



**Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia Ambiental**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

JÉSICA BERNARDA BRUNETTO

**ANÁLISE DO ESTÁGIO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM
LOCAIS QUE FORAM DESENVOLVIDOS PRADS NA USINA HIDRELÉTRICA
MACHADINHO**

ERECHIM

2025

JÉSICA BERNARDA BRUNETTO

**ANÁLISE DO ESTÁGIO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM
LOCAIS QUE FORAM DESENVOLVIDOS PRADS NA USINA HIDRELÉTRICA
MACHADINHO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação
em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade
Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, para
obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia
Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Paulo Afonso Hartmann

ERECHIM

2025

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Brunetto, J sica Bernarda

ANÁLISE DO ESTÁGIO DE RECUPERA O DE ÁREAS
DEGRADADAS EM LOCAIS QUE FORAM DESENVOLVIDOS PRADS NA
USINA HIDRELE TRICA MACHADINHO / J sica Bernarda
Brunetto. -- 2025.
78 f.:il.

Orientador: Dr Paulo Afonso Hartmann

Disserta o (Mestrado) - Universidade Federal da
Fronteira Sul, Programa de Pós-Gradua o em Ciência e
Tecnologia Ambiental, Erechim,RS, 2025.

1. Mata Atlântica. 2. Paisagem. 3. Recupera o de
Solo. 4. Restaur o. 5. Sucessão ecológica. I.
Hartmann, Paulo Afonso, orient. II. Universidade Federal
da Fronteira Sul. III. Título.

JÉSSICA BERNARDA BRUNETTO

**ANÁLISE DO ESTÁGIO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS EM
LOCAIS QUE FORAM DESENVOLVIDOS PRADS NA USINA HIDRELÉTRICA
MACHADINHO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em DD/MM/AAAA.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Afonso Hartmann – UFFS
Orientador

Prof. Dr. Geraldo Ceni Coelho
Avaliador

Profa. Dra. Manuela Gazzoni dos Passos
Avaliadora

Dedico este trabalho ao meu amado filho
Bernardo Daniel Brunetto Edel.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a meu Filho Bernardo Daniel Brunetto Edel ao meu esposo Éder Daniel Edel e a meus pais Darci e Marta Brunetto.

A UFFS Campus Erechim/RS, a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, e em especial ao meu orientador Professor Dr. Paulo Afonso Hartmann.

A ENGIE, ao Consórcio Machadinho e em especial ao Sr. Sérgio Luiz de Souza.

A todos os colegas de trabalho que fiz ao longo do tempo na empresa GSA, em especial aos colegas Engenheiros Florestais Lamiisson dos Santos e Fabiano Timóteo Scariot, que auxiliaram e foram responsáveis pela coleta e análise dos dados a campo.

Aos colegas e amigos da UFFS em especial ao Nycollas Vianna e Angela Dalagnol os quais me auxiliaram neste trabalho.

Gratidão a todos.

RESUMO

Os Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) desempenham um papel fundamental na gestão ambiental e na restauração de áreas impactadas por atividades antrópicas. Dentre os empreendimentos que mais alteram a cobertura do solo e a dinâmica da paisagem, as usinas hidrelétricas se destacam, gerando impactos significativos sobre os ecossistemas locais. No entanto, parte desses impactos podem ser mitigados por meio dos PRADs, que incluem estratégias como a recomposição do solo, o plantio de mudas nativas e a promoção da regeneração natural. Este estudo teve como objetivo avaliar o estágio de recuperação das áreas degradadas da Usina Hidrelétrica de Machadinho, localizada na Bacia do Rio Uruguai. Para isso, foram analisados indicadores de restauração para área, utilizando como referência os parâmetros e a metodologia estabelecidos pela Resolução SMA 32/2014 e pela Portaria CBRN 01/2015 do Estado de São Paulo, além de indicadores complementares. A avaliação foi realizada por meio de levantamentos florísticos e fitossociológicos, permitindo um diagnóstico detalhado do processo de recuperação ecológica. Os resultados indicaram uma tendência positiva na regeneração da cobertura vegetal ao longo do tempo. A média de cobertura do solo por vegetação nativa ultrapassou 80%, com 64% das parcelas analisadas sendo classificadas em nível adequado de recuperação. Houve aumento na densidade de indivíduos nativos regenerantes e no número de espécies nativas regenerantes. Mais de 90% das parcelas avaliadas (94%) estavam em estágio sucessional de regeneração médio ou avançado. Esses dados sugerem um avanço progressivo no restabelecimento ambiental, impulsionado tanto pelas dinâmicas naturais de sucessão ecológica quanto pelas intervenções de restauração implementadas.

Palavras-chave: Mata Atlântica; Paisagem; Recuperação de Solo; Restauração; Sucessão ecológica.

ABSTRACT

Degraded Area Recovery Plans (PRADs) play a fundamental role in environmental management and in the restoration of areas impacted by human activities. Among the projects that most alter land cover and landscape dynamics, hydroelectric plants stand out, generating significant impacts on local ecosystems. However, some of these impacts can be mitigated through PRADs, which include strategies such as soil recomposition, planting native seedlings and promoting natural regeneration. This study aimed to evaluate the recovery stage of degraded areas of the Machadinho Hydroelectric Power Plant, located in the Uruguay River Basin. To this end, were analyzed ecological indicators of environmental recovery, using as reference the parameters and methodology established by Resolution SMA 32/2014 and Ordinance CBRN 01/2015 of the State of São Paulo, in addition to complementary indicators. The evaluation was carried out through floristic and phytosociological surveys, allowing a detailed diagnosis of the ecological recovery process. The results indicated a positive trend in the regeneration of vegetation cover over time. The average soil coverage by native vegetation exceeded 80%, with 64% of the analyzed plots being classified as having an adequate level of recovery. There was an increase in the density of regenerating native individuals in the number of regenerating native species. More than 90% of the evaluated plots (94%) were in a medium or advanced successional stage of regeneration. The data suggest a progressive advance in environmental reestablishment, driven both by the natural dynamics of ecological succession and by the restoration interventions implemented.

Keywords: Atlantic Forest; Landscape; Soil Recovery; Ecological Restoration; Ecological succession.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização do Rio Uruguai e da Usina Hidrelétrica Machadinho, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.	23
Figura 2 - Arranjo espacial das mudas pioneiras (P) e secundárias iniciais (I) para plantios em linha com espaçamento de 4m x 2m, utilizadas para a recuperação das áreas de recuperação degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), no sul do Brasil.	27
Figura 3 - Arranjo espacial das mudas pioneiras (P) e secundárias iniciais (I) para plantios em linha com espaçamento de 4m x 4m, utilizadas para a recuperação das áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), no sul do Brasil.....	27
Figura 4 - Arranjo espacial das mudas pioneiras (P) e secundárias iniciais (I) para plantios em linha com espaçamento de 10m x 10m, utilizadas para a recuperação das áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), no sul do Brasil.....	28
Figura 5 - Mapa de localização das parcelas na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.....	30
Figura 6 - Modelo de medição da parcela amostral utilizado na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), no sul do Brasil.	31
Figura 7 – Porcentagem de cobertura do solo com vegetação nativa com 3 e 10 anos de regeneração na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.	33
Figura 8 - Número de espécies identificadas por famílias na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.....	34
Figura 9 - Densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha) aos 3 e 10 anos de regeneração na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.	39

Figura 10 - Número de espécies nativas regenerantes aos 3 e 10 anos de regeneração na área de recuperação de áreas degradadas por parcelas para 10 anos e por área para 3 anos na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.	40
Figura 11 - Número de espécies por famílias para as regenerantes, na área de recuperação de áreas degradadas da Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.	44
Figura 12. Trecho junto a jusante do barramento, na margem direita com áreas abertas cobertas por gramíneas e presença de alguns exemplares de <i>Pinus sp.</i> A área apresenta indivíduos regenerantes esparsos e nenhum foco de processo erosivo.	60
Figura 13. Trecho junto a jusante do barramento, na margem direita. A área apresenta vegetação arbórea e uma pequena área com solo rochoso sem processo erosivo.	60
Figura 14. Trecho junto a jusante do barramento, na margem direita, próximo ao Rio Uruguai.	61
Figura 15. Trecho da área com cobertura florestal contínua ao lado da RS 135.....	61
Figura 16. Foto aérea mostrando a cobertura florestal contínua e cercamento da APP ao longo da RS 135 e estradas de acesso.....	62
Figura 17. Foto aérea mostrando a abertura arbórea com presença de gramíneas e espécies regenerantes na margem direita da RS 135.	62
Figura 18. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal na margem esquerda da RS 135, próximo ao dique 02.....	63
Figura 19. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal na margem esquerda da RS 135.	63
Figura 20. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal próximo a repetidora.	64
Figura 21. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal próximo a repetidora e ao heliponto. ...	64
Figura 22. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal próximo a repetidora.	65
Figura 23. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal na margem esquerda demonstrando a cobertura arbórea na área.....	65
Figura 24. Parcela em área onde foi realizado o plantio de mudas. Observa-se no pontilhado amarelo o efeito do sombreamento, eliminando gradativamente gramíneas exóticas.	66
Figura 25. Parcela com área aberta e alguns indivíduos regenerantes (setas) já emergindo acima do estrato herbáceo.....	66
Figura 26. Parcela com registro de pequena clareira onde as gramíneas estão sendo eliminadas gradativamente pelo sombreamento proporcionado pelos indivíduos arbóreo em desenvolvimento.....	67

Figura 27. Parcela onde o dossel florestal não está completamente fechado permitindo a entrada de luz no interior.	67
Figura 28. Parcela com cobertura de copa estabelecida, em estágio avançado de regeneração. Presença de cipós lenhosos e árvores com mais de 10 m de altura.	68
Figura 29. Presença de exemplares de <i>Araucaria angustifolia</i> se desenvolvendo na área.	68
Figura 30. Interior de parcela onde há cobertura de copa e sombreamento em toda área. Nota-se a decomposição da serapilheira sem a presença de gramíneas exóticas.	69
Figura 31. Parcela com grande número de indivíduos regenerantes	69
Figura 32. Regeneração natural de Vacum (<i>Allophylus edulis</i>).	70
Figura 33. Regeneração natural de Camboatá-vermelho (<i>Cupania vernalis</i>).	70
Figura 34. Avaliação de indicadores ecológicos sendo realizada no interior de parcela.	71
Figura 35. Estrato herbáceo e arbustivo com presença de <i>Pteridófitas</i> e piperáceas dentro da parcela- amostrada.	71
Figura 36. <i>Bromeliaceae</i> do gênero <i>Tillandsia</i> encontradas na área de estudo.	72

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Espécies de leguminosas herbáceas para as sementeiras de cobertura verde utilizadas para a recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.....	26
Quadro 2 - Lista das espécies de árvores empregadas na primeira fase de plantio, utilizadas para a recuperação das áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.	26
Quadro 3 - Parâmetros fitossociológicos por espécie (estrutura horizontal), na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.....	35
Quadro 4 - Médias de Parâmetros fitossociológicos por espécie (estrutura vertical), na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.	37
Quadro 5 - Espécies regenerantes e suas respectivas famílias, na área de recuperação de áreas degradadas da Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil. (*) espécies exóticas	41
Quadro 6 - Cobertura do solo com vegetação nativa, Densidade de indivíduos nativos regenerantes, Número de espécies nativas regenerantes e Estágio sucessional de regeneração na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil. Valores intermediários de referência de 03 e 10 anos conforme Resolução 32/2014 do Estado de São Paulo: Vermelho (Crítico), Azul (Mínimo), Verde (Adequado).	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APPS	ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE
CAP	CIRCUNFERÊNCIA À ALTURA DO PEITO
DA	DOMINÂNCIA ABSOLUTA
DAPM	DIÂMTERO MÉDIO À ALTURA DO PEITO
DOA	DOMINÂNCIA ABSOLUTA
DOR	DOMINÂNCIA RELATIVA
DR	DOMINÂNCIA RELATIVA
FA	FREQUÊNCIA ABSOLUTA
FR	FREQUÊNCIA RELATIVA
G	ÁREA BASAL
H	ALTURA
HM	ALTURA MÉDIA
IND/HA	INDIVÍDUOS POR HECTARE
IVI	VALOR DE IMPORTÂNCIA
PRADS	PLANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS
UHES	USINAS HIDRELÉTRICAS
VC	VALOR DE COBERTURA
VT	VALOR TOTAL
VTOT	VOLUME TOTAL

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3	MÉTODOS	22
3.1	ÁREA DE ESTUDO	22
3.2	INDICADORES ECOLÓGICOS AVALIADOS	23
3.3	COLETA DE DADOS	24
3.4	COLETA DE DADOS PARA OS ANOS DE 2009 A 2011	25
3.5	COLETA DE DADOS PARA O ANO DE 2022	29
3.6	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	31
4	RESULTADOS.....	33
4.1	COBERTURA DO SOLO COM VEGETAÇÃO NATIVA.....	33
4.2	DENSIDADE DE INDIVÍDUOS NATIVOS REGENERANTES	39
4.3	NÚMERO DE ESPÉCIES NATIVAS REGENERANTES	39
4.4	ESTÁGIO SUCESSIONAL DE REGENERAÇÃO.....	44
5	DISCUSSÃO	48
	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICE A.....	60
	ANEXO A.....	73

APRESENTAÇÃO

O presente estudo intitulado “Análise do estágio de recuperação de áreas degradadas em locais que foram desenvolvidos PRADS na Usina Hidrelétrica Machadinho” foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), nível de mestrado, da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim. O PPGCTA faz parte da área 49 da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Ciências Ambientais (CiAmb), que tem por objetivo produzir e discutir conhecimentos de forma interdisciplinar. No PPGCTA o projeto está associado a área de concentração “Produção Sustentável e Conservação Ambiental” e a linha de pesquisa “Conservação do Recursos Naturais”. Esta dissertação está vinculada ao Laboratório de Ecologia e Conservação e ao Grupo de Pesquisa Biodiversidade e Conservação da Fauna – GPCON. Os projetos desenvolvidos no grupo de pesquisa devem proporcionar o acúmulo de dados para avaliação e análise das relações resultantes da interface entre ambiente e desenvolvimento. Os estudos englobam teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e de iniciação científica.

Esta dissertação teve por objetivo avaliar o estágio de recuperação em locais que foram desenvolvidos Planos de Recuperação de Áreas Degradadas (PRADs) na Usina Hidrelétrica Machadinho. Para tal, foi mensurado e comparado o estágio de recuperação dessas áreas em dois períodos. Após uma década de regeneração, os dados indicam que a vegetação nativa apresenta um índice satisfatório de recuperação, demonstrando a resiliência ecológica da área. A combinação entre a sucessão ecológica natural e intervenções estratégicas das ações realizadas pode consolidar um ambiente mais resiliente, assegurando que a área restaurada alcance condições ambientais compatíveis com a vegetação original ao longo dos próximos anos. Entender como ocorrem os processos de recuperação das áreas degradadas tem importância acadêmica, social e ambiental, especialmente considerando o grande número de UHEs construídas no Brasil. Além disto, a recuperação e restauração da vegetação nativa está intimamente associada ao Objetivos de Desenvolvidos Sustentáveis (ODS), notadamente com os ODS 13 “Ação contra a mudança global do clima” e 15 “Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade”.

1 INTRODUÇÃO

Os Projetos de Recuperação de Área Degradada (PRADs), desempenham um papel importante na gestão ambiental e na restauração de áreas impactadas negativamente por empreendimentos antrópicos. A legislação ambiental brasileira, em particular a Lei Federal nº 12.651/2012, que dispõe sobre proteção da vegetação nativa, estabelece a obrigatoriedade de elaborar e implementar PRADs em casos de degradação ambiental resultante de atividades agrossilvopastoris, mineração, infraestrutura e outras atividades que causem impactos significativos ao ambiente (Brasil, 2012). Os PRADs devem detalhar as ações e medidas a serem adotadas para a recuperação dessas áreas, incluindo a restauração da vegetação, o controle da erosão, a preservação dos recursos hídricos, entre outros aspectos. Assim, os PRADs desempenham um papel fundamental na mitigação dos impactos ambientais e na promoção da sustentabilidade, contribuindo para o cumprimento da legislação ambiental vigente (Rech *et al.*, 2015).

As usinas hidrelétricas (UHEs) estão entre os empreendimentos que alteram mais fortemente a cobertura do solo em uma determinada região, impactando profundamente todos os elementos da paisagem (Rahman *et al.*, 2022). Uma usina hidrelétrica é um conjunto de estruturas e equipamentos projetados para gerar energia elétrica a partir do potencial hidráulico de um rio (Killingtveit, 2014). No sistema elétrico brasileiro, a geração hidrelétrica desempenha um papel preponderante, contribuindo com aproximadamente 80% da produção de energia, conforme dados do Banco de Informações de Geração da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2023). O restante da energia é gerado por usinas térmicas e fontes de energia alternativas, como a eólica e a biomassa (ANEEL, 2023).

