







Gestión de Dunas Costeras: Impacto de la Expansión Urbana y Estrategias de Restauración en Rio Grande do Sul, Brasil

Coastal Dune Management: Impact of Urban Expansion and Restoration Strategies in RS, Brazil.

L. Portz^a, G.C. Rockett^b, S.C. Cristiano^c, A. Fontán-Bouzas^d, J. Alcántara-Carrió^a, R.P. Manzolli^a

^aDepartamento de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, , luana.portz@uam.es, , javier.alcantara@uam.es, , rogerio.manzolli@uam.es; ^bCentro de Estudos Costeiros, Limnológicos e Marinhos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, , gabriela.rockett@ufrgs.br; ^cUniversidade Federal de Santa Catarina, , samantacristiano@gmail.com; ^dCentro de Investigación Marina, Geoma, Universidade de Vigo, , afontan@uvigo.es.

How to cite: Portz, L.P.; Rockett, G.C. L.; Cristiano S.C.; Fontán-Bouzas, A.; Alcántara-Carrió, J.; Manzolli, R.P. 2024. Gestión de Dunas Costeras: Impacto de la Expansión Urbana y Estrategias de Restauración en Rio Grande do Sul, Brasil. En libro de actas: *XII Jornadas de Geomorfología Litoral*. Valencia, España, 25-27 de septiembre de 2024. <https://doi.org/10.4995/GEOLIT24.18869>

Abstract

Integrated coastal zone management in Rio Grande do Sul (RS, Brazil) is crucial to preserve ecosystems and combat erosion caused by natural and anthropogenic factors. Studies on changes in the coastal dune system in northern RS since the 1980s highlight the reduction of dune areas, restricting them to a narrow strip between the urbanised area and the sea. The objective of this study is to define the main changes that have occurred in the coastal dune system of the northern sector of Rio Grande do Sul since the mid-1980s, using remote sensing and MapBiomass data, as well as the evaluation of dune restoration projects that have already been carried out. Restoration projects in Xangri-lá and Osório (RS) have shown that the combination of physical restoration techniques and the delimitation of beach access are effective in the recovery and stabilisation of dunes. The sustainability of these projects must be adaptive, taking into account climate change and based on continuous monitoring. Public policies that promote resilient management practices are needed to protect coastal regions in the long term.

Keywords: Coastal dunes, Erosión, Restauración, Climate change, Adaptive management

Resumen

La gestión integrada de las zonas costeras de Rio Grande do Sul (RS, Brasil) es crucial para preservar los ecosistemas y combatir la erosión causada por factores naturales y antrópicos. Los estudios sobre los cambios en el sistema de dunas costeras en el norte de RS desde la década de 1980 ponen de relieve la reducción de las áreas de dunas, restringiéndolas a una pequeña franja comprimida entre la zona urbanizada y el mar. El objetivo de este estudio es definir los principales cambios ocurridos en el sistema de dunas costeras del sector norte del Rio Grande do Sul desde mediados de la década de 1980, mediante el uso de teledetección, y datos del programa MapBiomass, así como la evaluación de proyectos de restauración de dunas ya realizados. Los proyectos de restauración en Xangri-lá y Osório (RS) han demostrado que la combinación de técnicas de restauración física y la delimitación de accesos a la playa son eficaces en la recuperación y estabilización de las dunas. La sostenibilidad de estos proyectos debe ser adaptativa, teniendo en cuenta el cambio climático y basada en un seguimiento continuo. Se necesitan políticas públicas que promuevan prácticas de gestión resilientes para proteger las regiones costeras a largo plazo.

Palabras clave: Dunas costeras, Erosión, Restauração, Cambios climáticos, Gestión adaptativa

