativos do bioma Pampa, ainda é limitada devido à escassez de estudos e à dificuldade de obtenção de sementes locais em quantidades suficientes (Matiello, 2021).

Essa abordagem utiliza sementes de espécies herbáceas nativas coletadas em áreas conservadas próximas, seja manual ou mecanicamente, garantindo que a flora introduzida seja adaptada ao ambiente local (Figueiredo *et al.*, 2021; Dutra-Silva, 2023). Para incrementar a biodiversidade campeste, a coleta de sementes de espécies nativas em propriedades lindéiras com vegetação preservada e livre de espécies exóticas invasoras é uma alternativa importante. O processo manual pode incluir o corte de feno seguido de secagem em temperatura ambiente e separação da palhada com peneiras para priorizar as sementes. A coleta deve ser feita nos meses de primavera e verão, períodos de máxima floração e frutificação, utilizando-se sementes de pelo menos 10 plantas-mãe por espécie (Boldrini *et al.*, 2015).

O uso de máquinas colhedoras com escovas mecânicas tem se mostrado uma alternativa eficiente para coleta em larga escala (Figura 9). Essas máquinas são não destrutivas, captando apenas sementes maduras que se desprendem facilmente das inflorescências, preservando a integridade dos remanescentes naturais (Pañella, 2022; Dutra-Silva, 2023). Este método, considerado não destrutivo, minimiza o impacto sobre os remanescentes naturais e amplamente utilizado na Europa e vem sendo testado no Pampa, onde a mistura foi chamada de entrevero (Dutra-Silva, 2023).

Figura 9. Imagens ilustrando a colheita de misturas (1 a, b) e a mistura diretamente colhida (1 c) na Alemanha; colheita de misturas na Itália (2 a, b); colheitas de misturas experimentais no Pampa sul-americano, na Argentina (3), Uruguai (4) e Brasil (5 a, b, c).



Fotos: 1 (a,b,c): Anita Kirmer, Phillip Seeligmann; 2 (a,b): Davide Barberis; 3: Fernando Porta Siota; 4: Anaclara Guido; 5 (a, b, c): Ana Porto, Davi Morales, Antonela Seelig.

Fonte: Dutra-Silva, 2023.

Algumas espécies apresentam elevado potencial para colheita mecanizada eficiente. Entre elas, gramíneas como *Andropogon lateralis*, *Axonopus affinis* e *Bothriochloa laguroides*, entre outras, destacam-se por características fenológicas que favorecem o desprendimento das sementes maduras durante o processo de coleta, assegurando alto rendimento e reduzido impacto a vegetação nativa (Pañella, 2022).

No bioma Pampa, a semeadura direta tem demonstrado resultados positivos em experimentos com espécies herbáceas nativas como *Achyrocline satureioides* (Lam.) DC., *Andropogon bicornis* L., e *Solidago chilensis* Meyen (Matiello, 2021) (Figura 10). O plantio em alta densidade reduz custos de implantação. No entanto, o sucesso da semeadura direta depende de condições edafoclimáticas, como disponibilidade hídrica e fertilidade do solo, que exigem monitoramento e ajustes no manejo (Matiello, 2021).

Figura 10. Experimento de semeadura direta de espécies herbáceas nativas do bioma Pampa, no momento da semeadura (direita) e 180 dias após (esquerda).



Fonte: Matiello, Granzotto, Rovedder (2022).

Além das espécies nativas, a inclusão estratégica de espécies forrageiras exóticas não invasoras é recomendada para fornecer cobertura inicial do solo, protegendo-o contra erosão e melhorando sua estrutura enquanto as espécies nativas se estabelecem gradualmente. Forrageiras como aveia-preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*), para o inverno, e sorgo-forrageiro (*Sorghum bicolor*) e milheto (*Pennisetum glaucum*) para o verão, são amplamente utilizadas. Essas espécies ajudam a sombrear o solo e a inibir o desenvolvimento de espécies exóticas invasoras, como *Eragrostis plana*, por meio da competição.

Embora promissora, a aplicação dessa técnica no bioma Pampa ainda enfrenta desafios significativos, como a limitação na disponibilidade de sementes nativas e a escassez de estudos detalhados sobre sua eficácia em campos nativos. Superar essas barreiras é crucial para ampliar o potencial dessa técnica como uma ferramenta eficaz na restauração ecológica.

5.2.1.3 Transferência de feno

A técnica de transferência de feno é indicada para áreas campestres e deve ser utilizada em áreas onde há limitação na diversidade e na disponibilidade de sementes nativas, solos descobertos, ou quando o objetivo é enriquecer a composição de espécies nativas. A transferência de feno consiste na colheita da vegetação herbácea em um momento específico, quando as sementes de diversas espécies estão maduras, mas ainda presas às plantas. O material coletado, rico em sementes e matéria orgânica, é transportado e espalhado sobre a área a ser restaurada (Buisson *et al.*, 2019) (Figura 11). Essa técnica permite não apenas a introdução de sementes de gramíneas e outras espécies nativas, mas também cria um micro-habitat favorável para germinação e estabelecimento, funcionando como cobertura morta que protege contra erosão e melhora a retenção de umidade (Durbecq *et al.*, 2022).

A transferência de feno também pode superar a limitação de sementes no solo (Porto *et al.*, 2022). A técnica é promissora para a restauração de campo nativo no Pampa, mas sua aplicação exige planejamento para identificar o momento ideal para a colheita, já que as sementes devem estar maduras, e realizar mais de uma coleta para aumentar a diversidade de espécies transferidas (Thomas *et al.*, 2023). Embora eficiente, a técnica exige conhecimento prévio sobre as espécies locais e suas fenologias para garantir o sucesso no estabelecimento das plantas (Wagner *et al.*, 2021). Estudos europeus em campos nativos mediterrâneos e temperados destacam sua simplicidade, custo reduzido e eficácia na restauração (Buisson *et al.*, 2021; Goret; Janssens; Godefroid, 2021). No Pampa, Porto *et al.* (2022) demonstraram que a aplicação do feno aumentou o estabelecimento de espécies nativas e a semelhança com comunidades de referência, reforçando o potencial da técnica para enriquecer a biodiversidade local.

Em contraponto, Thomas et al. (2019) identificaram limitações na aplicação da transferência de feno em campos nativos no sul do Brasil, onde a técnica não conseguiu reintroduzir espécies de forma eficiente. As razões citadas como prováveis para esse insucesso incluem condições locais desfavoráveis, ausência de sementes viáveis no feno ou dormência das sementes, além de alta

cobertura por gramíneas dominantes, fatores que não foram controlados no experimento. A pesquisa sugere que, apesar dos resultados insatisfatórios, o número de estudos sobre a técnica é insuficiente para generalizações e recomenda sua aplicação em diferentes locais e com variações nos procedimentos, como frequência e quantidade de feno, além de analisar interações com fatores como distúrbios ambientais.

No entanto, o estudo de Porto et al. (2024) fornece evidências de que a data de colheita do feno influencia significativamente a composição da vegetação, sugerindo que a combinação de diferentes datas pode levar a uma maior riqueza de espécies em áreas de restauração. Isso ocorre devido aos padrões reprodutivos distintos das espécies de campo nativo ao longo do ano. Além disso, o estudo mostrou que menores quantidades de feno favorecem o estabelecimento de espécies, mas enfatiza a necessidade de estudos de longo prazo para compreender o desenvolvimento das comunidades vegetais formadas por essa técnica, incluindo os motivos pelos quais algumas espécies, como *Paspalum pumilum* e *Paspalum plicatulum*, não foram transferidas.

Figura 11. Área de referência e demonstração de coleta, pesagem e transferência de feno em unidades experimentais no Parque Nacional Lagoa do Peixe/Sul do Brasil. A) área de referência com a realização da coleta de feno coleta, b) pesagem de feno, c) Unidade experimental preparada (após remoção da serapilheira), e) parcela após a aplicação de feno.



Fonte: Adaptado de Porto (2022)

5.2.1.4 Transplante de leivas

A técnica de transplante de leivas (Figura 12) pode ser utilizada em ecossistemas campestres, sendo indicada para áreas diagnosticadas como altamente degradadas ou sem banco de sementes viáveis no solo, onde há necessidade de introdução direta de vegetação e sementes nativas para acelerar a regeneração (Lyons *et al.*, 2023), como por exemplo áreas com uso agrícola intensivo ou silvicultura. No entanto, é importante observar que, embora sejam empregadas com sucesso em ecossistemas campestres de outras regiões do mundo, ainda não há registros de sua aplicação nos campos do Sul do Brasil (Guarino *et al.*, 2023). O transplante de leivas envolve a remoção e o transporte de camadas de solo superficial contendo vegetação estabelecida, sementes e brotos (Pilon *et al.*, 2018, Le Stradic *et al.*, 2016). A aplicação requer cuidados para minimizar os impactos, pois pode causar danos aos locais doadores, às espécies residentes e exige alta demanda de recursos financeiros e humanos (Lyons *et al.*, 2023). Adicionalmente, o transporte em longas distâncias pode comprometer a integridade das leivas e aumentar o estresse das plantas, o que frequentemente resulta em altas taxas de mortalidade (Török *et al.*, 2011; Gerrits *et al.*, 2023). A eficácia é maior quando as áreas receptoras estão próximas aos locais doadores. Apesar do potencial da técnica, há pouca literatura disponível sobre sua utilização em regiões tropicais, subtropicais ou temperadas, o que requer cautela na extração de resultados (Török *et al.*, 2011, Guarino *et al.*, 2023).

As premissas descritas por Durigan *et al.* (2020) para o transplante de touceiras de gramíneas nativas também podem ser adaptadas e aplicadas ao transplante de leivas, considerando as similaridades técnicas entre essas abordagens. Essa técnica é especialmente indicada para situações em que há necessidade de recobertura imediata do terreno com vegetação nativa. Apesar do custo elevado e de exigir a disponibilidade de remanescentes naturais bem preservados, o transplante de leivas apresenta a vantagem de estabelecer plantas adultas que podem produzir sementes já na estação reprodutiva subsequente ao plantio, contribuindo significativamente para a aceleração da restauração da área (Durigan *et al.*, 2020).

O sucesso da aplicação dessa técnica depende da escolha de remanescentes naturais livres de invasão por gramíneas exóticas, como capim-gordura (*Melinis minutiflora*), braquiárias (*Urochloa* spp.) e capim-annoni (*Eragrostis plana*). O uso de leivas oriundas de áreas invadidas pode resultar na introdução acidental de sementes de espécies exóticas invasoras transportadas junto ao solo aderido às raízes, comprometendo os objetivos da restauração. Após a seleção da área fonte, é recomendada a coleta em faixas de até um metro de largura, com intervalos de pelo menos cinco metros entre elas, limitando a extração a 20% da cobertura do ecossistema e evitando intervenções em Áreas de Preservação Permanente (APPs) (Durigan *et al.*, 2020).

Antes da extração, a vegetação na faixa deve ser roçada a cerca de 10 centímetros do solo. Isso reduz a transpiração e o estresse hídrico das plantas durante o transplante. Leivas com plantas de grande porte devem ser priorizadas, permitindo que as menores remanescentes ocupem rapidamente os espaços deixados, acelerando a regeneração da área fonte (Durigan *et al.*, 2020).

As leivas extraídas devem ser acondicionadas em sacos de rafia brancos para prevenir desidratação durante o transporte e, idealmente, o plantio deve ocorrer no mesmo dia, em épocas chuvosas, para aumentar as chances de sucesso no estabelecimento das plantas. O espaçamento recomendado entre as leivas transplantadas é de dois metros, com base no espaçamento de transplante de touceiras, permitindo a cobertura total do terreno em cerca de três anos; espaçamentos maiores, no entanto, prolongam o tempo necessário para a cobertura completa (Durigan *et al.*, 2020).

Após o plantio é crucial a realização do manejo, incluindo o controle de formigas cortadeiras e de espécies exóticas invasoras, até que a vegetação nativa cubra integralmente a área. Além disso, a área fonte só deve ser reutilizada após sua completa regeneração, garantindo a sustentabilidade do processo. Áreas restauradas podem, eventualmente, tornar-se novas fontes para futuros projetos de restauração. Embora onerosa, essa técnica oferece uma solução eficaz para restaurar áreas degradadas, especialmente em cenários que exigem resultados imediatos (Durigan *et al.*, 2020).

Figura 12. Leivas transplantadas originalmente com 20 x 20 cm, com predominância de *Axonopus*, após um mês de transplante no Parque Nacional da Lagoa do Peixe em área de recuperação após retirada de *Pinus*, sobre dunas.

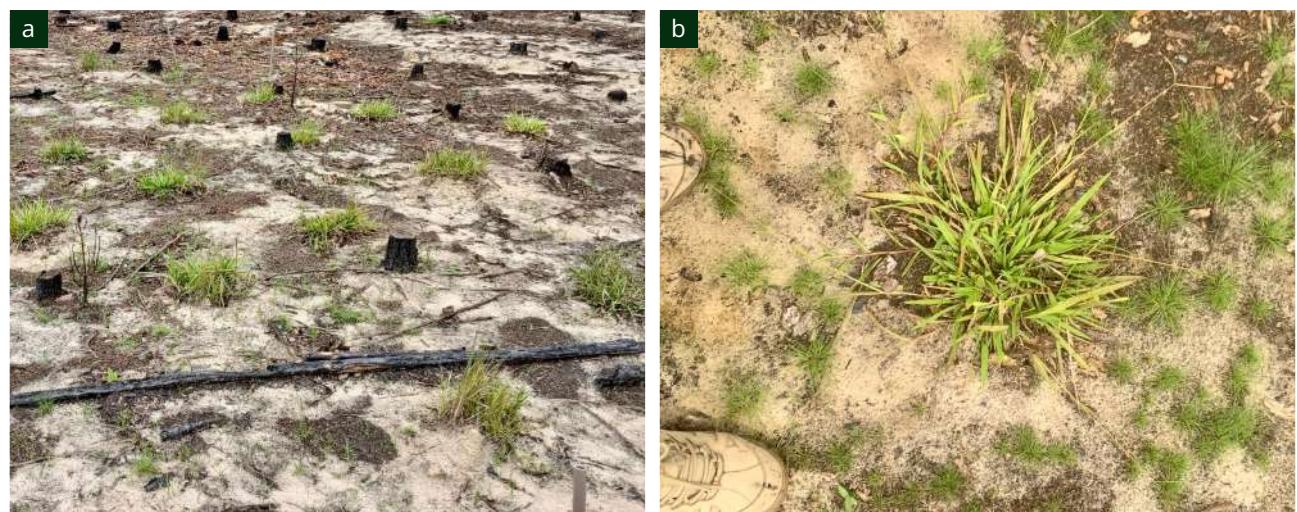


Foto: (a) Tauana Ayres (b) Sandra Muller.