A construção de UHEs acarreta uma série de impactos, incluindo a inundação de vastas áreas originalmente cobertas por vegetação nativa, terras de cultivo, pastagens, ou por outros usos antrópicos (Pinto; Oliveira, 2013; Kuriqi *et al.*, 2021). Os canteiros de obras das UHEs e seu entorno, localizados nas áreas de construção das usinas, são utilizados como "áreas de empréstimo". Essas áreas de empréstimo são locais de onde são retirados materiais e volumes de solo necessários para a execução de terraplanagens e fundações de barragens, servindo como locais de apoio para as construções.

A construção de usinas hidrelétricas envolve obras de grande porte que podem causar impactos ambientais significativos. Esses impactos incluem a degradação de áreas naturais devido à instalação de canteiros de obras, que resultam na perda de vegetação nativa, alteração de habitats e aumento da poluição hídrica. Além disso, a movimentação de terra e a construção

de infraestrutura podem levar ao assoreamento dos corpos d'água e à deterioração da qualidade ambiental local (Origo, 2022). Esses canteiros de obras e seus entornos são considerados áreas fortemente degradadas, uma vez que os horizontes superficiais do solo podem ser removidos. Estas áreas, quando abandonadas, iniciam processos de regeneração natural, que podem ser lentos e pouco eficazes para recuperação, devido à falta de intervenções adequadas (Bechara, 2006).

A estrutura e a dinâmica das áreas degradadas podem ser afetadas por diversos fatores, incluindo histórico de perturbações, tamanho, forma, tipo de vizinhança e grau de isolamento da área (Bechara, 2006; Bilintoh; 2022). A restauração de uma área requer a adoção de estratégias de manejo que se ajustem ao tipo e à intensidade da perturbação, especialmente quando áreas sofreram perturbações extensas, tornando-se dependentes de intervenções humanas (Carpanezzi; Nicodemo, 2009; Bahia *et al.*, 2023). Devido à necessidade de recuperar o habitat florestal degradado, o objetivo da restauração florestal é facilitar a regeneração de vegetação nativa para criar uma estrutura florestal. Isso requer o gerenciamento da regeneração florestal nativa, controlando ou eliminando a regeneração não-florestal ou exótica (Shono; Cadawe; Durst, 2007).

A regeneração natural é um processo ecológico que ocorre em todos os estágios da sucessão secundária. Esta estratégia pode ser aplicada ao reestabelecimento, tanto para indivíduos quanto para populações, espécies, pequenas áreas na floresta, comunidades ou mesmo ecossistemas inteiros (Chazdon, 2014). Duas principais estratégias de regeneração, e suas variações, são amplamente utilizadas: regeneração natural sem manejo e regeneração natural com manejo.

A regeneração natural sem manejo envolve permitir que os processos naturais ocorram sem fortes intervenções antrópicas, frequentemente limitadas ao isolamento da área por meio de cercas ou criando aceiros, o que permite que a vegetação retorne de forma autônoma. Essa técnica se baseia na possibilidade de que áreas degradadas ou perturbadas possam se recuperar naturalmente por meio de processos sucessionais autóctones, contanto que o local esteja acessível para a fauna dispersora e contenha fragmentos e fontes de propágulos próximas o suficiente para auxiliar na sucessão (Rech *et al.*, 2015).

Na regeneração natural sem manejo não são empregadas práticas de plantio ou outras intervenções silviculturais. Pela baixa necessidade de intervenção é o método mais econômico de restauração, uma vez que não requer a produção ou aquisição de mudas, insumos, mão de obra intensiva e manutenção constante (Reis; Kageyama, 2008). Para que ocorra um processo de regeneração natural eficaz em uma área, diversas estratégias precisam ser adotadas, como o

cercamento da área para evitar a entrada de pessoas e animais (Martins, 2013; Lima *et al.*, 2016). Além disso, é fundamental que essas áreas estejam próximas a fragmentos florestais, facilitando a dispersão de sementes e a movimentação da fauna (Brancalion *et al.*, 2012).

Nas florestas já estabelecidas, a regeneração natural geralmente ocorre no sub-bosque e no sub-dossel, enquanto em áreas desmatadas, degradadas ou abandonadas, ela frequentemente ocorre a pleno sol ou em áreas parcialmente sombreadas, onde ainda não existe um dossel florestal (Chazdon, 2014). Múltiplos fatores influenciam esse processo de regeneração natural, incluindo a temperatura do solo, a concentração de CO₂, a disponibilidade e dinâmica de nutrientes e a presença de micro-organismos no solo (Guerra *et al.*, 2020). Devido a esses diversos fatores, a regeneração natural e, conseqüentemente, a composição da vegetação em uma paisagem podem se apresentar como um mosaico de manchas dominadas por espécies que variam em identidade, altura, estrutura, fisiologia e necessidades nutricionais, entre outros aspectos (Feng *et al.*, 2023).

A regeneração natural com manejo implica na implementação de ações direcionadas para estimular e acelerar os processos de regeneração natural. Isso pode incluir o controle de plantas concorrentes, que pode ser realizado de forma química ou mecânica, abrangendo toda a área ou apenas sua periferia, além do controle de formigas cortadeiras, adubação, plantio de espécies enriquecedoras e o aumento da densidade e da nucleação da vegetação existente (Smith, 2008). O plantio de mudas é uma técnica amplamente difundida e uma das mais comumente utilizada em PRADs, devido a sua capacidade de promover resultados rápidos no restabelecimento da cobertura florestal da área e no processo de sucessão, em comparação com outras técnicas de restauração ecológica (Almeida, 2016). Essa técnica é recomendada em ambientes onde a capacidade de autorregeneração (resiliência) tenha sido comprometida (Marcuzzo; Araújo; Gasparin, 2015). Apesar de suas vantagens substanciais, o plantio de mudas enfrenta alguns desafios, como os custos elevados associados à sua implementação (Aronson; Durigan; Brancalion, 2011).

O plantio de mudas revela-se altamente eficaz, especialmente quando ocorre a escolha adequada das espécies, visando à restauração a curto prazo. Isso implica selecionar plantas com características que lhes permitam prosperar em condições adversas. Além disso, são priorizadas espécies com a capacidade de atrair a fauna responsável pela dispersão das sementes, optando por espécies frutíferas que influenciam outras interações, além de apresentarem rápido crescimento e a capacidade de formar uma camada de liteira significativa (Marcuzzo *et al.*, 2014).

A seleção das espécies apropriadas para o plantio deve ser baseada nas espécies que ocorrem naturalmente na região, uma vez que as características do ambiente têm influência direta no desenvolvimento das plantas. Espécies nativas podem contar com seus polinizadores, dispersores de sementes e predadores naturais nesse ambiente, facilitando assim a dispersão e a reprodução (Martins, 2007). Para alcançar o sucesso na recuperação de áreas degradadas, é fundamental considerar a adaptação das plantas e a conservação da biodiversidade. Geralmente os ambientes degradados e perturbados são fragmentados, portanto, a promoção da conexão entre os fragmentos desempenha um papel crucial no processo de restauração ecológica (Gaviria; Montealegre, 2010). Assim, as interações bióticas desempenham um papel relevante ao estimular a sucessão em ambientes em processo de restauração, criando condições para que espécies endêmicas e nativas ocupem áreas anteriormente degradadas.

Diversas técnicas são empregadas no plantio de mudas para a recuperação de áreas degradadas, sendo o "Núcleo de Anderson" uma abordagem comum. Essa técnica consiste no plantio de grupos de mudas nativas em arranjos adensados, geralmente de cinco a nove mudas por núcleo, com espaçamento de 0,5 m a 1 m entre elas. O objetivo é criar pequenos núcleos de vegetação que facilitem a regeneração natural e a sucessão ecológica da área degradada. O plantio de mudas em grupos de Anderson favorece a chegada de outras espécies, preenchendo o núcleo e contribuindo para a restauração ecológica (Miranda Neto, 2010).

A nucleação, também conhecida como "grupos de Anderson (1953)", é uma técnica utilizada na recuperação de áreas degradadas. Ela consiste no plantio de mudas de árvores nativas organizadas em pequenos agrupamentos, em vez de distribuí-las uniformemente por toda a área. Cada grupo é formado por mudas de diferentes espécies, geralmente entre 5 e 9 plantadas com espaçamento de 0,5 a 1 metro entre si, enquanto os grupos são posicionados com distâncias maiores entre eles. Compreende também outras abordagens, como a semeadura direta, a transposição do banco de sementes do solo, a captação de chuva de sementes e a utilização de poleiros naturais e artificiais (Ganade, 2001; Martins, 2009). Além de seu custo acessível, algumas técnicas de nucleação oferecem a vantagem de promover a sucessão primária em áreas degradadas, estimulando uma elevada densidade de sementes de diversas espécies nativas e a introdução de estruturas reprodutivas, como raízes com capacidade de regeneração (Martins, 2009).

Em alguns casos as atividades humanas podem dificultar o estabelecimento das comunidades florestais e não se observam diferenças significativas entre o plantio de mudas nativas e a regeneração natural. Isso evidencia que a adoção da técnica de regeneração

espontânea, de baixo custo, pode alcançar resultados semelhantes ao plantio de mudas, que é atualmente o método mais utilizado no Brasil (Inhamuns *et al.*, 2021).

A utilização de espécies arbóreas diversificadas oferece diversas vantagens para áreas degradadas, pois acarreta vários benefícios, como, a melhoria da qualidade dos solos devido ao aporte de matéria orgânica e da redistribuição dos nutrientes (Pereira; Rodrigues, 2012). Além disto, a avaliação e o monitoramento são práticas essenciais para analisar a eficácia dos modelos e das espécies empregadas, além de fornecer dados valiosos para futuras pesquisas em restauração ecológica em diferentes localidades (Campos; Martins, 2016).

No sul do Brasil, na divisa entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no Rio Uruguai, está situada a Usina Hidrelétrica Machadinho, que entrou em operação em fevereiro de 2002. A obra é uma importante instalação de geração de energia, operada pelo Consórcio Machadinho S.A. A UHE Machadinho tem uma capacidade instalada de aproximadamente 1.140 megawatts (MW), o que a torna uma das maiores usinas hidrelétricas do Brasil, em termos de produção energética (Consórcio Machadinho, 2021).

Nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, inexistem metodologia específica para acompanhar e avaliar o grau de recuperação ambiental em áreas degradadas onde foram aplicadas técnicas de recuperação. As técnicas mais comuns empregadas incluem a contagem de indivíduos, a medição da altura da vegetação e a avaliação da cobertura do dossel (Glufke, 1999). Para o monitoramento de áreas e o acompanhamento de projetos de restauração florestal, muitas vezes são adotados parâmetros e metodologias estabelecidos pela Resolução SMA 32/2014 (São Paulo, 2014) e pela Portaria CBRN 01/2015 do Estado de São Paulo (São Paulo, 2015). Esses parâmetros avaliam a estrutura da floresta, tanto horizontal quanto verticalmente, a cobertura do solo e a presença de espécies nativas em processo de regeneração, todos eles servindo como indicadores do progresso na restauração de áreas.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o estágio de recuperação de áreas degradadas em locais que foram desenvolvidos PRADs na Usina Hidrelétrica Machadinho. Entender como ocorrem os processos de recuperação das áreas degradadas tem relevância nos âmbitos acadêmico, social e ambiental, especialmente considerando o grande número de UHEs construídas no Brasil, com destaque para a bacia do Rio Uruguai. É importante reconhecer a necessidade e a importância dessas usinas para o crescimento econômico e o aproveitamento do potencial energético, ao mesmo tempo em que se reconhecem os impactos significativos que elas podem causar no meio ambiente e nas regiões onde são instaladas.

Além disto, a recuperação e restauração da vegetação nativa está intimamente associada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), notadamente com os ODS 13 “Ação

contra a mudança global do clima” e 15 “Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade” (ONU, 2024).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o estágio de recuperação de áreas degradadas em locais que foram desenvolvidos PRADs na Usina Hidrelétrica Machadinho.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o estágio de recuperação das áreas degradadas;
- Comparar o estágio de recuperação em dois períodos após a execução dos PRADs;
- Discutir quais fatores influenciaram no processo de restauração da área.

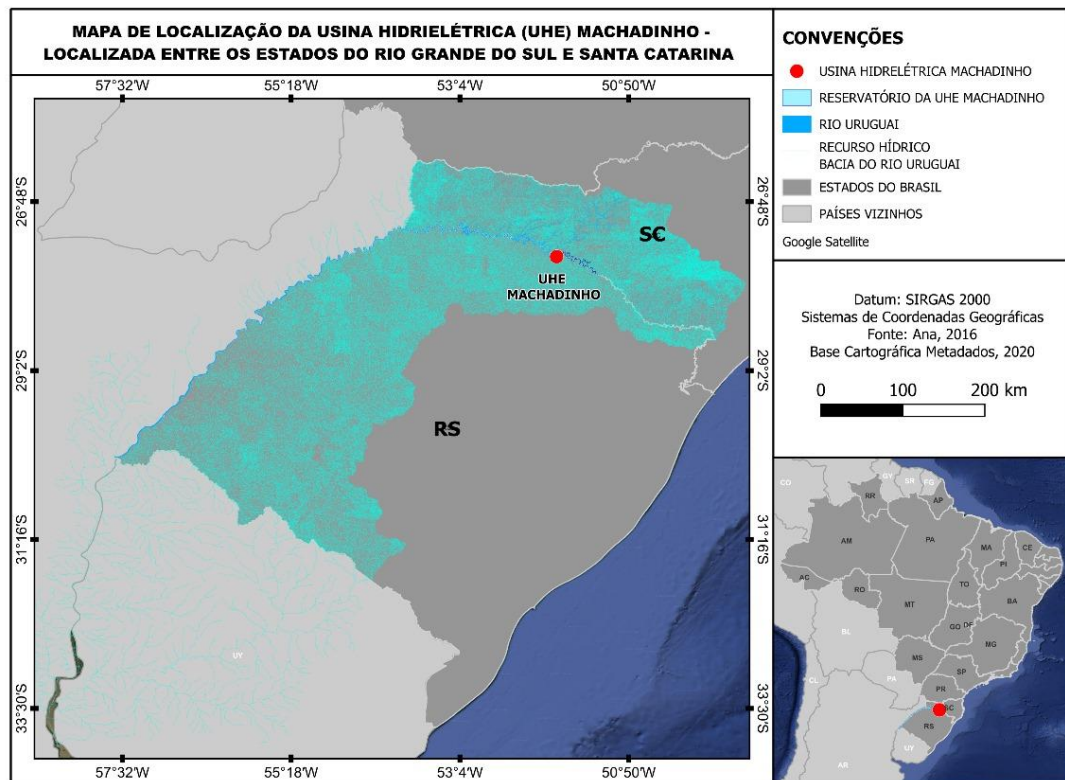
3 MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na área de recuperação de áreas degradadas da Usina Hidrelétrica Machadinho (UHE Machadinho), instalada na bacia do Rio Uruguai, entre os municípios de Piratuba no Estado de Santa Catarina e Machadinho, no Estado do Rio Grande do Sul. A UHE Machadinho está inserida no Bioma Mata Atlântica e paisagem na região apresenta características de duas formações florestais originais, a Floresta Ombrófila Mista (Floresta com Araucárias) e a Floresta Estacional Decidual (Floresta Subtropical do Alto Uruguai). A Floresta Ombrófila Mista ocorre em áreas de maior altitude, onde as condições ambientais, especialmente as temperaturas mais baixas, são determinantes para diversas espécies. A característica marcante desta formação é a presença de *Araucaria angustifolia* (pinheiro-brasileiro), a qual ocorre geralmente em áreas com altitudes acima de 500 metros (Klein, 1984). A Floresta Estacional Decidual, localizada principalmente nos vales do Rio Uruguai e seus afluentes, apresenta tipologias florestais características de uma divisão periódica da temperatura, com meses com temperaturas elevadas no verão e meses com temperaturas baixas no inverno (Leite; Klein, 1990).

O Rio Uruguai é um curso de água sul-americano que se forma pela junção dos rios Canoas e Pelotas, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), no sul do Brasil (Figura 1). A foz do Rio Uruguai é no Rio da Prata, na divisa entre o Uruguai e Argentina, sua extensão total é de 1.770 km. Seus principais afluentes são: na margem direita - Rio do Peixe, Chapecó, Peperi-Guaçu. Margem esquerda - Rio Camaquã, Forquilha, Apuaê, Passo Fundo, Rio da Várzea, Ijuí, Ibicuí, Quaraí, e Rio Negro.

Figura 1- Mapa de localização do Rio Uruguai e da Usina Hidrelétrica Machadinho, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.



