

Avaliação das porosidades total e efetiva das camadas aquíferas do sistema aquífero costeiro no litoral norte do estado do RS

Evaluation of total and effective porosities of the aquifer layers in the coastal aquifer system of the northern coast of Rio Grande do Sul State

Aron Jonatã Funke¹, Pedro Antonio Roehe Reginato², Nilza Maria dos Reis Castro³, Getulio Coutinho Figueiredo⁴, Andrey Martins de Lima⁵

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, aron.funke@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, pedro.reginato@ufrgs.br

³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, nilza.castro@ufrgs.br

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, wfolly@academico.ufs.br

⁵Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – Brasil, andrey.mlima93@gmail.com

Recebido:

15 de dezembro de 2025

Recebido no formato de revisão:

13 de maio de 2026

Aceito:

13 de maio de 2026

Disponível online:

21 de julho de 2026

Seção:

Artigos

Palavras-chave:

Porosidade.
Unidade hidroestratigráfica.
Unidade geológica.
Amostras indeformadas.
Mesa de tensão.

Keywords:

Porosity.
Hydrostratigraphic unit.
Geological unit.
Undisturbed samples.
Tension table.

RESUMO

A porosidade constitui uma propriedade essencial na caracterização de sistemas aquíferos. No caso da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), especialmente no Litoral Norte, compreender os valores de porosidade dos depósitos sedimentares é fundamental para estimar as reservas de água subterrânea bem como definir perímetros de proteção de poços. Essa porção do território foi escolhida como área de estudo devido à relevância dos recursos hídricos subterrâneos no atendimento às demandas de abastecimento público e uso doméstico, além de sua importância para atividades industriais, agrícolas e comerciais desenvolvidas na região. Diante desse cenário, a pesquisa teve como propósito estimar as porosidades total e efetiva em diferentes pontos da área de estudo e relacioná-las às unidades geológicas descritas na literatura. Foram realizadas coletas de 25 amostras indeformadas em trincheiras abertas no campo na região em estudo, focando em diferentes unidades geológicas por meio de geolocalização e observação de campo, com uso de amostrador tipo TAI (trado de amostra indeformada). Em laboratório, as amostras indeformadas foram avaliadas visando a determinação da porosidade total e efetiva com uso de mesa de tensão. Os resultados das análises indicaram que a mediana de porosidades totais é 39,18% e de porosidades efetivas é 19,34%. A relação entre unidades geológicas e as porosidades de amostras da zona não saturada mostrou que a maioria das unidades têm porosidades efetivas entre 18,85% e 25,67%, com exceção dos depósitos lagunares, com valores medianos de 7,08%. Desta forma, pode-se caracterizar a Unidade Hidroestratigráfica 1 (UH-01 – apenas das camadas aquíferas) no Litoral Norte do Rio Grande do Sul (RS) quanto a valores de porosidades totais com valores medianos de 38,29% e para porosidades efetivas valores medianos de 25,58%. Os resultados desta pesquisa podem servir como apoio para o desenvolvimento de estudos voltados à gestão dos recursos hídricos subterrâneos, incluindo a definição de perímetros de proteção de poços, bem como para análises relacionadas à avaliação das reservas renováveis e permanentes dos aquíferos superficiais que compõem o Sistema Aquífero Costeiro (SAC) no Litoral Norte do RS.

ABSTRACT

Porosity is an essential property in the characterization of aquifer systems. In the Coastal Plain of Rio Grande do Sul (CPRGS), particularly in the Northern Coast, understanding the porosity values of sedimentary deposits is crucial for estimating groundwater reserves and defining wellhead protection areas. This region was selected as the study area due to the importance of groundwater resources in meeting public supply and domestic demands, as well as their relevance to industrial, agricultural, and commercial activities. The objective of this research was to estimate total and effective porosity at different points within the study area and relate them to geological units described in the literature. A total of 25 undisturbed samples were collected from trenches opened in the field within the study area, targeting different geological units through geolocation and field observations, using a TAI-type sampler (undisturbed sample auger). In the laboratory, the undisturbed samples were analyzed to determine total and effective porosity using a tension table. The results indicated that the median total porosity was 39.18%, while the median effective porosity was 19.34%. The relationship between geological units and porosity in samples from the unsaturated zone indicated that most units exhibit effective porosity between 18.85% and 25.67%, except for lagoonal deposits, which presented a median value of 7.08%. Thus, Hydrostratigraphic Unit 1 (UH-01 – aquifer layers only) in the Northern Coast of Rio Grande do Sul can be characterized by median total porosity values of 38.29% and median effective porosity of 25.58%. The results of this study may support the development of groundwater resource management strategies, including the definition of wellhead protection areas, as well as analyses related to the evaluation of renewable and permanent reserves of the shallow aquifers that compose the Coastal Aquifer System (CAS) in the Northern Coast of Rio Grande do Sul.

<https://doi.org/10.14295/ras.v40i2.30389>



INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos constitui um desafio relevante, sobretudo em áreas costeiras, onde a intrusão salina - frequentemente causada por exploração inadequada - pode comprometer a qualidade da água disponível (Feitosa *et al.*, 2008). Além disso, o aumento contínuo da demanda por água potável, a pressão exercida sobre os aquíferos e sua vulnerabilidade reforçam a necessidade de estudos detalhados que assegurem a sustentabilidade desses recursos.

