



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/jeap.9.1.2024.5847.001-011



Sítios arqueológicos como indicadores de geodiversidade: uma análise na Planície Costeira do Rio Grande do Sul

Archaeological sites as geodiversity proxies: an analysis in the Rio Grande do Sul Coastal Plain

Johny Barrêto Alves^a, Emanuélle Soares Cardozo^b, André Weissheimer de Borba^a

^a Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Programa de Pós-Graduação em Geografia-PPGGEO. Av. Roraima, nº 1000, Prédio 17, Sala 1132, Bairro Camobi, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 97105-900. E-mail: johnybarreto@gmail.com (Autor correspondente), andre.w.borba@ufsm.br.

^b Universidade Federal de Pelotas-UFPEL, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais-PPGCamb. Rua Benjamin Constant, nº 989, Bairro Porto, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 96010-020. E-mail: emanuellesoarescardozo@gmail.com.

ARTICLE INFO

Recebido 22 Mai 2023

Aceito 12 Dez 2023

Publicado 03 Jan 2024

ABSTRACT

The Rio Grande do Sul Coastal Plain (RSCP), like other coastal areas in the world, can be considered a geodiversity hotspot. To its extent, there are only four geosites inventoried by the GEOSSIT system of the Brazilian Geological Survey (SGB – CPRM), with three of them having associated archaeological interests. Therefore, with few geosites in the RSCP, would it be possible to inventory areas of interest for geodiversity studies based on archaeological sites? To investigate the hypothesis, a geo-spatial analysis of the northern portion of the RSCP was performed, from a Kernel map built up with the location of 179 archaeological sites. High potential areas were identified in the extreme north of the RSCP and around the *Guaíba* Lake. Both areas have already been objects for studies of geodiversity and geoconservation. So, an important conclusion is that Guarani indigenous tradition sites can be used to identify interesting sites for geodiversity. However, the paucity of georeferenced sites has diminished the coverage of high-potential areas, so field studies are needed to understand some geodiversity features of the locations indicated by the Kernel map.

Keywords: Remote sensing, geoconservation, geoheritage, coastal plain.

RESUMO

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), como outras regiões costeiras do mundo, é um *hotspot* de geodiversidade. Em toda a sua extensão, existem apenas quatro geossítios inventariados pelo cadastro do Serviço Geológico do Brasil (SGB – CPRM), sendo três deles com interesse arqueológico associado. Assim, com poucos geossítios na PCRS, seria possível inventariar áreas de interesse para estudos de geodiversidade a partir de sítios arqueológicos? Para validar a hipótese, foi realizada uma análise geoespacial no norte da PCRS, a partir de um mapa de Kernel construído com 179 pontos de sítios arqueológicos. Foram identificadas áreas de interesse muito alto no extremo norte da PCRS e na região do Lago Guaíba. As regiões em questão apresentam estudos de geodiversidade e geoconservação, o que permitiu entender que sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani podem funcionar como indicadores de áreas de interesse. No entanto, a falta de sítios georreferenciados implicou na diminuição da abrangência das áreas de interesse muito alto e estudos de campo são necessários para averiguar aspectos de geodiversidade dos locais apontados pelo mapa de Kernel.

Palavras-Chave: Sensoriamento remoto, geoconservação, geopatrimônio, planície costeira.



Introdução

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) é uma expressão geomorfológica construída sobre os depósitos mais recentes da Bacia de Pelotas e uma das poucas do mundo onde se encontra o registro das últimas quatro oscilações quaternárias do nível relativo do mar (Tomazelli & Villwock, 2000; Portz et al., 2018). Seus processos de formação são associados às oscilações glacio-eustáticas globais do nível marinho, tectonismo, variações climáticas e processos deposicionais costeiros (Tomazelli & Villwock, 2000; Tomazelli & Dillenburg, 2007; Rosa et al., 2009; Martinho, Hesp & Dillenburg, 2010; Dillenburg et al., 2017), que deram origem a um sistema de leques aluviais, justaposto ao embasamento cristalino, e quatro sistemas aflorantes do tipo laguna-barreira que progrediram rumo ao leste.

Na PCRS, são reconhecidos, de acordo com Rosa et al. (2017), quatro sistemas do tipo laguna-barreira: o Sistema Pleistocênico I, de 325 ka; o Sistema Pleistocênico II, de 230 ka; o Sistema Pleistocênico III, de 125 ka; e o Sistema Holocênico IV, de 8 ka. Ao longo das últimas décadas, esses sistemas deposicionais e seus registros têm funcionado como laboratórios naturais para a realização de inúmeros estudos voltados à evolução geológica (e.g. Tomazelli & Dillenburg, 2007; Martinho, Dillenburg & Hesp, 2008; Dillenburg et al., 2011; Dillenburg et al., 2017; Rosa et al., 2017). Ainda que o cenário de depósitos costeiros seja um *hostspot* de geodiversidade (Gray, 2008), pesquisas que discutem geodiversidade e geoconservação, bem como as ameaças ao patrimônio abiótico da PCRS, possuem números reduzidos (e.g. Tomazelli et al., 2008; Borba & Gruber, 2010; Ramos, 2020; Porto, 2022; Rockett et al., 2022).

As quantidades limitadas de estudos são refletidas no número de geossítios inventariados no litoral do Rio Grande do Sul (RS). De acordo com o GEOSSIT (Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade), mantido pela SGB – CPRM (Serviço Geológico do Brasil), na PCRS existem dois geossítios: o Parque da Guarita, de temática principal associada à geomorfologia e secundária à estratigrafia; e a Paleotoca Cristal, de temática principal paleontologia e, secundária, espeleologia. Nas listas da SIGEP (Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil), uma iniciativa que pretendia levantar o patrimônio geológico nacional a partir de submissões voluntárias de sítios, há mais

dois geossítios na PCRS: as Dunas do Albardão (Lopes, Ugri & Buchmann, 2009a) e as Barrancas Fossilíferas do Arroio Chuí (Lopes et al., 2009b). Embora possuam temáticas distintas, três dos quatro geossítios citados (Parque da Guarita, Paleotoca Cristal e Dunas do Albardão) possuem, em comum, o interesse arqueológico associado.