Fonte: A autora, 2025.

3.2 INDICADORES ECOLÓGICOS AVALIADOS

Para a identificação e comparação do estágio de recuperação das áreas degradadas foram utilizados os parâmetros estabelecidos pela Resolução SMA 32/2014 (São Paulo, 2014) e pela Portaria CBRN 01/2015 do Estado de São Paulo (São Paulo, 2015). Estas normativas sugerem os seguintes indicadores ecológicos para avaliar o estágio de recomposição da área.

- Cobertura do solo com vegetação nativa.
- Densidade de indivíduos nativos regenerantes.
- Número de espécies nativas regenerantes.

Descrevemos abaixo as métricas de cada parâmetro.

Cobertura do solo com vegetação nativa: Porcentagem de solo coberto por espécies nativas arbóreas (conforme resolução SMA 32/2014). Obtida pela soma das medidas dos trechos da linha amostral cobertos por vegetação nativa, em metros, em relação ao comprimento

total da linha (25 m). A somatória desses trechos, em relação ao comprimento total da parcela, é usada para calcular a porcentagem (%) de cobertura na parcela.

Densidade de indivíduos nativos regenerantes: Quantidade de indivíduos nativos regenerantes de espécies lenhosas (arbustivas ou arbóreas) por hectare (conforme Resolução SMA 32/2014). São incluídos apenas os indivíduos com altura igual ou superior a 50 cm e com CAP menor que 15 cm ou inexistente ($H \geq 50$ cm e $CAP < 15$ cm), não sendo registrada a medida exata da altura de cada indivíduo amostrado. São contabilizados todos os exemplares lenhosos nativos presentes na parcela, e esse número é convertido para a densidade de indivíduos por hectare (ind./ha) ao dividir o total de indivíduos na parcela pela área da parcela em hectares.

Número de espécies nativas regenerantes: Quantidade total de indivíduos de espécies lenhosas (arbustivas ou arbóreas) regenerantes nativas encontrados nas parcelas (conforme Resolução SMA 32/2014). São contabilizados apenas os indivíduos regenerantes com altura igual ou superior a 50 cm e com CAP menor que 15 cm ou inexistente ($H \geq 50$ cm e $CAP < 15$ cm), sem registro da medida exata da altura de cada indivíduo amostrado.

Foi estimado também o **Estágio sucessional de regeneração**, com base na resolução Conama N^o33, de 7 de dezembro de 1994 (Brasil, 1994). Esta resolução define os indicadores de estágios sucessionais de regeneração da vegetação secundária a Mata Atlântica. São considerados para avaliação os seguintes indicadores: porte da vegetação, presença de epífitas e trepadeiras, presença e espessura da serrapilheira, diversidade biológica, presença de subosque e composição florística.

3.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados ocorreu de duas formas:

- 1) Dados dos anos de 2009 a 2011. Os valores dos parâmetros foram estimados por meio de informações disponíveis nos documentos fornecidos pela Usina Hidrelétrica de Machadinho, referente ao Projeto de Restauração Ecológica das Áreas do Antigo Canteiro de Obras da Usina Hidrelétrica Machadinho, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2009). Além disto foram utilizadas imagens de satélite obtidas por meio do Google Earth (<https://www.google.com.br/earth/>) para os anos de 2010 e 2011, como fonte complementar de informação para avaliar e comparar a situação das áreas.

- 2) Dados de 2022. Dados coletados por meio de amostragens de campo na área de implantação do PRAD na UHE Machadinho. Além disto foram utilizadas imagens de satélite obtidas por meio do Google Earth (<https://www.google.com.br/earth/>) para os anos de 2021 e 2022 e imagens de drone realizadas a campo como fonte complementar de informação para avaliar e comparar a situação das áreas.

3.4 COLETA DE DADOS PARA OS ANOS DE 2009 A 2011

Com intuito de recuperar as áreas degradadas decorrentes da implantação do empreendimento foram delimitadas 21 áreas, totalizando 43,38 hectares, para implantação do PRAD na Usina Hidrelétrica Machadinho Machadinho, referente ao Projeto de Restauração Ecológica das Áreas do Antigo Canteiro de Obras da Usina Hidrelétrica Machadinho, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2009). Nas áreas do PRAD foram utilizadas técnicas de recuperação de áreas degradadas, que foram aplicadas entre os anos de 2010 e 2011.

Para as estimativas dos indicadores, foram analisados os dados disponíveis para as 21 áreas, que detalham a situação de degradação da área. Em cada área de recuperação foi identificado sua superfície, histórico de uso, condição de degradação, manejo indicado, número de mudas indicadas para o plantio e quantidade de sementes de leguminosas, além da descrição da situação inicial da área como presença de espécies nativas, número de espécies e presença de exóticas (Apêndice 01; UFRGS, 2009). Com base nessas informações, foi elaborada uma tabela com estimativa dos parâmetros utilizados neste estudo.

A seguir, segue uma descrição sintética das técnicas de recuperação aplicadas na área.

a) Adubação e correção de solo. Foi utilizado o método de lançamento de adubo nas áreas e calcário para correção de pH. Não se tem informações sobre a quantidade exata de adubação e calagem que foram aplicadas nas áreas de restauração.

b) Semeadura de leguminosas herbáceas. Foi realizada a semeadura das espécies descritas abaixo (Quadro 1) pelo método de lançamento. Não se tem informações da quantidade de sementes que foram lançadas nas áreas, somente que foram inoculadas e peletizadas e após foram lançadas nas áreas.

Quadro 1 - Espécies de leguminosas herbáceas para as sementeiras de cobertura verde utilizadas para a recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.

Espécie	Nome comum	Hábito de crescimento
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	ereto
<i>Arachis pintoii</i>	Amendoim forrageiro	rastejante
<i>Mucuna sp.</i>	Mucuna	volúvel
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão de porco	ereto
<i>Crotalaria sp.</i>	Crotalaria	ereto
<i>Stylosanthes guianensis</i>	Estilosantes	ereto

Fonte: UFRGS, 2009

c) Plantio de mudas de árvores nativas. Foram utilizadas 27.000 mudas na recuperação, pertencentes a diversas espécies (Quadro 2). As espécies foram classificadas em categorias conforme informado pelo estudo da UFRGS em 2009.

Quadro 2 - Lista das espécies de árvores empregadas na primeira fase de plantio, utilizadas para a recuperação das áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.

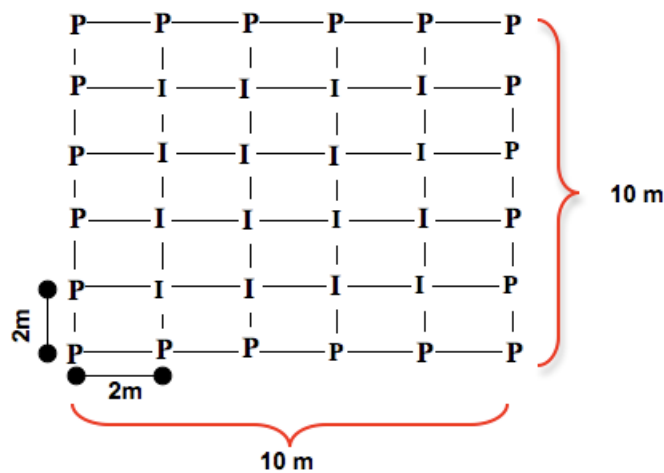
Família	Espécies	Nome comum
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	Aroeira-periquita
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i>	Aroeira-vermelha
Cannabaceae	<i>Celtis spinosa</i>	Tala
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>	Grandiúva
Combretaceae	<i>Terminalia australis</i>	Sarandi-amarelo
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania schottiana</i>	Sarandi
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulosum</i>	Leiteiro
Fabaceae	<i>Bauhinia forficata</i>	Pata-de-vaca
Fabaceae	<i>Acacia sp</i>	Unha-de-gato
Fabaceae	<i>Calliandra brevipes</i>	Caliandra, topete-de-cardeal
Fabaceae	<i>Calliandra tweedii</i>	Topete-de-cardeal vermelho
Fabaceae	<i>Ateleia glazioviana</i>	Timbó
Lythraceae	<i>Symplocos uniflora</i>	Sete-sangrias
Myrsinaceae	<i>Myrsine ferruginea</i>	Capororoca-miúda
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica-de-cadela
Solanaceae	<i>Acnistus breviflorus</i>	Espora-de-galo
Annonaceae	<i>Rollinia silvatica</i>	Araticum
Bignoniaceae	<i>Jacaranda micrantha</i>	Caroba
Bignoniaceae	<i>Handroanthus heptaphyllum</i>	Ipê-roxo
Bignoniaceae	<i>Handroanthus album</i>	Ipê-amarelo
Boraginaceae	<i>Cordia americana</i>	Guajuvira
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	Louro-pardo
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum deciduum</i>	Cocão
Euphorbiaceae	<i>Gymnanthes klotzschiana</i>	Branquilho
Fabaceae	<i>Albizia niopoides</i>	Angico branco
Fabaceae	<i>Parapiptadenia rigida</i>	Angico vermelho
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i>	Canafistula
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i>	Canela-do-brejo
Fabaceae	<i>Inga vera</i>	Inga-beira-rio

Fonte: Adaptado de UFRGS, 2009

e) Plantio em núcleos 10 x 10m, com espaçamento entre as mudas de 2 x 2m.

Núcleos com plantios de mudas foram implementados nas áreas destinadas a esta metodologia. Os núcleos de plantio foram parcelas de 10m x 10 m, contendo 36 mudas, com espaçamento de 2 m entre si (Figura 4). O espaçamento entre núcleos foi de aproximadamente 50 m.

Figura 4 - Arranjo espacial das mudas pioneiras (P) e secundárias iniciais (I) para plantios em linha com espaçamento de 10m x 10m, utilizadas para a recuperação das áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), no sul do Brasil.



Fonte: Adaptado de UFRGS, 2009

f) Núcleos de cobertura com matéria orgânica morta. Foi realizada a deposição de cobertura seca utilizando resíduos vegetais finos como: bagaço de cana-de-açúcar triturado, palha de milho, casca de arroz, macrófitas aquáticas, galhos e troncos triturados, misturadas a quantia de resíduos de “cama-de-aviário”. Essa cobertura foi realizada em núcleos de 10m x 10 m, com 10 cm de espessura (altura), sendo a quantidade utilizada de “cama-de-aviário” em cada núcleo de aproximadamente 30 kg.

g) Controle de ervas exóticas invasoras. A supressão de ervas exóticas invasoras, tais como capim-braquiária (*Brachiaria spp.*) e grama-bermuda (*Cynodon dactylon*), foi realizada por meio de sombreamento (abafamento). O sombreamento consistiu na deposição de uma cobertura seca e grossa de bagaço de cana-de-açúcar, restos de madeira triturada oriundos do reservatório, sobre as manchas dessas espécies invasoras. Para tal, foi realizado uma cobertura de 20 kg por metro quadrado.

h) Controle de árvores exóticas invasoras. Visando a supressão de árvores exóticas invasoras, tais como *Pinus spp.* (pinheiro), *Hovenia dulcis* (uva-do-Japão) e *Eucalyptus spp.* (eucalipto) que se desenvolveram na área. Indivíduos com menos de 2 m de altura foram cortados e os maiores anelados, sendo mantidos nos locais (mortos em pé) a fim de atrair aves dispersoras.

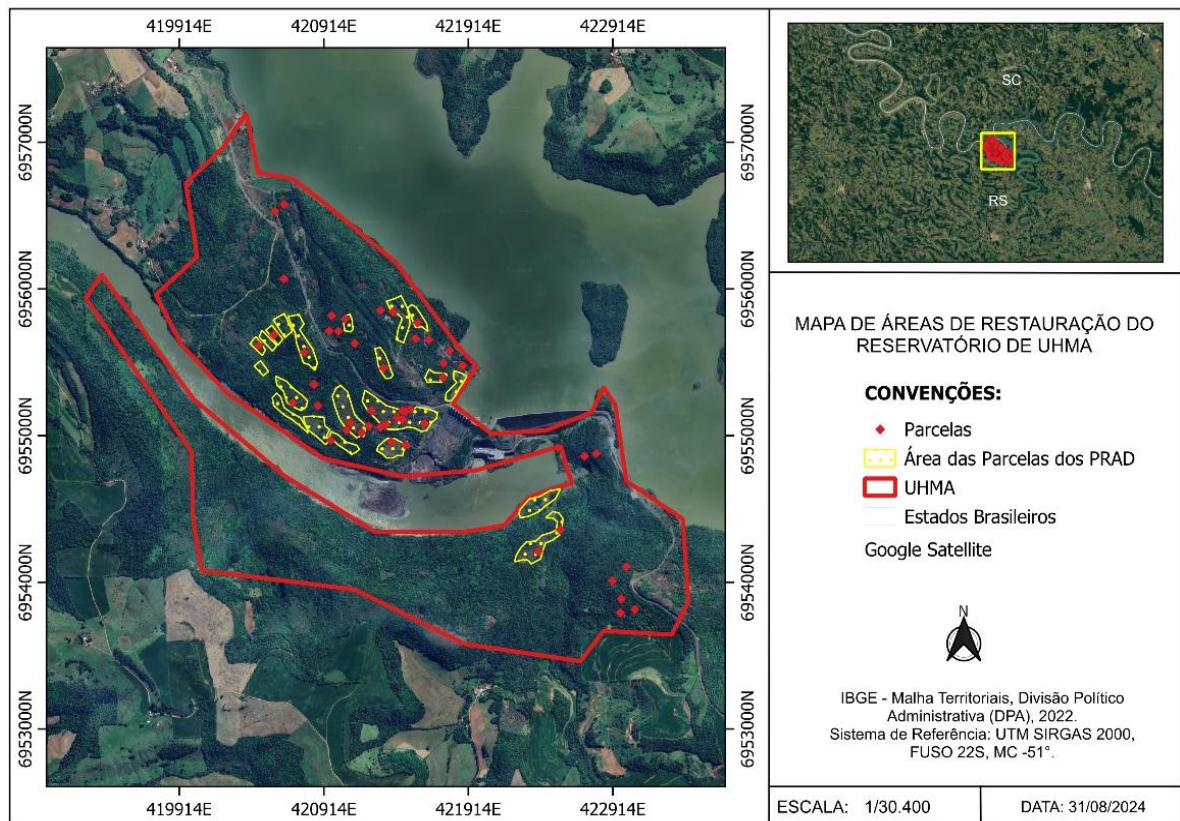
i) Contenção de erosão nas margens. Mudanças de espécies tolerantes à submersão periódica foram priorizadas para o plantio em linhas paralelas à margem, tais como os topetes-de-cardeal (*Calliandra brevipes* e *C. tweediei*), os sarandis (*Sebastiania schottiana* e *Terminalia australis*), o branquilha (*Gymnanthes klotzschiana*) e os ingás (*Inga spp.*). O espaçamento foi de 2 m entre linhas e de 1 m entre as mudas na linha.

J) Leiras de galharias. Foi utilizado empilhamento de troncos e galhos formando leiras de 1 m de altura por 3 m de diâmetro, aproximadamente. Para tanto, foram utilizados troncos e galhos que se acumulam nas barreiras de contenção próximas ao barramento.

3.5 COLETA DE DADOS PARA O ANO DE 2022

Entre dezembro de 2022 e janeiro de 2023 foi realizado um estudo de avaliação da situação da recuperação das áreas degradadas na Usina Hidrelétrica de Machadinho da área. Este estudo foi feito pela empresa A1 Regularização Fundiária e Meio Ambiente Ltda (antiga GSA Ambiental), sob coordenação da autora desta dissertação. Neste estudo foram estabelecidas 50 parcelas na área do PRAD da UHE Machadinho. A quantidade de parcelas foi definida conforme a metodologia estabelecida pela Resolução SMA 32/2014 (São Paulo, 2014), não ultrapassando o número máximo de 50 parcelas, independente da área de projeto. As parcelas foram distribuídas aleatoriamente e nem todas as parcelas contemplavam as áreas com aplicação de técnicas de recuperação (Figura 5). Cada parcela contou com um tamanho fixo de 100 m², sendo 25 m de comprimento e 4 m de largura. Para a montagem da parcela, definiu-se primeiramente a linha amostral, seguida pela delimitação da largura da parcela, fixada em 2 metros para cada lado da linha amostral.

Figura 5 - Mapa de localização das parcelas na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.