Na Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), a água subterrânea desempenha um papel fundamental, sendo utilizada para suprir as necessidades de abastecimento público e uso doméstico, além de apoiar o desenvolvimento de atividades industriais, comerciais e agrícolas (Machado; Freitas, 2005; Troian, 2021). Vale destacar que a demanda por esse recurso vem aumentando anualmente (Portz *et al.*, 2010), especialmente em regiões onde o crescimento urbano e turístico tem sido expressivo, como nas cidades de Capão da Canoa, com aumento populacional de 52% entre 2010 e 2022, e Imbé, com 51% no mesmo período (Tebet *et al.*, 2022).

De acordo com o mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul, a região da PCRS abriga o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC), composto por aquíferos livres, semiconfinados e confinados, geralmente associados a camadas de sedimentos arenosos (Machado; Freitas, 2005). Entretanto, estudos mais recentes indicam que os aquíferos presentes na PCRS integram o Sistema Aquífero Costeiro (SAC), caracterizado pela presença de distintas unidades hidroestratigráficas (Troian, 2021; Troian *et al.*, 2020; Troian; Reginato; Marquazan, 2025).

Embora diversos estudos tenham abordado a caracterização hidrogeológica dos aquíferos da região da PCRS, como Hausman (1995), Caicedo (1998), Lisboa *et al.* (2004) e Reginato *et al.* (2009), poucos se dedicaram à análise das porosidades total e efetiva das camadas ou unidades aquíferas que compõem o SAC. Os primeiros trabalhos a fornecerem dados de porosidade foram os de Nascimento (2013) e, posteriormente, Troian (2021) e Troian *et al.* (2020, 2025). Entretanto, esses estudos apresentam informações de caráter geral, utilizadas para caracterizar o SAC de forma global, sem detalhar as especificidades das diferentes unidades hidroestratigráficas.

A porosidade (total e efetiva) é um parâmetro de grande importância que pode ser utilizado na determinação da velocidade da água subterrânea, na definição de perímetros de proteção de poços, bem como na avaliação de estimativas de recarga da água subterrânea (Feitosa *et al.*, 2008). Conforme Maziero e Wendland (2005) é necessário conhecer a porosidade total e a retenção específica para determinar o rendimento específico (porosidade efetiva), definido como a proporção de água de um aquífero saturado que é drenada por gravidade.

Diante disso, evidencia-se a relevância de obter dados de porosidade para os aquíferos costeiros do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Com essa motivação, este estudo foi conduzido com o objetivo de analisar as porosidades total e efetiva das camadas aquíferas que estão associadas aos aquíferos granulares livres do SAC-RS nessa região. Os resultados gerados podem subsidiar a elaboração de projetos voltados ao gerenciamento quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos subterrâneos.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o Litoral Norte da Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul - PCRS (Figura 1) e está localizada na zona UTM 22S entre as longitudes 553000mE e 625000mE, latitudes 666400mS e 676900mS.

Considerada a parte emersa da Bacia de Pelotas, a PCRS é a maior planície litorânea do Brasil (Tomazelli; Villwock, 2000). Foi definida como província geomorfológica pela primeira vez em 1974 por Carraro *et al.* (1974) como uma ampla faixa de terras baixas de direção SW-NE limitada do lado continental pelos Escudo Sul-Rio-Grandense e Bacia do Paraná.

Tanto o Escudo Sul-Rio-Grandense quanto a Bacia do Paraná foram e são as áreas fontes de sedimentos para a PCRS. Após os derrames ocorridos no final do Mesozoico e falhamentos no Neógeno que desencadearam eventos de mudança do padrão de drenagem e erosão na região (Jost, 1971), a ocorrência de variações do nível do

mar ocorridas ao longo do Quaternário acabou por gerar a deposição de camadas de sedimentos que representam o registro de quatro principais eventos transgressivos e regressivos, denominados de Sistemas Depositionais do tipo Laguna-Barreira (Tomazelli; Villwock, 2000).

Na PCRS Litoral Norte, há formações da Bacia do Paraná (sendo o limitador do litoral norte a oeste/noroeste a escarpa de sudeste do Planalto Meridional, mas também em afloramentos pontuais a norte do litoral norte e o único promontório rochoso de todo o litoral do RS, localizado em Torres). Estes afloramentos são dominados principalmente pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, também estando presentes as rochas sedimentares da Formação Botucatu (quase sempre associados a Fm. Serra Geral).

Nota-se também na região em estudo os sedimentos depositados durante os eventos transgressivo-regressivos na forma de depósitos marinhos praias, depósitos lagunares, depósitos praias intermarés, depósitos de turfeiras, depósitos gravitacionais de encosta, depósitos eólicos de dunas litorâneas, depósitos deltaicos atuais em corpos lagunares, depósitos de leques aluviais, depósitos de cristas e praias lagunares e depósitos de canais e planícies fluviais (Carraro *et al.*, 1974). Percebe-se que esses depósitos formados ao longo dos eventos transgressivo-regressivos ficam dispostos para além da escarpa (oeste, noroeste) formada a partir das formações da Bacia do Paraná, entre e em diversos corpos hídricos no formato de lagos e lagoas na porção central (parte da laguna do atual sistema laguna-barreira), na barreira atual, na linha intermarés e com fim no oceano (leste, sudeste).