A associação desses três geossítios da PCRS ao patrimônio arqueológico decorre, em partes, da preservação de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani no litoral do RS. Os locais de preservação dos sítios guaranis estão diretamente relacionados aos depósitos sedimentares costeiros, pois os espaços que foram ocupados pelos indígenas consistiram nos altos de dunas pleistocênicas estabilizadas, nas terras férteis do sistema de leques aluviais e nos terraços lagunares pleistocênicos e holocênicos (Milheira, 2014; Wagner, 2014; Alves & Urban, 2023).

Diante do número reduzido de estudos de geodiversidade e geoconservação, a escassez de geossítios e as suas associações ao interesse arqueológico na PCRS, torna-se pertinente questionar a viabilidade de inventariar os locais de interesse para estudos futuros com base em pontos conhecidos de arqueologia. Assim, o estudo objetiva realizar uma análise geoespacial, com base em sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani, na porção norte da PCRS, para verificar se as maiores concentrações de sítios estão associadas aos locais que possuem estudos de geodiversidade e geoconservação, ou que permitam entender a geodiversidade local e validar a hipótese de que sítios arqueológicos guaranis possam funcionar como indicadores de áreas de interesse para estudos futuros.

Material e Métodos

A construção deste estudo decorreu do uso de um Sistema de Informações Georreferenciadas. Elaborou-se um banco de dados com informações obtidas em fontes governamentais e bibliográficas. Para a identificação dos locais de maiores concentrações de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani, foi construído um mapa de densidade de Kernel.

Área de estudo

A área estudada localiza-se no sul do território brasileiro, na porção norte do litoral do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Consiste em uma região de 33801,83 km², representada pelo polígono de linha branca tracejada na Figura 1C.



Figura 1. Mapa mostrando: (A) Localização da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), nos contextos continental; (B) federal; e (C) estadual. Sistema de coordenadas geográficas, datum SIRGAS 2000. Fonte: Alves, Cardozo & Borba (2023).

Fonte de dados

Um banco de dados foi elaborado contendo a base cartográfica contínua do estado do RS, na escala 1:100.000, disponibilizada no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística); o mapa geológico do estado do RS, obtido na plataforma da SGB – CPRM; as coordenadas de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani, obtidas em Noelli, Milheira & Wagner (2014); e os vetores dos limites das unidades de conservação estaduais e municipais, obtidas no site da SEMA (Secretaria Estadual do Meio Ambiente) do estado do RS. O banco de dados bruto foi inserido no programa livre QGIS 3.28 para a confecção do mapa de densidade de Kernel.

Mapa de densidade de Kernel

O mapa de densidade de Kernel foi selecionado como método de análise por ser utilizado para a modelagem da distribuição de fenômenos, como queimadas, inundações e focos de ocorrência de contaminações (Tehrany et al., 2015; Oliveira; Oliveira, 2017; Rizzatti et al., 2020). Neste estudo, a construção do mapa deu-se para entender a distribuição espacial dos sítios arqueológicos.

A partir da adaptação da metodologia apresentada por Rizzatti et al. (2020), foram realizadas as seguintes etapas: (I) tabulação das coordenadas dos sítios arqueológicos Guarani; (II) definição do valor do raio (R) a ser utilizado no processo de interpolação do mapa de densidade; (III) escolha da função Kernel; (IV) geração do mapa de densidade de Kernel no QGIS 3.28; (V) definição do intervalo de classes por quebras naturais; e (VI) procedimentos de finalização e diagramação.

A tabulação dos dados (etapa I) foi realizada em planilha eletrônica do *LibreOffice* e

considerou 179 sítios com coordenadas geográficas disponíveis. Os dados tabulados foram inseridos no QGIS 3.28 e convertidos para uma malha de pontos em arquivo *shapefile*. Na sequência, ocorreu a aplicação do algoritmo “Matriz de Distância”, onde foi considerado, no campo de identificação, o atributo “sigla” e, no campo “tipo de matriz de saída”, a configuração “sumário da matriz de distância”, que forneceu as informações de média, desvio padrão e valores mínimo e máximo. O arquivo resultante foi exportado em formato de planilha eletrônica e utilizado para a definição do valor do raio (R) de influência de cada ponto.

Na etapa II, o arquivo de pontos resultante da etapa I foi aberto no *LibreOffice* para obtenção do raio (R). De acordo com Rizzatti et al. (2020), duas possibilidades podem ser utilizadas para o cálculo do raio de influência (R) de cada ponto: a adição ou subtração da média da distância média, com a média do desvio padrão. A relação matemática é representada pela Equação 1.

$$R = \bar{X} \pm \bar{X}\sigma \quad \text{Eq.(1)}$$

onde \bar{X} é a média da distância média entre todos os pontos e $\bar{X}\sigma$ é a média do desvio padrão entre os pontos.

O valor obtido para a média da distância média foi de 79.852,272 metros; enquanto o resultado para a média do desvio padrão foi de 49.658,377 metros. O valor de R obtido a partir da adição resultou em 129.510,649 metros e o da subtração em 30.193,895 metros. Após o teste dos valores de raio de influência (Figura 2), adotando *pixels* de 1.000 metros, observou-se que, com o raio resultante da soma, houve uma descaracterização da distribuição espacial dos pontos. Por outro lado, com o raio obtido pela subtração, houve uma representação espacial mais

adequada (Figura 2A). Desta forma, optou-se pelo uso de 30.193,895 metros como valor de raio de influência (R) de cada ponto.