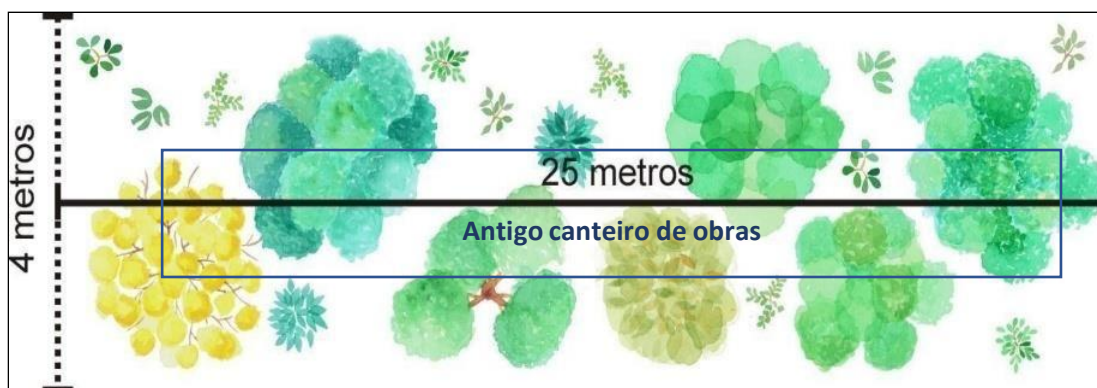


Fonte: A autora, 2025

As parcelas amostrais foram distribuídas nas áreas do antigo canteiro de obras e nas áreas do entorno, como, por exemplo, nas Áreas de Preservação Permanente. A linha amostral da parcela foi posicionada na diagonal em relação à direção da linha de plantio ou semeadura (Figura 6). Cada parcela foi amostrada uma vez, por uma equipe de 4 pessoas. A identificação das espécies foi realizada pelos profissionais responsáveis pela coleta de dados.

Para cada espécie arbórea identificada foi registrado suas respectivas famílias, grupo ecológico e modo de dispersão de sementes, com base na Flora Arbórea e Arborescente do Rio Grande do Sul (Sobral *et. al.*, 2006).

Figura 6 - Modelo de medição da parcela amostral utilizado na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), no sul do Brasil.



Fonte: Adaptado da Resolução SMA 32/2014.

Além destes dados, foram também coletados, para o ano de 2022, informações sobre a estrutura vertical e horizontal da vegetação: DA: Dominância Absoluta; DR: Dominância Relativa; FA: Frequência Absoluta; FR: Frequência Relativa; Doa: Dominância Absoluta; Dor: Dominância Relativa; VI: Valor de Importância; VC: Valor de Cobertura; Área basal; Vtot: Volume total (volume total foi calculado utilizando-se a área basal x o fator de correção 0,4 x a altura de cada indivíduo); DAPm: Diâmetro médio à altura do peito; Hm: Altura média; e

3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foi utilizada como base a tabela de valores intermediários de referência previsto na Resolução SMA 32/2014 do Estado de São Paulo. Esta tabela indica valores que devem ser considerados para cada indicador para estimar o nível de adequação e classificar como “Crítico, mínimo e Adequado”, por período de tempo (03, 05, 10 e 15 anos). Os Valores utilizados para atestar recomposição devem considerar o período de 20 anos. Para classificar as áreas de acordo com o nível de adequação, por período, foram utilizados os valores intermediários de referência de 03 (três) anos para os dados obtidos entre 2009 e 2012 e de 10 (dez) anos para os dados obtidos em 2022.

Os dados obtidos foram analisados previamente para a normalidade (teste Shapiro-Wilk) e a homogeneidade das variâncias (teste de Levene). Após confirmação da distribuição normal e homogeneidade das variâncias, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA one-way) e as médias comparadas pelo teste de Tukey, considerando nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Foram analisados os dados para os períodos de 3 e 10 anos

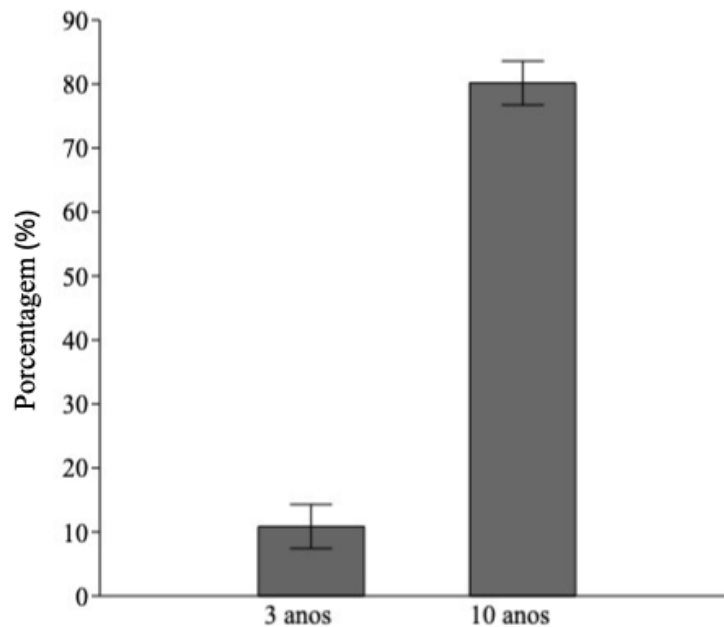
considerando a porcentagem de cobertura do solo com vegetação nativa, a densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha) e o número de espécies nativas regenerantes.

4 RESULTADOS

4.1 COBERTURA DO SOLO COM VEGETAÇÃO NATIVA

Houve aumento significativo no percentual de cobertura do solo com vegetação nativa após 10 anos ($F_{1,69} = 144,95$ $p < 0,01$; Figura 7). A média de cobertura do solo com vegetação nativa passou de 10,8% para 80,1%.

Figura 7 – Porcentagem de cobertura do solo com vegetação nativa com 3 e 10 anos de regeneração na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.

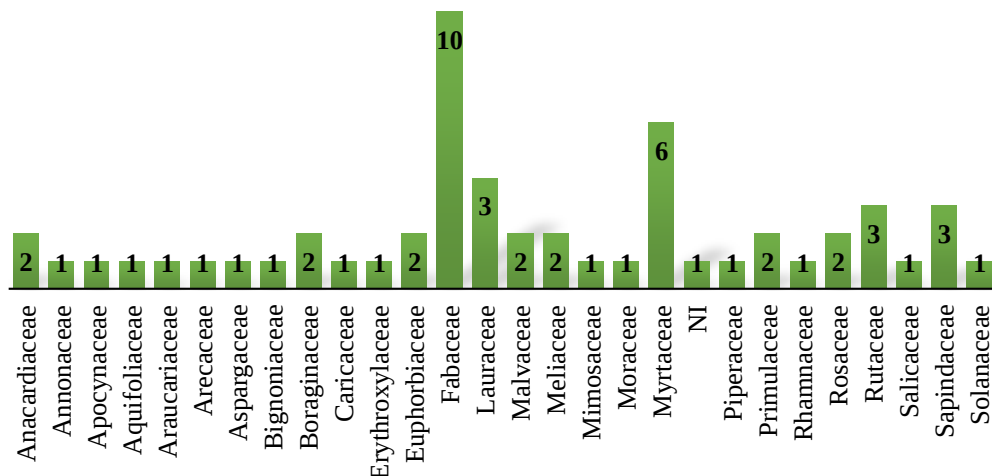


Fonte: Elaborado pela autora (2025)
Barras representam média e desvio padrão.

Das 21 áreas analisadas com três anos, 16 estavam em nível crítico (76,1%), 01 em Mínimo (4,7%) e 04 em Adequado (19,0%). Das 50 parcelas analisadas com 10 anos, 06 estavam em nível crítico (12,0%), 09 em Mínimo (18,0%) e 32 em Adequado (64,0%);

Com 10 anos, foram identificadas 57 espécies pertencentes a 29 famílias e 48 gêneros, sendo uma delas não identificada. Das espécies identificadas, quatro são exóticas: Uva do Japão (*Hovenia dulcis*), Goiabeira (*Psidium guajava*), Amoreira (*Morus sp.*) e Limoeiro (*Citrus sp.*). A família mais representativa foi a Fabaceae, com 10 espécies identificadas, seguida da família Myrtaceae com 06 espécies e Lauraceae, Sapindaceae e Rutaceae, cada uma com 03 espécies identificadas (Figura 8).

Figura 8 - Número de espécies identificadas por famílias na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.



Fonte: A autora, 2025.

Foram contabilizados 544 indivíduos arbóreos acima de 15 cm de CAP, o que representa uma densidade estimada de 1.088 indivíduos/hectare. A espécie de maior densidade foi *Schinus terebinthifolius* (Aroeira-vermelha) com 136 ind/ha, seguida por *Luehea divaricata* (Açoita-cavalo) com 124 ind/ha e *Parapiptadenia rigida* (Angico-vermelho) com 120 ind/ha. Também merecem destaque *Lonchocarpus campestris* (Rabo de bugio) com 96 ind/ha, *Psidium cattleianum* (Araçá) e *Ocotea puberula* (Canela guaicá), com 74 e 68 ind/ha respectivamente.

A espécie com maior dominância foi *Parapiptadenia rigida*, que apresentou 3,75 m²/ha. Na sequência aparecem *Luehea divaricata* com 3,72 m²/ha, *Psidium cattleianum* com 1,89 m²/ha, *Schinus terebinthifolius* e *Enterolobium contortisiliquum* com 1,72 m²/ha e 1,33 m²/ha respectivamente.

O valor de importância (IVI), indicado no método de avaliação resultante dos valores de densidade, dominância e frequência, demonstrou que *Luehea divaricata* é a espécie mais importante da comunidade amostrada, tendo atingido IVI igual a 38,22%. Em segundo lugar aparece *Parapiptadenia rigida*, com 34,89%, seguida de *Schinus terebinthifolius* com 29,93%, *Psidium cattleianum* com 21,52%, *Lonchocarpus campestris* com 19,16% e *Ocotea puberula* com 18,07%. Juntas, essas seis espécies representam mais da metade do IVI total para todas as espécies, sendo, portanto, as principais encontradas na área do estudo (Quadros 3 e 4).

Quadro 3 - Parâmetros fitossociológicos por espécie (estrutura horizontal), na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.

Fonte: A autora, 2025.

Espécies	DA	DR	FA	FR	DoA	DoR	VI	VC
	(ind/ha)	(%)	(%)	(%)	(m ² /ha)	(%)	(%)	(%)
<i>Albizia niopoides</i>	4	0,37	4	0,16	0,06	0,27	0,79	0,63
<i>Allophylus edulis</i>	2	0,18	2	0,08	0,01	0,03	0,29	0,21
<i>Annona sylvatica</i>	4	0,37	4	0,16	0,04	0,18	0,71	0,55
<i>Araucaria angustifolia</i>	18	1,65	10	0,39	0,60	2,72	4,76	4,37
<i>Ateleia glazioviana</i>	10	0,92	4	0,16	0,29	1,32	2,39	2,24
<i>Bauhinia forficata</i>	8	0,74	8	0,31	0,03	0,12	1,16	0,85
<i>Cabralea canjerana</i>	6	0,55	6	0,23	0,02	0,11	0,89	0,66
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	2	0,18	4	0,16	0,01	0,03	0,37	0,21
<i>Campomanesia guazumifolia</i>	8	0,74	2	0,08	0,02	0,11	0,92	0,84
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	4	0,37	4	0,16	0,02	0,09	0,61	0,46
<i>Carica quercifolia</i>	2	0,18	2	0,08	0,01	0,06	0,32	0,24
<i>Casearia sylvestris</i>	14	1,29	10	0,39	0,31	1,40	3,08	2,69
<i>Cedrela fissilis</i>	12	1,10	12	0,47	0,23	1,06	2,62	2,16
<i>Ceiba speciosa</i>	14	1,29	8	0,31	0,70	3,17	4,76	4,45
<i>Citrus lemon</i>	2	0,18	2	0,08	0,00	0,02	0,28	0,20
<i>Cordia americana</i>	6	0,55	30	1,17	0,06	0,29	2,01	0,84
<i>Cordia trichotoma</i>	10	0,92	20	0,78	0,65	2,91	4,61	3,83
<i>Cordyline spectabilis</i>	4	0,37	20	0,78	0,01	0,06	1,21	0,43
<i>Cupania vernalis</i>	6	0,55	30	1,17	0,11	0,48	2,20	1,04
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	8	0,74	30	1,17	1,33	5,99	7,89	6,72
<i>Erythroxylum deciduum</i>	12	1,10	50	1,94	0,04	0,16	3,21	1,27
<i>Eugenia involucrata</i>	4	0,37	20	0,78	0,02	0,10	1,25	0,47
<i>Eugenia uniflora</i>	2	0,18	10	0,39	0,01	0,04	0,61	0,23
<i>Handroanthus pulcherrimus</i>	2	0,18	10	0,39	0,04	0,19	0,77	0,38
<i>Helietta apiculata</i>	12	1,10	20	0,78	0,08	0,36	2,24	1,46

<i>Hovenia dulcis</i>	30	2,76	70	2,72	0,31	1,39	6,87	4,15
<i>Ilex paraguariensis</i>	10	0,92	40	1,56	0,06	0,28	2,76	1,20
<i>Inga marginata</i>	6	0,55	20	0,78	0,08	0,36	1,69	0,91
<i>Lithraea brasiliensis</i>	22	2,02	70	2,72	0,17	0,76	5,50	2,78
<i>Lonchocarpus campestris</i>	96	8,82	130	5,05	1,17	5,28	19,16	14,10
<i>Luehea divaricata</i>	124	11,40	260	10,11	3,72	16,72	38,22	28,11
<i>Machaerium paraguariense</i>	4	0,37	20	0,78	0,03	0,12	1,26	0,48
<i>Machaerium stipitatum</i>	12	1,10	50	1,94	0,22	1,01	4,05	2,11
<i>Maclura tinctoria</i>	2	0,18	10	0,39	0,02	0,10	0,68	0,29
<i>Matayba elaeagnoides Radlk</i>	2	0,18	10	0,39	0,07	0,29	0,87	0,48
<i>Mimosa bimucronata</i>	6	0,55	10	0,39	0,01	0,06	1,00	0,61
<i>Myrsine coriacea</i>	4	0,37	20	0,78	0,05	0,21	1,35	0,58
<i>Myrsine umbellata Mart</i>	14	1,29	40	1,56	0,13	0,60	3,44	1,89
<i>Não identificada</i>	24	2,21	120	4,67	0,22	1,01	7,88	3,21
<i>Nectandra lanceolata</i>	8	0,74	40	1,56	0,22	0,99	3,28	1,72
<i>Nectandra megapotamica</i>	18	1,65	50	1,94	0,24	1,10	4,70	2,75
<i>Ocotea puberula</i>	68	6,25	180	7,00	1,07	4,82	18,07	11,07
<i>Parapiptadenia rigida</i>	120	11,03	180	7,00	3,75	16,86	34,89	27,89
<i>Peltophorum dubium</i>	8	0,74	40	1,56	0,06	0,28	2,57	1,02
<i>Piper aduncum</i>	4	0,37	20	0,78	0,01	0,04	1,18	0,40
<i>Prunus myrtifolia</i>	22	2,02	70	2,72	0,25	1,11	5,85	3,13
<i>Psidium cattleianum</i>	74	6,80	160	6,22	1,89	8,50	21,52	15,30
<i>Psidium guajava</i>	8	0,74	40	1,56	0,09	0,41	2,70	1,14
<i>Rubus rosifolius</i>	4	0,37	10	0,39	0,08	0,35	1,11	0,72
<i>Sapium glandulosum</i>	46	4,23	160	6,22	1,04	4,69	15,14	8,92
<i>Schinus terebinthifolia</i>	136	12,50	250	9,72	1,72	7,71	29,93	20,21
<i>Sebastiania commersoniana</i>	6	0,55	10	0,39	0,01	0,05	0,99	0,60
<i>Solanum mauritianum</i>	6	0,55	30	1,17	0,02	0,11	1,83	0,66
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	18	1,65	90	3,50	0,59	2,66	7,82	4,32
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	2	0,18	10	0,39	0,01	0,02	0,60	0,21
<i>Trema micrantha</i>	2	0,18	10	0,39	0,01	0,03	0,60	0,21
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	6	0,55	30	1,17	0,18	0,81	2,53	1,36
Total	1088	100	2572	100	22,23	100	300	200

DA: Dominância Absoluta; DR: Dominância Relativa; FA: Frequência Absoluta; FR: Frequência Relativa; Doa: Dominância Absoluta; Dor: Dominância Relativa; VI: Valor de Importância; VC: Valor de Cobertura

Os estratos verticais encontrados na floresta foram divididos em espécies dominantes, intermediárias e dominadas. As principais espécies pertencentes ao dossel superior foram encontramos *Luehea divaricata*, *Araucaria angustifolia*, *Nectandra megapotamica*, *Ocotea puberula*, *Parapiptadenia rígida*, *Cupanea vernalis*, *Sapium glandulosum*, *Syagrus rommanzoffiana*, *Ceiba speciosa*. No estrato intermediário, destacam-se *Inga marginata*, *Psidium cattleianum*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Machaerium stipitatum*, *Myrsine coriaceae*, *Cordia americana*, *Lonchocarpus campestris*, *Bauhinia forficata*, *Allophylus edulis*, *Annona sylvatica* entre outras. As principais espécies pertencentes ao estrato inferior, que obtiveram altura igual ou inferior a 5m foram *Casearia sylvestris*, *Campomanesia guazumifolia*, *Lithraea brasiliensis*, *Schinus terebinthifolia*, *Eugenia uniflora* e *Solanum mauritianum*.