Conforme Troian (2021), no Litoral Norte, a unidade hidroestratigráfica UH-1 corresponde ao aquífero livre da área de estudo, sendo composta por sedimentos arenosos inconsolidados, geralmente de coloração amarelada. Essa unidade apresenta diferenças entre suas porções superior e inferior. Na parte superior, predominam areias de granulometria fina a média, com boa seleção dos grãos e reduzido grau de compactação. Já na porção inferior, são mais frequentes areias finas associadas à ocorrência de lentes argilosas descontínuas, com espessuras variáveis. De modo geral, esses sedimentos apresentam distribuição relativamente homogênea na região, com espessuras que variam entre 15 e 30 metros.

A UH-1 apresenta vazão média (Q_{med}) de $16 \text{ m}^3/\text{h}$, atingindo valores máximos de até $54,5 \text{ m}^3/\text{h}$. A capacidade específica média (Q/s_{med}) é de $2,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, enquanto a transmissividade média (T_{med}) alcança $4,5 \text{ m}^2/\text{h}$. Os níveis estáticos observados (NE) refletem de forma consistente a superfície potenciométrica regional, com média de 1,25 m e valor máximo de 3,3 m (Troian, 2021).

A PCRS Litoral Norte está inclusa nos limites da Aglomeração Urbana do Litoral Norte do Rio Grande do Sul (RS) que é constituída por 20 municípios, sendo eles: Arroio do Sal, Balneário Pinhal, Capão da Canoa, Capivari do Sul, Caraá, Cidreira, Dom Pedro de Alcântara, Imbé, Itati, Mampituba, Maquiné, Morrinhos do Sul, Osório, Palmares do Sul, Terra de Areia, Torres, Tramandaí, Três Cachoeiras, Três Forquilhas e Xangri-lá. Esta Aglomeração Urbana contava com uma população de 340.436 habitantes em 2022, sendo considerada como um centro populacional com características de sazonalidade devido ao turismo de verão (Tebet *et al.*, 2022). Essa região conta com uma área de $5.136,723 \text{ km}^2$ e uma precipitação anual média que varia entre 1800 e 2000 mm (Bertê *et al.*, 2020).

O clima da região, é temperado do tipo subtropical, classificado como mesotérmico úmido (Bertê *et al.*, 2020). No que se refere ao padrão de ventos, observa-se a predominância, ao longo do ano, de correntes provenientes do quadrante nordeste (NE). Entretanto, ocorrem mudanças ocasionais na direção para sudoeste (SO), especialmente associadas à passagem de sistemas frontais, que tendem a ser mais comuns durante as estações de outono e inverno (Cavalcanti; Kousky, 2009).

Com base no mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul (Machado; Freitas, 2005), na região da PCRS, há ocorrência do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro, que é caracterizado por aquíferos livres, semiconfinados e confinados, que estão associados a camadas de sedimentos arenosos. No entanto, Troian *et al.* (2020), Troian (2021) e Troian *et al.* (2025) definiram que os aquíferos existentes na PCRS fazem parte do Sistema Aquífero Costeiro (SAC) que é caracterizado pela ocorrência de diferentes unidades hidroestratigráficas, algumas destas que incluem unidades geológicas mais antigas.



Figura 1. Localização da área de estudo. Dados de satélite Esri / USGS. Acesso em 12/08/2025.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi elaborado conforme o fluxograma metodológico apresentado na Figura 2. Primeiramente, foram compiladas informações pré-existentis sobre a área de estudo, incluindo mapas geológicos (Horn Filho *et al.*, 1984), dados referentes às unidades hidroestratigráficas (Troian, 2021) e mapas geopolíticos (2025). Esses materiais auxiliaram tanto na definição dos locais de coleta quanto na organização dos pontos analisados conforme suas respectivas unidades geológicas e/ou hidroestratigráficas. Ademais, shapefiles e imagens derivados desses mapas foram empregados na elaboração dos produtos cartográficos resultantes deste trabalho.

Após o primeiro estágio de pesquisa de referências e planejamento foram realizadas quatro visitas técnicas ao Litoral Norte para coletar amostras de sedimentos indeformados.

As coordenadas dos pontos de coleta foram tomadas com o uso de um GPS de navegação. Para as coletas foram abertas trincheiras com 0,20-0,75m de profundidade. Essa variação era principalmente determinada pelo nível do lençol freático, que ao ser alcançado, impossibilitava a correta coleta das amostras. Depois de abertas, o fundo das trincheiras era nivelado e então eram medidas (Figura 3a) e anotadas as profundidades a que as amostras seriam coletadas (topo das amostras). Logo após foi utilizado o amostrador de solo indeformado do tipo TAI (Figura 3b) para coletar as amostras indeformadas.