5.2.1.5 Transposição de topsoil

A transposição de topsoil é uma técnica eficaz para a restauração de áreas campestres, pois permite a transferência de sementes, matéria orgânica, microrganismos (como fungos micorrízicos) e nutrientes presentes no solo em quantidades adequadas para a recuperação da comunidade vegetal associada. Essa prática tem o potencial de aumentar a diversidade de espécies nativas regionais, a variabilidade genética e as chances de recrutamento de espécies adaptadas a condições adversas (Piaia *et al.*, 2019).

A técnica consiste na retirada da camada superficial de solo de uma área doadora conservada, e sua posterior deposição em uma área degradada de mesma fisionomia vegetal, promovendo o restabelecimento do banco de sementes, a microbiota e as condições físico-químicas do solo, essenciais para o estabelecimento de propágulos vegetais e o desenvolvimento da microbiota (Buisson *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2018; Figueiredo *et al.*, 2024).

Para a coleta do banco de sementes, utiliza-se um gabarito com dimensões de 1 m x 1 m, retirando o solo superficial até 10 cm de profundidade. A distância mínima entre os pontos de coleta deve ser de 50 m, com o objetivo de minimizar os impactos na área doadora (Reis *et al.*, 2014). É fundamental que a coleta seja realizada em áreas conservadas, livres de espécies exóticas invasoras, como o capim-annoni, e preferencialmente próximas à área degradada a ser recuperada.

A transferência do material coletado para a área degradada deve ser realizada formando ilhas de diversidade que servirão como núcleos de regeneração natural. Além de sementes, o material transposto pode conter outras estruturas reprodutivas vegetais, contribuindo para a restauração ecológica (Piaia *et al.*, 2019; Buisson *et al.*, 2018).

Por fim, é importante limitar os pontos de coleta na área doadora para evitar sua degradação, garantindo que a prática seja sustentável a longo prazo. A transposição do solo é, portanto, uma alternativa adequada e promissora para recuperar ambientes onde tanto a vegetação quanto o solo foram severamente impactados (Buisson *et al.*, 2018; Ribeiro *et al.*, 2018; Figueiredo *et al.*, 2024).

BOX 1.**Restauração de áreas úmidas**

Os banhados são ecossistemas úmidos caracterizados por solos hidromórficos naturalmente alagados ou saturados de água de forma periódica, excluídas as situações efêmeras, onde se desenvolvem fauna e flora típicas (RIO GRANDE DO SUL, 2020), resultando em saturação hídrica e baixa oxigenação do solo. Nessas condições, o solo apresenta características altamente seletivas, com decomposição de matéria orgânica extremamente lenta devido ao pH ácido e às temperaturas reduzidas. Essa dinâmica favorece a formação de solos ricos em matéria orgânica, incluindo turfeiras localizadas em depressões do relevo dentro da matriz campestr (Pillar *et al.*, 2015).

As áreas úmidas são ecossistemas que desempenham um papel crucial na preservação da biodiversidade, abrigando uma ampla variedade de espécies vegetais e animais. Além disso, sua capacidade de armazenar e filtrar água durante os períodos de cheia é essencial para garantir o reabastecimento dos aquíferos e contribuir para a retenção hídrica. A conservação dessas áreas deve receber atenção especial devido aos valiosos serviços ecossistêmicos que prestam, como recarga de lençol freático, armazenamento e purificação de água, retenção de sedimentos, áreas de reprodução e alimentação de muitas espécies de fauna.

Além disso, áreas úmidas como banhados desempenham um papel essencial na provisão de serviços ambientais, sendo fundamentais para a manutenção da biodiversidade, especialmente para a sobrevivência de anfíbios e outros organismos que dependem desses habitats para sua reprodução e alimentação (Pillar *et al.*, 2015).

Para restauração de áreas úmidas, é fundamental o fechamento de drenos e remoção de demais estruturas que facilitem a drenagem da área (Figura Box 1a). Isso visa o retorno do regime de inundações e da característica de hidromorfia do solo, o que é importante para o retorno e manutenção desses ecossistemas (Figura Box 1b).

1a



1b



a) Dreno aberto no entorno de banhado. b) Banhado em processo de regeneração natural após fechamento de drenos.

Fotos: Bruna Balestrin Piaia Avila (2023).

BOX 2.**Restauração de formações Parque**

A Formação Parque é uma fitofisionomia singular do bioma Pampa, caracterizada por uma cobertura esparsa de árvores espinhosas emergindo de uma densa camada herbácea dominada por gramíneas. Este tipo de vegetação ocorre desde o nordeste da Argentina, passando pela planície aluvial do rio Uruguai, até o extremo sudoeste do Rio Grande do Sul, no Brasil. Originalmente, ocupava cerca de 13.909 km², representando 4,95% do território gaúcho, mas foi amplamente convertida para uso agrícola e pastagens cultivadas (Hasenack *et al.*, 2023).

No Brasil, a Formação Parque é representada principalmente pelo **Parque Estadual do Espinilho (PESP)**, localizado em Barra do Quaraí, próximo às fronteiras com Uruguai e Argentina. O PESP protege ecossistemas únicos, com árvores como o algarrobo (*Neltuma nigra*), inhanduvá (*Neltuma affinis*), e quebracho (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schiltl.), além de bromélias e aves típicas da região (Bencke *et al.*, 2016). É o único local de conservação desse tipo de vegetação no país, destacando-se como um laboratório natural para pesquisas e iniciativas de restauração ecológica (Marchiori *et al.*, 2014).

A invasão por espécies exóticas, como o capim-annoni (*Eragrostis plana*), é uma das principais ameaças. Essa gramínea de origem africana domina áreas nativas, dificulta a regeneração e aumenta o risco de incêndios devido à sua alta produção de biomassa, especialmente em períodos de seca extrema (Zabala-Pardo; Lamego, 2024). Além disso, mudanças climáticas intensificam os eventos extremos, agravando a vulnerabilidade desse ecossistema único.

A restauração da Formação Parque enfrenta obstáculos relacionados à pouca compreensão das dinâmicas de regeneração natural, especialmente no estrato arbóreo. Estratégias baseadas em estudos ecológicos, aliados à conservação da biodiversidade funcional e à resiliência ecossistêmica, são essenciais para garantir a recuperação e a sustentabilidade desses ambientes (Overbeck *et al.*, 2015).

1a



1b



Fotos: Betina Camargo (2021/2022).

a) Formação Parque com predomínio de Inhanduvá (*Neltuma affinis*) e Espinilho (*Vachellia caven*), sob condição de pecuária extensiva e b) com predomínio de algarrobos (*Neltuma nigra*) e quebrachos (*Aspidosperma quebracho-blanco*), Parque Estadual do Espinilho, Barra do Quaraí/RS.

5.2.2 Técnicas para restauração da vegetação florestal

5.2.2.1 Restauração passiva

A técnica de restauração passiva é recomendada especialmente em paisagens com alto nível de conectividade de habitats, onde há potencial para a regeneração natural. A restauração passiva é indicada em áreas onde a regeneração natural pode ocorrer de forma espontânea após a remoção de perturbações ou fatores de degradação persistentes, como desmatamento contínuo, espécies exóticas invasoras, acesso de animais domésticos ou outras atividades antrópicas que dificultem a recuperação do ecossistema (Figura 13). A restauração passiva utiliza o potencial de regeneração local, minimizando a necessidade de intervenções diretas. Isso significa que, após a remoção das causas de degradação, o processo de restauração do ecossistema ocorre de maneira natural ou com intervenções humanas mínimas (Benayas *et al.*, 2009). Os benefícios dessa técnica como aumento na densidade de plantas, maior diversidade de espécies e a melhoria na provisão de serviços ecossistêmicos, foram demonstrados por diversos estudos (Chazdon, 2017; Crouzeilles *et al.*, 2017; Piaia *et al.*, 2020).

A regeneração natural em ambientes florestais no bioma Pampa apresenta significativo potencial em áreas onde as condições ecológicas e o histórico de uso favorecem a resiliência ecossistêmica. No entanto, o tempo decorrido desde a perturbação, juntamente com o histórico de uso da área, exerce influência direta na viabilidade da restauração passiva. Em áreas com relevo ondulado e suave-ondulado ou acidentado, bem como solos com limitações ao uso agrícola, demonstram potencial médio a alto de regeneração natural (Rovedder *et al.*, 2017). Nesses casos, a presença de remanescentes de vegetação nativa próximos e a restrição à conversão para sistemas produtivos, como em áreas de afloramentos rochosos ou planícies inundáveis, contribuem para o estabelecimento de processos regenerativos. Além disso, a maior conservação em regiões como a Serra do Sudeste, com contatos entre formações florestais e campestres, aumenta a conectividade ecológica e, consequentemente, o sucesso regenerativo (Rovedder *et al.*, 2017).

Entretanto, a técnica enfrenta desafios significativos em áreas onde a fragmentação dos habitats é acentuada e os impactos antrópicos predominam. O predomínio de atividades agrícolas intensivas, como soja e arroz irrigado, e a substituição da vegetação nativa por pastagens plantadas ou urbanização reduzem drasticamente o potencial de regeneração. A distância

elevada entre os fragmentos remanescentes, o isolamento dos mesmos e a pressão contínua do uso do solo dificultam o retorno da vegetação original. Esses fatores, associados à baixa qualidade do solo e à pouca conectividade entre os fragmentos florestais, limitam severamente a viabilidade da regeneração natural como técnica principal nesses contextos (Rovedder *et al.*, 2017). Além disso, fatores como o banco de sementes esgotado, compactação do solo e erosão podem comprometer a eficácia do processo de regeneração natural.

Figura 13. Área de preservação permanente em restauração passiva há sete anos, Caçapava do Sul/RS.



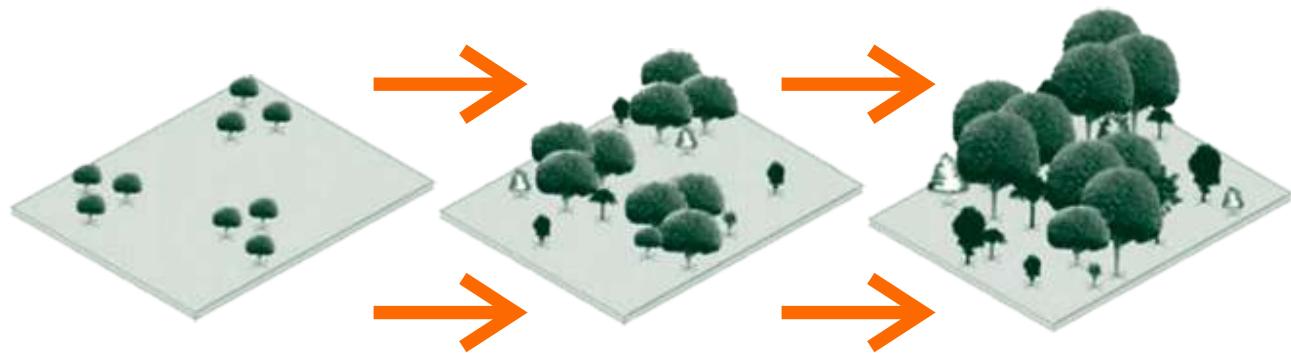
Foto: Bruna Balestrin Piaia Avila e Djoney Procknow

5.2.2.2 Técnicas de nucleação

As técnicas de nucleação são indicadas para ambientes florestais, especialmente em áreas com processos de regeneração natural limitados, mas que apresentam potencial para sucessão ecológica devido à presença de remanescentes vegetais ou condições mínimas de resiliência ecológica. Aplica-se em áreas degradadas que apresentam fragmentação da cobertura vegetal e baixa conectividade entre remanescentes. É particularmente adequada para cenários onde as condições de solo e microclima não favorecem a regeneração natural espontânea, mas podem ser melhoradas por elementos facilitadores do recrutamento vegetal, como espécies pioneiras (Piaia *et al.*, 2020; Bechara *et al.*, 2016).

A nucleação consiste na introdução planejada de núcleos de vegetação composta por espécies pioneiras, arbustivas e arbóreas, ou estruturas estrategicamente dispostas para atuar como catalisadoras da sucessão ecológica. Esses núcleos criam micro-habitats que favorecem o estabelecimento de espécies secundárias e promovem processos ecológicos essenciais, como dispersão e germinação de sementes, melhorando gradualmente as condições ambientais (Yarranton e Morrison, 1974). Ao longo do tempo, essas "ilhas de diversidade" expandem-se, formando uma matriz florestal contínua (Zahawi *et al.*, 2013) (Figura 14). Embora amplamente estudadas em ecossistemas florestais, para ecossistemas campestres essas técnicas ainda não foram testadas, demandando estudos específicos para avaliar sua aplicabilidade e eficácia.

Figura 14. Desenvolvimento da vegetação a partir da implantação de núcleos com três mudas.



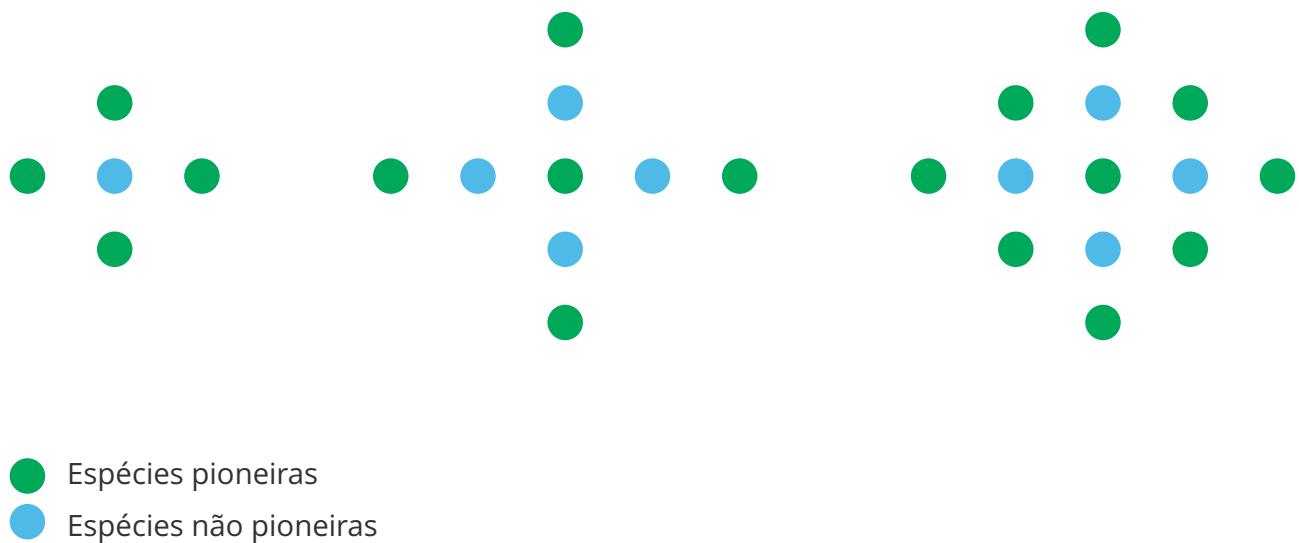
Fonte: Adaptado de Piaia, Giacomini e Rovedder (2015).

