

USO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA PRODUÇÃO DE TECNOSSOLOS PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

Jéssica Weiler – jessicaweiler@unipampa.edu.br

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Av. Pedro Anunciação, 111, Vila Batista – CEP 96570-000 – Caçapava do Sul – RS

Resumo: A recuperação de áreas degradadas (RAD) é essencial para mitigar impactos ambientais em ecossistemas terrestres. Tradicionalmente, esse processo envolve o uso de solo fértil e revegetação, frequentemente exigindo a extração de solos de áreas de empréstimo, o que aumenta os custos e gera novos impactos ambientais. Nesse contexto, os Tecnossolos, solos artificiais derivados de materiais antrópicos, surgem como uma importante alternativa. Este trabalho tem como objetivo investigar as melhores alternativas de construção e aplicação de Tecnossolos para recuperação de áreas degradadas no estado do Rio Grande do Sul, utilizando resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos. A metodologia combinou análise espacial de áreas degradadas e um diagnóstico da geração de resíduos sólidos, considerando resíduos sólidos urbanos, lodo de esgoto, resíduos da construção civil, resíduos industriais, resíduos agrossilvipastoris e resíduos da mineração em nove regiões funcionais do estado. Os resultados indicaram que as regiões funcionais RF1 (Metropolitana) e RF6 (Sudoeste) apresentam o maior potencial para aplicação de Tecnossolos, devido à elevada demanda por recuperação ambiental e à ampla disponibilidade de resíduos. Em relação às áreas degradadas, destacam-se as áreas de mineração (aproximadamente 1.200 km² de áreas mineradas apresentam potencial demanda por recuperação), enquanto a projeção para 2034 estima disponibilidade superior a 570 milhões de toneladas anuais de resíduos sólidos passíveis de utilização. Assim, concluiu-se que os Tecnossolos podem auxiliar tanto na RAD como no gerenciamento e valorização de resíduos sólidos, incentivando a economia circular entre diferentes setores produtivos.

Palavras-chave: solos fabricados, degradação ambiental, restauração, valorização de resíduos.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

INTEGRATED USE OF SOLID WASTE FOR TECHNOSOL PRODUCTION TO RESTORE DEGRADED LANDS IN RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL.

Abstract: Land restoration is essential for mitigating environmental impacts on terrestrial ecosystems. Traditionally, this process relies on the use of fertile soil and revegetation, often requiring the extraction of soil from borrow areas, which increases costs and generates additional environmental impacts. Technosols, artificial soils derived from anthropogenic materials, have emerged as a promising alternative to natural soils. This study aimed to investigate the most suitable alternatives for the production and application of Technosols for restoring degraded lands in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, using organic and inorganic solid wastes. The methodology combined spatial analysis of degraded areas with an assessment of solid waste generation, including municipal solid waste, sewage sludge, construction and demolition waste, industrial waste, agricultural and forestry waste, and mining waste across nine functional regions of the state. The results indicated that Functional Regions RF1 (Metropolitan) and RF6 (Southwest) present the greatest potential for Technosol application due to the high demand for environmental restoration and the wide availability of waste materials. Regarding degraded areas, mining sites stand out, with approximately 1,200 km² of mined land potentially requiring restoration. In addition, projections for 2034 estimate the availability of more than 570 million tonnes of solid waste per year that could be utilized. Therefore, the findings demonstrate that Technosols can contribute not only to land restoration but also to the management and valorization of solid waste, promoting circular economy practices across different productive sectors.

Keywords: manufactured soils; environmental degradation; land restoration; waste valorization.

1. INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas degradadas (RAD) é um processo necessário para ecossistemas que foram degradados por atividades humanas ou eventos naturais, tais como desmatamento, queimadas, alteração topográfica e da paisagem, perda de solos férteis, exposição de áreas aos fenômenos de dinâmica superficial, como erosão e assoreamento (BRIDGE, 2004; SHEORAN et al., 2010). Para restabelecer as funções ecológicas, a biodiversidade, a qualidade do solo e da água, reduzir a erosão e proporcionar benefícios ambientais e sociais, medidas devem ser implementadas, muitas das quais respaldadas por um arcabouço legal.