1. Introducción

Uno de los principales objetivos de la gestión integrada de las zonas costeras es la conservación y recuperación de los ecosistemas adyacentes. Los procesos de erosión naturales y antrópicos provocan la reducción de las áreas de playa y dunas, afectando sus servicios ecosistémicos y generando problemas sociales principalmente para la comunidad local. Las dunas costeras desempeñan un papel crucial en la protección contra peligros naturales como la erosión y las inundaciones, actuando como barreras naturales que ayudan a disipar la energía de las olas y las tormentas (Hesp, 2000). Además, las dunas costeras son hábitats esenciales para diversas especies de plantas y animales, contribuyendo a la biodiversidad y salud de los ecosistemas costeros (Martinez Psuty, 2004). En el contexto mundial, de aumento del nivel medio del mar, las dunas costeras son aún más importantes, ya que contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático. La gestión adecuada de las dunas, mediante prácticas de conservación y restauración, es fundamental para garantizar su eficacia como barreras naturales. Acciones como la plantación de vegetación autóctona, la implantación de estructuras de retención de arena y la concienciación sobre la importancia de preservar estos ecosistemas son esenciales para reforzar la resiliencia de las zonas costeras ante los retos que plantea el cambio climático. El objetivo principal de este estudio es definir los principales cambios ocurridos en el sistema de dunas costeras del sector norte del Rio Grande do Sul desde mediados de la década de 1980, en términos de reducción de área de dunas y expansión del área urbana. El estudio también tiene como objetivo recopilar los resultados más relevantes de los programas de restauración de dunas exitosos en este sector.

2. Área de estudio

La costa del estado de Rio Grande do Sul (sur de Brasil) consiste en una extensa llanura costera de unos 620 km de largo y hasta 120 km de ancho, donde un sistema de barreras arenosas originó un gran sistema lagunar (laguna de Patos y lago Mirim). El ecosistema dunar está presente a lo largo de toda la costa. Este complejo sistema dunar costero contribuye a preservar el equilibrio sedimentario del sistema playa-duna frente a la acción de las marejadas y olas de tormenta (Tomazelli, 1994). Sin embargo, principalmente en las zonas urbanas, actualmente solo están presentes las dunas frontales, y muestran innumerables procesos de degradación; de hecho, en algunos tramos costeros ya no realizan sus funciones ecosistémicas (Portz et al., 2016).

3. Metodología

Se aplicaron técnicas de teledetección y procesamiento de imágenes para visualizar las variaciones temporales en la extensión de las dunas frontales. Estas imágenes fueron obtenidas de diversas fuentes entre los años (1985 – 2023). Los datos satelitales se complementaron con información del programa MapBiomias (<https://brasil.mapbiomas.org/>), una iniciativa brasileña que utiliza imágenes satelitales para mapear y monitorear la cobertura y el uso de la tierra en Brasil. MapBiomias ha proporcionado datos detallados sobre la ubicación y extensión de las dunas costeras en los últimos años. A escala local fue evaluada la eficiencia de los proyectos de restauración y conservación del sistema dunar realizados en los últimos 10 años. Para ello, se identificó el posicionamiento de la línea frontal del sistema dunar, trazando visualmente utilizando imágenes satelitales (Google Earth PRO) para el periodo de otoño de los años 2005, 2018 y 2023; lo que permitió verificar la evolución de las dunas a lo largo del periodo de estudio. Además, se realizaron visitas sobre el terreno para validar los datos obtenidos por teledetección y obtener información adicional sobre la ejecución y resultados de los proyectos de gestión.

4. Resultados y Discusión

4.1. Reducción del sistema dunar y aumento de la inestabilidad

El análisis de imágenes de satélite, complementado con datos de uso del suelo del programa MapBiomias, indica una reducción significativa de los campos de dunas en las últimas décadas. Estos cordones dunares se presentan

en un patrón discontinuo, segmentados por líneas de drenaje (localmente llamadas “sangradouros”). Las imágenes muestran que los sistemas de dunas han sido gradualmente degradados o convertidos a otros usos, dando lugar a que tan sólo se conserve una línea de dunas frontales cerca de la línea de costa (Fig 1 AB categoría 4.1 beach, dune). La reducción de los campos de dunas internas también aumenta la vulnerabilidad de las regiones costeras a la erosión y las inundaciones, ya que las dunas frontales por sí solas pueden no ser suficientes para proporcionar una protección adecuada. La preservación de las dunas interiores es crucial, ya que actúan como una segunda línea de defensa, complementando la protección proporcionada por las dunas frontales.