As diversas técnicas de nucleação que serão apresentadas a seguir podem ser utilizadas isoladamente ou em conjunto, formando um mix de técnicas que potencialize os resultados desejados. Além de aumentar a conectividade funcional entre áreas naturais e produtivas (Reis *et al.*, 2014), a nucleação apresenta custos operacionais inferiores ao plantio total, mas oferece uma eficiência similar na restauração da estrutura e função ecológica das áreas degradadas (Zahawi *et al.*, 2013; Holl *et al.*, 2017). Por sua relação custo-benefício, é amplamente reconhecida como uma estratégia viável para atender aos compromissos globais de restauração de florestas e paisagens (Holl *et al.*, 2020; Procknow *et al.*, 2023).

5.2.2.2.1 Plantio em núcleos

A técnica de plantio em núcleos é indicada para ecossistemas florestais e deve ser empregada em áreas onde o diagnóstico aponta a necessidade de aceleração da sucessão ecológica e do restabelecimento de processos ecossistêmicos, como em locais com baixa presença de vegetação nativa ou ausência de dispersores naturais. Consiste na implantação de pequenos agrupamentos de árvores, conhecidos como núcleos, que têm o objetivo de atrair a fauna dispersora de sementes e facilitar o desenvolvimento da vegetação nativa. Essa abordagem promove a formação de micro-habitats, restabelece processos ecossistêmicos e acelera a trajetória sucesional, favorecendo a funcionalidade do ecossistema (Holl *et al.*, 2020; Piaia *et al.*, 2021; Procknow *et al.*, 2023). Deve-se utilizar espécies nativas, principalmente as que apresentam forte interação com a fauna (espécies com frutos e sementes atrativos à fauna) e com funções nucleadoras (forrageiras, abrigo, fixadoras de nitrogênio, etc.). Aconselha-se plantar as mudas em grupos de 5, 9 ou 13, de forma adensada com espaçamento de 0,5 m ou a 1 m de distância entre elas (Figura 15) e dispor os núcleos de forma aleatória e amplamente espaçada entre eles (Reis *et al.*, 2014). É uma técnica comprovadamente eficaz para a restauração ecológica no Pampa, contribuindo para a modificação positiva do ambiente e para o avanço da cobertura vegetal nativa (Piaia *et al.*, 2020, 2021, 2023) (Figura 16).

Figura 15. Exemplo de núcleos com diferentes números de indivíduos e grupos ecológicos.



Fonte: Adaptado de Nave *et al.*, (2021)

Figura 16. Plantio em núcleo em área de preservação permanente (APP) em Pantano Grande, bioma Pampa.



Foto: Bruna Balestrin Piaia Avila.

5.2.2.2.2 Transposição do banco de sementes

A técnica de transposição do banco de sementes, também chamada de transposição de topsoil, é indicada para ecossistemas florestais e campestres, desde que a área doadora apresente condições conservadas e seja compatível com a tipologia vegetal da área degradada (Reis *et al.*, 2014). É recomendada para áreas diagnosticadas com alto grau de degradação, onde a recuperação da biodiversidade e o estabelecimento de espécies nativas são necessários para reativar os processos ecológicos e iniciar a sucessão natural. A técnica consiste na remoção da camada superficial do solo (topsoil) de uma área doadora bem conservada, rica em propágulos e material orgânico, e sua deposição na área degradada (Figura 17). Esse solo transferido atua como fonte de sementes e outros propágulos, promovendo o incremento da abundância e riqueza de espécies nativas regionais, além de estimular o processo sucessional no local restaurado (Zhang *et al.*, 2001; He *et al.*, 2016). Diversos estudos demonstram a eficácia do uso do banco de sementes como ferramenta de restauração ecológica, destacando sua capacidade de aumentar o recobrimento do solo, a

diversidade de espécies e a presença de diferentes formas de vida (Hall; Barton; Baskin, 2010; Tozer *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2015; Fowler *et al.*, 2015). Piaia *et al.* (2017) relataram a ampliação da cobertura do solo e o recrutamento de espécies arbóreas nativas em ecossistemas florestais com a utilização dessa técnica.

Figura 17. Etapas de execução da transposição do banco de sementes.



Fotos: Núcleo de Estudos e Pesquisas em Recuperação de Áreas Degradadas/UFSM.

5.2.2.2.3 Transposição de galharias

A transposição de galharia é uma técnica indicada para ambientes florestais degradados, principalmente para áreas que sofreram remoção significativa do solo, por exemplo, áreas mineradas, onde há necessidade de restabelecer a biota do solo e criar micro-habitats favoráveis à restauração ecológica. A técnica consiste na disposição de pilhas de resíduos florestais, como galhos e lenha, sobre a área degradada. Estas estruturas atuam como refúgio para a fauna, oferecendo proteção contra predadores e excesso de insolação (Reis *et al.*, 2014) (Figura 18). Com o tempo, a matéria orgânica se decompõe completamente, formando camadas de húmus que enriquecem o solo e promovem o desenvolvimento de organismos fundamentais para a cadeia alimentar, permitindo a progressiva complexidade do ecossistema (Reis *et al.*, 2010; Vergílio *et al.*, 2013; Toso *et al.*, 2020). Tres *et al.* (2007) sugerem a implantação de oito transposição de galharia (abrigos de fauna) por hectare. Em experimento desenvolvido no Pampa, Toso *et al.* (2020) encontraram resultados significativos com a complexificação da cadeia trófica, pela atração de grupos faunísticos.

Figura 18. Representação esquemática e utilização de galharias em área sob restauração no Pampa.



Fontes: Nave *et al.* (2021) e Toso (2020).

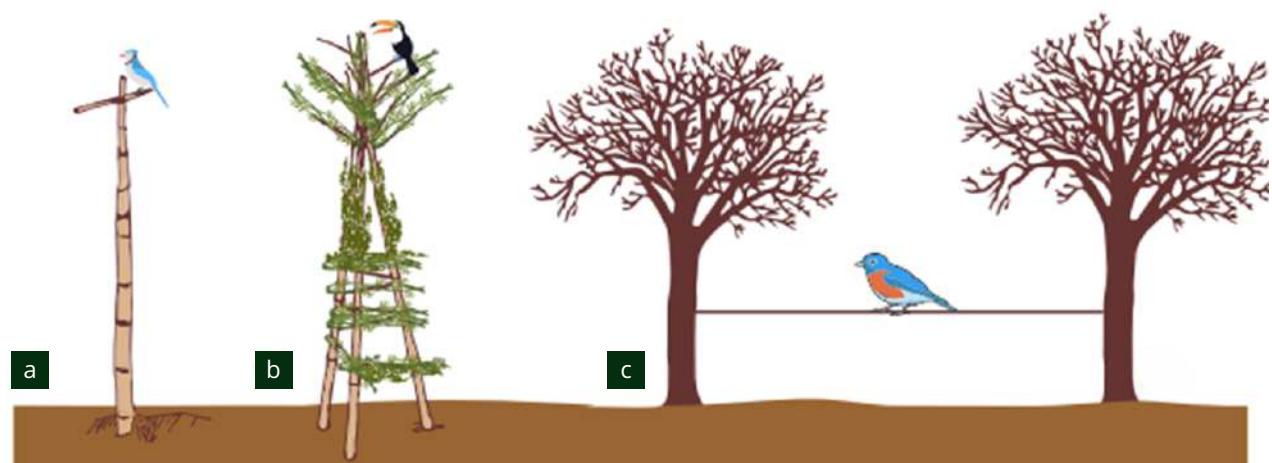
5.2.2.2.4 Poleiros artificiais

Os poleiros artificiais são recomendados para ambientes florestais e devem ser utilizados em áreas onde há necessidade de estimular processos naturais de regeneração. Os poleiros artificiais consistem em estruturas projetadas para atrair aves dispersoras. Essas aves, ao utilizarem os poleiros, defecam ou regurgitam sementes na área, promovendo a nucleação e contribuindo para o aumento da dispersão de sementes por meio das fezes dos animais, os quais transportam uma grande quantidade de sementes provenientes das áreas naturais remanescentes no entorno (Reis *et al.*, 2010; 2014). Assim, contribuem para a conectividade entre áreas adjacentes e para o fluxo gênico da flora. Podem ser utilizadas taquaras, galhos secos e árvores mortas como elementos estruturantes para os poleiros, além de introdução de cabo aéreo (Figura 19 e 20). Essa prática acelera o processo de restauração ecológica ao facilitar o fornecimento de propágulos vegetais na área degradada, favorecendo a regeneração natural do ecossistema (Silva *et al.*, 2023; Tomazi; Castellani, 2016).

Em estudo realizado por Silva *et al.* (2023) em áreas degradadas por mineração no Pampa, os poleiros artificiais demonstraram eficiência na atração da avifauna dispersora de sementes, especialmente espécies da família Tyrannidae, que desempenham um papel fundamental na chuva

de sementes. Essa estratégia aumentou a abundância de propágulos na área, ampliando as chances de sucesso da restauração ecológica, mesmo em ecossistemas com baixa resiliência. No entanto, é essencial considerar o monitoramento e manejo das espécies regenerantes, uma vez que a avifauna também pode dispersar sementes de espécies invasoras, o que pode comprometer os objetivos da restauração. A alta frequência de visitas das aves aos poleiros reforça sua eficácia, mas destaca a necessidade de um controle criterioso da regeneração para evitar impactos negativos da introdução de espécies exóticas.

Figura 19. Exemplos de poleiros confeccionados com bambu (a e b) e de cabo aéreo.



Fonte: Nave *et al.*, 2021.

Figura 20. Poleiros artificiais e aves em área de restauração de uma Área de Preservação Permanente inserida em matriz produtiva, em ambiente ecotonal no Rio Grande do Sul.



Fonte: adaptado de Núcleo de Estudos de Pesquisas de Recuperação de Áreas Degradas/UFSM

5.2.2.3 Semeadura direta

A semeadura direta é uma técnica eficaz e de baixo custo para a reintrodução de espécies nativas, utilizando sementes selecionadas que são depositadas diretamente no solo. Essa abordagem não apenas reduz os custos e simplifica o manejo, mas também contribui para a conservação da biodiversidade, promove o uso sustentável das espécies nativas e fortalece redes socioprodutivas locais, gerando benefícios ambientais e econômicos. A técnica pode incluir, além de sementes de espécies arbóreas e arbustivas nativas regionais, a introdução de espécies forrageiras de cobertura não invasoras, que auxiliam na proteção do solo e na redução da competição com espécies exóticas invasoras.

Sementes podem ser coletadas em áreas conservadas próximas, priorizando espécies de diferentes grupos ecológicos. Recomenda-se que as sementes tenham variabilidade genética (diferentes matrizes) e sejam coletadas na mesma ecorregião do projeto, visando aumentar a resiliência da restauração ao longo do tempo (Dutra-Silva; Overbeck; Müller, 2024). Essa diversidade contribui para a formação de comunidades vegetais resilientes e adaptadas às condições locais. No entanto, o sucesso da semeadura direta depende de fatores como a disponibilidade hídrica, qualidade do solo e características fisiológicas das sementes, que demandam ajustes no manejo para maximizar os resultados.

A técnica tem sido amplamente utilizada em diferentes biomas brasileiros, como Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia (Sampaio *et al.*, 2021; Pellizzaro *et al.*, 2017), apresentando resultados promissores em áreas de transição Pampa e a Mata Atlântica (Gazolla *et al.*, 2023) (Figura 21). Estudos demonstram a eficácia da semeadura direta no plantio mecanizado e simultâneo de espécies com diferentes formas de crescimento, como árvores, arbustos e adubos verdes, proporcionando maior resiliência às comunidades vegetais (Palma; Laurance, 2015). Exemplos de espécies bem-sucedidas incluem a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*), o maricá (*Mimosa bimucronata*) e o araticum (*Annona sylvatica*), que exibiram altas taxas de emergência e desenvolvimento em projetos de restauração em transição Pampa e a Mata Atlântica (Gazolla *et al.*, 2023).

Figura 21. Semeadura direta com espécies florestais em área sob restauração no bioma Pampa.



Fonte: adaptado de Gazzola (2021).

Outra técnica de semeadura direta é a muvuca de sementes que utiliza uma mistura de sementes de diversas espécies nativas e de adubação verde, promovendo a germinação simultânea de plantas de diferentes grupos ecológicos e criando ambientes diversos que atraem animais e outras espécies vegetais. Essa abordagem acelera a cobertura do solo e aumenta a diversidade de espécies, sendo amplamente utilizada na restauração ecológica.

Ainda assim, desafios permanecem, como a disponibilidade de sementes de alta qualidade, a quebra de dormência e o manejo adequado de espécies forrageiras para evitar competição excessiva. Superar essas limitações é essencial para potencializar a eficiência da técnica (Brancalion; Rodrigues; Gandolfi, 2015; Gazolla *et al.*, 2023). Assim, a semeadura direta, com a inclusão de espécies nativas regionais e forrageiras de cobertura, apresenta-se como uma ferramenta promissora e versátil para a restauração ecológica, adaptando-se a diferentes contextos ambientais e demandas locais.

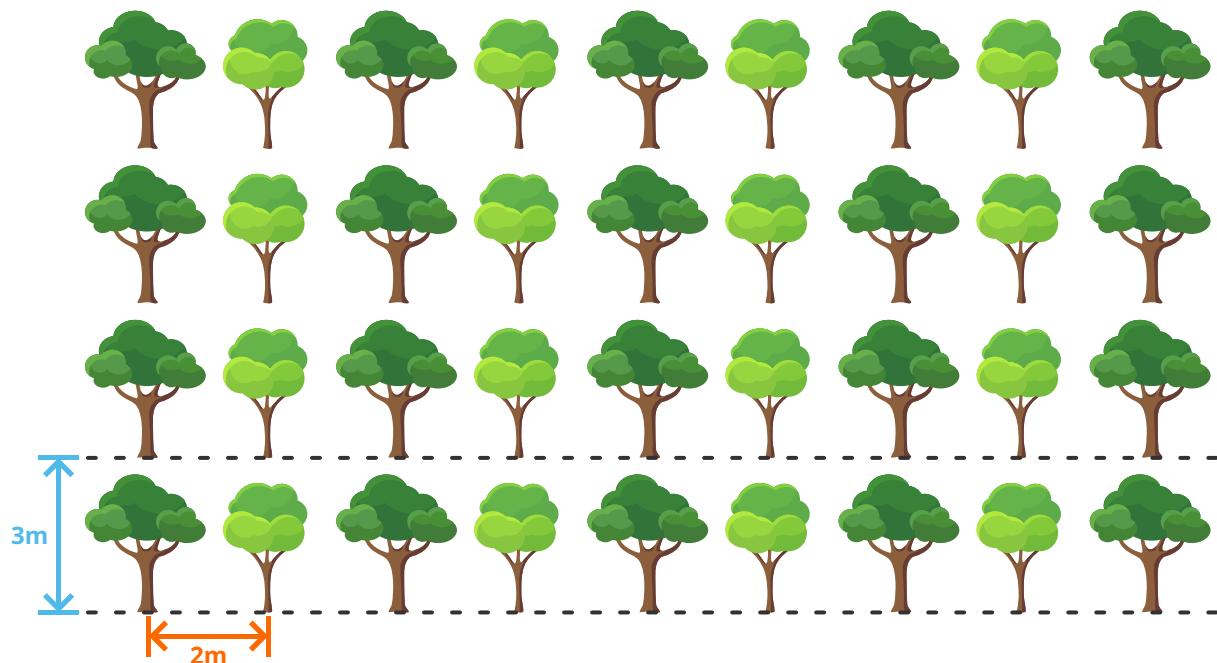
5.2.2.4 Plantio de mudas em área total

O plantio de mudas em área total consiste na restauração de ecossistemas florestais por meio do plantio de árvores nativas em alta densidade. Essa técnica utiliza espécies arbóreas de diferentes grupos sucessionais (pioneeras, secundárias e clímax) em arranjos e espaçamentos variados, priorizando espécies regionais, ameaçadas de extinção e atrativas à fauna local (Rodrigues *et al.*, 2009).