Por exemplo, para atividades potencialmente degradadoras ou modificadoras do meio ambiente, como a mineração, o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) constitui um instrumento obrigatório do processo de licenciamento ambiental (ALBA, 2010). Além de integrar o licenciamento, o PRAD também pode ser exigido pelos órgãos ambientais após a constatação de degradação ambiental causada por um empreendimento ou, ainda, ser elaborado de forma voluntária pelo responsável pela área. No estado do Rio Grande do Sul, a Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA) organiza os estudos de recuperação em três eixos principais: áreas degradadas em zonas rurais, áreas urbanas e áreas vinculadas ao licenciamento ambiental estadual (SEMA, 2024).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Recentemente foi publicada a Resolução CONSEMA nº 551/2026, que estabelece as diretrizes e os procedimentos para a recuperação ambiental de áreas mineradas no Estado do Rio Grande do Sul, incluindo a obrigatoriedade da elaboração de projetos voltados à recuperação do solo como parte das ações de reabilitação ambiental (SEMA, 2026).

Diante disso, é fundamental o desenvolvimento de estratégias aplicadas aos solos para a RAD, dependendo das especificidades da área degradada. A prática mais utilizada é o recobrimento das áreas com uma camada de solo fértil seguido de revegetação. O solo pode ser do próprio local ou, quando não há disponibilidade, ser trazido de áreas de empréstimo, gerando ainda mais impacto ambiental (DANIELS & ZIPPER, 2010). Uma alternativa aos solos de áreas de empréstimo são os Tecnossolos, solos artificiais derivados de materiais antrópicos cujas propriedades e pedogênese são dependentes dos materiais de origem (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015). Os materiais podem incluir resíduos sólidos, orgânicos e inorgânicos. Para isso, deve-se realizar alguns processos de preparação, considerando-se que os materiais devem ter granulometria fina semelhante a de solo (< 2,0 mm), pH próximo à neutralidade, nutrientes, microrganismos, matéria orgânica e estrutura física adequadas ao crescimento vegetal (BOLAN & KIRKHAM, 2017).

Tecnossolos têm potencial de incorporar diferentes tipos de resíduos sólidos - para citar alguns: resíduos da construção civil (BARREDO et al., 2020), composto de resíduo sólido urbano (WEILER et al., 2020), rejeitos de mineração, lodo de estação de tratamento de esgoto, escória de aciaria, cinza de casca de arroz (WEILER et al., 2018), esterco de atividades agrícolas (ZORNOZA et al., 2017), lodo de fábricas de papel e celulose (LARNEY & ANGERS, 2012), resíduo de cervejaria (AMARAL FILHO et al., 2020). Além disso, as possibilidades para escolhas de materiais, design e locais para aplicação permitem unir à RAD estratégias ligadas a diversos focos de pesquisa, tais como gerenciamento de resíduos sólidos, economia circular, soluções baseadas na natureza e a captura de carbono para mitigação de gases de efeito estufa (FABBRI et al., 2021; RUIZ et al., 2023; WEILER et al., 2024).

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o potencial do aproveitamento integrado de resíduos sólidos e as melhores alternativas de aplicação de Tecnossolos para recuperação de áreas degradadas no estado do Rio Grande do Sul.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi estruturada em três etapas: (i) mapeamento de áreas degradadas; (ii) diagnóstico da geração de resíduos sólidos com potencial para a produção de Tecnossolos; e (iii) integração desses conjuntos de dados para identificar as áreas com maior potencial para aplicação de Tecnossolos. Para facilitar a análise logística, considerando aspectos de transporte, proximidade geográfica e similaridades territoriais, foram utilizadas como unidades de análise nove Regiões Funcionais de Planejamento do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Essas regiões, definidas pelo governo estadual para subsidiar o planejamento regional com base em critérios ambientais, sociais e econômicos.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