Quadro 4 - Médias de Parâmetros fitossociológicos por espécie (estrutura vertical), na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.

Parâmetros dendrológicos por espécie (Estrutura vertical)					
Nome Científico	nºARV	G	Vtot	DAPm	Hm
		(m²)	(m³)	(m)	(m)
<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	2	0,0297	0,0701	0,1369	6
<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex	1	0,0032	0,0102	0,0637	8
<i>Annona sylvatica</i> A. St.-Hil.	2	0,0203	0,0534	0,113	6,5
<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	9	0,3021	1,3168	0,185	8,2
<i>Ateleia glazioviana</i> Baill.	5	0,1464	0,3005	0,1859	4,7
<i>Bauhinia forficata</i> Link	4	0,013	0,0269	0,0629	4,6
<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.	3	0,012	0,0278	0,069	4,7
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg.	1	0,0032	0,0057	0,0637	4,5
<i>Campomanesia guazumifolia</i> (Cambess.) O.Berg.	4	0,0119	0,0231	0,0605	4,6
<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg.	2	0,0097	0,0296	0,0764	7,3
<i>Carica quercifolia</i> (A.St. Hil.) Hieron	1	0,0067	0,0094	0,0923	3,5
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	7	0,1558	0,5426	0,1532	7,9
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	6	0,1173	0,3008	0,1369	5,4
<i>Ceiba speciosa</i> (A. St.-Hil.) Ravenna	7	0,3518	1,3074	0,2192	7,1
<i>Citrus lemon</i>	1	0,0023	0,0032	0,0541	3,5
<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling. & J. S. Mill.	3	0,0325	0,0841	0,1167	6,5
<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	5	0,3237	1,4554	0,1783	7,4
<i>Cordyline spectabilis</i> Kunth & Bouché	2	0,0067	0,0104	0,0653	4
<i>Cupanea vernalis</i> Cambess.	3	0,0538	0,1838	0,1475	8,3
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	4	0,6657	2,3894	0,4186	8,6
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	6	0,0183	0,0267	0,0594	4,4
<i>Eugenia involucrata</i> DC.	2	0,0112	0,0207	0,0844	4,5
<i>Eugenia uniflora</i> L.	1	0,0046	0,0055	0,0764	3
<i>Handroanthus pulcherrimus</i> (Sandwith) S.O.Grose	1	0,0215	0,0689	0,1655	8

<i>Helietta apiculata</i> Benth.	6	0,0402	0,0893	0,0817	5,5
<i>Hovenia dulcis</i>	15	0,1549	0,397	0,107	5,9
<i>Ilex paraquariensis</i> A. St.-Hil.	5	0,0312	0,0586	0,0859	4,9
<i>Inga marginata</i> Willd.	3	0,0403	0,1072	0,1273	5,8
<i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand	11	0,084	0,1528	0,0967	4,5
<i>Lonchocarpus campestris</i> Mart. ex Benth.	48	0,5868	1,3505	0,1133	5,8
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	62	1,8582	6,4993	0,1547	6,8
<i>Machaerium paraquariense</i> Hassl.	2	0,013	0,0296	0,0907	5,5
<i>Machaerium stipitatum</i> (DC) Vogel.	6	0,112	0,441	0,1507	9,4
<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.	1	0,0115	0,046	0,121	10
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	1	0,0326	0,1304	0,2037	10
<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	3	0,0061	0,0069	0,0509	2,8
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br.ex Roem.& Schult.	2	0,0233	0,0691	0,1194	6,8
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	7	0,0668	0,1699	0,1023	5,9
Não identificada	12	0,112	0,2273	0,095	5
<i>Nectandra lanceolata</i> Ness.	4	0,11	0,4853	0,1456	10
<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	9	0,1221	0,5109	0,1093	8,3
<i>Ocotea puberula</i> (Rich.) Nees.	34	0,5359	1,4761	0,1313	6,3
<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	60	1,8743	6,0698	0,1663	6,3
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	4	0,0316	0,0748	0,0955	5,7
<i>Piper anduncum</i> L.	2	0,0041	0,0061	0,0509	3,8
<i>Prunus myrtifolia</i> (L.) Urb.	11	0,1234	0,4417	0,1143	8,2
<i>Psidium cattleianum</i> Sabine.	37	0,9444	2,3491	0,1557	5,3
<i>Psidium guajava</i>	4	0,0454	0,0813	0,1035	3,5
<i>Rubus rosifolius</i> Sm.	2	0,0392	0,0498	0,156	3,3
<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	23	0,5216	1,5712	0,1391	5,9
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.	68	0,8575	1,7595	0,1081	4,5
<i>Gymnantres Klotzschiana</i> (Baill.) Müll.Arg.	3	0,0059	0,008	0,0499	3,5
<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	3	0,012	0,0199	0,07	4,5
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	9	0,2962	1,1385	0,1846	7,5
<i>Tabernaemontana catharinensis</i> A.DC.	1	0,0026	0,0041	0,0573	4
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	1	0,0032	0,0095	0,0637	7,5
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	3	0,09	0,2385	0,156	7
TOTAL	544	11,1156	34,342	0,1183	5,98

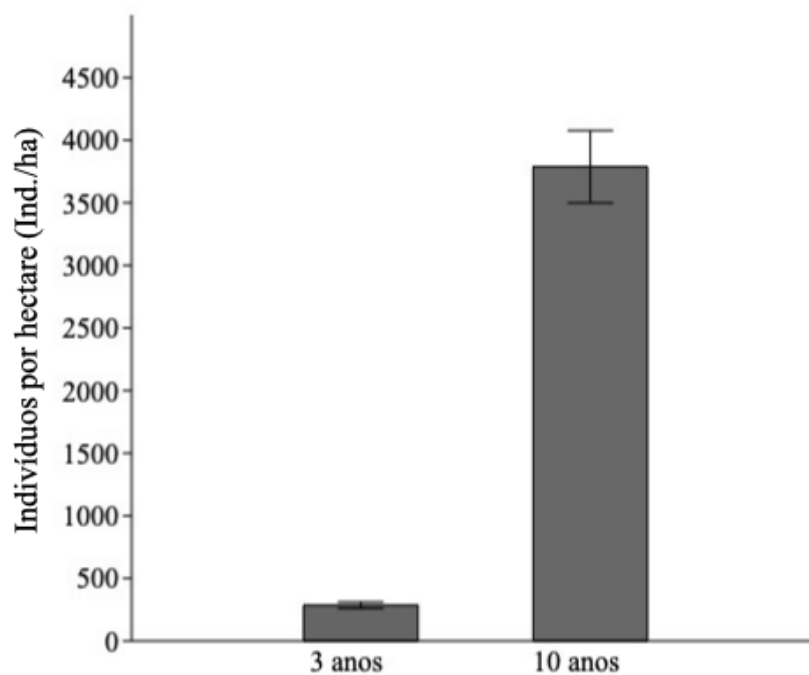
G: Área basal; Vtot: Volume total; DAPm: Diâmetro médio à altura do peito; Hm: Altura média.

Fonte: A autora, 2025.

4.2 DENSIDADE DE INDIVÍDUOS NATIVOS REGENERANTES

Houve aumento significativo na densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha), após 10 anos ($F_{1,69} = 61,00$ $p < 0,01$; Figura 9). A média na densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha) passou de 285 para 3.788.

Figura 9 - Densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha) aos 3 e 10 anos de regeneração na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

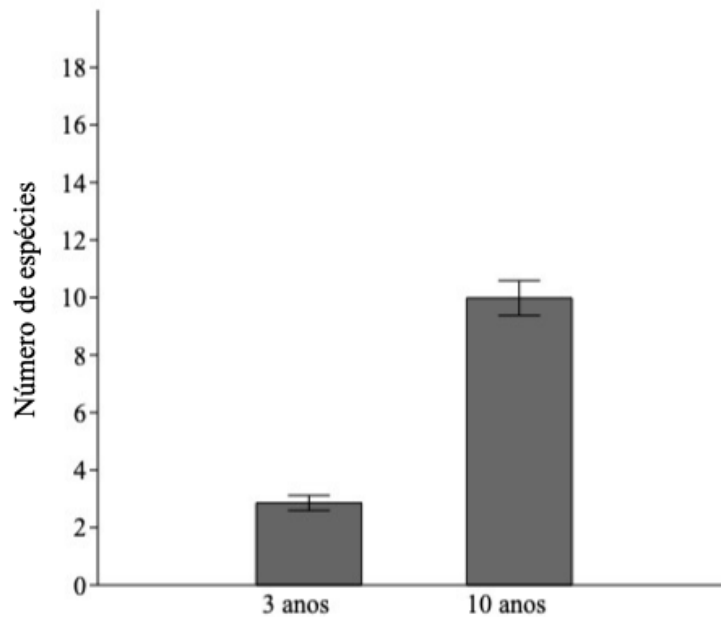
Barras representam média e desvio padrão.

Das 21 áreas analisadas com três anos, nenhuma mostrou estar nível crítico, 09 estavam em nível Mínimo (42,8%) e 12 em Adequada (57,2%). Das 50 parcelas analisadas com 10 anos, nenhuma mostrou estar nível crítico, 09 estavam nível em Mínimo (18,0%) e 41 em Adequada (82,0%).

4.3 NÚMERO DE ESPÉCIES NATIVAS REGENERANTES

Houve aumento significativo no número de espécies nativas regenerantes, após 10 anos ($F_{1,69} = 55,57$ $p < 0,01$; Figura 10). A média de espécies nativas regenerantes passou de 2,8 para 9,9 no total das 50 parcelas analisadas (ver Quadro 7).

Figura 10 - Número de espécies nativas regenerantes aos 3 e 10 anos de regeneração na área de recuperação de áreas degradadas por parcelas para 10 anos e por área para 3 anos na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.



Fonte: Elaborado pela autora (2025)
Barras representam média e desvio padrão.

Das 21 áreas analisadas com três anos, nenhuma mostrou estar nível crítico, 16 estavam em Mínimo (76,1%) e cinco em Adequado (23,9%). Das 50 parcelas analisadas com 10 anos, 25 estavam nível crítico (52,0%), 24 em Mínimo (46,0%) e nenhuma em Adequado.

Foram identificadas 72 espécies diferentes, sendo 68 nativas e 04 exóticas, pertencentes à 33 famílias e 60 gêneros distintos. As espécies mais representadas foram *Piper aduncum*, *Schinus terebinthifolius*, *Myrsine umbellata*, *Parapiptadenia rigida*, *Baccharis sp*, *Psidium cattleianum* e *Cupanea vernalis*. Entre as famílias, a de maior representatividade foi a Myrtaceae (N=10 espécies) seguida de Fabaceae (N=5), e Lauraceae e Meliaceae (N=4) (Quadro 5 e Figura 11).

Quadro 5 - Espécies regenerantes e suas respectivas famílias, na área de recuperação de áreas degradadas da Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil. (*) espécies exóticas

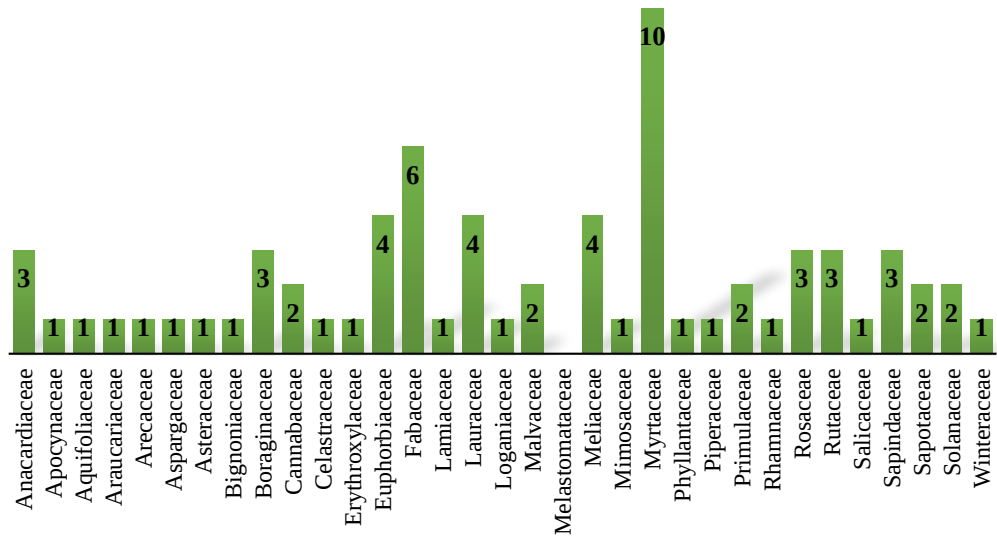
Anacardiaceae
<i>Lithraea brasiliensis</i>
<i>Schinus polygamus</i>
<i>Schinus terebinthifolia</i>
Apocynaceae
<i>Tabernaemontana catharinensis</i>
Aquifoliaceae
<i>Ilex paraguariense</i>
Araucariaceae
<i>Araucaria angustifolia</i>
Arecaceae
<i>Syagrus romanzoffiana</i>
Aspargaceae
<i>Cordyline spectabilis</i>
Asterceae
<i>Baccharis sp</i>
Bignoniaceae
<i>Handroanthus chrysotrichus</i>
<i>Jacaranda micrantha</i>
Boraginaceae
<i>Cordia americana</i>
<i>Cordia eucalyculata</i>
<i>Cordia trichotoma</i>
Cannabaceae
<i>Celtis iguanea</i>
<i>Trema micrantha</i>
Celastraceae
<i>Maytenus ilicifolia</i>
Erythroxylaceae
<i>Erythroxylum deciduum</i>
Euphorbiaceae
<i>Alchornea triplinervia</i>
<i>Manihot grahamii</i>
<i>Sapium glandulosum</i>
<i>Sebastiania commersoniana</i>
Fabaceae

<i>Bauhinia forficata</i>
<i>Inga marginata</i>
<i>Lonchocarpus campestris</i>
<i>Machaerium stipitatum</i>
<i>Parapiptadenia rigida</i>
<i>Peltophorum dubium</i>
Lamiaceae
<i>Vitex megapotamica</i>
Lauraceae
<i>Nectandra lanceolata</i>
<i>Nectandra megapotamica</i>
<i>Ocotea indecora</i>
<i>Ocotea puberula</i>
Loganiaceae
<i>Strychnos brasiliensis</i>
Malvaceae
<i>Heliocarpus americanus</i>
<i>Luehea divaricata</i>
Melastomataceae
<i>Miconia sp</i>
Meliaceae
<i>Cabralea canjerana</i>
<i>Guarea macrophyla</i>
<i>Trichillia clausenii</i>
<i>Trichillia elegans</i>
Mimosaceae
<i>Mimosa bimucronata</i>
Myrtaceae
<i>Campomanesia guazumifolia</i>
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>
<i>Eugenia involucrata</i>
<i>Eugenia pyriformis</i>
<i>Eugenia uniflora</i>
<i>Myrcia sp</i>
<i>Myrcianthes pungens</i>
<i>Plinia peruviana</i>
<i>Psidium cattleianum</i>
<i>Psidium guajava*</i>
Phyllantaceae

<i>Phyllanthus sellowianus</i>
Piperaceae
<i>Piper anduncum</i>
Primulaceae
<i>Myrsine coriacea</i>
<i>Myrsine umbellata</i>
Rhamnaceae
<i>Hovenia dulcis</i> *
Rosaceae
<i>Eryobotrya japonica</i> *
<i>Prunus myrtifolia</i>
<i>Morus rosifolius</i> Sm.*
Rutaceae
<i>Hellietta apiculata</i>
<i>Pilocarpus pennatifolius</i>
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>
Salicaceae
<i>Casearia sylvestris</i>
Sapindaceae
<i>Allophylus edulis</i>
<i>Cupanea vernalis</i>
<i>Matayba elaeagnoides</i>
Sapotaceae
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>
<i>Chrysophyllum marginatum</i>
Solanaceae
<i>Cestrum intermedium</i>
<i>Solanum</i> sp
Winteraceae
<i>Drimys brasiliensis</i>

Fonte: A autora, 2025.

Figura 11 - Número de espécies por famílias para as regenerantes, na área de recuperação de áreas degradadas da Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.