Desde a década de 1990, esse método tem sido predominante no Brasil, destacando-se como uma abordagem eficiente para a restauração ecológica (Brancalion *et al.*, 2016; Sansevero *et al.*, 2017; Guerra *et al.*, 2020). No entanto, seu alto custo, decorrente da necessidade de intensa silvicultura, como a utilização de sistemas com densidade típica de 1.666 árvores/hectare (Figura 22), pode restringir sua aplicação em larga escala (Molin *et al.*, 2018; Brancalion *et al.*, 2015).

Para otimizar os resultados e garantir a adaptação ao ambiente, recomenda-se que as mudas utilizadas sejam provenientes da mesma ecorregião do projeto e produzidas em viveiros que atendam às normativas vigentes para sementes e mudas nativas. Além disso, o sucesso da restauração depende de um manejo pós-plantio adequado, incluindo práticas como coroamento para reduzir a competição com gramíneas, controle de formigas cortadeiras e monitoramento da regeneração natural. Esse método é indicado especialmente para áreas altamente degradadas, onde a perda de biodiversidade, a redução da funcionalidade ecológica e a fragmentação da paisagem justificam os investimentos financeiros.

Figura 22. Esquema tradicional de plantio de mudas em área total com espaçamento 2 m x 3 m.



Fonte: Adaptado de Nave *et al.* (2021).

5.2.3 Recuperação produtiva

5.2.3.1 Sistemas agroflorestais

Os Sistemas Agroflorestais (SAF) consistem em combinar espécies arbóreas, arbustivas e cultivos agrícolas, com ou sem integração pecuária, promovendo interações ecológicas que maximizam os serviços ecossistêmicos e a produtividade (Coelho, 2017). Os SAFs podem ser uma estratégia viável para a recuperação produtiva em ambientes florestais e campestres, especialmente em contextos específicos, como arranjos produtivos. No entanto, sua implantação deve ser priorizada em áreas já alteradas, onde o uso do solo difere da cobertura vegetal original, ou em áreas degradadas, evitando a conversão de ecossistemas nativos bem conservados, como florestas maduras e campos naturais. A técnica é útil em situações que demandam recuperação do solo, incremento do estoque de carbono, melhoria da qualidade da forragem e resiliência ecossistêmica (Dos Santos *et al.* 2021).

No Pampa a introdução pontual de árvores nativas, como o angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*), em áreas de campo nativo tem demonstrado potencial para aumentar o estoque de carbono e melhorar as condições nutricionais do solo (Dos Santos *et al.*, 2021). No entanto, é fundamental considerar a escala e a finalidade da introdução desses elementos arbóreos na matriz campestre, pois sua inserção deve ser estratégica, visando benefícios específicos, como a oferta de sombra para o gado. A introdução indiscriminada de árvores em áreas campestres pode comprometer a integridade ecológica dos campos naturais, um aspecto especialmente relevante em um contexto onde a restauração de ecossistemas campestres ainda carece de maior difusão e compreensão técnica.

Os SAF oferecem diversas vantagens, como a recuperação da biodiversidade, o sequestro de carbono, o controle biológico de pragas, a fixação de nitrogênio e a ciclagem de nutrientes (Coelho, 2017). Além disso, contribuem para a segurança alimentar e a geração de renda para os agricultores. A implementação dos SAF deve considerar o conhecimento da diversidade regional e as dinâmicas ecológicas das populações vegetais (Trevisan *et al.*, 2021), garantindo o uso de espécies adaptadas às condições locais e otimizando os resultados na recuperação produtiva.

Os quintais agroflorestais são uma modalidade de SAF, frequentemente encontrados em pequenas propriedades rurais, próximos às residências, com o objetivo de garantir soberania e

segurança alimentar, além de promover o bem-estar familiar (Miccolis *et al.*, 2016). Caracterizam-se pela alta biodiversidade, incluindo espécies frutíferas, melíferas, hortaliças, medicinais e pequenos animais, desempenhando papel fundamental na recuperação da biodiversidade e na sustentabilidade da agricultura familiar (Rovedder *et al.*, 2021).

Além de sua importância ecológica e econômica, os quintais agroflorestais representam uma estratégia sustentável de convivência com o Pampa, promovendo a autonomia das comunidades rurais e contribuindo para a permanência das famílias no campo (Silva *et al.*, 2018). A diversidade de espécies cultivadas melhora a qualidade do solo, reduz erosão e impactos causados por eventos climáticos extremos, sendo essencial o uso de práticas conservacionistas para mitigar processos de degradação (Vieira *et al.*, 2018). Assim, esses sistemas desempenham um papel essencial na manutenção da fertilidade do solo e no equilíbrio ambiental, tornando-se uma alternativa viável para a recuperação produtiva na agricultura familiar (Burgrever *et al.*, 2019).

5.2.3.2 Pecuária sustentável

Os ecossistemas campestres são vulneráveis à alteração de seus processos naturais pela interrupção de perturbações essenciais, como fogo e pastejo, o que pode resultar na invasão por árvores e arbustos (Griffith *et al.*, 2017), na redução drástica da diversidade de espécies (Abreu *et al.*, 2017; Ferreira *et al.*, 2020) e em transformações nos processos ecológicos fundamentais (Müller *et al.*, 2012; Veldman *et al.*, 2015). A ausência dessas perturbações afeta negativamente a dinâmica da vegetação herbácea (Overbeck *et al.*, 2005), comprometendo a funcionalidade e resiliência dos campos nativos.

Por outro lado, o pastejo, quando bem manejado, constitui uma estratégia eficaz de conservação nesses ecossistemas, integrando o manejo sustentável da biodiversidade com a atividade econômica (Baggio *et al.*, 2021) (Figura 23). Para isso, é essencial ajustar a estratégia de pastejo, controlando a taxa de lotação e o período de uso para evitar a degradação do solo e manter as características ecológicas desses ambientes. Essa prática adequada contribui para a manutenção da biodiversidade campeste e promove um equilíbrio entre conservação e produtividade econômica (Baggio *et al.*, 2021).

Figura 23. Campo pastejado em Alegrete/RS.



Foto: Betina Camargo.

Nesse contexto, a conservação e restauração da biodiversidade dos campos nativos, aliadas ao manejo sustentável, são estratégias fundamentais para preservar os ecossistemas e garantir a provisão de serviços ambientais. Segundo Carvalho *et al.*, 2017, a adoção de práticas de manejo adaptativo é crucial para maximizar a produção sustentável de forragem e, simultaneamente, manter a biodiversidade. Essas práticas, bem implementadas, também favorecem o aumento do estoque de carbono no solo, essencial para mitigar mudanças climáticas. Manejos planejados, que equilibram a carga animal e a capacidade de suporte, promovem a conservação da vegetação nativa e aumentam a resiliência dos ecossistemas (Carvalho *et al.*, 2017). A pecuária bem manejada pode ser uma aliada na restauração de campo nativo, devido ao papel desempenhado pelos animais na dispersão de sementes por endozoocoria (Minervini; Overbeck, 2021) e na manutenção da fisionomia campestre.

Ainda de acordo com Cezimbra et al. (2021), trabalhar com uma quantidade de forragem correspondente a 8% do peso vivo (PV) dos animais durante a primavera e 12% do PV no restante do ano resulta na melhor combinação entre ganho de peso dos animais e redução das emissões de CH₄. Assim, a restauração ecológica e o uso de boas práticas de manejo não apenas reafirmam o compromisso com a biodiversidade, mas também asseguram que os campos nativos permaneçam uma base sustentável para as atividades pecuárias.

06

Monitoramento

Foto: Leonardo Mariano Pairet

Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa

6.1 O que é o monitoramento?

O monitoramento pode ser entendido como avaliações que ocorrem em diferentes intervalos de tempo ao longo do projeto. O monitoramento faz parte do processo de restauração. É uma decorrência das etapas anteriores e tem início na fase do planejamento, com o desenvolvimento de um plano para identificar o sucesso ou não do projeto (Rodrigues, 2013; SER, 2019).

O monitoramento baseia-se nos objetivos e metas definidos no início do projeto (SER 2019), sendo, essencial para verificar se o ecossistema se recuperou e se ele é resiliente diante de distúrbios comuns aos sistemas, mantendo a sua dinâmica sem auxílio externo (novas intervenções humanas) (Rosenfield e Müller, 2020). Pode detectar avisos iniciais de que a trajetória não esteja na situação desejada. Assim, novas intervenções podem ser projetadas. As estratégias, ações e metas originais do projeto podem ser ajustadas em resposta ao monitoramento, levando em consideração os objetivos traçados inicialmente (Prach *et al.*, 2019). O documento Recomendações para o Monitoramento da Restauração da Vegetação do Bioma Pampa apresenta diretrizes e informações fundamentais para orientar o monitoramento de iniciativas de restauração ecológica nesse bioma, e pode ser consultado para maiores informações.

6.2 Como monitorar?

O monitoramento é realizado por meio de indicadores ecológicos, os quais são variáveis mensuradas para avaliar o projeto de restauração. São medidas específicas, qualitativas e quantitativas de atributos que conectam diretamente metas de longo prazo e objetivos de curto prazo (Gann *et al.*, 2019). Em outras palavras, indicadores são selecionados para ajudar a avaliar se as metas e objetivos ecológicos e socioeconômicos dos projetos estão sendo alcançadas mediante às intervenções realizadas para restauração (SER, 2019).

O principal papel dos indicadores ecológicos é relatar o estado dos ecossistemas, especialmente em resposta às mudanças ambientais (Silva *et al.*, 2021). É recomendado que programas de monitoramento utilizem diversos indicadores e que estes sejam categorizados conforme três atributos ecossistêmicos: composição, estrutura e função. A composição abrange variáveis ligadas à riqueza, abundância e diversidade de flora e fauna. A estrutura envolve aspectos como diâmetro, altura e cobertura vegetal. Já a função refere-se aos indicadores que avaliam, direta ou indiretamente, os processos e funções dos ecossistemas (Gatica-Saavedra *et al.*, 2017).

Claramente existe uma grande variedade de indicadores ecológicos utilizados em diferentes áreas e locais, auxiliando em projetos técnicos e científicos. O uso dos indicadores ecológicos, pode mudar

ao longo do tempo perante o projeto. Um bom indicador para o início do projeto pode não ser adequado em estágios avançados e vice-versa, ou seja, a seleção de indicadores precisa ser compatível com as fases da restauração (Filho *et al.*, 2022). A definição de quais indicadores e métodos utilizar não é uma tarefa fácil e rápida, dependerá da escala, do objetivo, da duração e da capacidade técnica e financeira do programa ou projeto de restauração (Filho *et al.*, 2022), além da fitofisionomia do local. Todavia, é predisposto priorizar indicadores fáceis de aplicação e interpretação, rápidos e de baixo custo e que sejam compatíveis com a realidade do projeto.

6.3 Monitoramento no Pampa

Monitorar áreas de restauração no bioma Pampa não é uma tarefa fácil e rápida, muito devido à heterogeneidade da vegetação e complexidade das áreas naturais. Projetos técnicos e científicos vêm sendo implementados e monitorados ao longo do tempo no bioma, no entanto, ainda existem lacunas que precisam ser esclarecidas, principalmente em áreas campestres, e que apesar da urgência sobre o tema, a restauração nessas áreas ainda é incipiente, visto que se espera uma evolução da vegetação de espécies campestres herbáceas, principalmente nativas, assemelhando-se aos campos naturais conservados (Overbeck *et al.*, 2023).

Importante destacar, que nestes sistemas campestres, as áreas de referências são definidas como campos nativos bem conservados, diferentes das formações florestais, às quais são definidas como remanescentes florestais conservados. Ambas áreas de referência devem se encontrar o mais próximo possível das áreas degradadas. O monitoramento da restauração em formações florestais, também é uma realidade que vem se consolidando ao longo do tempo no Pampa, mesmo que as pesquisas nessas áreas também ainda sejam incipientes (Michel e Overbeck, 2024).

Notoriamente, a literatura científica reúne uma ampla gama de indicadores ecológicos aplicados no monitoramento. Neste contexto, o presente tópico tem como objetivo destacar os indicadores mais relevantes utilizados no acompanhamento de projetos no Pampa, com o propósito de subsidiar futuras ações de restauração no bioma, levando em consideração as particularidades de suas diferentes formações naturais. Para isso, foi elaborado o Quadro 1 que apresenta uma compilação dos principais indicadores ecológicos avaliados em cada fitofisionomia e as Figuras 24 a 27 ilustram a avaliação de alguns desses indicadores.

Ressalta-se, uma lacuna de conhecimento em relação ao monitoramento da restauração ecológica no Pampa, especialmente no que se refere aos valores de referência para as diferentes fitofisionomias. Vale destacar que essas informações são fundamentais para a compreensão dos processos ecológicos inerentes de cada sistema, permitindo a identificação de tendências e

desafios relacionados aos projetos de restauração ecológica no Pampa, um bioma ainda pouco explorado sob a ótica da restauração, e que exige mais informações e estudos aprofundados sobre a dinâmica da sua complexa vegetação.

Quadro 1. Principais indicadores ecológicos utilizados no monitoramento da restauração no bioma Pampa.