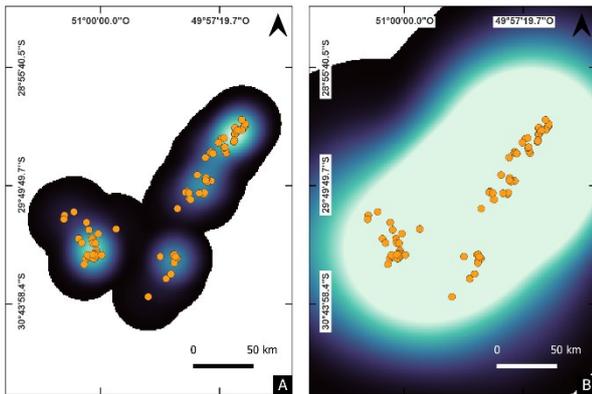


Figura 2. Malha de pontos de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani na porção norte da PCRS, juntamente da representação dos raios de influência calculados; (A) raio de 30.193,895 m; e (B) raio de 129.510,649 m. Sistema de coordenadas geográficas, datum SIRGAS 2000. Fonte: Alves, Cardozo & Borba (2023).

Em decorrência da análise realizada neste estudo ser semelhante àquela apresentada por Rizzatti et al. (2020), que modelaram focos de ocorrência de casos de COVID-19 em um município do RS, a função Kernel (etapa III) utilizada para a interpolação foi a Quártica. Neste caso, a função pondera o peso de pontos próximos de forma mais intensa que pontos distantes e apresenta decrescimento gradual (Kawamoto, 2012).

Na etapa IV foi utilizado o algoritmo “Mapa de calor (Estimativa de densidade de Kernel)” do programa QGIS 3.28, para interpolação do *raster* dotado dos locais de maior ocorrência de sítios arqueológicos. Na interface do algoritmo, foi inserida a camada de pontos de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani, o valor de raio de influência obtido (30.193,895 m), o tamanho de 100 m para o *pixel* e a função Quártica. Com o *raster* resultante, foram aplicados os procedimentos de definição de classes e criação do mapa coroplético. Cinco classes foram definidas e colorizadas com a paleta de cores denominada “spectral”.

Devido ao fato de que a análise realizada neste estudo envolve a distribuição de pontos em um espaço territorial e suas relações espaciais, foi aplicada a reclassificação pelo método de quebras naturais (etapa V), pois este apresenta os pontos agrupados de acordo com a semelhança da série de dados (Matsumoto, Catão & Guimarães, 2017). Para isso, o *raster* resultante na etapa IV foi convertido em uma camada de pontos *shapefile* –

onde cada *pixel* se tornou um ponto – e classificado pelo método de quebras naturais, resultando em novas cinco classes. As cinco classes resultantes da reclassificação por quebras naturais serviram para uma nova classificação da camada *raster* com a ferramenta “Reclassificar por Tabela”. Em seguida, a camada de pontos foi transformada novamente em uma camada *raster*.

A última etapa de construção do mapa de Kernel (etapa VI) consistiu na diagramação do mapa no compositor de impressão do QGIS 3.28. Considerando o mapa final, foram sobrepostos: grades de referência de 30 km de lado, para a delimitação de áreas de interesse; *shapefiles* das áreas densamente edificadas do IBGE, para a verificação da relação espacial de sítios arqueológicos e áreas densamente edificadas; um mapa geológico do estado do RS, com a finalidade de indicar os aspectos geológicos; e das unidades de conservação estaduais e municipais do RS, para identificar áreas protegidas administrativamente. Por fim, o mapa foi diagramado e exportado para a análise dos resultados.

Interpretação do mapa de Kernel

Para a interpretação do mapa de Kernel, as cinco classes obtidas na camada *raster* foram renomeadas, associando os valores numéricos de cada classe a uma interpretação definida. O mapa foi interpretado, então, considerando as seguintes classes de interesse: “Muito baixo”, “Baixo”, “Médio”, “Alto” e “Muito alto” (Tabela. 1).

Tabela 1. Intervalos de concentração de pontos de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani, classes definidas e interpretações utilizadas para cada classe. Fonte: Alves, Cardozo & Borba (2023).

Intervalo	Classe	Interpretação
0 - 5	E	Muito baixo
5 - 10	D	Baixo
10 - 15	C	Médio
15 - 20	B	Alto
20 - 25	A	Muito alto

Resultados

O mapa de densidade de Kernel, construído a partir de 179 pontos de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani no setor norte da PCRS, indicou a ocorrência de duas principais áreas de interesse muito alto. A primeira área está localizada no extremo norte da PCRS, próxima à divisa com o estado de Santa Catarina. A segunda está contida no entorno do Lago Guaíba,

próxima de Porto Alegre, capital do estado (Figura 3).

No extremo norte, as áreas de interesse muito alto para a geoconservação estão presentes nos municípios: Torres, dotado da Unidade de Conservação Estadual do Parque Estadual de Itapeva e a Área de Proteção Ambiental Lagoa Itapeva, Arroio do Sal, que contempla o Parque Natural Municipal Tupancy, Dom Pedro de

Alcântara e Três Cachoeiras (Figura 3, grades de referência de números 2 e 4). A região norte do mapa é associada às rochas do grupo Serra Geral, neste caso, as areníticas da Formação (Fm.) Botucatu e vulcânicas basálticas da Fm. Gramado, aos depósitos de praias, eólicos e de planície lagunar da Barreira Pleistocênica III, e depósitos eólicos e de planície de inundação atuais pertencentes ao sistema de Barreira Holocênica IV.