Fonte: A autora, 2025.

4.4 ESTÁGIO SUCESSIONAL DE REGENERAÇÃO

Todas as 21 áreas com 03 anos estavam em estágio sucessional de regeneração inicial. Das 50 parcelas com 10 anos, 03 estavam em estágio inicial (6,0%), 38 em estágio médio (76,0%) e 09 em estágio avançado (18%; Quadro 6).

Quadro 6 - Cobertura do solo com vegetação nativa, Densidade de indivíduos nativos regenerantes, Número de espécies nativas regenerantes e Estágio sucessional de regeneração na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil. Valores intermediários de referência de 03 e 10 anos conforme Resolução 32/2014 do Estado de São Paulo: Vermelho (Crítico), Azul (Mínimo), Verde (Adequado).

Áreas	Cobertura do solo com vegetação nativa (%)	Densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha)	Nº de espécies nativas regenerantes (nº spp.)	Estágio regeneração da vegetação
Valores intermediários de referência de 03 anos				
1	4	500	5	Inicial
2	4	500	5	Inicial
3	4	300	3	Inicial
4	0	200	2	Inicial
5	0	300	3	Inicial
6	12	100	1	Inicial
7	40	200	2	Inicial
8	20	300	3	Inicial
9	8	300	3	Inicial
10	20	200	2	Inicial
11	0	400	4	Inicial
12	0	200	2	Inicial
13	8	200	2	Inicial
14	0	200	2	Inicial
15	4	300	3	Inicial
16	4	200	2	Inicial
17	8	500	5	Inicial
18	0	400	4	Inicial
19	60	100	1	Inicial
20	0	300	3	Inicial
21	32	300	3	Inicial
Parcelas	Cobertura do solo com vegetação nativa (%)	Densidade de indivíduos nativos regenerantes (ind./ha)	Nº de espécies nativas regenerantes (nº spp.)	Estágio de vegetação
Valores intermediários de referência de 10 anos				
P1	34	1700	7	Médio

P2	64	4900	10	Inicial
P3	84	6300	13	Médio
P4	100	6500	12	Médio
P5	92	5700	20	Inicial
P6	86	10800	16	Médio
P7	82	2700	11	Médio
P8	36	2200	3	Médio
P9	78	1100	6	Médio
P10	62	1400	6	Médio
P11	100	4600	15	Médio
P12	88	3700	9	Médio
P13	80	1100	3	Avançado
P14	100	2700	3	Médio
P15	100	1600	8	Avançado
P16	100	4700	15	Avançado
P17	92	3000	9	Médio
P18	58	2500	9	Médio
P19	100	3300	15	Médio
P20	100	7900	14	Médio
P21	100	5800	16	Médio
P22	100	7300	15	Médio
P23	68	5400	12	Médio
P24	100	2500	8	Inicial
P25	100	6600	19	Avançado
P26	100	3400	13	Médio
P27	100	2400	6	Médio
P28	100	3000	8	Médio
P29	100	3800	11	Médio
P30	100	2300	11	Avançado
P31	66	1900	9	Médio
P32	24	2200	13	Médio
P33	32	2500	7	Avançado
P34	24	1600	3	Médio

P35	100	3600	11	Médio
P36	84	3300	8	Médio
P37	88	6200	15	Avançado
P38	100	3700	10	Médio
P39	28	1100	2	Avançado
P40	84	1300	8	Médio
P41	64	4200	13	Médio
P42	100	7000	14	Avançado
P43	100	5200	13	Médio
P44	60	3400	9	Médio
P45	100	2500	6	Médio
P46	100	3900	10	Médio
P47	68	2700	8	Médio
P48	60	3700	8	Médio
P49	40	4800	4	Médio
P50	82	3700	5	Médio

Fonte: Elaborado pela autora (2025), adaptado de SMA 32/2014 do Estado de São Paulo.

5 DISCUSSÃO

O aumento da cobertura do solo com vegetação nativa entre os dois momentos analisados indica que o processo de recuperação da vegetação natural na área está em desenvolvimento e que a área mostrou uma tendência positiva na recuperação cobertura do solo com vegetação nativa ao longo do tempo. A média de cobertura do solo com vegetação nativa passou para mais de 80%, com 64% das parcelas analisadas consideradas em nível adequado. Estes resultados sugerem um processo progressivo de recuperação ambiental

A identificação de locais onde não ocorreu melhora no indicador de cobertura do solo com vegetação nativa pode estar relacionado a fatores locais, como distúrbios ambientais, qualidade inferior de solo ou atividades antrópicas. Estudos futuros podem aprofundar a investigação dos fatores determinantes dessa recuperação, considerando variáveis ambientais e antrópicas, bem como avaliar a sustentabilidade desse crescimento vegetacional a longo prazo (Carvalho; Santos; Pereira, 2023).

A degradação ambiental é um dos grandes desafios da atualidade, especialmente em regiões que sofrem com o desmatamento, erosão do solo e perda da biodiversidade. A restauração ecológica dessas áreas exige estratégias eficazes, e a cobertura do solo com vegetação nativa desempenha um papel essencial nesse processo (Rodrigues; Gandolfi, 2004). A vegetação nativa contribui significativamente para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo. Segundo Lepsch (2010), as raízes das plantas promovem a estabilização do solo, reduzindo a erosão hídrica e eólica. Além disso, a matéria orgânica proveniente da vegetação auxilia na fertilização do solo, aumentando a sua capacidade de retenção de água e nutrientes.

Outro fator relevante é o potencial de aumento da biodiversidade, visto que a vegetação nativa proporciona abrigo e alimento para diversas espécies da fauna, estimulando a recuperação dos ecossistemas naturais (Souza; Batista, 2004). A interação entre flora e fauna é essencial para processos ecológicos, como a dispersão de sementes e a polinização, que aceleram a regeneração da área degradadasdasda.

Do ponto de vista prático, a escolha das espécies deve considerar a resiliência da vegetação ao ambiente degradadasdasdo. Rodrigues e Gandolfi (2004) enfatizam a importância de selecionar espécies pioneiras e secundárias que possuam alta taxa de crescimento e adaptação ao solo empobrecido. Estratégias como o plantio direto de sementes, o uso de mudas e a condução da regeneração natural são abordagens complementares que podem ser utilizadas na recuperação ambiental (Campos; Martins, 2016).

A implementação de programas de revegetação com espécies nativas também gera benefícios socioeconômicos. Além de melhorar a qualidade ambiental, iniciativas de restauração ecológica podem incentivar o desenvolvimento sustentável, promovendo atividades como o ecoturismo e o uso racional de recursos naturais (Ferreira *et al.*, 2018), desde que bem planejadas e em áreas destinadas para este fim. Portanto, a cobertura do solo com vegetação nativa é um fator determinante na recuperação de áreas degradadas. Seu impacto positivo na estabilização do solo, na fertilidade, na biodiversidade e na sustentabilidade reforça a necessidade de políticas públicas e incentivos para a restauração ecológica em diferentes biomas brasileiros.

O predomínio de espécie da família Fabaceae (10 espécies), na análise dos 10 anos, está em consonância com outros estudos que destacam a importância desta família em florestas secundárias e ambientes em processo de regeneração. Esta família, possui várias características que favorecem sua presença em áreas em recuperação (Coletta, 2010; Pereira; Rodrigues, 2012; Lopes, 2020).

A presença de espécies exóticas, como *Hovenia dulcis*, *Psidium guajava*, *Rubus rosifolius* e *Citrus* sp., indica um processo de colonização por espécies alóctones, indicando a necessidade de manejo destes exemplares. Segundo Simberloff *et al.* (2013), espécies exóticas podem competir por recursos com espécies nativas, afetando a composição da comunidade vegetal e retardando o processo de restauração. A presença de espécies exóticas sugere a necessidade de medidas de controle.

A estrutura fitossociológica mostrou uma densidade de 1.088 indivíduos por hectare para o período de 10 anos, um valor dentro da faixa esperada para florestas secundárias e fragmentos em processos de sucessão ecológica (Silva *et al.*, 2010). Esse valor sugere uma boa capacidade de regeneração natural da área, compatível com estágios intermediários de sucessão ecológica.

As espécies mais densas (*Schinus terebinthifolius*, *Luehea divaricata* e *Parapiptadenia rigida*), são comuns em formações florestais do sul do Brasil e desempenham papel fundamental na estrutura e dinâmica florestal, seja como pioneiras ou como facilitadoras da sucessão (Silva *et al.*, 2010). *Schinus terebinthifolius*, por exemplo, é uma espécie amplamente distribuída e reconhecida por sua capacidade de colonização rápida, sendo indicadora de ambientes em recuperação (Carvalho; Nakajima, 2009).

As altas dominâncias de espécies como *Parapiptadenia rígida*, *Luehea divaricata* e *Psidium cattleianum* influenciam em fatores como sombreamento, competição por recursos e formação de microambientes. *Parapiptadenia rigida* é frequentemente associada a solos bem

drenados e áreas em recuperação, sendo uma espécie clássica de estágios mais avançados de sucessão. O alto valor de importância de *Luehea divaricata* (seguida de *Parapiptadenia rígida* e *Schinus terebinthifolius*), corrobora estudos que apontam *L. divaricata* como uma espécie de ampla distribuição e relevância ecológica em florestas do sul do Brasil (Carvalho; Nakajima, 2009).

A estrutura horizontal e vertical, na análise dos 10 anos, demonstrou que as espécies mais representativas em termos de IVI são aquelas que têm papel preponderante na dinâmica da vegetação local, contribuindo para a estabilidade e continuidade do ecossistema (Silva et al., 2010). Esses resultados também sugerem uma sucessão ecológica em andamento, com presença de espécies tanto pioneiras quanto secundárias tardiamente estabelecidas, o que pode indicar um avanço positivo na recuperação da área.

A estrutura vertical da área, na análise dos 10 anos, revelou uma estratificação típica de ecossistemas florestais em diferentes estágios de regeneração. A divisão das espécies em estratos dominantes, intermediários e dominados é essencial para entender a dinâmica da vegetação e seus padrões de crescimento. A presença de espécies como *Luehea divaricata*, *Araucaria angustifolia* e *Nectandra megapotamica* no estrato arbóreo confirma a importância dessas espécies na estruturação da floresta, uma vez que desempenham papel fundamental na composição florística e na oferta de recursos para fauna associada.

O estrato intermediário, por sua vez, composto por espécies como *Inga marginata*, *Psidium cattleianum* e *Machaerium stipitatum*, reflete uma transição entre a vegetação estabelecida no dossel e as espécies em desenvolvimento. Essas espécies são frequentemente encontradas em florestas secundárias e são indicadoras de um processo de sucessão em andamento (Silva; Cordeiro; Arzolla, 2022). Além disso, as espécies do estrato inferior, como *Schinus terebinthifolia* e *Eugenia uniflora*, têm papel fundamental na recuperação da cobertura florestal ao garantir a manutenção da biodiversidade e fornecer substrato para o crescimento de espécies de maior porte.

O aumento na densidade de indivíduos nativos regenerantes e na quantidade de áreas consideradas em nível adequado entre os dois momentos analisados (atingindo de 80%), mostra que a área avançou no caminho de recuperação da estrutura florestal (Holl; Aide, 2011). Em estágios iniciais da recuperação florestal, a colonização por espécies pioneiras é lenta devido às condições iniciais adversas, como baixa disponibilidade de propágulos e baixa retenção de umidade no solo (Chazdon, 2014). Com o passar do tempo, a melhoria nas condições micro ambientais, como o aumento da cobertura vegetal e a formação de um banco de sementes, favorece o estabelecimento e crescimento de novas espécies, aumentando a densidade de

indivíduos regenerantes, incluindo espécies secundárias iniciais e tardias (Guariguata; Ostertag, 2001). Essa evolução positiva pode ser atribuída à resiliência ecológica da vegetação e às condições ambientais que favoreceram a dispersão e estabelecimento de espécies florestais (De Souza; Batista, 2004).

Áreas consideradas em nível Crítico ou Mínimo, em relação a densidade de regenerantes na análise com 10 anos, podem estar sofrendo influência de fatores limitantes locais, como competição interespecífica, pressão de herbivoria ou perturbações antrópicas. Além disso, podem ocorrer barreiras ao recrutamento e crescimento de novas mudas, como limitação de sementes ou condições edáficas desfavoráveis.

O aumento no número de espécies nativas regenerantes entre os dois momentos analisados está em consonância com estudos que destacam a recuperação progressiva da vegetação em áreas degradadas ao longo do tempo (Chazdon, 2014). Os processos ecológicos como dispersão de sementes, recrutamento e competição por recursos têm um papel fundamental e podem influenciar na estruturação da comunidade ao longo do tempo.

Entretanto, ao analisar a adequação por área amostrada para o indicador número de espécies nativas regenerantes, observa-se que, apesar do aumento da diversidade, nenhuma área atingiu o nível de adequação indicado para 10 anos, com 26 áreas sendo classificadas como críticas. Esse dado indica que, mesmo com um aumento na riqueza de espécies, a diversidade não é a adequada para o período conforme a Resolução 32/2014 do Estado de São Paulo (Holl; Aide, 2011). O número de espécies nativas regenerantes pode estar sofrendo influência de fatores limitantes locais, como por exemplo, baixa qualidade do solo. As Resoluções tomadas como referência estabelecem parâmetros para a Mata Atlântica, neste sentido ao analisar a vegetação Floresta Ombrófila Densa e Mista a expectativa de diversidade pode ser diferente.

A qualidade do solo é um fator determinante para o desenvolvimento da vegetação e solos degradados ou com baixa fertilidade dificultam a regeneração de espécies nativas. A compactação, a baixa disponibilidade de nutrientes e a perda de matéria orgânica reduzem a capacidade de retenção de água e a atividade microbiana, comprometendo a germinação e o crescimento de plântulas. Além disso, solos contaminados ou com alterações no pH podem criar condições adversas para a sucessão ecológica, favorecendo espécies invasoras em detrimento das nativas (Carvalho; Santos; Pereira, 2023). Assim, a restauração da qualidade do solo por meio da adição de matéria orgânica e da recuperação da microbiota é essencial para permitir a regeneração natural da vegetação (Almeida *et al.*, 2024).

A composição florística identificada na área de estudo reflete padrões de sucessão ecológica em andamento, com famílias como Myrtaceae, Fabaceae, Lauraceae e Meliaceae

apresentando maior riqueza de espécies. Essas famílias são frequentemente encontradas em processos de regeneração natural devido às suas estratégias de dispersão e tolerância às condições ambientais adversas (Chazdon, 2008).

A maior representatividade de espécies com *Piper aduncum*, *Schinus terebinthifolius* e *Myrsine umbellata*, pode ser explicada pelo potencial de dispersão das espécies, que tem capacidade de colonização rápida em áreas degradadas (Martins, 2012). Por outro lado, a presença de espécies exóticas, como a *Hovenia dulcis*, pode indicar desafios para a restauração ecológica, uma vez que espécies invasoras podem comprometer a sucessão natural e reduzir a biodiversidade (Richardson *et al.*, 2007). Assim, estratégias de manejo ativo, como remoção de espécies invasoras e enriquecimento florístico, podem ser necessárias para promover uma recuperação mais eficiente (Holl; Brancalion, 2020).

A densidade de indivíduos nativos regenerantes aumentou consideravelmente ao longo do tempo, refletindo o estabelecimento de espécies secundárias e clímax (Bazzaz, 1996). Áreas degradadas inicialmente apresentam baixa diversidade e cobertura vegetal reduzida, evoluindo progressivamente para estágios mais desenvolvidos com maior riqueza de espécies e biomassa (Connell; Slatyer, 1977; Pickett *et al.*, 1987). Nos primeiros três anos, todas as áreas foram classificadas no estágio inicial de sucessão, caracterizado por baixa cobertura vegetal nativa ($\leq 40\%$) e reduzida riqueza de espécies (1 a 5 espécies nativas). Estes resultados estão alinhados com estudos que indicam que a fase inicial de sucessão é dominada por espécies pioneiras de crescimento rápido e baixa diversidade (Holl; Aide, 2011).

Aos 10 anos, observa-se um avanço nos estágios de regeneração, com a maioria das áreas classificadas em estágio médio (76%) ou avançado (18%) de regeneração, apresentando maior cobertura vegetal e um aumento expressivo na densidade e diversidade de espécies nativas regenerantes. Esse padrão está de acordo com o modelo de transição sucessional, no qual o estabelecimento de espécies secundárias contribui para a estabilização e complexidade estrutural do ecossistema (Guariguata; Ostertag, 2001).

Embora muitas áreas sob PRADs em usinas hidrelétricas apresentem regeneração significativa, ainda existem questionamentos sobre a viabilidade de essas regiões retornarem a um estado funcionalmente equivalente ao ecossistema original (Carvalho; Santos; Pereira, 2023). Estratégias complementares, como o enriquecimento florístico e a criação de corredores ecológicos, podem acelerar esse processo e aumentar a conectividade da paisagem.