Indicadores Ecológicos

Atributo ecológico	Métricas quali-quantitativas	Formação natural
Composição	Cobertura por espécies	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Cobertura vegetal nativa	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Cobertura vegetal exótica/invasora	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Diversidade de espécies nativas	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Presença de espécies exóticas e invasoras da fauna e flora	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Riqueza	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Abundância	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Presença de aves silvestres (indicador de conservação de campo)	Campestre
Estrutura	Altura da vegetação dos estratos cespitoso e prostrado	Campestre, Parque
	Solo descoberto/exposto	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Mantilho*	Campestre
	Formas de vida (árvores, graminoides, ervas, arbustos, lianas, etc.)	Campestre, Florestal
	Densidade de espécies lenhosas	Campestre
	Proporção entre touceiras, gramíneas prostradas (reptantes) ou eretas e arbustos	Campestre

Estrutura	Densidade	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Área basal (indivíduos regenerantes e/ou indivíduos plantados)	Florestal, Parque, Arbustiva
	Altura (indivíduos regenerantes e/ou indivíduos plantados)	Florestal, Parque, Arbustiva
	Diâmetro à Altura do Peito (DAP) (indivíduos plantados)	Florestal, Parque, Arbustiva
	Diâmetro à Altura do Solo (DAS) (indivíduos regenerantes)	Florestal
	Área de copa (indivíduos plantados)	Florestal, Parque, Arbustiva
	Padrão de estrutura espacial	Parque
	Propriedades físicas do solo	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
Função	Biomassa acima do solo	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva
	Biomassa abaixo do solo	Campestre
	Síndrome de dispersão	Florestal, Arbustiva
	Espessura da serrapilheira	Florestal, Arbustiva
	Mortalidade (indivíduos plantados e/ou indivíduos de ocorrência natural)	Florestal, Parque
	Chuva de sementes	Florestal, Arbustiva
	Banco de sementes do solo	Campestre, Florestal, Parque, Arbustiva

Referências bibliográficas:

Formação Campestre: Fedrigo *et al.*, 2022; Guarino *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2022; Parera *et al.*, 2014.

Formação Florestal: Piaia *et al.*, 2020; Piaia *et al.*, 2021; Procknow *et al.*, 2020; Procknow *et al.*, 2023; Stefanello *et al.*, 2021; Granzotto *et al.*, 2024.

Formação Parque/Arbustiva: Redin *et al.*, 2011; Redin *et al.*, 2017; Watzlawick *et al.*, 2010; Watzlawick *et al.*, 2014.

Nota: Embora haja disponibilidade de literatura científica, existem poucas informações sobre os indicadores ecológicos aplicáveis às formações naturais arbustivas do Pampa. Assim, os indicadores mencionados aqui para essas formações são sugestões para o monitoramento de futuros projetos de restauração.

Onde: *Mantilho = biomassa seca morta no solo.

Figura 24. Demonstração de indicadores ecológicos utilizados em áreas sob restauração florestal no bioma Pampa.



Onde: A: Coletor de chuva de semente; B: Cobertura do solo (parcela de 1 m x 1 m); C: Espessura da serrapilheira com auxílio de régua graduada; D: Averiguação da cobertura de copa por meio do densímetro esférico.

Fotos: Bruna Balestrin Piaia e Djoney Procknow.

Figura 25. Análise da regeneração natural como indicador ecológico em área de restauração florestal no Pampa.



Foto: Bruna Balestrin Piaia e Djoney Procknow.

Figura 26. Análise de árvores plantadas como indicador ecológico de desenvolvimento dos indivíduos arbóreos sob restauração florestal.



Foto: Djoney Procknow

Figura 27. Análise da cobertura do solo como indicador ecológico em área campestre sob restauração no Pampa.



Foto: Guilherme Diego Fockink

6.4 Por quanto tempo monitorar um projeto de restauração?

O período de monitoramento é um tema amplamente discutido no âmbito técnico-científico, com o objetivo de determinar o tempo ideal necessário para acompanhar um projeto. Essa avaliação é fundamental para aferir a evolução, ou a sua ausência, no desenvolvimento do projeto.

Não há consenso sobre o tempo em que um projeto de restauração deve ser monitorado. Algumas normativas brasileiras, mencionam que um PRAD (Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas) deve ser monitorado até 04 anos após a implantação do projeto (ICMBIO, 2014; INEA, 2017). A instrução normativa do IBAMA nº 14, de 1º de julho de 2024, menciona que o período mínimo de monitoramento é de 03 anos, podendo ser prorrogável por até 04 anos. Em Programas de Regularização Ambiental para recomposição de Área de Preservação Permanente e Reserva Legal, o monitoramento previsto em lei é de 20 anos (Brasil, 2012). Especificamente, no Pampa, o período médio de monitoramento em projetos de restauração é de apenas um ano e meio (Michel e Overbeck, 2024).

É natural questionar qual deve ser o período ideal de monitoramento em projetos de restauração. A prática comum de monitorar por três anos é realmente adequada e eficaz para todos os projetos, independentemente da fitofisionomia? Uma restauração ecológica/florestal pode ser considerada bem-sucedida já no terceiro ou quarto ano? Qual seria, afinal, o tempo ideal para esse acompanhamento? Essas e muitas outras questões precisam ser refletidas, discutidas e revisadas, visando à construção de diretrizes cada vez mais sólidas e eficientes.

Importante frisar que a falta do monitoramento a longo prazo impede o reconhecimento se um ecossistema foi de fato restaurado ou não (Michel e Overbeck, 2024), pois o constante monitoramento pode detectar insucessos e estagnação da trajetória da restauração. Novas intervenções podem ser projetadas para ajustar o programa de restauração, ou um programa mais amplo de manejo adaptativo pode ser implementado (Prach *et al.*, 2019) ou até mesmo apurar que o projeto está em trajetórias coerentes e de sucesso.

07

Manejo adaptativo

Foto: Referencias Bibliográficas Bruna Balestrin Piaia Avila

Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa

O manejo adaptativo é definido como a forma de manejo que estimula, quando necessárias, mudanças periódicas nos objetivos e protocolos de manejo, em resposta aos dados de monitoramento e outras novas informações (Durigan e Ramos 2013). São medidas para corrigir as inconformidades identificadas pelo monitoramento (Brancalion *et al.*, 2015).

Essa estratégia, também conhecida como ações corretivas, é recomendada na restauração ecológica, em situações de incerteza sobre os resultados esperados ou quando há indícios de que os objetivos e metas do projeto de restauração podem não ser atingidos de acordo com seu cronograma. Na prática, as ações de manejo incluem o controle de pragas, controle de espécies invasoras ou de nativas dominantes, manejo do solo, alterações nas estratégias restaurativas, ressemeadura, replantios e enriquecimentos, entre outras. Essas intervenções visam aumentar a eficiência do projeto no alcance das trajetórias desejáveis de restauração.

Segundo Urruth (2023), o monitoramento e o manejo adaptativo são as etapas mais longas dos projetos de restauração, uma vez que devem ser empregados até que os objetivos destes sejam alcançados. Portanto, está atrelado ao monitoramento contínuo. Segundo Prach *et al.* (2019), o monitoramento de indicadores adequadamente selecionados é essencial para que o manejo adaptativo seja eficaz no alcance do sucesso da restauração. Esses indicadores orientam a tomada de decisão sobre a manutenção e ajustes necessário para cada projeto (Filho *et al.*, 2022). Ele não é uma etapa isolada do programa de monitoramento, mas sim uma parte integrante e fundamental para garantir o sucesso do processo de restauração, e deve ser planejado com base nos objetivos específicos de cada projeto.

Importante destacar que o manejo adaptativo integra conhecimento científico e saberes locais, para contribuir em decisões mais assertivas e promovendo ações corretivas eficientes, buscando o sucesso do projeto de restauração. Assim, se torna uma ferramenta indispensável para assegurar a funcionalidade ecológica e a restauração de áreas naturais no bioma Pampa.