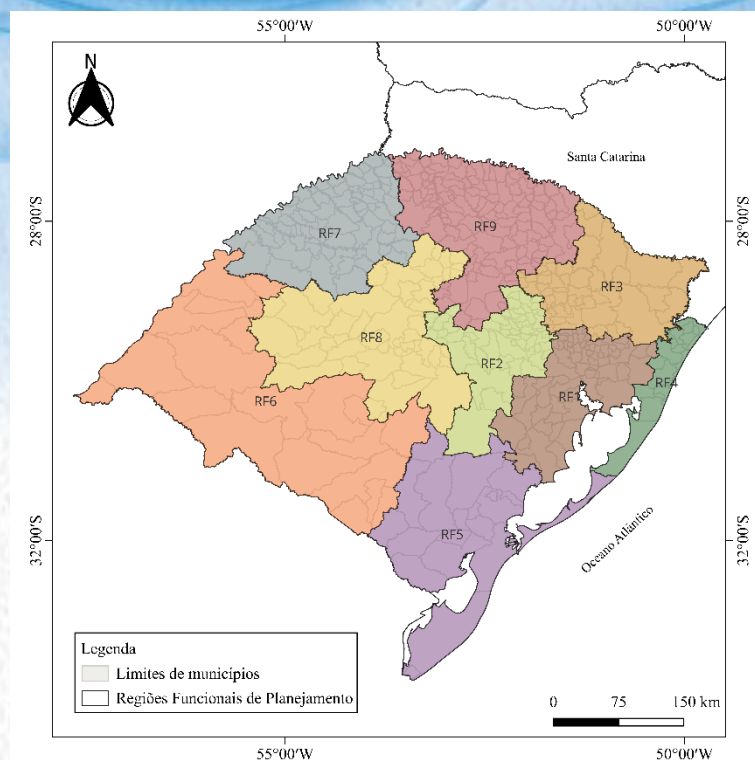


Figura 1 - Mapa da localização das regiões funcionais do estado do Rio Grande do Sul, utilizadas neste estudo como unidades para diagnóstico da geração de resíduos sólidos e de mapeamento das áreas degradadas

(i) Mapeamento de áreas degradadas

Apesar da relevância ambiental da degradação do solo, o estado do Rio Grande do Sul não possui um inventário oficial de áreas degradadas. Dessa forma, o mapeamento foi elaborado por meio da integração de diferentes bases de dados setoriais e informações técnicas complementares literatura técnico-científica relacionada. Foram utilizados os seguintes dados: 1 - áreas degradadas associadas à disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos e industriais, provenientes no PERS; 2 - áreas com potencial de degradação relacionadas às atividades de mineração, disponíveis no Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE); e 3 - áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental, utilizando a bases de dados do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA).

(ii) Diagnóstico da geração de resíduos sólidos com potencial para produção de Tecnossolos

O levantamento da geração de resíduos sólidos foi baseado nas informações disponibilizadas pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul (2015–2034), que

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

identifica os principais setores geradores de resíduos no estado. A análise priorizou os fluxos de resíduos com potencial para serem utilizados como matérias-primas na produção de Tecnossolos.

Foram consideradas como potenciais fontes de matéria orgânica:

- Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) – fração orgânica passível de compostagem;
- Resíduos dos Serviços de Saneamento (RSS) – lodo de esgoto;
- Resíduos Sólidos Agrossilvipastoris (RSA) – esterco animal e resíduos vegetais.

Como potenciais fontes de matéria inorgânica, foram considerados:

- Resíduos da Construção Civil (RCC) – materiais recicláveis, agregados (Classe A);
- Resíduos Sólidos Industriais (RSI) – fração não perigosa (Classe II);
- Resíduos da Mineração (RM), incluindo estéreis e rejeitos.

(iii) Integração dos conjuntos de dados

A identificação das áreas com maior potencial para aplicação de Tecnossolos no Rio Grande do Sul foi realizada por meio de uma análise espacial multicritério em ambiente SIG. Foram integrados três critérios principais do mapeamento (etapa i), atribuindo pesos iguais aos três critérios, considerando que todos apresentam importância equivalente na definição das regiões prioritárias para utilização dessa técnica de recuperação ambiental. Os dados temáticos foram padronizados em um mesmo sistema de referência espacial e agregados por RF. Em seguida, cada critério foi classificado em cinco classes, variando de 1 (menor potencial) a 5 (maior potencial), com base na distribuição dos valores observados.