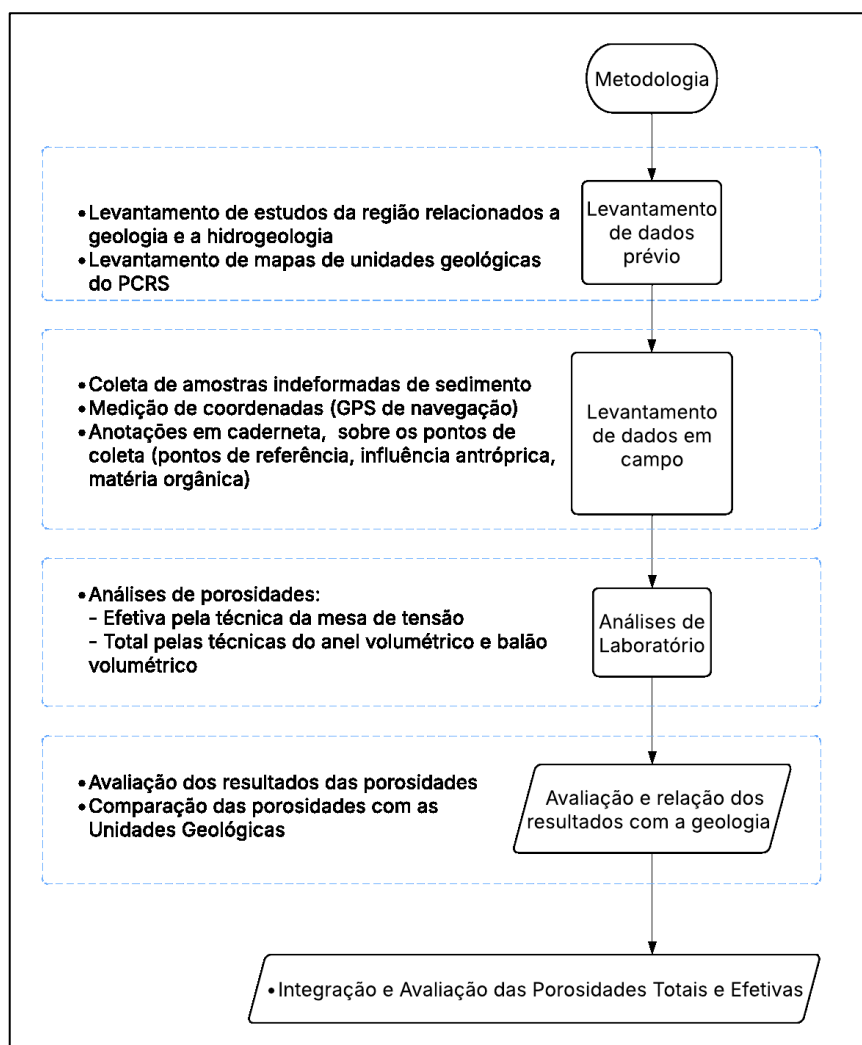


Figura 2. Fluxograma metodológico da pesquisa com as etapas à direita e os itens de cada etapa resumidos à esquerda.

Foram coletadas duas amostras em cada ponto para que pudessem ser realizadas diferentes técnicas de extração da água drenável em laboratório. Após retirar os anéis com as amostras do amostrador (Figura 4a), era realizado em campo o nivelamento inicial da amostra na base e no topo do cilindro com uma espátula (Figura 4b).



Figura 3. a) Medição da profundidade da trincheira e b) Coleta de amostra indeformada de sedimento com amostrador tipo TAI.



Figura 4. a) Retirada da amostra do amostrador; b) nivelamento preliminar e; c) embalagem para preservação da amostra e identificação com etiquetas.

Uma vez no laboratório, esse nivelamento era milimetricamente finalizado, a fim de deixar as amostras com o volume mais aproximado possível do interior dos anéis. Além disso, essas amostras ainda foram envoltas em filme PVC e tampas próprias dos anéis (Figura 4c) para que ficassem preservadas até o momento de serem manuseadas em laboratório.

As amostras foram enviadas para o Laboratório de Sedimentos do IPH/UFRGS onde foram analisadas pelas técnicas da mesa de tensão (porosidade efetiva), anel volumétrico (densidade do solo) e balão volumétrico (densidade de partícula), sendo que os resultados destes dois últimos parâmetros foram utilizados para determinar a porosidade total.

A metodologia apresentada neste capítulo para a utilização da mesa de tensão segue os conceitos de Black *et al.* (1965), conceitos e manual de montagem da mesa de tensão de Oliveira (1968) e a sequência de análise do manual de Donagema (2011). Já a metodologia para determinar a densidade de solo, densidade de partícula e porosidade total, além da utilização da câmara de Richards segue a metodologia do manual de Cauduro e Dorfman (1986). Ademais, devido a alta condutividade hidráulica dos sedimentos arenosos que limitaram a capacidade de obter a massa saturada da amostra (boa parte da água escorria assim que tirada da lâmina d'água mesmo com pano com porosidade menor do que as areias) foi necessário comparar e assumir o valor de massa saturada das amostras somando-se a massa seca e a massa de água, sendo esta última determinada a partir dos resultados de porosidade total multiplicado pelo volume do anel.

A densidade específica do solo, que consiste na relação da massa das partículas do solo seco e do volume total da amostra, inclusive o espaço poroso, expressa pela equação (1) (Cauduro; Dorfman, 1986).

$$D_s = \frac{m_s}{V_t} \quad (1)$$

onde: D_s densidade do solo (g/cm^3);
 m_s massa solo seco (g);
 V_t volume da amostra de solo (volume interno do anel) (cm^3).