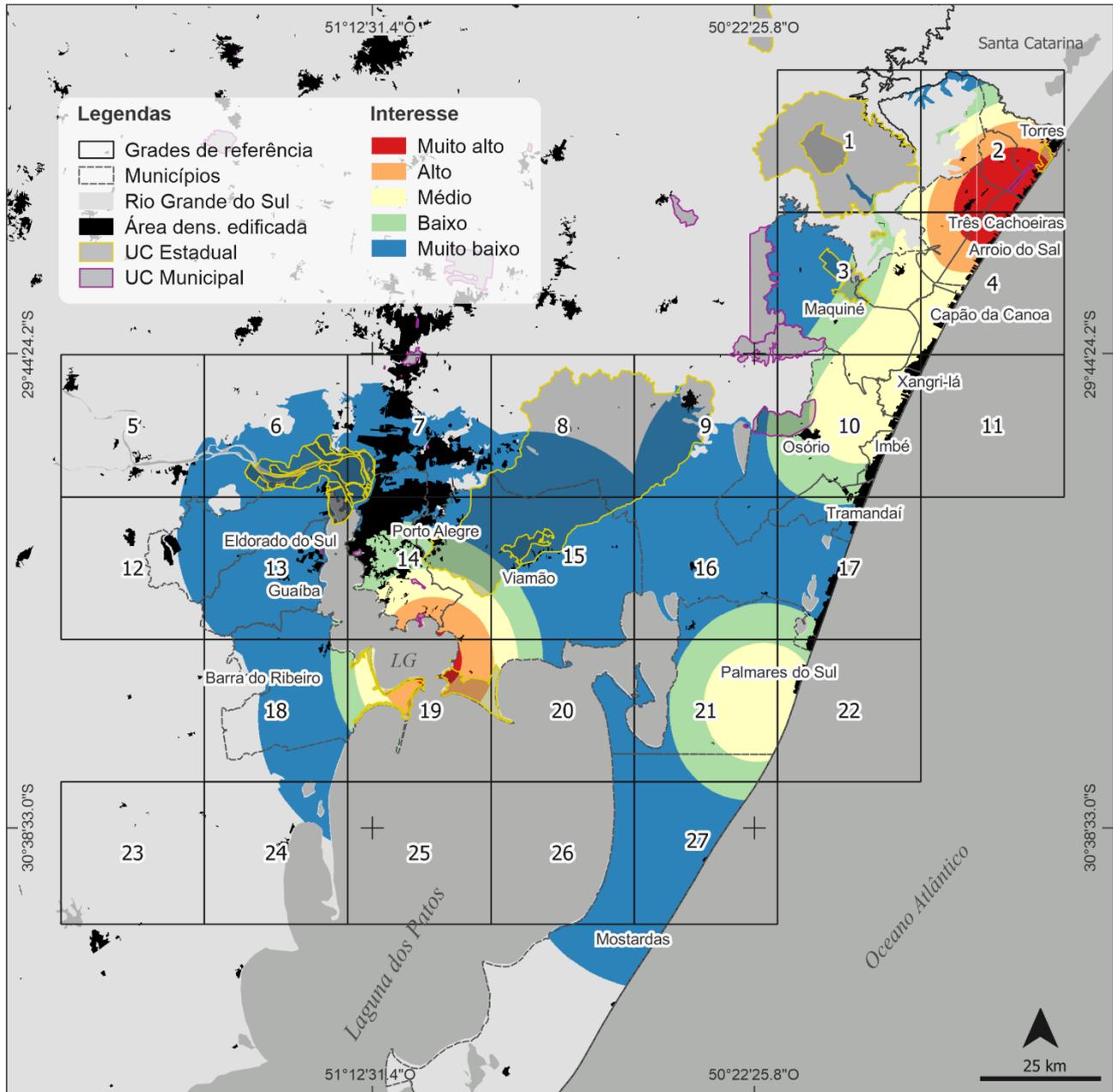


Figura 3. Mapa de densidade de Kernel obtido a partir dos sítios arqueológicos georreferenciados da tradição indígena Guarani no setor norte da PCRS. LG: Lago Guaíba. Sistema de coordenadas geográficas, datum SIRGAS 2000. Fonte: Alves, Cardozo & Borba (2023).

Na região do Lago Guaíba, a área de interesse muito alto está nos municípios de Viamão, na região do Parque Estadual de Itapuã, e Barra do Ribeiro, na área da Reserva Particular do Patrimônio Natural Estadual Barba Negra, próxima

ao encontro com a Laguna dos Patos. Naquele local, os sítios arqueológicos estão alocados nas rochas sienograníticas neoproterozóicas da Suíte Intrusiva Dom Feliciano, nos depósitos eólicos pleistocênicos pertencentes ao sistema de Barreira

I, e nos depósitos eólicos e de planície lagunar atuais.

As áreas de interesse alto e médio estão presentes nas adjacências das áreas de interesse muito alto (Figura 3). O interesse muito alto no extremo norte, contemplado nos municípios de Torres e Arroio do Sal, possui comportamento decrescente em direção aos municípios de Capão da Canoa, Xangri-lá, Imbé, Maquiné e Osório; e interesse baixo no município de Tramandaí. Estas regiões são comumente associadas aos depósitos praias, lagunares e eólicos do sistema de Laguna-Barreira Pleistocênico III, bem como ambientes de sedimentação atuais de sistemas lagunares, praias e eólicos do Sistema Holocênico IV. No caso da região do Lago Guaíba, a região de interesse alto abrange o Parque Natural Municipal Morro José Lutzenberger e a área do Refúgio da Vida Silvestre Morro São Pedro. O mapa apresenta, ainda, uma região de interesse médio na cidade de Palmares do Sul (Figura 3).

Nos municípios de Torres e Arroio do Sal, os sítios arqueológicos estão contidos em áreas densamente edificadas. Torres apresenta esta relação por meio do sítio RS-LN-03, posicionado em área de interesse muito alto, no limite da Unidade de Conservação Estadual Parque Itapeva. No município de Arroio do Sal, a sobreposição pode ser vista em região de interesse alto, por meio

dos sítios RS-LN-317 e RS-LN-302, próximos do Parque Natural Municipal Tupancy e, também, pelo sítio RS-LN-314, mais ao sul.