Após a obtenção da classificação das regiões de maior aptidão para uso dos Tecnossolos, os resultados foram integrados ao diagnóstico da disponibilidade regional de resíduos sólidos que podem ser utilizados como matérias-primas para sua produção. Como produto final, foi elaborada uma síntese contendo a classificação do potencial para aplicação de Tecnossolos e os principais resíduos passíveis de aproveitamento em cada RF, fornecendo informações mais objetivas para gestão e aplicação dessa estratégia.

3. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos para o mapeamento das áreas degradadas, o potencial para aplicação de Tecnossolos, seguido do diagnóstico de resíduos sólidos e, por fim, uma discussão integrando esses dados em cada RF do Rio Grande do Sul.

3.1. Mapeamento de áreas degradadas

Os resultados do mapeamento das áreas degradadas no Rio Grande do Sul, são apresentadas na Figura 2 considerando áreas impactadas pela disposição inadequada de resíduos sólidos (Figura 2 a), áreas de mineração (Figura 2 b) e áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental (Figura 2 c). A Figura 2 d apresenta o Índice de potencialidade final para uso dos Tecnossolos, variado de 0 (menor potencial) a 5 (maior potencial), como resultado da análise multicritério, desenvolvida a partir da integração desses três contextos (a b e c).

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

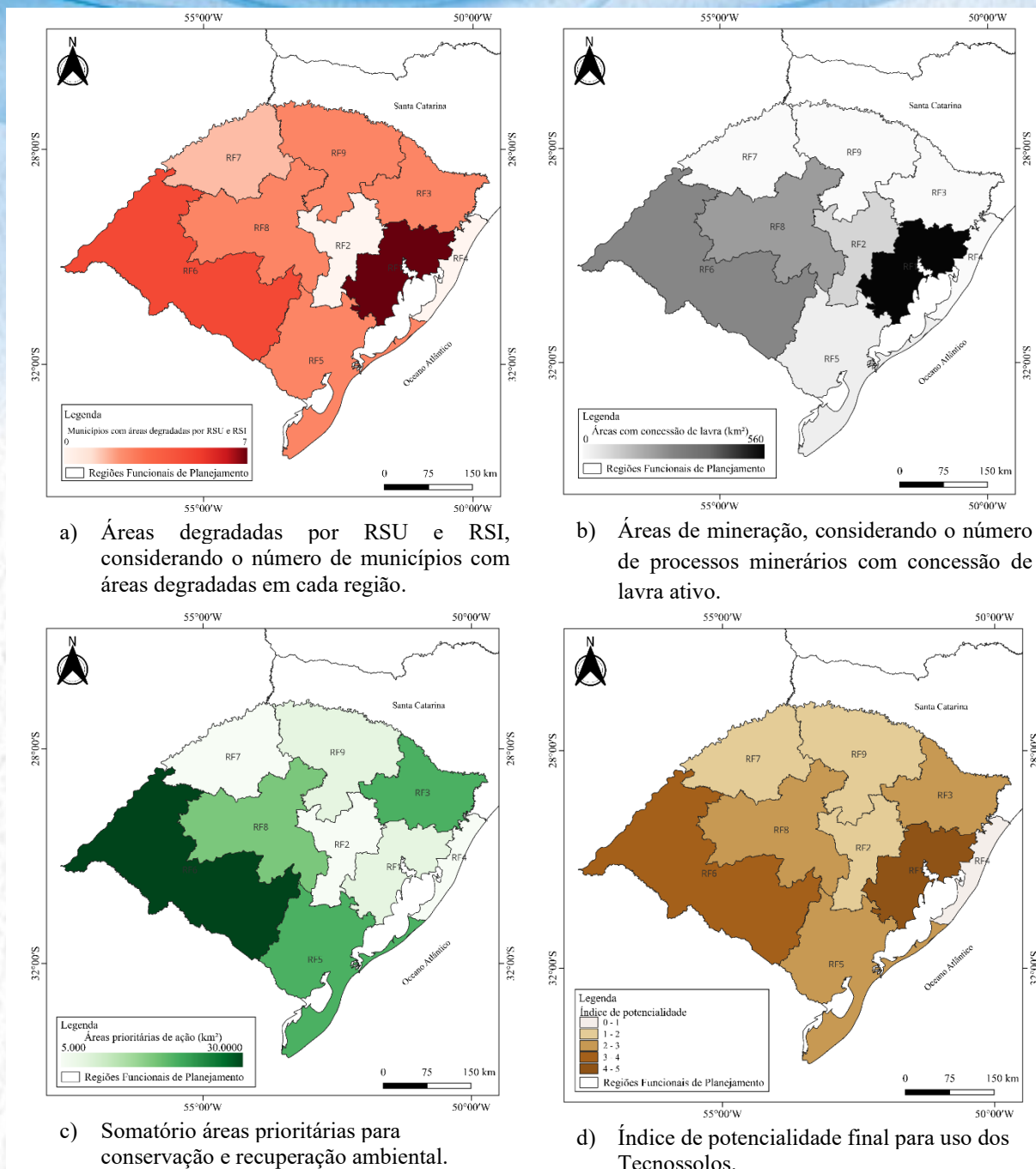


Figura 2 – Áreas degradadas por resíduos sólidos (a), mineração (b), áreas prioritárias de ação (c) e índice final de potencialidade para uso dos Tecnossolos nas 9 RFs do Rio Grande do Sul (d).

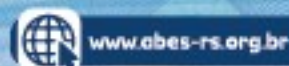
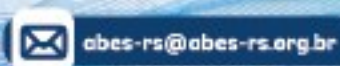
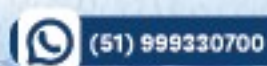
Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