A densidade específica das partículas é a relação entre a massa das partículas do solo seco utilizado no balão volumétrico e o volume que elas ocupam, excluído o volume dos poros, expressa pela equação (2) (Cauduro; Dorfman, 1986).

$$D_p = \frac{m_s}{V_p} \quad (2)$$

onde: D_p Densidade de partículas (g/cm^3);
 m_s massa solo seco (g);
 V_p volume ocupado pelas partículas (cm^3).

A porosidade total ou porosidade do solo é a relação entre o volume de vazios do solo e o seu volume total. É calculada em função da densidade do solo e da densidade de partículas (equação 3) (Cauduro; Dorfman, 1986).

$$P = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) \times 100 \quad (3)$$

onde: P porosidade do solo ou total (%);
 D_p densidade de partículas (g/cm^3);
 D_s densidade do solo (g/cm^3).

A porosidade efetiva consiste na relação entre o volume de água drenável do solo (neste estudo considerada a água drenável a pressão de 6 kPa) e o volume inicial do solo (equação 4) (Teixeira *et al.*, 2017).

$$P_{ef} = \frac{V_{ad}}{V_t} \times 100 \quad (4)$$

onde: P_{ef} porosidade efetiva (%);
 V_{ad} volume de água drenável (cm^3);
 V_t volume da amostra de solo (volume interno do anel) (cm^3).

A microporosidade (retenção específica) consiste na relação entre o volume de água não-drenável do solo (neste estudo considerada a água retida a pressão de 6 kPa) e o volume inicial do solo (equação 5) (Teixeira *et al.*, 2017).

$$Re = \frac{V_{are}}{V_t} \times 100 \quad (5)$$

onde: Re retenção específica (%);
 V_{are} volume de água retida (cm^3);
 V_t volume da amostra de solo (volume interno do anel) (cm^3).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizados quatro levantamentos de campo, em 25 pontos (Tabela 1), onde foram coletadas um total de 25 amostras indeformadas de sedimentos para determinar porosidades totais e efetivas (Figura 5 e Tabela 2).

Considerando todas as amostras analisadas, o valor mínimo de porosidade total analisada foi de 32,80%, máximo de 64,75% e médio de 41,01%. Já a mediana ficou em 39,18% e o desvio padrão em 7,43%. A porosidade efetiva da UH-01 ficou em mínimo de 5,39%, máximo de 30,31% e 19,15% em média. Já a mediana é 19,34% e o desvio padrão 7,19%.

A unidade geológica "Depósitos de Cristas e Praias Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV" apresenta valores médios a altos de porosidade efetiva (maior que 20%), porém há pelo menos um valor relativamente baixo (11,09%), e a variação desse parâmetro nessa unidade sendo considerável (desvio padrão de 6,73%). Já a porosidade total se mostra alta em todos os pontos, em média 39,10% e com baixo desvio padrão (2,80%).

A unidade geológica "Depósitos Eólicos – Dunas Litorâneas – Barreira Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV" apresenta valores médios a altos de porosidade efetiva (maior que 20%), porém há pelo menos um valor relativamente baixo (11,13%), embora este é o único valor baixo do parâmetro deste grupo enquanto os outros dois pontos apresentam valores quase iguais. Além disso, o ponto em questão (RV 01), diferente dos outros dois pontos que foram coletados (TOR 03 e TR 03) no banco de dunas quase à beira-mar e com menos influência antrópica, foi coletado em área mais distante do litoral. Em função disso os sedimentos desse local podem ter sido retraba-

lhados, tendo maior adição de finos e de matéria orgânica, que acaba tendo influência na diminuição da porosidade efetiva. Por isso esse resultado deve ser avaliado com cautela, sendo representativo de áreas que tenham essas características onde a amostra foi coletada.

Desconsiderando o ponto RV 01, posteriormente confirmado estar sob alteração antrópica excedente, os valores para a essa unidade geológica são mais coerentes com o esperado, porosidade total 38,92% e porosidade efetiva 25,67% em média, além de diminuir o desvio padrão da porosidade efetiva de 8,39% para 0,12%.

A unidade geológica "Depósitos Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV" apresenta valores baixos de porosidade efetiva (menor do que 10%) e a porosidade total em média ficou em 63,72%, bastante alta em relação aos outros pontos. Ambas as porosidades são características de sedimentos argilo-siltosos.