08

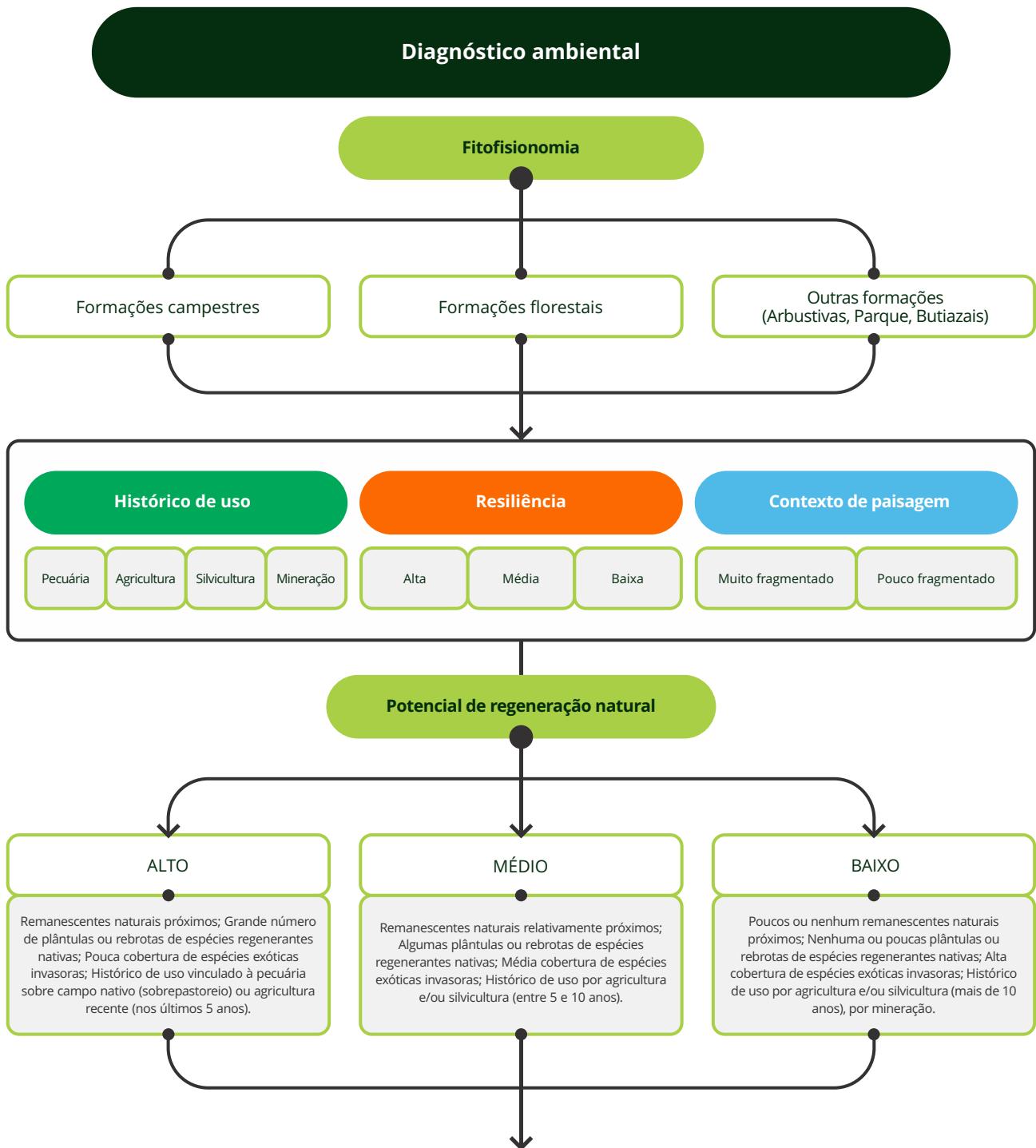
Árvore de decisão

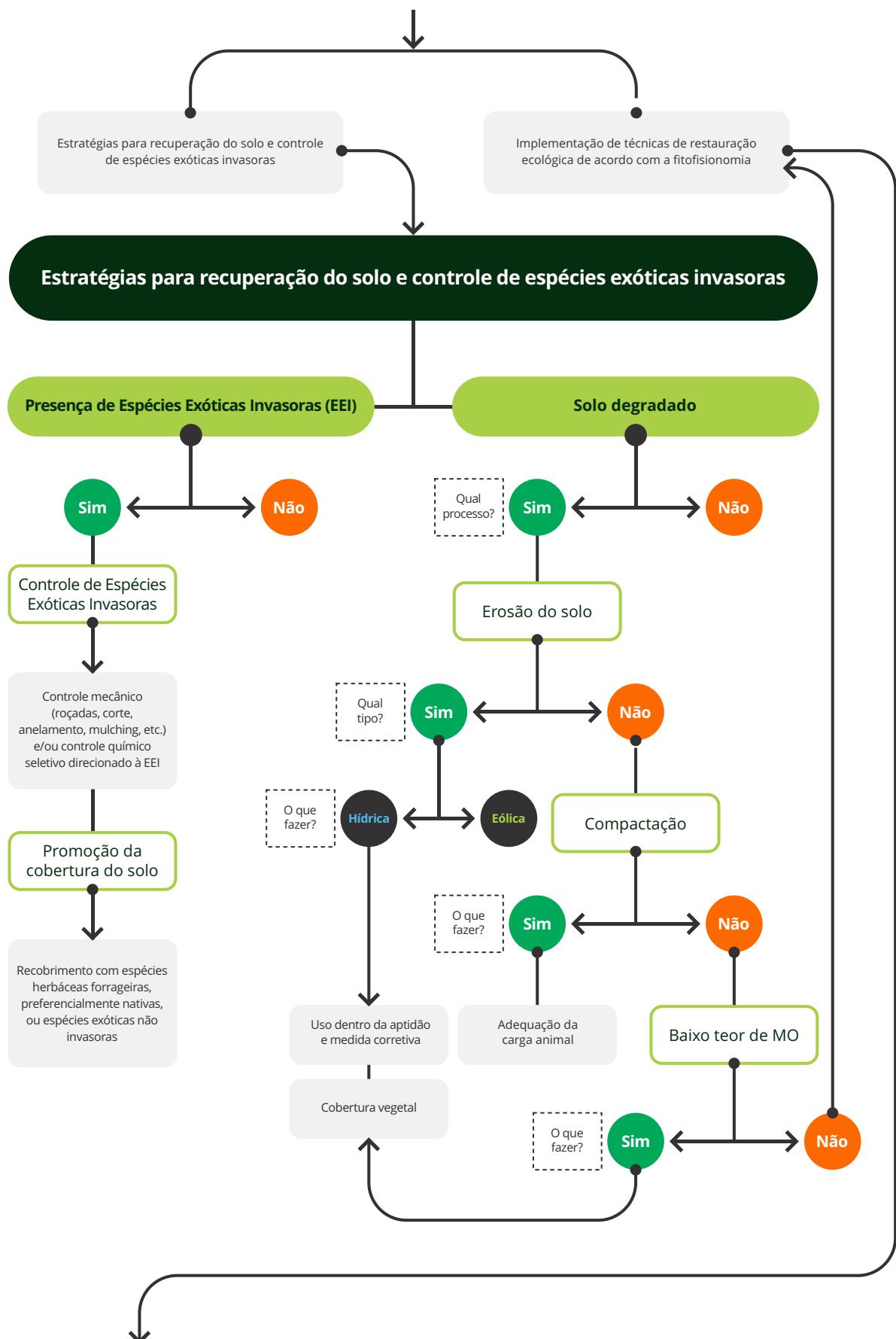
Foto: João André Jarenkow



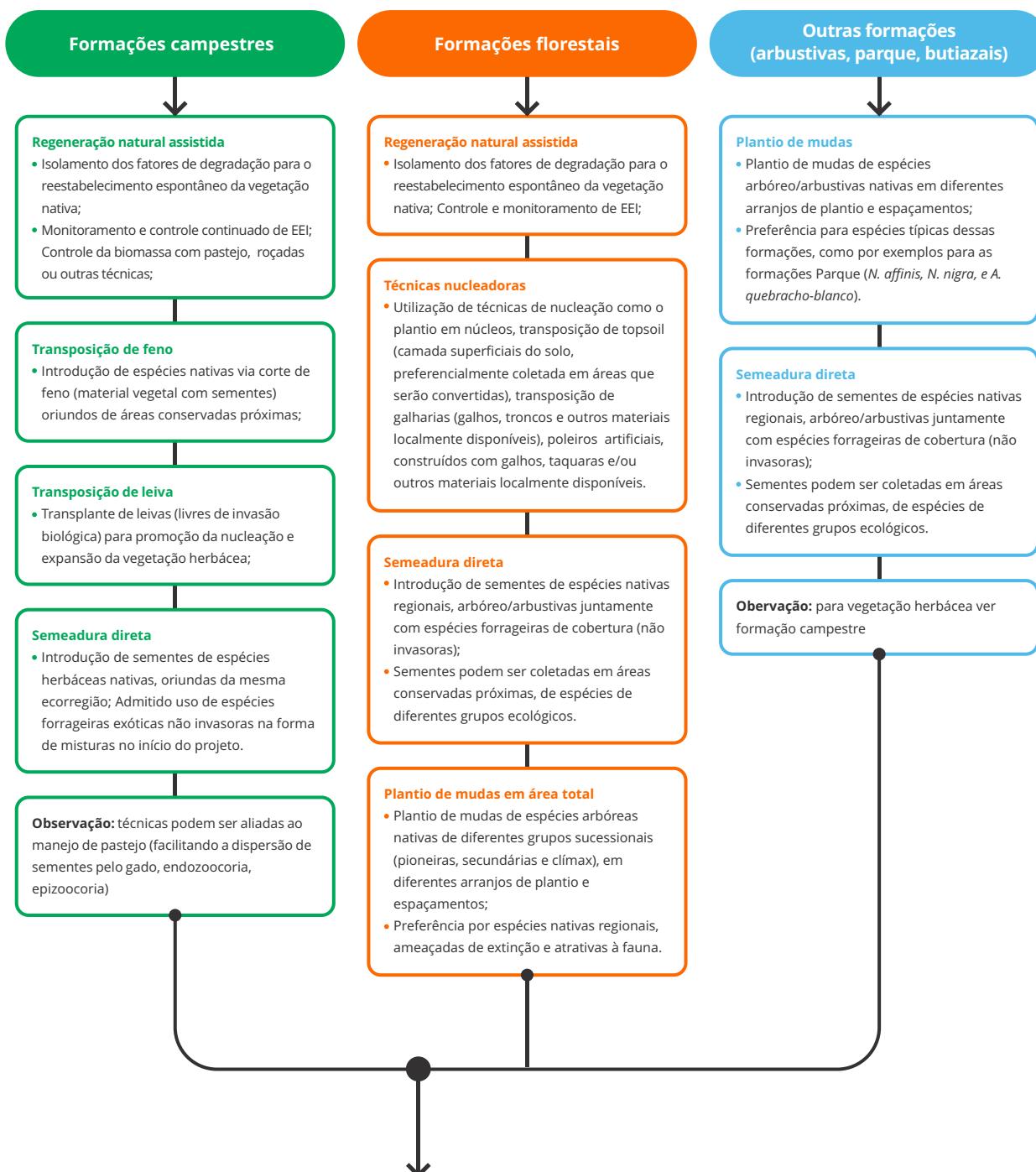
Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa

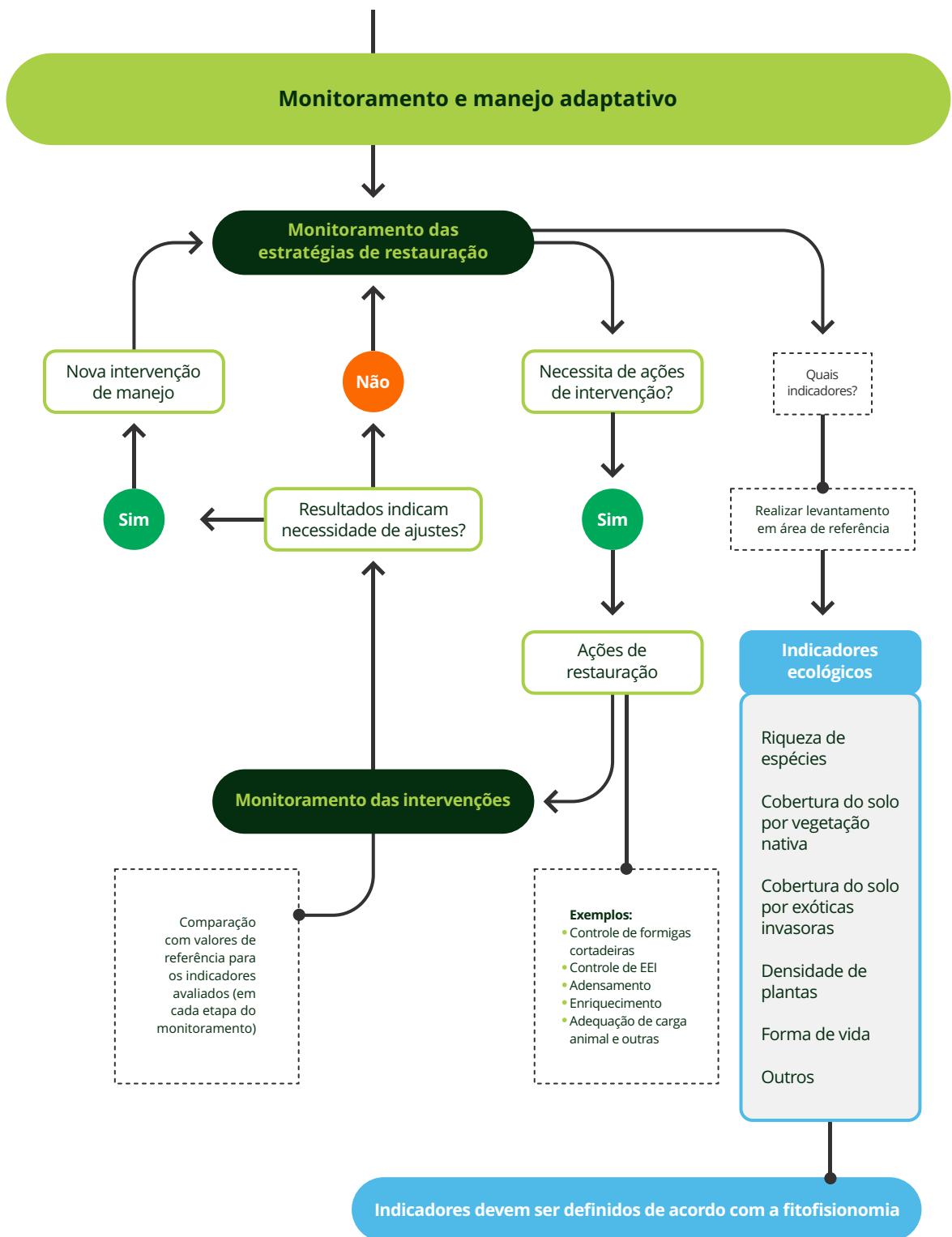
Todos os itens e etapas que compõem a árvore de decisão apresentada abaixo podem ser consultados ao longo do texto, permitindo uma compreensão clara e detalhada de cada etapa e critério adotado no processo. As técnicas de restauração ecológica estão exemplificadas de forma específica para cada tipo de fisionomia. Essa abordagem facilita a escolha das estratégias mais adequadas conforme as características e necessidades de cada ambiente, promovendo intervenções mais eficazes e direcionadas.





Implementação de técnicas de restauração ecológica de acordo com a fitofisionomia





Referências bibliográficas

Foto: Guilherme Diego Fockink

Bases teóricas e práticas da restauração ecológica no bioma Pampa

ABREU, R. C. R. *et al.* The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. **Science advances**, São Paulo, v. 3, n. 8, p. e1701284, 2017.

ANDRADE, B. *et al.* 12,500+ and counting: biodiversity of the Brazilian Pampa. **Frontiers of Biogeography**, Topeka. v. 15, n.2, 2023. <http://dx.doi.org/10.21425/F5FBG59288>.

ANDRADE, B. *et al.* Classification of South Brazilian grasslands: Implications for conservation. **Applied Vegetation Science**. Santa Catarina. v. 22, n. 1, p. 168-184, 2019.

ANDRADE, B. *et al.* Grassland degradation and restoration: A conceptual framework of stages and thresholds illustrated by southern Brazilian grasslands. **Natureza & Conservação**, v. 13, n 2, p. 95-104, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2015.08.002>.

ARONSON, J; DURIGAN, G; BRANCALION, P. H. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF Série Registros**, n. 44, p. 1-38, 2011

BAEZ-LIZARAZO M, KÖHLER M, REGINATO M. A historical perspective on the biogeography of the Pampa Region: imprints of time and origins of its flora. In: OVERBECK G.E. *et al* (eds) **South Brazilian grasslands: ecology and conservation of the Campos Sulinos**. Springer, 2023. p. 101-118.

BAGGIO, R. *et al.* To graze or not to graze: A core question for conservation and sustainable use of grassy ecosystems in Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 256-266, 2021.

BECHARA, F. *et al.* Neotropical rainforest restoration: comparing passive, plantation and nucleation approaches. **Biodiversity and Conservation**, v. 25, p. 2021-2034, 2016.

BENAYAS, J. M. R. *et al.* Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. **science**, United Kingdom, v. 325, n. 5944, p. 1121-1124, 2009.

BENCKE, G A. Biodiversidade. In: CHOMENKO, L; BENCKE, G. A. *Nosso Pampa desconhecido*. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016, 208 p
Disponível:<http://www.fzb.rs.gov.br/upload/20160429181829nosso_pampa_desconhecido.pdf>. Acesso em: 16 de novembro, 2024.

BENCKE, G. A; CHOMENKO, L.; SANT'ANNA, D. M. O que é Pampa? In: BENCKE, G. A; CHOMENKO, L. *Nosso Pampa Desconhecido*. Porto Alegre/RS: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. p. 16-27. ISBN 978-86-60378-12-8.

BERGAMIN, R.; MÜLLER, S.; OLIVEIRA, R. S. Climate-driven altitudinal shifts of tree species in the Brazilian Atlantic Forest. **Journal of Vegetation Science**, v. 34, n. 2, p. 123-135, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jvs.13123>.

BIERHALS, D. F. *et al.* Recursos madeireiros em sistemas agroflorestais (SAF) de propriedades de agricultura familiar no sul do Rio Grande do Sul-Brasil. *In: Simpósio Brasileiro De Agropecuária Sustentável*, 10, 2020; *Congresso Internacional de Agropecuária Sustentável*, 7, 2020. **Anais** [...], Pelotas: 2020.10.1016/j.soilbio.2018.01.030

BOLDRINI, I L; OVERBECK, G. E; TREVISAN, R. Biodiversidade de planbuissontas. *In: PILLAR, V. ; LANGE, O. (orgs.). Os Campos do Sul.* Porto Alegre/RS: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 51-60. ISBN 9788566106503.

BOLDRINI, I. L. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. *In: PILLAR, V. *et al* (Ed). Campos Sulinos.* Brasília/DF: Ministério do Meio Amiente. 2009. p. 63-77. ISBN 978-85-7738-117-3.

BOLDRINI, I. L. *Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica.* Porto Alegre: Pallotti, 2010.
BRANCALION, P. H. S; GANDOLFI, S; RODRIGUES, R. R. Restauração florestal. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2015.

BUISSON, E. *et al.* A research agenda for the restoration of tropical and subtropical grasslands and savannas. **Restoration ecology.** Medison, v. 29, n. 1, p. e13292, 2021.

BUISSON, E. *et al.* Resilience and restoration of tropical and subtropical grasslands, savannas, and grassy woodlands. **Biological Reviews.** Cambridge, v. 94, n. 2, p. 590-609, 2019.

BUISSON, E. *et al.* Species transfer via topsoil translocation: lessons from two large Mediterranean restoration projects. **Restoration Ecology.** n. 26, n S2 p. S179-S188, 2018.

BURGREVER, J. C. *et al.* Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob sistemas de manejo-Alta Floresta. **Revista Científica Rural.** Bagé, v. 21, n. 2, p. 93-104, 2019.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* Boletim Nativão: 30 anos de pesquisa em campo nativo. Boletim Técnico. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

CECCON, E. A importância e as limitações da participação social na restauração ecológica. *In: LADWIG, N. I.; SUTIL, T. Planejamento e gestão territorial.* São Carlos: Pedro & João Editores, 2023.p. 683. 10.51795/9786526507261.

CEZIMBRA, I. M. Potential of grazing management to improve beef cattle production and mitigate methane emissions in native grasslands of the Pampa biome. **Science of the Total Environment.** Amsterdã, v. 780 n.1 p.146582, 2021. 10.1016/j.scitotenv.2021.146582

CHAZDON, R. L. Landscape restoration, natural regeneration, and the forests of the Future. **Annals of the Missouri Botanical Garden.** Missouri, v. 102, n. 2, p. 251-257, 2017.

COELHO, G. C. Ecosystem services in Brazilian's southern agroforestry systems. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Mérida, v. 20, n. 3, p. 475-492, 2017.

COSTA, L. M; DRESCHER, M. S. Implications of agricultural management on the epigeic fauna and soil physical properties of a clayey Oxisol. **Rev. Ceres**. Viçosa, v. 65, n.5, p. 443-449, 2018. 10.1590/0034-737X201865050009

CROUZEILLES, R. *et al.* Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. **Science advances**. Washington, v. 3, n. 11, p. e1701345, 2017.

DALE, V.; BEYELER, S. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological Indicators**. Amsterdã, v. 1, n. 1, p. 3-10, 2001.

DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in southern Brazil and implications for land conservation. **Journal of Soils and Sediments**. Heidelberg, v. 15, p. 2334- 2346, 2015. 10.1007/s11368-015-1160-0

DOS SANTOS, P. A. *et al.* Sistemas Agroflorestais No Bioma Campos Sulinos: Uma Breve Revisão De Literatura. **BIOFIX Scientific Journal**. Curitiba, v. 6, n. 1, 2021.

DURBECQ, A. *et al.* Mountain grassland restoration using hay and brush material transfer combined with temporary wheat cover. **Ecological Engineering**. France, v. 174, p. 106447, 2022.

DURIGAN, G. *et al.* **Invasão por Pinus spp: ecologia, prevenção, controle e restauração**. São Paulo: Instituto Florestal, 2020.

DURIGAN, G; RAMOS, V. S. **Manejo Adaptativo: primeiras experiências na Restauração de Ecossistemas**. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2013. 978-85-8191-030-7.

Dutra-Silva, R. et al. 2022. **Recuperação de campos nativos suprimidos no Bioma Pampa: um estudo em escala de paisagem em Rosário do Sul (RS)**. Revista Gestão da Informação Ambiental. IBAMA. série 3. p. 155-175, <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.21543.62887>

DUTRA-SILVA, R. *et al* Terras públicas: uma demanda potencial para impulsionar a restauração ecológica dos campos do Pampa. **Bio Diverso**. Porto Alegre, v. 3, n. 1, p. 140-158, 2023.