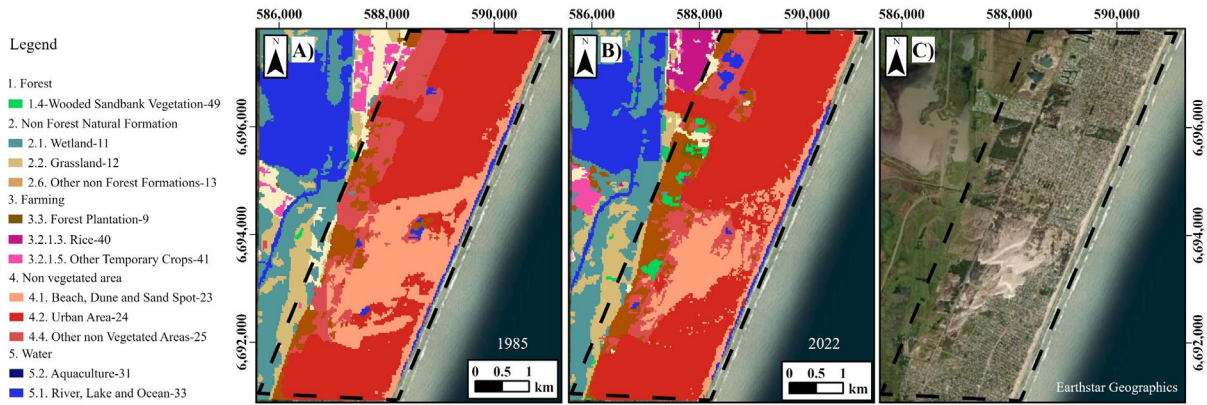


Fig. 1. Cambio en el sistema de dunas en un sector de RS, Brasil. A) y B) Clasificación del uso del suelo de 1985 y 2022, respectivamente (Fuente: Colección MapBiomias, <https://brasil.mapbiomas.org/>); and C) imagen satelital de 2022 (Fuente: Mapa base ArcGIS PRO).

Para comprender mejor las consecuencias de esta reducción y las zonas de mayor riesgo, se utilizó un modelo digital de elevación del terreno para la zona de dunas frontales y se observó la cota de inundación en la área de las dunas frontales durante eventos de marea meteorológica (adaptado de Portz et al., 2014). Estas mareas pueden alcanzar hasta 1,6 m de amplitud (Parise et al., 2009) y son responsables por la erosión en la costa, ya que provocan una sobre elevación por encima del nivel de la marea astronómica (en esta región de 0,5 m). Los resultados de esta simulación proporcionan una analise de que los cauces de drenaje fluvial naturales (*sangradouros*) son áreas particularmente vulnerables a inundación (Fig. 2).

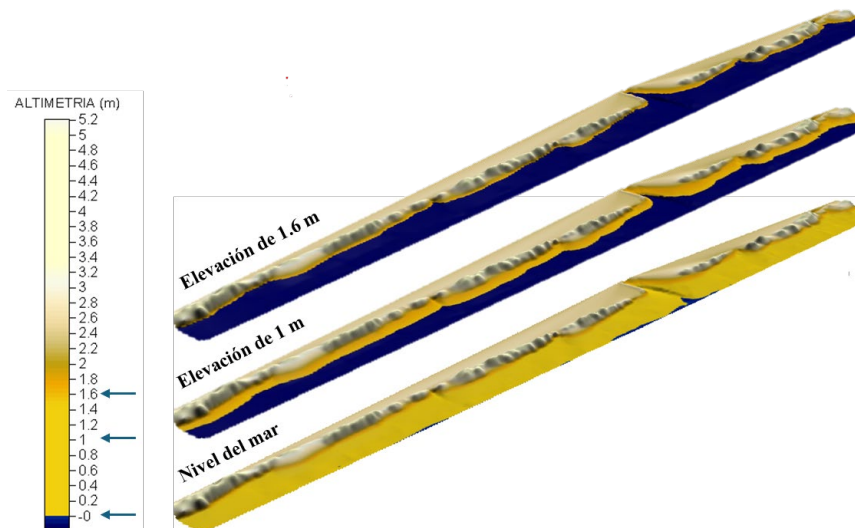


Fig. 2. Modelo digital de elevación de las dunas frontales de Capão da Canoa, RS, Brasil, con indicación del nivel del mar en periodos con marea meteorológica de 1 y 1.6 m. Fuente: adaptado de Portz (2014)