A partir da sobreposição das grades de referências de 30 km de lado, foram obtidas três áreas de interesse muito alto para a geodiversidade e geoconservação (Quadro 1). Os aspectos de geodiversidade foram sintetizados na Tabela 2.

Quadro 1. Áreas de interesse muito alto para geoconservação no norte da PCRS. Sistema de coordenadas geográficas, datum SIRGAS 2000. Fonte: Alves, Cardozo & Borba (2023).

Grade de referência	Coordenadas		
	Latitude	Longitude	
2	29°11'50.5"S	50°01'28.6"O	
	29°11'41.1"S	49°42'57.9"O	
	29°27'55.6"S	49°42'45.7"O	
	29°28'05.1"S	50°01'19.4"O	
4	29°28'05.1"S	50°01'19.4"O	
	29°27'55.6"S	49°42'45.7"O	
	29°44'10.1"S	49°42'33.3"O	
19	29°44'19.7"S	50°01'09.9"O	
	30°17'01.1"S	51°15'42.5"O	
	30°17'02.0"S	50°56'59.5"O	
	30°33'16.6"S	50°56'59.0"O	
		30°33'15.7"S	51°15'45.1"O

Tabela 2. Regiões de interesse muito alto para a geodiversidade e geoconservação no norte da PCRS, obtidas a partir de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani, Unidades de Conservação (UC) e atributos de geodiversidade associados e descritos na literatura. Fonte: Alves, Cardozo & Borba (2023).

Região	UC	Atributos de geodiversidade
Extremo norte	Parque da Guarita, Parque Estadual de Itapeva, Área de Proteção Ambiental Lagoa Itapeva	Depósitos fossilíferos pleistocênicos do Sistema III (Tomazelli & Dillenburg, 2007); Dunas eólicas ativas e inativas do Parque Estadual de Itapeva (Tomazelli et al., 2008; Rockett et al., 2021; 2022); conteúdo fossilífero de palinórfos e ostracodes da Lagoa Itapeva (Meyer et al., 2005; Campos, Nunes & Bergue, 2021).
Lago Guaíba	Parque Estadual de Itapuã e Reserva Particular do Patrimônio Natural Estadual Barba Negra	Ilha da Ponta Escura (gênese sedimentar), dotada de turmalinas e solo quartzarênico órtico; Ilha das Pombas (gênese rochosa) que apresenta solos litólicos e flúvicos (Ramos, 2015).

Discussão

Para Brilha (2016), a geoconservação objetiva identificar, proteger e gerenciar elementos valiosos de geodiversidade. Um exemplo de identificação considerando o nível de geodiversidade em um determinado local foi apresentado por Araujo & Pereira (2017), que consideraram os aspectos litológicos, pedológicos,

geomorfológicos, paleontológicos, mineralógicos e hídricos. No entanto, a geodiversidade é um aspecto subjetivo do meio abiótico (Borba, 2011), que pode abranger as mais diversas perspectivas, como as científicas-educacionais, culturais, estéticas e, também, artísticas (Gray, 2005; Brilha, 2005).

Sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani podem ser considerados em perspectivas da geodiversidade, especialmente as científicas-educacionais e culturais, ao estarem associados aos atributos geomorfológicos, como dunas e paleodunas, por exemplo, conforme aponta Milheira (2014). Até o presente momento, sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani não foram utilizados como um recurso de identificação de pontos de geodiversidade, ainda que os geossítios da PCRS possuam interesse arqueológico associado e regiões costeiras consistam em *hotspots* de geodiversidade (Gray, 2008).

Neste estudo, duas áreas de interesse muito alto foram obtidas: a região do Extremo norte da PCRS e a do Lago Guaíba. Ao cruzar os resultados, oriundos das concentrações de sítios arqueológicos, com descrições da bibliografia (Meyer et al., 2005; Tomazelli & Dillenburg, 2007; Tomazelli et al., 2008; Ramos, 2015; Campos, Nunes & Bergue, 2021; Rockett et al., 2021; 2022), é possível destacar atributos de geodiversidade (e.g. geomorfologia, paleontologia e pedologia) para cada uma das regiões de interesse muito alto.

Áreas de interesse e geodiversidade

O fato do extremo norte da área de estudo ser uma região de interesse muito alto para a geodiversidade e geoconservação é um resultado que foi esperado, pois no município de Torres, na divisa com o estado de Santa Catarina, existe o Parque da Guarita. Esse parque apresenta uma associação de rochas do grupo Serra Geral da Bacia do Paraná, em interação com sedimentos de planície costeira. Além de ser um local com interesse arqueológico associado, trata-se de um ponto reconhecido de geodiversidade no RS, que está inserido em roteiros de campo (ver Portz et al., 2018). Adicionalmente, pesquisas arqueológicas foram realizadas com prioridade nas áreas dos atuais municípios de Cidreira, Tramandaí, Osório, Arroio do Sal e Torres (Wagner, 2014), algo que resultou na ocorrência de mais sítios arqueológicos e influenciou os resultados deste estudo.

O Parque da Guarita é adjacente aos depósitos praias, eólicos e de planície lagunar do Sistema Pleistocênico III. Em um estudo detalhado entre as cidades de Osório e Tramandaí (interesse de baixo a médio neste estudo), Tomazelli & Dillenburg (2007) demonstraram que o Sistema III é dotado de estruturas sedimentares dos tipos *hummocky* e plano paralelas, indicativos de bioturbação, paleossolos e icnofósseis de *Ophiomorpha nodosa*, que revelaram um nível relativo do mar 7 m acima do atual há, aproximadamente, 125 ka. Ainda que alocadas, de

forma adjacente, à área de interesse muito alto, nota-se que as áreas de interesse baixo a médio possuem atributos de geodiversidade (estratigrafia e paleontologia), que são destacáveis e, possivelmente, únicas para uma determinada região.