Dutra-Silva, R., Overbeck, G.E., Müller, S.C. **How can Brazilian legislation on native seeds advance based on good practices of restoration in other countries? Perspectives in Ecology and Conservation**, Volume 22, Issue 3, 2024, p. 224-231, ISSN 2530-0644, <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.08.002>.

DUTRA-SILVA, Rodrigo. **Restauração ecológica: análise da legislação brasileira aplicada às sementes nativas e diagnóstico de demanda para restauração em áreas públicas do Pampa**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 2023.

ESKELINEN, A. *et al.* Vulnerabilidade de bancos de sementes de pastagens a mudanças globais que aumentam os recursos. **Ecology**, Washinton, v. 102, n. 12, p. e03512, 2021.

FEDRIGO, J. K. *et al.* Deferment associated to contrasting grazing intensities affects root/shoot biomass allocation in natural grasslands. **Applied Vegetation Science**, Hoboken, v. 25, e12671, 2022. 10.1111/avsc.12671.

FEDRIGO, J. K. Recuperação de pastagens naturais degradadas por sobrepastejo, por meio do deferimento, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (2015), 129f.

FERREIRA, P. M. *et al.* Long-term ecological research in southern Brazil grasslands: Effects of grazing exclusion and deferred grazing on plant and arthropod communities. **PLoS One**, Califórnia, v. 15, n. 1, p. e0227706, 2020.

FERREIRA, P.; MIOTTO, S. Sinopse das espécies de Ipomoea L. (Convolvulaceae) ocorrentes no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 440-453, 2009.

FIDELIS, A. *et al.* Does disturbance affect bud bank size and belowground structures diversity in Brazilian subtropical grasslands?. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**. v. 209, n. 2, p. 110-116, 2014.

FIDELIS, A. **Fire in subtropical grasslands in Southern Brazil: effects on plant strategies and vegetation dynamics.** 2008. 151 f. Tese (Doutorado em Ecologia da Vegetação) - Technische Universität München, Munique, 2008.

FIDELIS, A.; APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; PFADENHAUER, J. A importância da biomassa e das estruturas subterrâneas nos Campos Sulinos. In: PILLAR, V. *et al.* (eds.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. MMA, 2009. p. 88 – 100.

FIDELIS, A; PIVELLO, V. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos?. **Biodiversidade Brasileira**. São Paulo, v. 1, n.2, p. 12-25, 2011. 10.37002/biobrasil.v%25vi%25i.102

FIGUEIREDO, M. A. *et al.* Topsoil volume optimization in the restoration of post-mined areas. **Restoration Ecology**. Hoboken, v. 32, n.7, p. e14222, 2024.

FIGUEIREDO, M. A. *et al.* Direct seeding in the restoration of post-mined campo rupestre: Germination and establishment of 14 native species. **Flora**, Heidelberg, v. 276, p. 151772, 2021.

FILHO, E. M. C. *et al.* **Recomendações para o monitoramento da restauração na Amazônia.** Belém, PA: Aliança pela Restauração na Amazônia, 2022. 978-65-00-52836-7.

FONTANA, C. S.; BENCKE, G. A. Biodiversidade de aves. In: PILLAR, V.; LANGE, O. (orgs.). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 91-100.

FOWLER, W. M. *et al.* Evaluating restoration potential of transferred topsoil. **Applied vegetation science**, Hoboken, v. 18, n. 3, p. 379-390, 2015.

FREITAS, E. M. **Campos de solos arenosos, do Sudoeste do Rio Grande do Sul: aspectos florísticos e adaptativos.** 2010. 171 f. Tese (Doutorado em Ciências: Botânica) Programa de Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

GANN, G. *et al.* Princípios e Padrões Internacionais para a Prática da Restauração Ecológica. Segunda Edição: 2019. Disponível em: sobrestauracao.org/documentos/portuguese_ser_standards.pdf

GANN, G. *et al.* International principles and standards for the practice of ecological restoration. **Restoration Ecology**, Washington, v. 27, S1-S46, 2019. 10.1111/rec.13035.

GATICA-SAAVEDRA, P. *et al.* Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 6, p. 850-857, 2017. 10.1111/rec.12586.

GAZZOLA, M. D. *et al.* Semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição Pampa-Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 3, p. e68327, 2023.

GERRITS, G. M. *et al.* Synthesis on the effectiveness of soil translocation for plant community restoration. **Journal of Applied Ecology**, v. 60, n. 4, p. 714-724, 2023.

GÓES, Q. *et al.* Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa, **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 31, n. 1, p. 123-144, 2021 10.5902/1980509832130

GORET, T.; JANSSENS, X.; GODEFROID, S. A decision-making tool for restoring lowland grasslands in Europe. **Journal for Nature Conservation**, Belgium, v. 63, p. 126046, 2021.

GRANADA, C. Bacterial and Archaeal Communities Change With Intensity of Vegetation Coverage in Arenized Soils From the Pampa Biome. **Front. Microbiol.** v. 22, n. 10, p. 497, 2019. 10.3389/fmicb.2019.00497

GRANZOTTO, F. *et al.* Eucalyptus productive matrix influences the soil seed bank in southern Brazil. **Canadian Journal of Forest Research**. Ottawa, v. 54, n. 6, p. 674-685, 2024. 10.1139/cjfr-2023-0256

GROSS, M. B. Expertise: Ecological science and the making of socially robust restoration strategies. **Journal for Nature Conservation**, v. 14, n.3-4, p. 172-179, 2006.

GUARINO, E. *et al.* **Proposta de guia para a restauração de campos nativos no sul do Brasil.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2023.

GUIDO, A. *et al.* Landscape structure and climate affect plant invasion in subtropical grasslands. **Applied Vegetation Science**. Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 600 – 210, 2016.

HALL, S.; BARTON, C.; BASKIN, C. Topsoil seed bank of an Oak–Hickory forest in eastern Kentucky as a restoration tool on surface mines. **Restoration Ecology, Kentucky**, v. 18, n. 6, p. 834-842, 2010.

HASENACK, H. *et al.* Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: VILELA, E. F.; CALLEGARO, G. M.;

FERNANDES, G. W. (Org.). **Biomas e agricultura:** oportunidades e desafios. Rio de Janeiro: Vertente Edições, 2019. p.123-140.

HASENACK, H. *et al.* Biophysical delineation of grassland ecological systems in the State of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Iheringia. Série Botânica**, Porto Alegre, v. 78, p. e2023001, 2023. 10.21826/2446-82312023v78e2023001

HE, M. *et al.* Analysis on soil seed bank diversity characteristics and its relation with soil physical and chemical properties after substrate addition. **PLoS One**, v. 11, n. 1, p. e0147439, 2016.

HOLL, K. D. *et al.* Applied nucleation facilitates tropical forest recovery: Lessons learned from a 15-year study. **Journal of Applied Ecology**. Costa Rica, v. 57, n. 12, p. 2316-2328, 2020.

HOLL, K. D. *et al.* Local tropical forest restoration strategies affect tree recruitment more strongly than does landscape forest cover. **Journal of Applied Ecology**. Costa Rica, v. 54, n. 4, p. 1091-1099, 2017.

HOLL, K.; AIDE, Mitchell. When and where to actively restore ecosystems? **Forest ecology and management**. Califórnia, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.

HUGHES C.E. *et al.* Disintegration of the genus *Prosopis* L. In: HUGHES, C.E.; DE QUEIROZ L.P.; LEWIS G.P. **Advances in Legume Systematics 14. Classification of Caesalpinoideae Part 1: New generic delimitations**. PhytoKeys, 2022, p. 147-189. 10.3897/phytokeys.205.75379

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Série Relatórios Metodológicos. Metodologias empregadas nas diversas fases do planejamento e execução das pesquisas do IBGE. Rio de Janeiro, 2019. E-book. 0101-2843.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Instrução Normativa nº 14, de 01 de julho de 2024. Estabelece procedimentos para elaboração, apresentação, aprovação e execução do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) para todos os biomas e suas respectivas fitofisionomias. Diário Oficial da União, Brasília, 2024.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

(ICMBio). Instrução Normativa nº 11, de 19 de agosto de 2014. Estabelece os procedimentos para elaboração e aprovação do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD). Diário Oficial da União, Brasília, 2014.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE (INEA). Resolução nº 143, de 14 de junho. IOP, S. *et al.* Biodiversidade de anfíbios. In: PILLAR, V.; LANGE, O. (orgs.). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 71-80.

JAURENA, M. *et al.* Native grasslands at the core: a new paradigm of intensification for the Campos of Southern South America to increase economic and environmental sustainability. **Frontiers in Sustainable Food Systems**. Latu, v. 5, p. 547834, 2021.

KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; FLENIK, L. F. O Avanço Da Soja No Bioma Pampa, O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, n. 31, p. 83-100, 2018

LE STRADIC, S. *et al.* Comparison of translocation methods to conserve metallophyte communities in the Southeastern DR Congo. **Environmental Science and Pollution Research**. Democratic Republic of Congo, v. 23, p. 13681-13692, 2016.

LUZA, A. L. *et al.* Biodiversidade de mamíferos. In: PILLAR, V.; LANGE, O (orgs.). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 101-110.

LYONS, K. G. *et al.* Challenges and opportunities for grassland restoration: A global perspective of best practices in the era of climate change. **Global Ecology and Conservation**. v. 46, p. e02612, 2023.

MACHADO, J. M. *et al.* Soil carbon stocks as affected by land-use changes across the Pampa of southern Brazil, **Rev Bras Cienc Solo**. 2024;48:e0230124, Doi: 10.36783/18069657rbcs20230124

MACHADO, L. S. **Compactação do Solo e Crescimento de Plantas: Como Identificar, Evitar e Remediá**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 18 p.

MAPBIOMAS. Destaques do mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil de 1985 a 2023 - MapBiomass Brasil Coleção 9. **Mapbiomas**, v. 1,2025. 10.58053/MapBiomass/4ZM3KX.

MARCHI, M. M. *et al.* Flora herbácea e subarbustiva associada a um ecossistema de butiaçal no Bioma Pampa. **Rodriguésia**, v. 69, n. 2, p. 553-560, 2018. DOI: doi.org/10.1590/2175-7860201869221.

MATIELLO, J. **Plantas Ornamentais Nativas: elementos para seleção e cultivo de doze espécies do bioma Pampa**. 2021. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2021.

MEDEIROS, R.B.; FOCHT, T. Invasão, prevenção, controle e utilização do capim-annoni-2 (Eragrostis plana Nees) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Agropecuária Gaúcha**. v. 13, n 1-2, p. 105-114, 2007.

MENDONÇA JR, Milton et al. Biodiversidade de artrópodos. In: PILLAR, Valério De Patta; LANGE, Omara (orgs.). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 61-70.

MENEZES, D. MINELLA, J. P. G.; TASSI, R. Monitoring sediment yield for soil and water conservation planning in rural catchments, **Environmental Monitoring and Assessment**. v.192, n. 11, p. 736, 2020. Doi: 10.1007/s10661-020-08670-y

MICCOLIS, A. et al. **Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília, DF: Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal - ICRAF. 2016. 266 p.

MICHEL, T.; OVERBECK, G. Ecological restoration in the Brazilian Pampa. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 4, p. e20231283, 2024.

MINERVINI G. H.; OVERBECK, G. E. Seasonal patterns of endozoochory by cattle in subtropical grassland in southern Brazil. **Austral Ecology**, Melbourne, v. 46, n. 8, p. 1266-1276, 2021.

MINERVINI, G. et al. **Restauração ecológica dos campos da Serra do Sudeste no Bioma Pampa. Pelotas: Embrapa Clima Temperado**, 2023. 30 p. 1806-9193; 538.

MODERNEL, P. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. **Environmental Research Letters**. [s.l], v. 11, n. 1, p. 113002, 2016. 10.1088/1748-9326/11/11/11300

MÜLLER, S. C. et al. Woody species patterns at forest–grassland boundaries in southern Brazil. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 207, n. 8, p. 586-598, 2012.

NABINGER, C. et al. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: PILLAR, V.; LANGE, O. (orgs.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 175–198.

NAVE, A. G.; SERVELLO, E. L.; RODRIGUES, R. R. **Em dia com a natureza: Manual para projetos de recuperação da vegetação nativa**. Brasília, IBAMA, 2021. 107 p.

NUNES, A. et al. The influence of recent Brazilian policy and legislation on increasing bee mortality. **Research, Society and Development**. [s.l], v. 10, n. 4, p. e36910414157-e36910414157, 2021.

OCAÑO, C. et al. **Actualización del Manual de manejo de bosque nativo en Uruguay**. Montevideo: Ministerio de ganadería, agricultura y pesca, 2018, 58 p.

OLIVEIRA, R. E. et al. Top 10 indicators for evaluating restoration trajectories in the Brazilian Atlantic Forest. **Ecological Indicators**. [s.l], v. 127, p. 8, 2021. 10.1016/j.ecolind.2021.107652.

OLIVEIRA, T. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**. Oxford, v. 63, p. 394–400, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Começa a Década da ONU da Restauração de Ecossistemas. 2021. Disponível em: brasil.un.org/pt-br/130341-come%C3%A7a-d%C3%A9cada-da-onu-da-restaura%C3%A7%C3%A3o-de-ecossistemas. Acesso em: 2024

OVERBECK G.; MÜLLER, S. Restoration of Tropical and Subtropical Grasslands In: **Routledge Handbook of Ecological and Environmental Restoration**. 1 ed. New York: Routledge. 2017

OVERBECK, G. *et al.* A restauração ecológica dos campos do bioma Pampa: avanços e desafios na Década da Restauração de Ecossistemas. **Revista Bio Diverso**, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 115-134, 2023.

OVERBECK, G. *et al.* Fine-scale post-fire dynamics in southern Brazilian subtropical grassland. **Journal of Vegetation science**. Oxford, v. 16, n. 6, p. 655-664, 2005.

OVERBECK, G. *et al.* Fisionomia dos Campos. In: PILLAR, V.; LANGE, O. (Coord). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos -UFRGS, 2015. p. 33-44. 978-85-66106-50-3.

OVERBECK, G. *et al.* Restoration ecology in Brazil-time to step out of the forest. **Natureza & Conservação**. [s.l.], v.11, n. 1, p. 92-95, 2013.

PALMA, A. C.; LAURANCE, S. G. W. A review of the use of direct seeding and seedling plantings in restoration: what do we know and where should we go?. **Applied Vegetation Science**, v. 18, n. 4, p. 561-568, 2015.

PÄNELLA, L. P. Perspectiva de restauración espontánea y asistida en pastizales del Uruguay. 2022. Dissertação (Mestrado) - Universidade de la República del Uruguay, Montevideo, 2022.

PELLIZZARO, K. F. *et al.* "Cerrado" restoration by direct seeding: field establishment and initial growth of 75 trees, shrubs and grass species. **Brazilian Journal of Botany**. [s.l.], v. 40, p. 681-693, 2017.

PEREZ, N. Controle de plantas indesejáveis em pastagens: uso da tecnologia campo limpo. Bagé: Embrapa, 2010. 7 p.