La subida del nivel del mar, especialmente durante las tormentas, hace que estas áreas sean propensas a inundaciones significativas, comprometiendo la estabilidad de las dunas y la integridad de las áreas costeras adyacentes. Además de este riesgo, el aumento de la ocupación en las zonas del interior, cerca de las lagunas

costeras y de las zonas inundables, da lugar a la impermeabilización del suelo (Fig. 1). Esto puede aumentar los flujos de agua en los *sangradouros*, causando la desestabilización de las dunas frontales. Los resultados de las simulaciones ponen de manifiesto la necesidad de contar con estrategias específicas para el manejo de estos *sangradouros*, como la instalación de tubería de evacuación de aguas pluviales por debajo del sistema de dunas (Portz et al., 2015). De manera complementaria, medidas de adaptación, como la instalación de captadores pasivos de arena en las dunas o su restauración en zonas críticas, pueden ser necesarias para mitigar los efectos del aumento del nivel del mar. La conservación de las dunas frontales e interiores debe ser una prioridad para reducir la vulnerabilidad general de la costa.

4.2. Eficiencia de los proyectos de restauración/conservación

Una estrategia eficaz para aumentar la resiliencia de los sistemas de dunas y proteger la costa consiste en proyectos de restauración y conservación de dunas. En este contexto, analizamos dos proyectos en el municipio de Xangrilá (RS, Brasil) llevados a cabo por Tabajara & Weschenfelder (2011) y Portz et al. (2015) (Figura 3). Las medidas adoptadas de recuperación y estabilización de la duna frontal consistieron en la instalación de captadores pasivos de arena y repoblación con vegetación autóctona, así como la adecuación de accesos a playa (pasarela), evitando el pisoteo de la vegetación. Las dunas restauradas se han recuperado significativamente, con un aumento de la cubierta vegetal y la estabilización de la línea de costa. En los últimos 10 años, esta estabilidad se ha mantenido, como puede verse en la figura 3.



Fig 3. Gestión de dunas en el municipio de Xangrilá. Fotografías del área de gestión en los años A) 2010, B) 2012 y C) 2018, mostrando la estabilización del sistema. D) Variación de la línea frontal de las dunas para los años 2005 (antes de la gestión de dunas), 2018 y 2023 (después), que muestra la estabilidad de la línea frontal de la duna a lo largo del tiempo (imagen base de ArcGIS Pro 3.2.2, coordenadas UTM-WGS84-Zone 22S). Fotografías: Luana Portz

Además de la evaluación de estos proyectos, se analizó el efecto de una tormenta en 2016 sobre un proyecto (<https://oeco.org.br/salada-verde/24801-praias-do-litoral-gaucha-preservam-dunas-costeiras-sp-493050605>) de restauración en la zona urbana en Atlántida Sul (Municipio de Osório RS/Brasil). La Figura 4 muestra una panorámica de un sector en el que se reconstruyó el sistema dunar y otro contiguo en que se mantuvo una zona sin dunas, utilizada para actividades de ocio durante el verano. Después de la tormenta, en el sector con el sistema de dunas reconstruido se formó un escarpe erosivo ± 1.3 m (Fig. 2), lo que provocó una reducción significativa de la superficie de dunas. Sin embargo, la zona sin dunas sufrió mayores daños, con la eliminación de una gran cantidad de arena, al no haber vegetación superficial. Este pequeño sector ilustra la importancia crucial del mantenimiento del sistema de dunas para la defensa de la zona costera y las infraestructuras urbanas.