Tabela 1 – Tabela de identificação dos pontos coletados

Ponto	Data	Fuso UTM	Latitude UTM (m):	Longitude UTM (m):	Unidade Geológica	Profundidade de Coleta
SJ 01	06/11/2023	22J	6708484	594020	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,50m – Freático próximo ao fundo da cava – umidade
SJ 02	06/11/2023	22J	6708584	593637	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,70m – Freático próximo ao fundo da cava
FG 01	06/11/2023	22J	6705294	591886	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,65m – Freático próximo ao fundo da cava
FG 02	06/11/2023	22J	6705339	591896	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,62m – Freático próximo ao fundo da cava
XG 01	06/11/2023	22J	6702309	590684	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,65m – Freático próximo ao fundo da cava
XG 02	06/11/2023	22J	6702224	590650	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,50m – Freático próximo ao fundo da cava
GA 01	04/12/2023	22J	6711606	595102	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,60m – Freático próximo ao fundo da cava – umidade
MU 01	04/12/2023	22J	6709924	594168	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,20m – Freático próximo ao fundo da cava
RV 01	04/12/2023	22J	6697491	589013	Depósitos Eólicos – Dunas Litorâneas – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,60m – Freático próximo ao fundo da cava
PM 01	04/12/2023	22J	6695091	584357	Depósitos de Cristas e Praias Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	0,50m – Freático próximo ao fundo da cava
OS 01	04/12/2023	22J	6691638	573187	Depósitos Marinhos Praiais e Eólicos – Barreira Pleistocênica III – Sistema Laguna-Barreira III	0,75m
LB 01	04/12/2023	22J	6687454	565096	Depósitos de Cristas e Praias Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	0,20m – Freático próximo ao fundo da cava
TOR01	25/10/2024	22J	6747470	618193	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,80m – Freático próximo ao fundo da cava
TOR02	25/10/2024	22J	6747624	617991	Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,40m – Freático próximo ao fundo da cava
TOR03	25/10/2024	22J	6746575	618949	Depósitos Eólicos – Dunas Litorâneas – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,50m – Freático próximo ao fundo da cava
TOR04	25/10/2024	22J	6746558	618953	Face Praial – estirâncio entre maré alta e baixa – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,40m – Freático próximo ao fundo da cava
TOR05	25/10/2024	22J	6749657	617093	Depósitos Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	0,40m – Freático próximo ao fundo da cava
TOR06	25/10/2024	22J	6749673	617093	Depósitos de Cristas e Praias Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	Margem esquerda de um pequeno córrego
TR01	04/11/2024	22J	6726603	595772	Depósitos de Cristas e Praias Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	0,50m – Freático próximo ao fundo da cava
TR02	04/11/2024	22J	6724631	597726	Depósitos Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	0,60m – Freático próximo ao fundo da cava
TR03	04/11/2024	22J	6722954	603488	Depósitos Eólicos – Dunas Litorâneas – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,50m – Freático próximo ao fundo da cava
TR04	04/11/2024	22J	6722955	603488	Face Praial – estirâncio entre maré alta e baixa – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	0,30m – Freático próximo ao fundo da cava
TR05	04/11/2024	22J	6715413	594698	Depósitos Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	0,60m – Freático próximo ao fundo da cava
TR06	04/11/2024	22J	6719588	592225	Depósitos de Cristas e Praias Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	0,40m – Freático próximo ao fundo da cava
TR07	04/11/2024	22J	6722993	591227	Depósitos Marinhos Praiais e Eólicos – Barreira Pleistocênica III – Sistema Laguna-Barreira III	0,80m

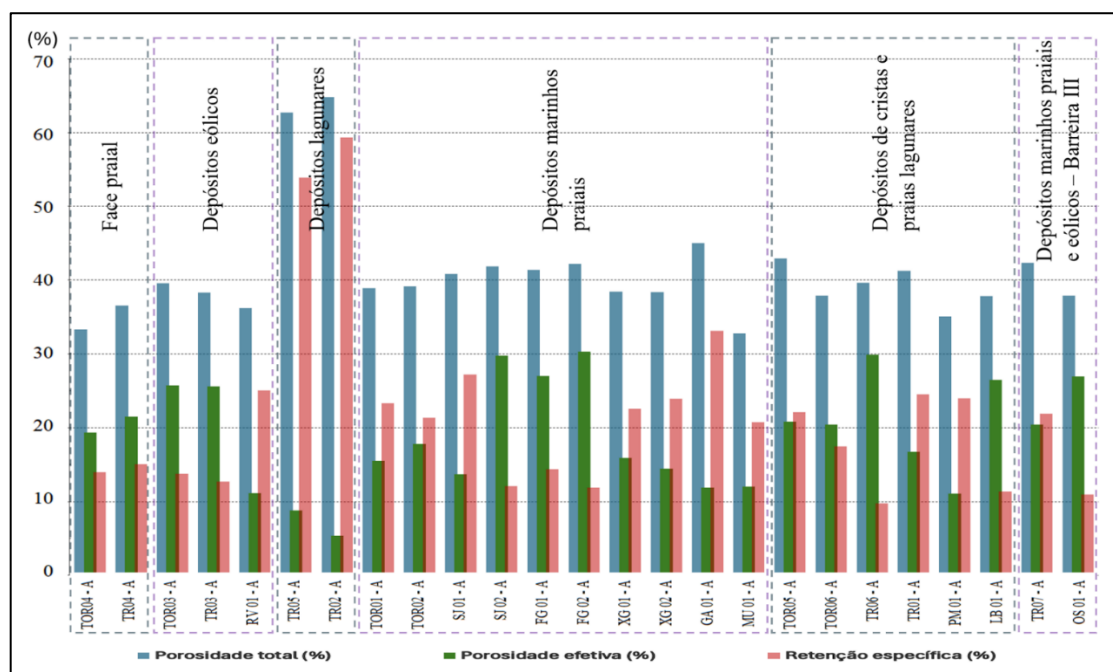


Figura 5. Retenção específica, Porosidades totais e efetivas analisadas pela técnica da mesa de tensão separadas por unidades geológicas.