A regeneração da vegetação em áreas impactadas por hidrelétricas parece seguir, de forma geral, os padrões similares de áreas degradadas por outros empreendimentos que alteram a cobertura superficial do solo (Garcia; Pivello, 2019). A taxa de recuperação varia de acordo

com o bioma, a intensidade dos impactos iniciais e as estratégias de restauração empregadas. A velocidade e o resultado do processo de regeneração da área passam pelo planejamento adequado e monitoramento contínuo. PRADs bem planejados e executados podem proporcionar altos índices de regeneração e aproximar a área degradada da vegetação nativa original ao longo do tempo (Ferreira *et al.*, 2018).

Os resultados indicam que o PRAD aplicado nas áreas de recuperação da UHMA vem apresentando resultados satisfatórios, com os indicadores ecológicos atendendo em grande parte os valores exigidos na Portaria SMA32/2014 do Estado de São Paulo para 10 anos. Esta recuperação parece ser fruto da ação conjunta das dinâmicas naturais da sucessão ecológica e das intervenções promovidas pelo PRAD. Se o processo de regeneração seguir de forma semelhante ao ocorrido até o momento, conforme estimado na Resolução 32/2014 do Estado de São Paulo pode-se estimar que a área atingirá os valores utilizados para atestar recomposição num período de 20 anos.

Diante desse cenário, novas pesquisas são essenciais para avaliar a resiliência ecológica das áreas degradadas por empreendimentos hidrelétricos. Estudos futuros poderiam investigar, por exemplo, o papel da fauna na dispersão de sementes e na estruturação da vegetação, fator que influenciam diretamente na recuperação da biodiversidade. Além disso, comparações entre diferentes metodologias de restauração podem fornecer diretrizes mais eficazes para aprimorar os PRADs em UHEs. Tecnologias como o sensoriamento remoto e a análise da diversidade genética da vegetação regenerada (Inhamuns *et al.*, 2021) representam ferramentas promissoras para um monitoramento mais preciso, garantindo que os esforços de restauração recuperem as funções ecossistêmicas das áreas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. D.; REID, J. L.; LIMA, R. A. F.; PINTO, L. F. G.; VIANI, R. A. G. Restoration plantings in the Atlantic Forest use a small, biased, and homogeneous set of tree species. **Forest Ecology And Management**, v. 553, n. 1, p. 1-15, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121628>
- ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da mata atlântica**. 3 ed. Ilhéus: Editus Editora da UESC, 2016.
- ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023>.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **Instituto Florestal**, Série registros, n. 44, p. 1-38, 2011.
- BAHIA, T. O.; MARTINS, C.; ANTONINI, Y.; CORNELISSEN, T. Contribution of nucleation techniques to plant establishment in restoration projects: an integrative review and meta: analysis. **Restoration Ecology**, v. 31, n. 7, p. 1-10, 2023. <https://doi.org/10.1111/rec.13932>
- BAZZAZ, F.A. **Plants in changing environments: linking physiological, population, and community ecology**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 320, 1996.
- BECHARA, F. C. **Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras**: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga, 2006. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2006.
- BILINTOH, T. Intensity Analysis to Study the Dynamics of Reforestation in the Rio Doce Water Basin, Brazil. **Frontiers in Remote Sensing**, v. 3, p. 873341, 2022. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.873341>
- BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: VIANI, R. A. G. *et al.* (org.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2012.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 33**, de 7 de dezembro de 1994.
- BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Ano CXLIX, n. 102, 2012. Seção 1, p.1.
- CAMPOS, W. H.; MARTINS, S. V. Natural regeneration stratum as an indicator of restoration in area of environmental compensation for mining limestone, municipality of

Barroso, MG, Brazil. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 189-196, 2016.
<https://doi.org/10.1590/0100-67622016000200001>

CARPANEZZI, A. A; NICODEMO, M. L. F. **Recuperação de mata ciliar e reservalegal florestal no noroeste paulista**. Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, p. 35, 2009.

CARVALHO, A. B.; SANTOS, C. R.; PEREIRA, M. L. **Recuperação da vegetação nativa: desafios e estratégias**. São Paulo: Editora Ambiental, 2023.

CARVALHO, P. E. R.; NAKAJIMA, N. Y. Espécies arbóreas de interesse ecológico. **Embrapa Florestas**, 2009.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science**, v. 320, n. 5882, p. 1458-1460, 2008.
<https://doi.org/10.1126/science.1155365>

CHAZDON, R. L. Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation. **University of Chicago Press**, 2014.

COLETTA, L. D. **Estudo da fixação biológica do nitrogênio em leguminosas (família Fabaceae) arbóreas tropicais através do enriquecimento isotópico do 15N**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CONNELL, J. H.; SLATYER, R. O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist**, v. 111, n. 982, p. 1119-1144, 1977. <https://doi.org/10.1086/283241>

CONSÓRCIO MACHADINHO. **Usina Hidrelétrica Machadinho**, 2023. Disponível em: <https://www.machadinho.com.br/>. Acesso em: 24 mar. 2025.

DE SOUZA, F. M.; BATISTA, J. L. F. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest ecology and Management**, v. 191, n. 1-3, p. 185-200, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.12.006>

DENSLOW, J. S. Weeds in Paradise: Thoughts on the invisibility of tropical islands. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 90, n. 1, p. 119-127, 2003.
<https://doi.org/10.2307/3298531>

FENG, L.; GUO, M.; WANG, W.; SHI, Q.; GUO, W.; LOU, Y.; ZHU, Y.; YANG, H.; XU, Y. Evaluation of the effects of long-term natural and artificial restoration on vegetation characteristics, soil properties and their coupling coordinations. **Science Of The Total Environment**, v. 884, n. 1, p. 33-45, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163828>

FERREIRA, M.L; SOUZA, L.C.; CONTI, D.M.; QUARESMA, C.C.; TAVARES, A.R.; SILVA, K. G.; KNISS, C.T.; CAMARGO, P. Soil biodiversity in urban forests as a consequence of litterfall management: implications for São Paulo's Ecosystem services. **Sustainability**, 10: 1-13, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10030684>

GANADE, G. Forest Restoration in abandoned pastures of central Amazonia. In: BIERREGAARD JR, R. O. *et al.* (Ed). **Lessons from Amazonia: The ecology and conservation of a fragmented Forest**. New Haven & London: Yale University Press, p. 313-

324, 2001.

GAVIRIA, A. C.; MONTEALEGRE, R. O. Análisis del paisaje y su relación com La regeneración del roble (*Quercus humboldtii* BONPL.) em el municipio de Popayán. Departamento del Cauca. **Revista Colombia Forestal**, v.13, n.2, p.189-200, 2010.

GLUFKE, C. **Espécies Florestais Recomendadas para Recuperação de Áreas Degradadas**. Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, v. 148, p. 185-206, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00535-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00535-1)

GUERRA, A.; REIS, L. K.; BORGES, F. L. G.; OJEDA, P. T. A.; PINEDA, D. A. M.; MIRANDA, C. O.; MAIDANA, D. P. F. L.; SANTOS, T. M. R.; SHIBUYA, P. S.; MARQUES, M. C.M. Ecological restoration in Brazilian biomes: identifying advances and gaps. **Forest Ecology And Management**, v. 458, n. 1, p. 117802-117812, fev. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117802>

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>

HOLL, K. D.; BRANCALION, P. H. S. Tree planting is not a simple solution. **Science**, v. 368, n. 6491, p. 580-581, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aba8232>

HOWE, H. F.; SMALLWOOD, J. The ecology of seed dispersal. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 13, p. 201-228, 1982. <https://doi.org/10.1079/9780851994321.0085>

INHAMUNS, M. C.; REZENDE, R. S.; COELHO, G. C. Restoring riparian forest in the Atlantic Forest: does planting seedlings make a difference? **Restoration Ecology**, v. 29, n. 4, p. e13356, 2021. <https://doi.org/10.1111/rec.13356>

JACKSON, R. Old Fields: Dynamics and Restoration of Abandoned Farmland. Viki A. Cramer and Richard J. Hobbs, editors. **Ecological Restoration**. v. 26. p. 376-378, 2007.

KILLINGTVEIT, Å. Hydroelectric Power. In: LETCHER, T. M. (Ed.). **Future Energy** (2ed.). Elsevier, p. 453-470, 2014

KLEIN, R. M. Aspectos dinâmicos da vegetação do Sul do Brasil. Itajaí, **Sellowia**, v. 36, p. 5-54, 1984.

KURIQI, A.; PINHEIRO, A. N.; SORDO-WARD, A.; BEJARANO, M. D.; GARROTE, L. Ecological impacts of run-of-river hydropower plants: Current status and future prospects on the brink of energy transition. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 142, n. 1, p. 110833-110845, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110833>

LEITE, P. F.; KLEIN, R. M. **Vegetação**. In: IBGE. Geografia do Brasil: região Sul. Rio de Janeiro, IBGE. V. 2, p. 113-150. 1990.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2010.

- LIMA, P. A. F.; ALBUQUERQUE, L. B.; MALAQUIAS, J. V.; GATTO, A.; AQUINO, F. de G. Eficiência de regenerantes como indicador de restauração ecológica no Cerrado, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias. Lisboa**. v. 39, n.3, p.437-446, set. 2016. <https://doi.org/10.19084/RCA15106>
- LOPES, R. B. C. **Recuperação de áreas degradadas pela pecuária extensiva e mineração na Amazônia Central: ênfase na dinâmica de nutrientes**. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2020.
- MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; RORATO, D. G.; MACHADO, J. Comparação entre áreas em restauração e área de referência no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 961-972, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000600001>
- MARCUZZO, S. B.; ARAÚJO, M. M.; GASPARIN, E. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no sul do Brasil. **Revista Floresta**. v. 45, n. 1, p. 129-140, 2015. <https://doi.org/10.5380/rf.v45i1.32763>
- MARTINS, S. V. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa: Editora UFV, 2012.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2009.
- MARTINS, S. V. **Recuperação de Matas Ciliares**. 2. ed. Viçosa: CPT, 2007.
- MIRANDA NETO, A. **Transposição do banco de sementes do solo como metodologia de restauração florestal de pastagem abandonada em Viçosa, MG**. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- MORAES, L. F. D. **Indicadores da restauração de áreas degradadas na Reserva Biológica de Poço das Antas, RJ**. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.
- OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. **Scientia Plena**, v.13, n.12, p. 15-25, 2018. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.127301>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: metas para 2024**. Nova York: ONU, 2024. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>. Acesso em: 4 abr. 2025.
- ORIGO ENERGIA. **Os impactos socioambientais das usinas hidrelétricas**. Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/energia/impactos-socioambientais-das-usinas-hidreletricas>. Acesso em: 26 fev. 2025.
- PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S. C. Crescimento de espécies arbóreas utilizadas na recuperação de área degradadasdasda. **Caminhos de Geografia**, v. 13, n. 41, p. 102–110, 2012.
- PIAIA, B. B. **Indicadores ecológicos no monitoramento da restauração de florestas ciliares no sul do Brasil**. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

PICKETT, S. T. A.; COLLINS, S. L.; ARMESTO, J. J. Models, mechanisms and pathways of succession. **The Botanical Review**, v. 53, n. 3, p. 335-371, 1987. <https://doi.org/10.1007/BF02858321>

PINTO, P. H. P.; OLIVEIRA, L. P. A construção da Usina Hidrelétrica de Estreito no estado do Tocantins, Brasil: Um exemplo de injustiça ambiental. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, v. 30, n. 1, p.237 – 251, 2013.

RAHMAN, A.; FARROK, O.; HAQUE, M. M. Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 161, n. 1, p. 112279-112289, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112279>

RECH, C. C. C.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; SCHIMALSKI, M. B.; PSCHIEDT, F.; SCHMIDT, A. B.; ANSOLIN, R. D.; BENTO, M. A.; MISSIO, F. F.; LOEBENS, R. Avaliação da Restauração Florestal de uma APP Degradadasdasda em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 194-203, 2015. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.083414>

REIS, A.; KAGEYAMA, P. Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In: KAGEYAMA, P. Y. *et al.* **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu, 2008.

RICHARDSON, D. M.; PYŠEK, P. Plant invasions: Merging the concepts of species invasiveness and community invasibility. **Progress in Physical Geography**, v. 82, n. 2, p. 263-293, 2007. <https://doi.org/10.1191/0309133306pp490>

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Restauração de florestas tropicais**. São Paulo: Edusp, 2004.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. **Resolução SMA nº 32, de 3 de abril de 2014**. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 5 abr. 2014.

SÃO PAULO. **Portaria CBRN nº 01, de 29 de dezembro de 2015**. Estabelece o Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica. São Paulo, 2015.

SHONO, K.; CADAWE, E. S.; DURST, P. B. Application of assisted natural regeneration to restore degraded tropical forestlands. **Restoration Ecology**, v. 15, n. 4, p. 620-626, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00274.x>

SILVA, R.D.V., CORDEIRO, I., ARZOLLA, F.A.R.D.P. Florestas secundárias do Parque Estadual da Cantareira, São Paulo, SP, Brasil: Variações florísticas e estruturais. **Hoehnea**, v. 49, p. e1082020, 2022. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-108/2020>

SILVA, W. C.; MARANGON, L. C.; FERREIRA, R. L. C.; FELICIANO, A. L. P.; APARÍCIO, P. S.; COSTA JUNIOR, R. F. Estrutura horizontal e vertical do componente arbóreo em fase de regeneração natural na mata Santa Luzia, no município de Catende-PE. **Revista Árvore**, v. 34, n. 5, p. 863-869, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000500011>

SIMBERLOFF, D.; MARTIN, J. L.; GENOVESI, P.; MARENDAZ, V. Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 28, p. 58-66, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.07.013>

SMITH, A. B. **Ecological Restoration and Environmental Change: Renewing Damaged Ecosystems**. Routledge, 2008.

SOUZA, F. M.; BATISTA, J. L. F. Restoration of seasonal semideciduous forests in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, v. 191, p. 185-200, 2004.

SOUZA, Y. A. F. **Reabilitação de uma área de empréstimo da UHE-Emborcação: técnicas tradicionais versus restauração ecológica**. 191 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Projeto de restauração ecológica das áreas do antigo canteiro de obras da Usina Hidrelétrica Machadinho (UHMA)**. Porto Alegre: Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, Laboratório de Ecologia Vegetal, 2009.

APÊNDICE A

Fotografias registradas pela autora durante a realização do estudo da área analisada no ano de 2022, na área de recuperação de áreas degradadas na Usina Hidrelétrica Machadinho, situada no Rio Uruguai, na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no sul do Brasil.

Figura 12. Trecho junto a jusante do barramento, na margem direita com áreas abertas cobertas por gramíneas e presença de alguns exemplares de *Pinus sp.* A área apresenta indivíduos regenerantes esparsos e nenhum foco de processo erosivo.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 13. Trecho junto a jusante do barramento, na margem direita. A área apresenta vegetação arbórea e uma pequena área com solo rochoso sem processo erosivo.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 14. Trecho junto a jusante do barramento, na margem direita, próximo ao Rio Uruguai.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 15. Trecho da área com cobertura florestal contínua ao lado da RS 135.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 16. Foto aérea mostrando a cobertura florestal contínua e cercamento da APP ao longo da RS 135 e estradas de acesso.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 17. Foto aérea mostrando a abertura arbórea com presença de gramíneas e espécies regenerantes na margem direita da RS 135.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 18. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal na margem esquerda da RS 135, próximo ao dique 02.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 19. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal na margem esquerda da RS 135.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 20. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal próximo a repetidora.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 21. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal próximo a repetidora e ao heliponto.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 22. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal próximo a repetidora.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 23. Foto aérea mostrando a cobertura vegetal na margem esquerda demonstrando a cobertura arbórea na área.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 24. Parcela em área onde foi realizado o plantio de mudas. Observa-se no pontilhado amarelo o efeito do sombreamento, eliminando gradativamente gramíneas exóticas.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 25. Parcela com área aberta e alguns indivíduos regenerantes (setas) já emergindo acima do estrato herbáceo.