As áreas degradadas associadas à mineração (Figura 2 a) representam um dos principais passivos ambientais identificados, totalizando aproximadamente 1.200 km² com potencial demanda por recuperação ambiental. Observa-se maior concentração dessas áreas nas regiões RF1, RF6 e RF8, onde predominam atividades de extração de carvão mineral, areia, argila e agregados para construção civil. Por outro lado, as áreas degradadas relacionadas à disposição inadequada de resíduos sólidos (Figura 2 b) concentram-se principalmente nas regiões mais urbanizadas, especialmente na RF1, acompanhando a maior densidade populacional e industrial do estado.

Além das áreas efetivamente degradadas, a análise das áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental (Figura 2 c) demonstra elevada concentração nas regiões RF6, RF5, RF3 e RF8, indicando elevada demanda por estratégias de restauração ambiental. Esses resultados reforçam que a aplicação de Tecnossolos não deve restringir-se apenas à recuperação de áreas mineradas, podendo também contribuir para diferentes contextos de degradação ambiental.

3.2. Diagnóstico de resíduos sólidos

O diagnóstico dos resíduos sólidos demonstrou elevada disponibilidade de materiais passíveis de utilização na produção de Tecnossolos. A Tabela 1 apresenta dados projetados para 2034 sobre geração de resíduos sólidos com potencial para produção de Tecnossolo nas nove regiões funcionais do estado. Esses resíduos foram divididos em matérias-primas para fonte de matéria orgânica e fonte de matéria mineral.

Tabela 1 - Projeção da geração de resíduos por região funcional do estado para 2034 (t ano⁻¹)

Região funcional	RSU	RSS	RSA	RCC	RSI
	Fonte de matéria orgânica			Fonte de matéria mineral	
R1	704,106	1,827,343	31,517,384	3,575,906	5,029,068
R2	145,496	340,422	38,819,966	652,914	1,308,087
R3	440,629	1,437,994	31,346,166	2,069,492	4,579,951
R4	62,439	134,779	8,976,089	282,372	125,355
R5	142,909	595,337	48,471,813	789,374	882,777
R6	119,498	220,154	167,716,605	767,635	480,278
R7	108,585	276,980	72,320,893	599,564	577,352
R8	153,592	640,880	79,179,923	842,829	625,218
R9	140,875	315,280	60,592,038	735,198	855,033

Onde:

RSU: Resíduos Sólidos Urbanos – fração orgânica passível de compostagem;

RSS: Resíduos dos Serviços de Saneamento – lodo de esgoto;

RSA: Resíduos Sólidos Agrossilvipastoris – esterco animal e resíduos vegetais.