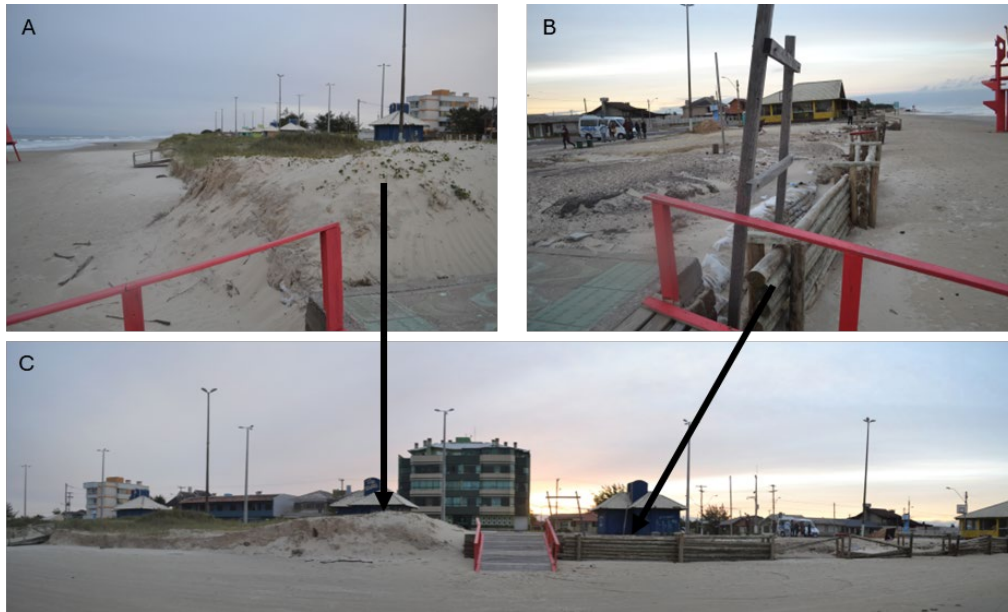


Fig. 4. Playa de Atlantida Sul, RS. A) Sector con restauración de la duna frontal con presencia de una escarpa. B) Sector sin manejo de dunas con daños a la infraestructura urbana. C) Panorámica de las dunas frontales pós tormentas (marea meteorológica). Fotografías: Luana Portz

La eficacia de los proyectos de gestión depende de varios factores, como la técnica utilizada, las condiciones ambientales locales y el grado de participación de la comunidad. Los proyectos de mayor éxito fueron los que combinaron técnicas de restauración física con labores de revegetación y mantenimiento continuo. La aplicación de prácticas sostenibles y la adaptación a las condiciones específicas de cada lugar son esenciales para garantizar la persistencia de los resultados (Nordstrom & Jackson, 2021). Por ejemplo, las técnicas de restauración física, como la instalación de captadores pasivos de arena para el control de la erosión, son fundamentales para estabilizar las dunas a corto plazo. Sin embargo, estas técnicas deben complementarse con esfuerzos de revegetación que promuevan el crecimiento de especies autóctonas. La vegetación desempeña un papel crucial en la estabilización de las dunas, ya que sus raíces ayudan a mantener la arena en su sitio y la vegetación superficial reduce la velocidad del viento (Portz et al., 2015).

4.3. Sostenibilidad a largo plazo

La sostenibilidad de las estrategias de gestión de dunas debe considerarse en el contexto del cambio climático. Dado que se prevé que el nivel del mar siga subiendo y que las tormentas se intensifiquen, es esencial que los proyectos de restauración y conservación de dunas sean adaptativos y se basen en un seguimiento continuo.

Un aspecto crucial para la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos de gestión de dunas es la combinación de técnicas de restauración física con labores de revegetación y mantenimiento continuo. Además, el grado de implicación de la comunidad es un factor determinante para el éxito a largo plazo. Los proyectos que incluyen la participación activa de la comunidad local tienden a ser más sostenibles, ya que los residentes se convierten en guardianes de las zonas restauradas (Sánchez-Arcilla et al., 2022). Esta implicación ayuda a mantener y prevenir prácticas perjudiciales, como el pisoteo de la vegetación y el uso inadecuado de las zonas de dunas. La educación ambiental y la sensibilización de la comunidad son componentes clave para garantizar el apoyo local y la continuidad de los esfuerzos de conservación.

Las condiciones ambientales locales, como el clima, la frecuencia de las tormentas y la topografía, también influyen en la eficacia de los proyectos de gestión (Portz et al., 2015). En regiones con alta incidencia de tormentas, es crucial que las técnicas de gestión sean lo bastante robustas como para soportar fenómenos extremos. Los proyectos deben diseñarse de forma flexible, permitiendo ajustes y mejoras basados en datos de seguimiento continuo. El seguimiento continuo también es esencial para evaluar la eficacia de las intervenciones (Fontán-

Bouzas et al., 2022) y realizar los ajustes necesarios. Sin un programa de seguimiento eficaz, es difícil medir el éxito de las técnicas empleadas e identificar las áreas que necesitan mejoras. El uso de tecnologías avanzadas, como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG), puede mejorar considerablemente la capacidad de seguimiento y gestión de los sistemas de dunas (Fabbri et al., 2021; Portz et al., 2014).