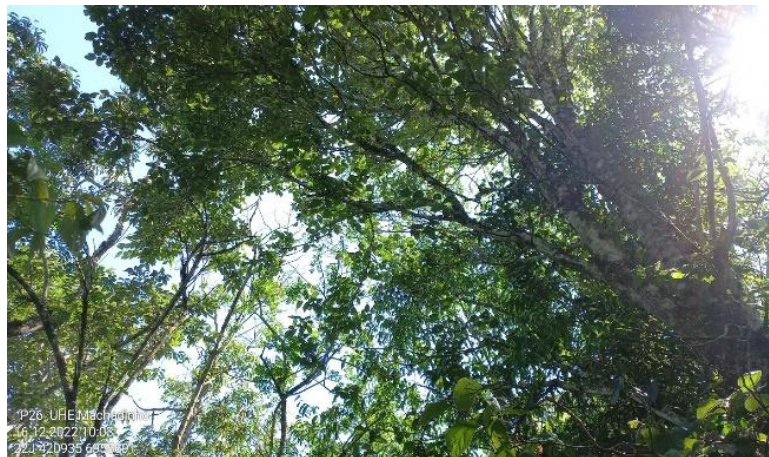
Fonte: A autora, 2024.

Figura 26. Parcela com registro de pequena clareira onde as gramíneas estão sendo eliminadas gradativamente pelo sombreamento proporcionado pelos indivíduos arbóreo em desenvolvimento.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 27. Parcela onde o dossel florestal não está completamente fechado permitindo a entrada de luz no interior.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 28. Parcela com cobertura de copa estabelecida, em estágio avançado de regeneração.
Presença de cipós lenhosos e árvores com mais de 10 m de altura.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 29. Presença de exemplares de *Araucaria angustifolia* se desenvolvendo na área.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 30. Interior de parcela onde há cobertura de copa e sombreamento em toda área. Nota-se a decomposição da serapilheira sem a presença de gramíneas exóticas.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 31. Parcela com grande número de indivíduos regenerantes



Fonte: A autora, 2024.

Figura 32. Regeneração natural de Vacum (*Allophylus edulis*).



Fonte: A autora, 2024.

Figura 33. Regeneração natural de Camboatá-vermelho (*Cupania vernalis*).



Fonte: A autora, 2024.

Figura 34. Avaliação de indicadores ecológicos sendo realizada no interior de parcela.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 35. Estrato herbáceo e arbustivo com presença de *Pteridófitas* e piperáceas dentro da parcela- amostrada.



Fonte: A autora, 2024.

Figura 36. *Bromeliaceae* do gênero *Tillandsia* encontradas na área de estudo.



Fonte: A autora, 2024.

ANEXO A

Descrição detalhada das necessidades de cada área de recuperação, conforme Projeto de Restauração Ecológica das Áreas do Antigo Canteiro de Obras da Usina Hidrelétrica Machadinho, desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2009), na divisa entre os Estados do Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), no sul do Brasil.

Área de recuperação 1	
Superfície	2,53 hectares
Histórico de uso	Área de extração de saibro (solo com textura argilosa e muito pedregosa; área com alta declividade e alto risco de erosão)
Situação atual	Estrato herbáceo composto por capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.) e rabo-de-burro (<i>Schyzachirium microstachium</i>). Presença de indivíduos arbóreos do plantio anterior (araucária – <i>Araucaria angustifolia</i> , canafístula – <i>Peltophorum dubium</i> , angico – <i>Parapiptadenia rigida</i>) com cerca de 3 m de altura, bem como arbustos de vassoura-branca (<i>Baccharis dracunculifolia</i>) com cerca de 1,5 m de altura.
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 1.563 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 1.562 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	60 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 151 kg.
Área de recuperação 2	
Superfície	2,11 hectares
Histórico de uso	Antigo escritório administrativo
Situação atual	Estrato herbáceo composto por grama-bermuda (<i>Cynodon dactylum</i>). Locais com manchas de cana-do-reino (<i>Arundodonax</i>). Presença de alguns indivíduos arbóreo-arbustivos de vassoura-branca (<i>Baccharis dracunculifolia</i>), rabo-de-bugio (<i>Lonchocarpus</i> sp.), angico (<i>Parapiptadenia rigida</i>) e aroeira (<i>Schinus terebinthifolia</i>), com cerca de 2 m de altura. Há entulhos de madeira depositados
Manejo indicado	Remoção e trituração dos entulhos de madeira; Controle de ervas exóticas invasoras; Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 1.319 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 1.318 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	60 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 126 kg
Área de recuperação 3	
Superfície	0,72 hectares.
Histórico de uso	Antigo reservatório de água potável, entorno da casa de visita e estrada de acesso à UHE Machadinho.
Situação atual	Áreas abertas com predomínio de grama-bermuda (<i>Cynodon dactylum</i>) bastante denso, e presença de fumo-bravo (<i>Solanum mauritianum</i>) com cerca de 3m de altura. Indivíduos de araucária (<i>Araucaria angustifolia</i>) com cerca de 3m de altura, e ipês (<i>Tabebuia</i> sp.). Afloramentos rochosos e terraços diferenciados. Grande quantidade de troncos e galhos, bem como de lixo plástico.
Manejo indicado	Remoção e trituração dos entulhos de madeira; Controle de ervas exóticas invasoras; Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 450 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 450 mudas, distribuídas em 10 espécies.
Sementes de herbáceas	60 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 43 kg.
Área de recuperação 4	
Superfície	1,40 hectares.
Histórico de uso	Depósito de material pétreo.
Situação atual	Estrato inferior completamente dominado por capim- braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.) com

	cerca de 1 m de altura. Porção superior da área composta por grama-bermuda (<i>Cynodon dactylum</i>), algumas aroeiras (<i>Schinus terebinthifolia</i>) e muitas vassouras-brancas (<i>Baccharis dracunculifolia</i>).
Manejo indicado	Controle de ervas exóticas invasoras; Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 875 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 875 mudas, distribuídas em 15 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 112 kg.
Área de recuperação 5	
Superfície	8,21 hectares
Histórico de uso	Base para estruturas de britagem e estoque de brita.
Situação atual	Estrato inferior com vegetação rala, não contínua. Presença de rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i>). Estrato arbustivo composto por vassoura-branca (<i>Baccharis dracunculifolia</i>) com cerca de 1,5 m de altura. Presença de indivíduos de aroeira (<i>Schinus terebinthifolia</i>) e angico (<i>Parapiptadenia rigida</i>), com cerca de 3 m de altura, bem como de arazás (<i>Psidium cattleianum</i>). Solo bastante pedregoso e relevo relativamente plano.
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em 35 núcleos; Implantação de seis leiras de galharia; Implantação de seis núcleos de deposição de matéria orgânica morta.
Número de mudas	Pioneiras: 630 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 630 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	100 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 821 kg.
Área de recuperação 6	
Superfície	4,73 hectares.
Histórico de uso	Pátio de máquinas (oficina e almoxarifado). Solo muito compactado com espessa camada de pedras e britas.
Situação atual	Estrato herbáceo descontínuo. Vassouras (<i>Baccharis dracunculifolia</i>) com cerca de 1,5 m de altura. Parte da área é úmida, com poucos indivíduos lenhosos.
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em 17 núcleos; Implantação de cinco leiras de galharia; Implantação de cinco núcleos de deposição de matéria orgânica morta.
Número de mudas	Pioneiras: 306 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 306 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	100 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 473 kg.
Área de recuperação 7	
Superfície	3,04 hectares.
Histórico de uso	Alojamento, refeitórios, ambulatório, estacionamento de ônibus.
Situação atual	Estrato herbáceo descontínuo. Presença do capim cana-do-reino (<i>Arundo donax</i>) bastante alto em algumas regiões. Presença de vassouras (<i>Baccharis racunculifolia</i>) com cerca de 2 m de altura. Presença de alguns indivíduos arbóreos da exótica uva-do-japão (<i>Hovenia dulcis</i>). Área relativamente plana, com cobertura densa de espécies lenhosas iniciais.
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 4 m ; Controle de árvores exóticas, principalmente de uva-do-japão.
Número de mudas	Pioneiras: 950 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 950 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 243 kg.
Área de recuperação 8	
Superfície	0,71 hectares.
Histórico de uso	Depósito de estruturas metálicas, sucatas e concretos.
Situação atual	Estrato herbáceo descontínuo e variado, composto basicamente por capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.) e rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i>). Estrato arbustivo (<i>Baccharis</i> spp.) com cerca de 1 m de altura, com alguns indivíduos de angico (<i>Parapiptadenia rigida</i>).
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Plantio de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.

Número de mudas	Pioneiras: 444 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 443 mudas, distribuídas em 15 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 56 kg.
Área de recuperação 9	
Superfície	0,55 hectares.
Histórico de uso	Alojamento (lavanderia, ambulatório, estacionamento, área de lazer).
Situação atual	Estrato herbáceo descontínuo com presença de rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i>) e capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.), bastante denso em alguns locais. Estrato arbustivo composto por vassouras (<i>Baccharis dracunculifolia</i>) com cerca de 1 m de altura, por vezes menos. Estrato arbóreo composto por indivíduos grandes de canafistula (<i>Peltophorum dubium</i>) que estão frutificando. Contudo, não há presença de regenerantes desta espécie na área. Adicionalmente, há indivíduos de araucária (<i>Araucaria angustifolia</i>) e aroeira (<i>Schinus terebinthifolia</i>).
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 344 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 343 mudas, distribuídas em 15 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 44 kg.
Área de recuperação 10	
Superfície	0,68 hectares.
Histórico de uso	Alojamento (lavanderia, ambulatório, estacionamento, área de lazer).
Situação atual	Estrato herbáceo apresentando indivíduos esparsos de capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.) e rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i>). Início de adensamento de vassoura-branca (<i>Baccharis dracunculifolia</i>). Presença da espécies exóticas: pinheiro (<i>Pinus</i> sp.) e de samambaia-das-taperas (<i>Pteridium aquilinum</i>).
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m; Controle de árvores exóticas principalmente <i>Pinus</i> sp.
Número de mudas	Pioneiras: 425 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 425 mudas, distribuídas em 15 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 54 kg.
Área de recuperação 11	
Superfície	0,46 hectares.
Histórico de uso	Alojamento (lavanderia, ambulatório, estacionamento, área de lazer).
Situação atual	Estrato herbáceo apresentando indivíduos esparsos de capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.) e rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i>).
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 288 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 287 mudas, distribuídas em 15 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 36 kg.
Área de recuperação 12	
Superfície	0,66 hectares.
Histórico de uso	Alojamento (lavanderia, ambulatório, estacionamento, área de lazer).
Situação atual	Locais com maior ou menor adensamento de capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.), e presença de alguns indivíduos de rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i>) e de grama-estaladeira (<i>Saccharum angustifolium</i>). O entorno da área apresenta vegetação arbórea densa, com presença de goiabeiras (<i>Psidium guajava</i>). Em alguns locais, percebe-se um adensamento de vassouras-brancas (<i>Baccharis dracunculifolia</i>).
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 413 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 412 mudas, distribuídas em 15 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 52 kg.
Área de recuperação 13	
Superfície	2,43 hectares.
Histórico de uso	Carpintaria.

Situação atual	Estrato inferior com elevada dominância de grama-bermuda (<i>Cynodon dactylum</i>). Presença de alguns indivíduos de angico(<i>Parapiptadenia rigida</i>) e vassouras-brancas (<i>Baccharis dracunculifolia</i>) com cerca de 2 m de altura.
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em 10 núcleos; Implantação de quatro leiras de galharia; Implantação de quatro núcleos de deposição de matéria orgânica morta.
Número de mudas	Pioneiras: 180 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 180 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	100 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 243 kg.
Área de recuperação 14	
Superfície	1,24 hectares.
Histórico de uso	Central de britagem (estoque de brita).
Situação atual	Estrato herbáceo com muitas espécies de gramíneas, entre elas rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i>), grama-bermuda (<i>Cynodon dactylum</i>), pangola (<i>Digitaria eriantha</i> subsp. <i>pentzii</i>), grama-estaladeira (<i>Saccharum angustifolium</i>), e a carquejinha (<i>Baccharia articulata</i>). Estrato arbóreo-arbustivo composto por vassoura-branca (<i>Baccharia dracunculifolia</i>) e alguns indivíduos de angico(<i>Parapiptadenia rigida</i>), aroeira-vermelha (<i>Schinus terebinthifolius</i>) e goiabeira (<i>Psidium guajava</i>).
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 775 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 775 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 99 kg.
Área de recuperação 15	
Superfície	1,95 hectares.
Histórico de uso	Estacionamento de betoneiras.
Situação atual	Estrato descontínuo de gramíneas baixas. Adensamento de vassouras (<i>Baccharis dracunculifolia</i>) em alguns locais. Estrato arbóreo composto por alguns indivíduos remanescentes do plantio anterior de angico (<i>Parapiptadenia rigida</i>) e da espécie exótica <i>Pinus</i> sp.
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em 7 núcleos; Implantação de três leiras de galharia; Implantação de três núcleos de deposição de matéria orgânica morta; Controle de árvores exóticas principalmente <i>Pinus</i> sp..
Número de mudas	Pioneiras: 126 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 126 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	100 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 195 kg.
Área de recuperação 16	
Superfície	1,20 hectares.
Histórico de uso	Pátio de estocagem de peças da eletromecânica.
Situação atual	Estrato herbáceo denso e contínuo dominado por grama-bermuda (<i>Cynodon dactylum</i>) com cerca de 1m de altura. Estrato arbóreo-arbustivo composto por vassouras (<i>Baccharis dracunculifolia</i>), aroeiras (<i>Schinus terebinthifolia</i>), grandíúvas (<i>Trema micrantha</i>) e ingás (<i>Inga marginata</i>). Algumas vassouras ao de grande porte.
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 750 mudas, distribuídas em 10 espécies Secundárias iniciais: 750 mudas, distribuídas em 20 espécies
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 96 kg.
Área de recuperação 17	
Superfície	2,87 hectares.
Histórico de uso	Bota-fora (área de estoque 4 + estoque de matações).
Situação atual	Estrato de herbáceas descontínuo, predominantemente formado por rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i> e <i>Andropogon bicornis</i>), ambas gramíneas nativas em touceiras. Adensamento de vassouras (<i>Baccharis dracunculifolia</i>) em locais de maior depressão, no centro da área. Estrato arbóreo composto por alguns indivíduos de angico (<i>Parapiptadenia rigida</i>) e alguns indivíduos jovens de <i>Pinus</i> sp.

Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em 11 núcleos; Implantação de quatro leiras de galharia; Implantação de quatro núcleos de deposição de matéria orgânica morta; Controle de árvores exóticas principalmente <i>Pinus</i> sp..
Número de mudas	Pioneiras: 198 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 198 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	100 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 287 kg.
Área de recuperação 18	
Superfície	0,18 hectares.
Histórico de uso	Na porção próxima ao lago foram colocados troncos e galhos a fim de evitar erosão.
Situação atual	Indivíduos isolados de capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.) e predomínio de vassouras (<i>Baccharis dracunculifolia</i>) em alguns locais. Margem erodida.
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Contensão da erosão de margens utilizando plantio em linha com espaçamento 2 x 1 m, sendo um total de 4 linhas paralelas à margem, Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m, no restante da área que não foi contemplada com o plantio da 4 linhas paralelas à margem.
Número de mudas	Pioneiras: 30 mudas, distribuídas em 7 espécies – esquema 4 x 2 m. Secundárias iniciais: 30 mudas, distribuídas em 10 espécies – esquema 4 x 2 m.
Sementes de herbáceas	40 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 7 kg.
Área de recuperação 19	
Superfície	2,89 hectares.
Histórico de uso	Bota-fora 12 em processo de recuperação.
Situação atual	Predomínio do capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.). Presença de poucas árvores, entre elas angicos (<i>Parapiptadenia rigida</i>) e ingás (<i>Inga marginata</i>).
Manejo indicado	Contensão da erosão de margens; Plantio de 4 linhas ao longo de toda a extensão da área em paralelo à margem; Controle de <i>Brachiaria</i> sp. através de sombreamento; Adubação e correção do solo; Semeadura de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em linha com espaçamento 4 x 2 m.
Número de mudas	Pioneiras: 1.350 mudas, distribuídas em 10 espécies – 4 x 2 m. Secundárias iniciais: 1.350 mudas, distribuídas em 20 espécies – 4 x 2 m.
Sementes de herbáceas	100 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 280 kg.
Área de recuperação 20	
Superfície	4,27 hectares.
Histórico de uso	Canteiro margem esquerda (mirante).
Situação atual	Estrato herbáceo com capim-braquiária (<i>Brachiaria</i> sp.) e rabo-de-burro (<i>Schyzachyrium microstachyum</i>), e arbustivo com predomínio de vassouras (<i>Baccharis dracunculifolia</i>).
Manejo indicado	Adubação e correção do solo; Plantio de leguminosas herbáceas; Plantio de mudas em 13 núcleos; Implantação de cinco leiras de galharia.
Número de mudas	Pioneiras: 234 mudas, distribuídas em 10 espécies. Secundárias iniciais: 234 mudas, distribuídas em 20 espécies.
Sementes de herbáceas	80 kg/ha – preparar um <i>mix</i> de pelo menos 3 espécies. Total para a área = 341 kg.

Fonte: UFRGS, 2009.