RCC: Resíduos da Construção Civil – materiais recicláveis, agregados (Classe A);

RSI: Resíduos Sólidos Industriais (RSI) – fração não perigosa (Classe II);

A projeção do Plano Estadual de Resíduos Sólidos para 2034 indica disponibilidade superior a 570 milhões de toneladas anuais de resíduos potencialmente aproveitáveis, considerando resíduos sólidos urbanos (fração orgânica), lodo de estações de tratamento de esgoto, resíduos da construção civil, resíduos industriais classe II, resíduos agrossilvipastoris e resíduos da mineração. Esses materiais podem desempenhar diferentes funções na composição dos Tecnossolos, atuando como fontes de matéria mineral, matéria orgânica e nutrientes e compondo um substrato tipo solo.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

Salienta-se que os resíduos da mineração, tanto estéreis quanto os rejeitos, em geral, são destinados na própria área de mineração, por isso não há dados disponíveis sobre a geração e RM nesta projeção. Entretanto, a produção de Tecnossolos com esses resíduos é uma estratégia que muitas vezes é e pode ser utilizada pelas próprias empresas mineradoras para recomposição topográfica e produção de solos férteis para recuperação das áreas degradadas concomitante a mineração (WEILER et al., 2018, 2020; FIRPO et al., 2020; RUIZ et al., 2023).

3.3. Integração dos resultados e potencial para aplicação de Tecnossolos

A integração entre o diagnóstico das áreas degradadas e a disponibilidade regional de resíduos sólidos evidenciou diferenças expressivas entre as RFs do Rio Grande do Sul quanto ao potencial para produção e aplicação de Tecnossolos. Em algumas regiões há simultaneamente elevada demanda por recuperação ambiental e disponibilidade de materiais com potencial para compor Tecnossolos, enquanto outras possuem poucas áreas degradadas e média ou baixa disponibilidade de resíduos. A Tabela 2 sintetiza os resultados obtidos, integrando a intensidade das áreas degradadas, a disponibilidade de resíduos sólidos, o potencial regional para aplicação de Tecnossolos, variado de 0 (menor potencial) a 5 (maior potencial), e os principais resíduos disponíveis em cada RF.

Tabela 2 - Síntese do potencial regional para aplicação de Tecnossolos no Rio Grande do Sul.

Região Funcional	Áreas degradadas	Disponibilidade de resíduos	Potencial para Tecnossolos	Principais resíduos
RF1 (Metropolitana)	Muito alta	Muito alta	5 - ★★★★★	RSU, RSS, RCC, RSI, RM
RF6 (Sudoeste)	Muito alta	Alta	4 - ★★★★★☆	RM, RSA
RF3 (Nordeste)	Alta	Alta	4 - ★★★★★☆	RSU, RCC, RSI
RF8 (Centro-oeste)	Alta	Alta	4 - ★★★★★☆	RM, RSA
RF5 (Sul)	Média	Média/Alta	3 - ★★★★★☆	RSA, RSS
RF9 (Norte)	Média	Média	3 - ★★★★★☆	RSA, RCC
RF2 (Centro-leste)	Baixa	Média	2 - ★★★☆☆	RSI, RSS, RSM
RF7 (Noroeste)	Baixa	Média	2 - ★★★☆☆	RSA, RSI
RF4 (Litoral Norte)	Baixa	Baixa	1 - ★☆☆☆☆	RSU, RCC

A RF1 apresentou o maior potencial para aplicação de Tecnossolos devido à combinação entre elevada concentração de áreas degradadas e ampla disponibilidade de resíduos urbanos, industriais, da construção civil, de saneamento e de mineração. A região concentra a maior geração estadual de resíduos sólidos, além de importante atividade minerária, especialmente relacionada ao carvão mineral e materiais utilizados na construção civil.