PEREZ, N. Método integrado de recuperação de pastagens MIRAPASTO: foco capim-annoni. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 24 p.

PETSCHE, C. *et al.*, Relação entre a seca e erosão do solo na formação campestre da bacia hidrográfica do rio Santa Maria (RS). **RA'EGA - O espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v.56, p. 162-181, 2023.

PIAIA, B. B. *et al.* Avaliação de indicadores ecológicos na restauração por plantio em núcleos com diferentes idades. **Ciência Florestal**. [s.l.], v. 31, n. 3, p. 1512-1534, 2021. 10.5902/1980509848105.

PIAIA, B. B. *et al.* Floristic Composition Analysis of Soil Transposition in a Seasonal Forest in Rio Grande do Sul, Brazil. **Floresta e Ambiente**. [s.l.], v. 26, n. 2, p. e20170163, 2019.

PIAIA, B. B. *et al.* Natural regeneration as an indicator of ecological restoration by applied nucleation and passive restoration. **Ecological Engineering**. [s.l.], v. 157, 2020. 10.1016/j.ecoleng.2020.105991.

PIAIA, B. B. *et al.* Taxonomic and functional diversity of applied nucleation for ecological restoration. **Plant Ecology**. [s.l], v. 224, n. 10, p. 855-864, 2023.

PIAIA, B. B. et al. Transposição do banco de sementes para restauração ecológica da floresta estacional no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 227-235, 2017.

PIAIA, B. B. *et al.* Natural regeneration as an indicator of ecological restoration by applied nucleation and passive restoration. **Ecological engineering**. [s.l], v. 157, p. 105991, 2020.

PIAIA, B. B.; GIACOMINI, I. F.; ROVEDDER, A. P. M. Restauração ecológica de nascentes e matas ciliares. Cartilha. Itaara: Fundação Mo'ã, Santa Maria, 2015, 52 p.

PILLAR, V. **Campos Sulinos**: conservação e uso sustentável da biodiversidade. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009

PILLAR, V; LANGE, O. **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. 192 p.

PILON, N.; BUISSON, E.; DURIGAN, G. Restoring Brazilian savanna ground layer vegetation by topsoil and hay transfer. **Restoration Ecology**. [s.l], v. 26, p. 73-81, 2018.

PORTO, A. B. *et al.* Less hay collected at more dates: toward successful restoration of subtropical grasslands by hay transfer. **Restoration Ecology**. [s.l], v. 33, n. 1, p. e14297, 2024.

PORTO, A. B. *et al.* Restoration of subtropical grasslands degraded by non-native pine plantations: effects of litter removal and hay transfer. **Restoration Ecology**. [s.l], v. 31, n. 4, p. e13773, 2023.

PORTO, A. B. **Restauração ecológica nos Campos do Pampa: técnicas de introdução de sementes**. 2022. Tese (Doutorado em Botânico). Instituto de Biociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

PRACH, K. *et al.* A primer on choosing goals and indicators to evaluate ecological restoration success. **Restoration ecology**. [s.l], v.27, n.5, p. 917-923, 2019. 10.1111/rec.13011.

PROCKNOW, D. *et al.* Monitoring ecological restoration of riparian forest: Is the applied nucleation effective ten years after implementation in the Pampa?. **Forest Ecology and Management**. [s.l], v. 538, p. 120955, 2023. 10.1016/j.foreco.2023.120955.

PROCKNOW, D. *et al.* Seed rain as an ecological indicator of forest restoration in the Pampa biome. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. [s.l], v 15, n 3, 2020. 10.5039/agraria.v15i3a7220.

PROJETO MAPBIOMAS. Hub de Aves Migratórias, o Pampa é o bioma brasileiro que mais perde vegetação natural. 2024. Disponível em: [https://brasil.mapbiomas.org/2021/09/22/hub-de-aves-migratorias-pampa-e-o-bioma-brasileiro-que-mais-perde-vegetacao-natural/..](https://brasil.mapbiomas.org/2021/09/22/hub-de-aves-migratorias-pampa-e-o-bioma-brasileiro-que-mais-perde-vegetacao-natural/) Acesso em: out. 2024.

RAMON, R. *et al.* Conversion of native grasslands into croplands in the Pampa biome and its effects on source contributions to suspended sediment of the Ibirapuita River, Brazil, **Land Degrad Dev.** v. 35, n. 13, p. 4024–4041. 10.1002/lrd.5201

REDE CAMPOS SULINOS. A agonia do Pampa: um panorama atual sobre a supressão da vegetação nativa campestre. **ECOQUA Ecologia - UFRGS**, 2020. Disponível em: www.ecoqua.ecologia.ufgrs.br/arquivos/Agonia_do_Pampa.pdf. Acesso em: out. 2024

REDIN, C. G. *et al.* O pastejo altera a relação solo-planta no estrato regenerante arbóreo no Pampa Gaúcho. **CERNE**. Lavras, v. 23, n. 2, p. 225-234. 10.1590/01047760201723022225.

REDIN, C. G. *et al.* Composição florística e estrutura da regeneração natural do Parque Estadual do Espinilho, RS. **Ciência Rural**. [s.l] v. 41, n.7. 1195-1201, 2011. DOI: 1.1590/S0103-84782011005000083.

REICHERT, J. M. *et al.* Land use effects on subtropical, sandy soil under sandyzation/desertification processes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. [s.l], v. 233, n. 3, p. 370-380, 2016. 10.1016/j.agee.2016.09.039

REIS, A. *et al.* Nucleação: concepção biocêntrica para a restauração ecológica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 509-519, 2014.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; TRES, D. R. Nucleation in tropical ecological restoration. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v. 67, p. 244-250, 2010.

RIBEIRO, R. A., *et al.* Topsoil application during the rehabilitation of a manganese tailing dam increases plant taxonomic, phylogenetic and functional diversity. **Journal of Environmental Management**. v. 227, n. 1, p. 386-394, 2018.

RINELLA, M. *et al.* Control effort exacerbates invasive-species problem. **Ecological Applications**. Washington, v. 19, n.1, p. 155-162, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 15434 de 09 de janeiro de 2020. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020.

RODRIGUES, E. **Ecologia da restauração**. 1. ed. Londrina: Planta, 2013. 299 p.

RODRIGUES, R. R. *et al.* On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological conservation**. Londres, v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

ROESCH, L. F., *et al.* The Brazilian Pampa: A fragile biome. **Diversity**. Basel, v.1, n. 2, p. 182–198, 2009. 10.3390/d1020182

ROSENFIELD, M. F.; MÜLLER, Sandra Cristina. Ecologia funcional como ferramenta para planejar e monitorar a restauração ecológica de ecossistemas. **Oecologia Australis**, São Carlos, v. 24, n. 3, p. 550-565, 2020. 10.4257/oeco.2020.2403.02.

ROVEDDER, A. P. Bioma Pampa: relações solo-vegetação e experiências de restauração. *In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA & ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS MG, BA e ES. 64 & 33. 2013, Belo Horizonte-MG. Anais[...]. Belo Horizonte: Sociedade Botânica do Brasil, 2015.* 220p.

ROVEDDER, A. P. *et al.* Potencial de regeneração natural da vegetação no Pampa. Potencial da regeneração natural da vegetação no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 2-9, 2017.

ROVEDDER, A. P. M. ELTZ, F. L. F. Desenvolvimento do *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus tereticornis* consorciado com plantas de cobertura, em solos degradados por arenização. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 38, p. 84-89, 2008.

ROVEDDER, A. P. M. *et al.* Água, alimento e energia: práticas testadas pelo Programa Conexus Bioma Pampa. Curitiba: CRV: 2021. 60 p.

ROVEDDER, A. P.; ELTZ, F. L. Revegetação com plantas de cobertura em solos arenizados sob erosão eólica no Rio Grande do Sul. **Rev Bras Cienc Solo**. Viçosa, v. 32, n. 3, p. 15-321. 2008. 10.1590/S0100-06832008000100029

SAMPAIO, A. B. *et al.* Mercado de Sementes e Restauração: provendo serviços ambientais e biodiversidade. Relatório. [s.l.]: Rede de Sementes do Cerrado, 2021.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA). Parque Estadual do Espinilho, Brasília, 2017. Disponível em: sema.rs.gov.br/parque-estadual-do-espinilho. Acesso em: out. 2024

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO SUL (SEMA). Restaurando ecossistemas: guia prático de manejo adaptativo. Porto Alegre, RS: SEMA, 2023. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202312/07143243-pub-restauracaoecossistemas-05dez23-a5-web-1.pdf>. Acesso em: nov. 2024.

SILVA, L. M. *et al.* Indicadores ecológicos para monitoramento da restauração ecológica no bioma Pampa. **Embrapa Clima Temperado**, 2022. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1151433/1/Silva-et-al-2022.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

SILVA, M. P. *et al.* Efeito de poleiros artificiais e a avifauna envolvida na restauração ecológica de área minerada no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 4 p. e70924, 2023.

SILVA, R. L. *et al.* Agrobiodiversidade em quintais agroflorestais urbanos de três municípios da região sul do Amazonas, Brasil. **Caderno de Agroecologia**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018.

SILVEIRA, F. F. Flora Campestre, Laboratório de Estudos em Vegetação Campestre - UFRGS, 2020. [s.l.]. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/floracampestre/campo-com-butia/>. Acesso em: 28 out. 2024.

SOARES, K. P.; LONGHI, S. J.; WITECK-NETO, L.; ASSIS, L. C. Palmeiras (Arecaceae) no Rio Grande do Sul. **Rodriguésia** [s.l.], v. 65, n. 1, p. 113-139, 2014.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION. The primer on ecological restoration. Society for Ecological Restoration International. **Science and Policy Working Group.** [s.l], 2004. Disponível em: <https://www.ser.org/>. Acesso em: out. 2024.

STAUDE, I. *et al.* Local biodiversity erosion in south Brazilian grasslands under moderate levels of landscape habitat loss. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n.3, p. 1241-1251, 2017.

STEIL, L.; BORDIN, J.; GONZATTI, F. Samambaias e licófitas de um mosaico vegetacional do bioma Pampa, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Hoehnea**. v. 51, p. e842023.10.1590/2236-8906e842023.

SUDING, K. Toward an era of restoration in ecology: successes, failures and opportunities ahead. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. v. 42, p. 465-487, 2011. 10.1146/annurev-ecolysys-102710-145115.

SUZUKI LEAS, P. F.; OLIVEIRAR, B; ROVEDDER, A.P.M. Challenges in the management of environmentally fragile sandy soils in southern Brazil. **Soil Syst.** v.7, n. 1, p. 9, 2023. 10.3390/soilsystems7010009

TEIXEIRA, P. C. *et al.* Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017, 574p.

THOMAS, P. A. *et al.* Controlling the invader *Urochloa decumbens*: Subsidies for ecological restoration in subtropical Campos grassland. **Applied Vegetation Science**. [s.l], v. 22, n. 1, p. 96-104, 2019.

THOMAS, P. A. *et al.* The potential of hay for graminoid introduction in the restoration of subtropical grasslands: Results from a greenhouse experiment. **Flora**. v. 308, p. 152398, 2023.

THOMAS, P. A.; OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C. Restoration of abandoned subtropical highland grasslands in Brazil: mowing produces fast effects, but hay transfer does not. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2019.

TOMAZI, A. L.; CASTELLANI, T. T. Artificial perches and solarization for forest restoration: assessment of their value. **Tropical Conservation Science**, v. 9, n. 2, p. 809-831, 2016.

TÖRÖK, Péter *et al.* Grassland restoration on former croplands in Europe: an assessment of applicability of techniques and costs. **Biodiversity and conservation**, [s.l] v. 20, p. 2311-2332, 2011.

TOSO, L. D. *et al.* Fauna associated with brushwood transposition in a mining area in the South of Brazil. **Floresta e Ambiente**. [s.l] v. 27, n. 3, p. e20180206, 2020.

TOZER, M.; MACKENZIE, B.; SIMPSON, Christopher. An application of plant functional types for predicting restoration outcomes. **Restoration Ecology**. [s.l], v. 20, n. 6, p. 730-739, 2012.

TREVISAN, A. C. D. *et al.* Análise da biodiversidade vegetal de pomares no Bioma Pampa. **Research, Society and Development**. [s.l], v. 10, n. 7, p. e17810716420-e17810716420, 2021.

URRUTH, L.; GRABHER, C.; BASSI, J. Guia rápido para a elaboração de projetos de restauração de ecossistemas florestais. Porto Alegre: Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura, 2023. 56 p. 978-65-997184-6-5.

VELDMAN, Joseph W. *et al.* Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. **Frontiers in Ecology and the Environment.** [s.l.], v. 13, n. 3, p. 154-162, 2015.

VÉLEZ-MARTIN, E. *et al.* Conversão e fragmentação. In: PILLAR, V.; LANGE, O. (orgs.). **Os Campos do Sul.** Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 123-132

VERGÍLIO, P. C. B. *et al.* Effect of brushwood transposition on the leaf litter arthropod fauna in a cerrado area. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1158-1163, 2013. 0.1590/S0100-06832013000500005.

VERRASTRO, L.; BORGES-MARTINS, M. Biodiversidade de répteis. In: PILLAR, V.; LANGE, Omara (orgs.). **Os Campos do Sul.** Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 81-90.

VIEIRA, C. L. *et al.* Emprego do capim vetiver para o controle da erosão e cobertura do solo nos areais do sudoeste do estado do RS, Brasil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research,** [s.l.], v. 1, n. 2, p. 338-351, 2018.

VIEIRA, M. S. *et al.* The seed bank of subtropical grasslands with contrasting land-use history in southern Brazil. **Acta Botanica Brasilica.** São Paulo, v. 29, n. 4, p. 543-552, 2015.

WAGNER, M. *et al.* Green hay transfer for grassland restoration: species capture and establishment. **Restoration Ecology.** Reino Unido, v. 29, p. e13259, 2021.

WATZLAWICK, L. F. *et al.* Aspectos da vegetação arbórea em fragmento de Estepe Estacional Savanícola, Barra do Quaraí-RS, Brasil. **Ciência Florestal.** Santa Maria, v. 24, n.1, p. 23-36, 2014. 10.5902/1980509813320

WATZLAWICK, L. F. *et al.* Caracterização e dinâmica da vegetação de uma Savana Estépica Parque, Barra do Quaraí, RS, Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira.** Colombo, v. 30, n. 64, p. 363, 2010. 10.4336/2010.pfb.30.64.363.

YARRANTON, G. A.; MORRISON, Robert G. Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. **The Journal of Ecology.** Londres, v. 62, n. 2, p. 417-428, 1974.

ZAHAWI, R. *et al.* Testing applied nucleation as a strategy to facilitate tropical forest recovery. **Journal of Applied Ecology.** Londres, v. 50, n. 1, p. 88-96, 2013.

ZHANG, Z. Q. *et al.* Soil seed bank as an input of seed source in revegetation of lead/zinc mine tailings. **Restoration Ecology.** [s.l.], v. 9, n. 4, p. 378-385, 2001. 10.1046/j.1526-100X.2001.94007.x.