Tabela 2 – Dados estatísticos das porosidades por unidade geológica medidas utilizando a técnica da mesa de tensão

Dados estatísticos das unidades geológicas	Porosidade total mesa de tensão (%)	Porosidade efetiva mesa de tensão (%)	Microporosidade mesa de tensão (retenção) (%)
Depósitos de Cristas e Praias Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV"			
MÍNIMO	35,07	11,09	9,73
MÁXIMO	42,96	29,90	24,54
MÉDIA	39,10	20,91	18,19
MEDIANA	38,75	20,64	19,78
DESVIO	2,80	6,73	6,45
Depósitos Eólicos – Dunas Litorâneas – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV"			
MENOR	38,29	25,58	12,71
MAIOR	39,55	25,75	13,80
MÉDIA	38,92	25,67	13,26
MEDIANA	38,92	25,67	13,26
DESVIO	0,89	0,12	0,77
Depósitos Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV			
MENOR	62,69	5,39	53,92
MAIOR	64,75	8,77	59,36
MÉDIA	63,72	7,08	56,64
MEDIANA	63,72	7,08	56,64
DESVIO	1,46	2,39	3,85
Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV			
MÍNIMO	32,80	11,89	11,88
MÁXIMO	45,05	30,31	33,16
MÉDIA	39,91	18,85	21,06
MEDIANA	40,03	15,73	21,96
DESVIO	3,25	7,30	6,74
Depósitos Marinhos Praiais e Eólicos – Barreira Pleistocênica – Sistema Laguna-Barreira III			
MENOR	37,93	20,45	10,96
MAIOR	42,34	26,97	21,89
MÉDIA	40,13	23,71	16,42
MEDIANA	40,13	23,71	16,42
DESVIO	3,12	4,61	7,73
Face Praial – estirâncio entre maré alta e baixa – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV			
MENOR	33,33	19,34	13,99
MAIOR	36,53	21,47	15,06
MÉDIA	34,93	20,41	14,53
MEDIANA	34,93	20,41	14,53
DESVIO	1,60	1,07	0,54

Em laboratório, as duas amostras indeformadas desta unidade encolheram muito mais do que as amostras indeformadas das outras unidades. Analisando os resultados da densidade do solo destas amostras, percebe-se que as duas tem valores muito diferentes das outras amostras, abaixo de 1 g/cm^3 . Este é um forte indicativo de argilas expansivas e/ou matéria orgânica microscópica em grandes quantidades.

Além da argila e silte, esses pontos foram caracterizados por presença considerável de matéria orgânica microscópica, que neste caso acaba atuando como uma argila, que aumenta a coesão do sedimento, aumenta a porosidade total e diminui a porosidade efetiva.

A unidade geológica “Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV” apresenta porosidades totais (desvio padrão 3,25%) mais homogêneas do que as porosidades efetivas (desvio padrão 7,30%).

É importante ressaltar que a maioria das amostras dessa unidade foram coletadas em áreas dentro do perímetro de SES's (sistemas de esgotamento sanitário, nesse caso bacias de infiltração), e que no campo foi notado que em alguns pontos dessas áreas havia mais matéria orgânica microscópica (coloração do sedimento mais escuro, mas sem grande mudança na coesividade) e macroscópica (raízes, folhas etc.). É bem provável que o desvio padrão alto das porosidades efetivas desta unidade sejam devido a maior presença de matéria orgânica. Essa maior presença de matéria orgânica (menos densa), principalmente raízes, galhos, folhas etc. é considerado como parte da amostra analisada no anel de coleta de amostra indeformada, ocupando espaço dos sedimentos (mais denso), assim diminuindo o peso seco das amostras com mais matéria orgânica. Desta forma, a densidade do solo diminui enquanto a densidade de partículas fica inalterada (durante a análise deste parâmetro a amostra já foi retirada do anel e separados os sedimentos da matéria orgânica e partículas maiores do que 2mm). E por isso, quando estes parâmetros são utilizados na equação 3 para determinar a porosidade total ela aumenta devido a maior presença de matéria orgânica.

A unidade geológica “Depósitos Marinhos Praiais e Eólicos – Barreira Pleistocênica III – Sistema Laguna-Barreira III” apresenta porosidades totais (desvio padrão 3,12%) homogêneas e porosidades efetivas (desvio padrão 4,61%) relativamente altas. Essa variação pode ser consequência desta unidade por ser mais antiga também ter sofrido mais retrabalhamento. Além disso, infelizmente neste estudo só foi possível coletar dois pontos desta unidade, o que dificulta um estudo mais elaborado das variações das amostras da mesma unidade.

A unidade geológica “Face Praia – estirâncio entre maré alta e baixa – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV” apresenta porosidades totais homogêneas e altas (34,93% em média com desvio padrão 2,26%), além de porosidades efetivas homogêneas e relativamente altas (em média 20,41% com desvio padrão 1,51%). A homogeneidade das amostras tem relação direta com o fato dessa unidade ter maior maturidade textural, bem como menor conteúdo de matéria orgânica.