Em relação aos ambientes de sedimentação ativos, pertencentes ao Sistema Holocênico IV, o extremo norte possui a Unidade de Conservação Estadual Parque Estadual de Itapeva – contido em uma região de interesse muito alto e um exemplo de geossítio associado ao Geoparque Global UNESCO Caminhos dos Cânions do Sul. Ao estudar a geomorfologia e o potencial de preservação do parque, Tomazelli et al. (2008) indicaram que, a oeste, o parque é delimitado por um cordão de precipitação e é dotado de morfologia de dunas do tipo reversas, com alturas de até 25 metros. A expansão urbana da cidade de Torres, no limite norte do campo de dunas, é uma problemática para a preservação deste geossítio (Tomazelli et al., 2008), pois diminui o suprimento natural de areia responsável pela alimentação do sistema.

Entre os anos de 1953 e 2013, houve um aumento das áreas urbanizadas no campo de dunas do Parque Itapeva (Rockett et al., 2021). Como resposta à expansão urbana, Rockett et al. (2022) indicaram que ações de geoconservação naquele local devem considerar a restrição de atividades antrópicas e a marcação de trilhas no interior do campo de dunas, visto que o parque é limitado por ocupação humana – não detém mais seus limites naturais de migração – e isso pode ocasionar modificações na migração da geodiversidade eólica. Essas ações de geoconservação seriam úteis, também, para a preservação do patrimônio arqueológico Guarani, uma vez que os sítios RS-LN-07, RS-LN-08, RS-LN-09, RS-LN-10 e RS-LN-19 encontram-se no campo de dunas do Parque Itapeva (Noelli, Milheira & Wagner, 2014). Esse não é o caso do RS-LN-03, que hoje se encontra em área densamente edificada.

Ainda sobre os ambientes ativos, um outro exemplo dos aspectos de geodiversidade do extremo norte da PCRS é a Área de Proteção Ambiental Lagoa Itapeva – localizada no bioma Mata Atlântica. Considerando os estudos paleontológicos voltados à investigação de palinóforos (Meyer et al., 2005) e fósseis de Ostracodes (Campos, Nunes & Bergue, 2021), foi demonstrado o comportamento deste sistema lagunar durante o Holoceno, que se caracterizou como um pântano dotado de água doce. Variações de salinidade ocorreram no momento evolutivo do máximo transgressivo marinho, que teria acontecido por volta de 6.460 ± 40 anos AP (Meyer

et al., 2005). Destacam-se, portanto, os atributos fossilíferos da Lagoa Itapeva.

A região do Lago Guaíba contempla a Unidade de Conservação Estadual Parque Estadual de Itapuã. Naquela região, ao modelar acidentes com vazamentos de óleo, Marinho, Nicolodi & Neto (2021) demonstraram que as praias das Pombas, Pedreira e Onça são locais de alta vulnerabilidade a acidentes de vazamento de óleo, e por conta disso devem ser consideradas como prioridade em ações de proteção. Ao versar sobre a geodiversidade das ilhas das Pombas e da Ponta Escura, Ramos (2015) demonstrou as suas particularidades. Conforme a autora, a ilha da Ponta Escura se formou a partir de processos sedimentares e apresenta concentração de minerais pesados (turmalina), enquanto a ilha das Pombas possui origem rochosa. As ilhas também divergem em particularidades pedológicas: solos Litólicos e Flúvicos na Ilha das Pombas e Quartzarênico Órtico na ilha da Ponta Escura (Ramos, 2015).

Neste estudo, as cidades de Tramandaí e Osório correspondem às áreas de interesse médio a muito baixo, mesmo dotadas de potencial geológico e fossilífero associados ao Sistema Pleistocênico III (ver Tomazelli & Dillenburg, 2007). Isso é um reflexo da escassez de dados arqueológicos georreferenciados. A cidade de Tramandaí, por exemplo, possui oito sítios arqueológicos reconhecidos, porém sem suas respectivas coordenadas, conforme pode ser observado no estudo de Noelli, Milheira & Wagner (2014). O município de Palmares do Sul detém 23 sítios, onde 13 são georreferenciados. A ausência de sítios arqueológicos georreferenciados implicou na diminuição da abrangência de áreas de interesse muito alto deste estudo.

Áreas de interesse e ameaças ao patrimônio geológico e arqueológico

Embora a expansão urbana no setor Norte tenha contribuído para a realização de pesquisas arqueológicas, conforme aponta Wagner (2014), hoje é uma ameaça ao geopatrimônio da PCRS (Tomazelli et al., 2008; Borba & Gruber, 2010; Rockett et al., 2021; 2022). Ao observar as áreas dotadas de maior interesse para a geoconservação, apresentadas no Quadro 1, nota-se que alguns sítios arqueológicos estão localizados em regiões densamente edificadas. Em Torres, por exemplo, o sítio RS-LN-03 foi descoberto no ano de 2004; em Arroio do Sal, o RS-LN-302 foi revelado no ano de 2010; em Xangri-lá, o RS-LN-19 foi localizado no ano de 1982 e, posteriormente, 2009 (Noelli, Milheira & Wagner, 2014).

A presença de sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani, em regiões densamente

edificadas, pode indicar a supressão do patrimônio geológico e arqueológico, uma vez que os sítios estão alocados em depósitos sedimentares e em ambientes de sedimentação da PCRS (Milheira, 2014; Wagner, 2014). Este resultado corrobora com estudos que apontam a expansão urbana como uma ameaça ao geopatrimônio e permite entender que sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani estão diretamente associados à geodiversidade.

No setor norte da PCRS, a supressão de dunas frontais, para ocupação humana, a pressão antrópica sazonal, em decorrência do turismo, e a mineração caracterizam agressões ao meio natural, conforme Borba & Gruber (2010). Nos últimos cinco anos, exatamente na área de interesse muito alto deste estudo, no município de Arroio do Sal, tem sido planejada a construção de um grande terminal portuário para o escoamento da produção metalmeccânica da Serra Gaúcha.