5. Conclusiones

El actual aumento del nivel del mar provocará un agravamiento de los procesos de erosión para muchos sectores de la costa de RS si los planes de mitigación o adaptación no se implementan progresivamente. Además, alteraciones del clima marítimo también aumentarán la frecuencia de las tormentas, lo que provocará inundaciones más frecuentes y severas en las zonas costeras, especialmente donde no cuentan con un sistema dunar consolidado que actúe como barrera protectora frente a estos procesos. Al conectar la importancia de las dunas con la vulnerabilidad de los cauces de drenaje fluvial naturales (*sangradouros* en Brasil), los resultados ponen de manifiesto la necesidad de una gestión costera integrada que contemple tanto la preservación de las dunas como la mitigación de los riesgos asociados a dichos cauces. Las medidas de adaptación, como la restauración de dunas en zonas críticas, pueden ser necesarias para mitigar los efectos de la erosión. Además, la preservación de las dunas frontales e interiores debe ser una prioridad para reducir la vulnerabilidad general de la costa. Las políticas públicas deben promover prácticas de gestión resilientes al cambio climático que garanticen la protección a largo plazo de las regiones costeras.

6. Referencias

- Fabbri, S., Grotoli, E., Armaroli, C., & Ciavola, P. (2021). Using High-Spatial Resolution UAV-Derived Data to Evaluate Vegetation and Geomorphological Changes on a Dune Field Involved in a Restoration Endeavour. *Remote Sensing*, 13(10), 1987. <https://doi.org/10.3390/rs13101987>
- Fontán-Bouzas, Á., Andriolo, U., Silva, P. A., & Baptista, P. (2022). Wave Impact Analysis on a Beach-Dune System to Support Coastal Management and Nourishment Works: The Showcase of Mira, Portugal. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.861569>
- Hesp, P. A. (2000). *Coastal Dunes: Form and Function*. CDNV Technical Bulletin, n.4. Massey University.
- Martinez L.L., & Psuty N.P. (2004). *Coastal Dunes, Ecology and Conservation. Ecological Studies*. (Vol. 171). Springer-Verlag.
- Nordstrom, K. F., & Jackson, N. L. (2021). *Beach and Dune Restoration*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108866453>
- Parise, C. K., Calliari, L. J., & Krusche, N. (2009). EXTREME STORM SURGES IN THE SOUTH OF BRAZIL : ATMOSPHERIC CONDITIONS AND SHORE EROSION. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(3), 175–188.
- Portz, L., Jardim, J. P. M., Manzolli, R. P., & Gruber, N. S. (2016). Impacts on the dunes system: Natural dynamic versus anthropogenic interference. *Ambiente e Sociedade*, 19(3). <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC140491V1932016>
- Portz, L., Manzolli, R. P., Hermanns, L., & Alcántara Carrió, J. (2015). Evaluation of the efficiency of dune reconstruction techniques in Xangri-lá (Rio Grande do Sul, Brazil). *Ocean and Coastal Management*, 104, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.12.005>
- Portz, L., Rockett, G. C., Franchini, R. A. L., Manzolli, R. P., & Gruber, N. L. S. (2014). Gestão de dunas costeiras: o uso de sistema de informações geográficas (SIG) na implantação de planos de gestão no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14(3), 517–534. <https://doi.org/10.5894/rgci445>

- Sánchez-Arcilla, A., Cáceres, I., Roux, X. Le, Hinkel, J., Schuerch, M., Nicholls, R. J., Otero, del M., Staneva, J., de Vries, M., Pernice, U., Briere, C., Caiola, N., Gracia, V., Ibáñez, C., & Torresan, S. (2022). Barriers and enablers for upscaling coastal restoration. *Nature-Based Solutions*, 2, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100032>
- Tabajara, L. L. C. A., & Weschenfelder, J. (2011). Recuperação de Dunas Frontais em Área Degradada por Sangradouro na Praia de Xangri-Lá/RS. *GRAVEL*, 9(1), 69–85.
- Tomazelli, L. (1994). Morfologia, Organização e Evolução do Campo Eólico Costeiro do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas Em Geociências*, 21(1), 64. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.21252>