A RF6 apresentou o segundo maior potencial, principalmente em função da elevada ocorrência de áreas prioritárias no Bioma Pampa, associada à presença de mineração e à elevada geração de resíduos agrossilvipastoris. A utilização integrada desses resíduos pode contribuir tanto para recuperação de áreas mineradas quanto para outras áreas degradadas existentes na região.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

As regiões RF3 e RF8 também apresentaram potencial alto para utilização de Tecnossolos. A RF3 destaca-se pela elevada geração de resíduos urbanos, industriais e da construção civil, além da presença de extensas áreas prioritárias para conservação ambiental. Já a RF8 reúne importante atividade minerária e elevada disponibilidade de resíduos da mineração e resíduos agrossilvipastoris, favorecendo a produção regional de Tecnossolos.

A RF5 apresentou potencial intermediário, principalmente devido à elevada disponibilidade de resíduos agrossilvipastoris e de lodo de estações de tratamento de esgoto, associados à existência de áreas degradadas que demandam recuperação ambiental.

As regiões RF9, RF2, RF7 e RF4 apresentaram menor potencial relativo quando comparadas às demais regiões. Entretanto, essas regiões possuem disponibilidade de resíduos específicos que podem viabilizar projetos locais de Tecnossolos, demonstrando que a técnica apresenta potencial de aplicação em todo o território estadual, desde que sejam consideradas as características locais das áreas degradadas e dos materiais disponíveis.

De forma geral, observa-se que as regiões com maior potencial são aquelas onde coexistem elevada demanda por recuperação ambiental e maior diversidade de resíduos, favorecendo a implantação de sistemas regionais de produção de Tecnossolos. Ainda, os resultados demonstram que a produção regionalizada de Tecnossolos pode integrar tanto a recuperação ambiental como a valorização de resíduos sólidos, reduzindo a necessidade de utilização de solos naturais provenientes de áreas de empréstimo e promovendo soluções baseadas nos princípios da economia circular.

4. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que a utilização integrada de resíduos sólidos para produção de Tecnossolos representa uma estratégia para a recuperação de áreas degradadas no Rio Grande do Sul, conciliando a demanda por restauração ambiental com a valorização de resíduos provenientes de diferentes setores produtivos. A integração entre o diagnóstico das áreas degradadas e a disponibilidade regional de resíduos permitiu identificar as regiões funcionais RF1 (Metropolitana) e RF6 (Sudoeste) como prioritárias para implantação dessa estratégia, em razão da elevada demanda por recuperação ambiental e da ampla oferta de matérias-primas. Além de reduzir a necessidade de extração de solos de áreas de empréstimo, os Tecnossolos contribuem para o gerenciamento de resíduos, promovendo a economia circular entre diferentes setores produtivos, e para a restauração de ecossistemas terrestres, restaurando serviços ecossistêmicos relacionados ao solo. Dessa forma, este estudo apresenta uma estratégia passível de ser utilizada no contexto dos PRADs, considerando o planejamento regional e os diferentes contextos de degradação existentes no estado e pode auxiliar na formulação de políticas públicas voltadas à recuperação ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) pelo apoio institucional e pela infraestrutura disponibilizada para o desenvolvimento desta pesquisa. Agradecem, também, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo apoio financeiro concedido ao projeto (T.O. 24/2551-0000767-9), que viabilizou a execução desta pesquisa.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