Estes acometimentos ao patrimônio do setor norte, acarretados pela expansão urbana desordenada, podem explicar a coexistência de sítios registrados na década de 1980 e áreas atualmente edificadas. Ademais, a pressão pré-existente e os projetos de infraestrutura (como o terminal portuário) indicam a necessidade de se pensar mais profundamente na geodiversidade e nos locais de interesse de aplicação de métodos de geoconservação obtidos neste estudo (Quadro 1), com o intuito de evitar a degradação do patrimônio, não só geológico e arqueológico, mas, também, biológico.

Conclusão

Os sítios arqueológicos da tradição indígena Guarani funcionaram como indicadores de geodiversidade no norte da PCRS e foram eficazes para determinar áreas de interesse para a geoconservação. As principais áreas de interesse encontradas consistem no extremo norte do litoral do estado, nas cidades de Torres, Arroio do Sal, Dom Pedro de Alcântara, Três Cachoeiras, e na região do Lago Guaíba, nos municípios de Viamão e Barra do Ribeiro. As regiões são comumente associadas às Unidades de Conservação estaduais e municipais, indicando uma preocupação do poder público e da comunidade para com o meio natural – o que também pode ter ocasionado a ocorrência de mais estudos científicos que abordam geodiversidade e geoconservação. Essas regiões também são o foco das maiores pressões antrópicas (mineração, obras de infraestrutura, urbanização acelerada).

A geodiversidade e os sítios arqueológicos da PCRS estão diretamente conectados. As características geológicas e as paisagens presentes

em um sítio são os depósitos sedimentares costeiros. Assim, a preservação da geodiversidade em sítios arqueológicos é essencial para a compreensão e interpretação desses locais históricos, bem como a execução de estudos de cunho geoarqueológicos, que buscam entender a interface entre permanência humana e evolução natural da paisagem.

A escassez de dados geoespaciais sobre os sítios da tradição indígena Guarani revela que outras áreas da PCRS podem apresentar níveis de interesses maiores para a geoconservação. Embora sítios arqueológicos tenham funcionado como indicadores de geodiversidade no litoral norte do RS, a metodologia deve ser testada em outras regiões, como as porções central e sul, que possuem menos pesquisas geológicas, quando comparadas ao setor norte.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa, nível mestrado.

Referências

- Alves, J. B.; Urban, C. 2023. Geoarqueologia do sítio Guarani RS-LS-45, planície costeira do Rio Grande do Sul. *Ciência e Natura*, 45, 35. <https://doi.org/10.5902/2179460X72262>
- Araújo, A. M.; Pereira, D. I. 2017. A New Methodological Contribution for the Geodiversity Assessment: Applicability to Ceará State (Brazil). *Geoheritage*, 10, 591-605. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0250-3>
- Borba, A. W.; Gruber, N. S. 2010. Geologia e geomorfologia da região do litoral norte no contexto da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. In: Luizelli, B. B. B.; Souza, L. F.; Borba, A. W. (org.). Situação ambiental do litoral Norte do estado do Rio Grande do Sul. Ministério Público Federal e Ministério Público do estado do Rio Grande do Sul, Unidade de Assessoramento Ambiental, Porto Alegre, pp. 6-17.
- Borba, A. W. 2011. Geodiversidade e geopatrimônio como bases para estratégias de geoconservação: conceitos, abordagens, métodos de avaliação e aplicabilidade no contexto do Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisas em Geociências*, 38, 1, 3-13. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.23832>
- Brilha, J. B. 2005. Patrimônio geológico e geoconservação. Palimage Editores, Braga, 190p.
- Brilha, J. B. 2016. Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity sites: a Review. *Geoheritage*, 8, 119-134. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>
- Campos, L. T. S.; Nunes, L. O.; Bergue, C. T. 2021. Fossil holocene Ostracoda from the Itapeva Lake, Southern Brazilian Coastal Plain. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 24, 2, 79-89. <https://doi.org/10.4072/rbp.2021.2.01>
- Dillenburg, S. R.; Barboza E. G.; HESP, P. A.; Rosa, M. L. C. C. 2011. Ground Penetrating Radar (GPR) and Standard Penetration Test (SPT) records of a regressive barrier in southern Brazil. *Journal of Coastal Research*, 64, 651-655.
- Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C. C.; Caron, F.; Sawakuchi, A. O. 2017. The complex prograded Cassino barrier in southern Brazil: Geological and morphological evolution and records of climatic, oceanographic and sea-level changes in the last 7-6 ka. *Marine Geology*, 390, 106-119. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2017.06.007>
- Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade (GEOSSIT). Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/geossit/>. Acesso em: 01/04/2023.
- Gray, M. 2004. Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature. Wiley, Chichester, 448p.
- Gray, M. 2008. Geodiversity: developing the paradigm. *Proceedings of the Geologists' Association*, 119, 287-298. [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(08\)80307-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(08)80307-0)
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>. Acesso em: 01/04/2023.
- Kawamoto, M. T. 2012. Análise de técnicas de distribuição espacial com padrões pontuais e aplicação a dados de acidentes de trânsito e a dados de dengue de Rio Claro-SP. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, São Paulo, Brasil. 69p.
- Lopes, R. P.; Ugri, A.; Buchmann, F. S. C. 2009a. Dunas do Albardão, RS: Bela paisagem eólica no extremo sul da costa brasileira. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C. R. G.; Fernandes, A. C. S.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T. (Eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, Brasília, pp. 1-11.
- Lopes, R. P.; Buchmann, F. S. C.; Caron, F.; Itusarry, M. E. G. S. 2009b. Barrancas