4. REFERÊNCIAS

- _____. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 6a edição. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- ALBA, J.M.F., 2010. **Recuperação de áreas mineradas**. Embrapa Informação Tecnológica. 2. ed., Brasília, DF.
- BARREDO, O.; VILELA, J.; GARBISU, C.; BESGA, G.; ALKORTA, I.; EPELDE, L. Technosols made from urban and industrial wastes are a good option for the reclamation of abandoned city plots. **Geoderma** 377, 114563, 2020.
- BOLAN, M.B.; KIRKHAM, Y.S.O. **Spoil to Soil Mine Site Rehabilitation and Revegetation**, 1st ed. CRC Press, Boca Raton., 2017.
- BRIDGE, G. Contested terrain: mining and the environment. **Annu. Rev. Environ. Resour.** 29, 205–259, 2004.
- CARDOZO, E.S., FERNANDEZ, M.B.G., DORES, G.H.S., BURGUEÑO, L.E.T., OLIVEIRA, M.S., OLIVEIRA, J.R.; MIGUEL, P.; PINTO, L.F.S.; STUMPF, L. Technosols after coal mining: The challenges to be overcome by soil science. **Rev Bras Cienc Solo**. 2026.
- DANIELS, W.; ZIPPER, C. **Creation and management of productive minesols**. Virginia Coop. Ext. Publ. 460-121. 12, 2010.
- FABBRI, D.; PIZZOL, R.; CALZA, P.; MALANDRINO, M.; GAGGERO, E.; PADOAN, E.; AJMONE-MARSAN, F. Constructed technosols: A strategy toward a circular economy. **Appl. Sci.** 11, 2021.
- FIRPO, B.A.; WEILER, J.; SCHNEIDER, I.A.H. Technosol made from coal waste as a strategy to plant growth and environmental control. **Energy Geosci.** 2, 160–166, 2021.
- IUSS WORKING GROUP WRB, 2015. **World Reference Base for Soil Resources 2014**, Experimental Agriculture. Rome.
- LARNEY, F.J.; ANGERS, D.A. The role of organic amendments in soil reclamation: A review. **Can. J. Soil Sci.** 92, 19–38, 2012.
- RIO GRANDE DO SUL. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio Grande do Sul 2015-2034**. Disponível em: <http://www.pers.rs.gov.br/documentos.html>. Acesso em 28 ago. 2024.
- RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA). **Resolução CONSEMA nº 551, de 14 de maio de 2026**. Porto Alegre, 18 maio 2026. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/202605/20100500-resolucao-551-2026-areas-mineradas-prad-final.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2026.
- RIO GRANDE DO SUL. **Regiões Funcionais de Planejamento (RFs)**. Disponível em: <http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html> Acesso em: 27 junho 2026.
- RUIZ, F.; SAFANELLI, J.L.; PERLATTI, F.; CHERUBIN, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; CERRI, C.E.P.; OTERO, X.L.; RUMPEL, C.; FERREIRA, T.O. Constructing soils for climate-smart mining. **Commun. Earth Environ.** 4, 219, 2023.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA, SEMA. **Serviços estaduais**. Disponível em: <https://www.rs.gov.br/busca?q=&orgao=142>. Acesso em 05/03/2024.
- SHEORAN, V.; SHEORAN, A.S.; POONIA, P. Soil Reclamation of Abandoned Mine Land by Revegetation: A Review. **Int. J. Soil, Sediment Water** 3, 1–21, 2010.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br

WEILER, J.; FIRPO, B.A.; SCHNEIDER, I.A.H. Coal waste derived soil-like substrate: An opportunity for coal waste in a sustainable mineral scenario. **J. Clean. Prod.** 174, 2018.

WEILER, J.; FIRPO, B.A.; SCHNEIDER, I.A.H. Technosol as an integrated management tool for turning urban and coal mining waste into a resource. **Miner. Eng.** 147., 2020

WEILER, J.; TASSINARI, C.C.G. Evaluating CO2 sequestration through Technosol constructed from coal mining waste. **Miner. Eng.**, v. 218, p. 109032, 2024.

ZORNOZA, R.; GÓMEZ-GARRIDO, M.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, S.; GÓMEZ-LÓPEZ, M.D.; FAZ, Á. Bioaugmentation in Technosols created in abandoned pyritic tailings can contribute to enhance soil C sequestration and plant colonization. **Sci. Total Environ.** 593–594, 357–367, 2017.

Realização



Apoio Institucional



Correalizadores



(51) 999330700



abes-rs@abes-rs.org.br



www.abes-rs.org.br