- fossilíferas do Arroio Chui, RS: importante megafauna pleistocênica no extremo sul do Brasil. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Souza, C. R. G.; Fernandes, A. C. S.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E. T. (Eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, Brasília, pp. 1-11.
- Marinho, C.; Nicolodi, J. L.; Arigony Neto, J. 2021. Environmental vulnerability to oil spills in Itapuã State Park, Rio Grande do Sul, Brazil: An approach using two-dimensional numerical simulation. *Environmental Pollution*, 288, 117872. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117872>
- Martinho, C. T.; Dillenburg, S. R.; Hesp, P. 2008. Mid to late Holocene evolution of transgressive dunefields from Rio Grande do Sul coast, southern Brazil. *Marine Geology*, 256, 49-64. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2008.09.006>
- Martinho, C. T.; Hesp, P.; Dillenburg, S. R. 2010. Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of the northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology*, 117, 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.11.002>
- Matsumoto, S. S.; Catão, P. C.; Guimarães, R. B. 2017. Mentiras com mapas na Geografia da Saúde: métodos de classificação e o caso da base de dados de LVA do SINAN e do CVE. *Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, 13, 26, 211-225. <https://doi.org/10.14393/Hygeial32618>
- Meyer, K. E. B.; Reichhart, K.; Ashraf, A. R.; Marques-Toigo, M.; Mosbrugger, V. 2005. Holocene evolution of Itapeva Lake, Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorphs Corg, N, and S records. *South American Earth Sciences*, 19, 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.04.001>
- Milheira, R. G. 2014. Arqueologia guarani na Laguna dos Patos e Serra do Sudeste. In: Milheira, R. G.; Wagner, G. P. (org.). *Arqueologia guarani no litoral Sul do Brasil*, Appris, Curitiba, pp. 125-153.
- Noelli, F. S.; Milheira, R. G.; Wagner, G. P. 2014. Tabela de sítios guarani do litoral sul do Brasil, Uruguai e Argentina. In: Milheira, R. G.; Wagner, G. P. (org.). *Arqueologia guarani no litoral Sul do Brasil*, Appris, Curitiba, pp. 205-255.
- Oliveira, U. C.; Oliveira, P. S. 2017. Mapas de Kernel como subsídio à gestão ambiental: análise dos focos de calor na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos anos 2010 a 2015. *Espaço Aberto*, 7, 87-89.
- Porto, D. T. 2022. Avaliação em escala regional da geodiversidade da Aglomeração Urbana do Sul e seus municípios, litoral do Rio Grande do Sul, Brasil. *Terr@Plural*, 16, 1-18. <http://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.16.2218130.009>
- Portz, L.; Mazolli, R. P.; Rosa, M. L. C. C.; Gruber, N.; Barboza, E. G.; Tomazelli, L. J. 2018. Práticas em Geociências: roteiro de campo para compreender a evolução costeira no Rio Grande do Sul, Brasil. *Terræ Didática*, 14, 2, 119-133. <http://dx.doi.org/10.20396/td.v14i2.8651854>
- Ramos, C. L. M. 2020. A geodiversidade e a geoconservação nas ilhas das Pombas e da Ponta Escura, Rio Grande do Sul. *Dissertação de mestrado (mestrado)*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. 136p.
- Rizatti, M.; Batista, N. L.; Spode, P. L. C.; Erthal, D. B.; Faria, R. M.; Scotti, A. A. V.; Trentin, R.; Petsch, C.; Costa, I. T.; Quoos, J. H. 2020. Mapeamento da COVID-19 por meio da densidade de Kernel. *Metodologias e Aprendizagem*, 3, 44-53. <https://doi.org/10.21166/metapre.v3i0.1312>
- Rockett, G. C.; Barboza, E. G.; Fagundes, M. R.; Hesp, P. A.; Rosa, M. L. C. C. 2021. Evolutionary stage, anthropogenic activities and evolution of the Itapeva dunefield (Torres-RS, Brazil). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 12, 2, 1-18. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v12i2.77291>
- Rockett, G. C.; Hesp, P. A.; Portz, L.; Barboza, E. G. 2022. Aeolian Geodiversity of the Itapeva Dunefield (Brazil) and Geoconservation in the Management of Protected Areas. *Geoheritage*, 14, 111. <https://doi.org/10.1007/s12371-022-00744-2>
- Rosa, M. L. C. C.; Barboza, E. G.; Abreu, V. S. A.; Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R. 2017. High-Frequency Sequences in the Quaternary of Pelotas Basin (coastal plain): A record of degradational stacking as a function of longer-Term base-level fall. *Brazilian Journal of Geology*, 47, 183-207. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201720160138>
- Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Downloads. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br>. Acesso em: 01/03/2023.

- Tehrany, M. S.; Pradhan, B.; Mansor, S.; Ahmad, N. 2015. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with diferente kernel types. *Catena*, 125, 91-101. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.017>
- Tomazelli, L. J.; Villwock, J. A. 2000. O Cenozóico Costeiro do Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L. F. (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, pp. 375-406.
- Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R. 2007. Sedimentary facies and stratigraphy of a last interglacial coastal barrier in south Brazil. *Marine Geology*, 244, 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.06.002>
- Tomazelli, J. L.; Dillenburg, S. R.; Barboza, E. G.; Rosa, M. L. C. C. 2008. Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisa em Geociências*, 35, 2, 47-55. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.17936>
- Wagner, G. P. 2014. O povoamento guarani do litoral Norte do Rio Grande do Sul e suas relações com os demais ocupantes da região. In: Milheira, R. G.; Wagner, G. P. (org.). *Arqueologia guarani no litoral Sul do Brasil*, Appris, Curitiba. pp. 39-62.
- Wagner, G. P.; Silva, L. A.; Hilbert, L. M. 2020. O Sambaqui do Recreio: geoarqueologia, ictioarqueologia e etnoarqueologia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 15, 2, e20190084. <https://doi.org/10.1590/2178-2547-BGOELDI-2019-0084>