Tabela 3 – Médias dos resultados de porosidade total, efetiva e microporosidade dos sedimentos para as diferentes unidades geológicas onde foram realizadas coletas

Unidade Geológica	Porosidade total (%)	Porosidade efetiva (%)	Microporosidade (retenção) (%)
Depósitos de Cristas e Praias Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	39,10	20,91	18,19
Depósitos Eólicos – Dunas Litorâneas – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	38,92	25,67	13,26
Depósitos Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV	63,72	7,08	56,64
Depósitos Marinhos Praiais – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	39,91	18,85	21,06
Depósitos Marinhos Praiais e Eólicos – Barreira Pleistocênica III – Sistema Laguna-Barreira III	40,13	23,71	16,42
Face Praia – estirâncio entre maré alta e baixa – Barreira Holocênica – Laguna-Barreira IV	34,93	20,41	14,53

Quase todas as unidades geológicas analisadas apresentaram valores parecidos de porosidade total, porosidade efetiva e microporosidade (retenção), dados estes que foram resumidos na Tabela 3. Destas unidades, apenas a unidade geológica “Depósitos Lagunares – Laguna Holocênica – Sistema Laguna-Barreira IV” apresentou valores com grande diferença (porosidade total muito maior e porosidade efetiva muito menor) das outras unidades.

Isso se deve principalmente aos sedimentos pertencentes a essa unidade, que tendem a ser de granulometria tamanho lama (silte e argila), típicos a depositarem nos ambientes de baixa energia hidrodinâmica de deposição desta unidade, diferente dos outros ambientes, caracterizados por graus maiores de energias (médios a altos) (Pejrup, 1988).

DISCUSSÃO

De acordo com Johnson (1967), sedimentos inconsolidados tamanho areia fina têm porosidades efetivas entre 10 e 28%. Já para as porosidades totais, areias costumam variar entre 25-50%. Conforme Marques e Nicolodi (2021), Stevaux e Dillenburg (2011) e por análises granulométricas dos sedimentos dos mesmos pontos de amostragem deste estudo feitos por Funke (2025) as unidades geológicas, fora os depósitos lagunares, são em sua maioria de sedimentos tamanho areia fina (Depósitos de Cristas e Praias Lagunares variaram entre areia muito fina a areia média) e suas porosidades totais e efetivas ficam dentro do intervalo esperado de acordo com a granulometria dos sedimentos.

Ainda conforme Johnson (1967) argilas arenosas têm porosidades efetivas de 3 a 12%. Já a porosidade total para argilas fica entre 40-70% e siltes entre 35-50% (Freeze; Cherry, 2017). De acordo com Horn Filho *et al.* (1984) as unidades de depósitos lagunares são formadas por sedimentos finos, enquanto as análises granulométricas realizadas por Funke (2025) também apontaram essa granulometria para os depósitos lagunares. Desta forma, as porosidades totais e efetivas destes sedimentos apontadas neste estudo estão dentro do intervalo observado na bibliografia de referência.

A distribuição espacial das porosidades total e efetiva dos sedimentos analisados é fortemente relacionada com as unidades geológicas (Figuras 6 e 7). Além disso, os sedimentos dos mesmos pontos visitados neste estudo têm a distribuição granulométrica analisada e verificada por Funke (2025), que utilizou destes dados como apoio para verificar a conexão entre os sedimentos coletados em campo e a indicação da unidade geológica em mapa (Horn Filho *et al.*, 1984).

No presente estudo os sedimentos depositados em ambientes de dunas, marinhos e praias tenderam a ter maiores porosidades efetivas, enquanto sedimentos lagunares tenderam a ter maiores porosidades totais, mas baixíssimas porosidades efetivas. Além disso, pontos com maior influência antrópica tenderam a estar com aumento de matéria orgânica e consequente diminuição da porosidade efetiva.

É indicado realizar análise complementar da quantidade de matéria orgânica e seu tipo predominante em estudos que envolvam a determinação de porosidades de sedimentos próximos de camadas de solo. Este material pode ocasionar variação considerável nas amostras indeformadas coletadas de sedimentos e sua determinação pode enriquecer os resultados obtidos, tanto por poder desconsiderar este material do resultado quanto também ter ideia da dimensão de sua presença nas camadas mais superficiais de sedimentos.

Se considerar apenas as camadas onde predominam as areias limpas, sem matéria orgânica (optou-se por retirar deste resultado todas as amostras próximas a SES's, de depósitos lagunares, amostras que tinham solo bem desenvolvido na área de coleta e que não se pode cavar mais do que 0,20m devido a zona saturada quase superficial), ou seja, as amostras OS 01, TR 07, TOR 03, TR 03, TOR 04, TR 04 e FG 02, a mediana da porosidade total ficou em 38,29%, com valores entre 33,33 e 43,34% e com desvio padrão de 3,17%. Já a porosidade efetiva ficou com a mediana de 25,58%, com valores entre 19,34% e 30,31% e desvio padrão de 3,97%. Já a retenção específica ficou com a mediana de 13,80%, com valores entre 10,96 e 21,89% e desvio padrão de 3,61%.

Assim, visto que na bibliografia Troian (2020, 2021 e 2025) são consideradas para a UH-01 apenas camadas aquíferas e que geralmente em profundidade não tem a presença de matéria orgânica formadora de solos e de ação antrópica, os valores de porosidade efetiva do parágrafo anterior são os mais adequados para se referirem a UH-01 no Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

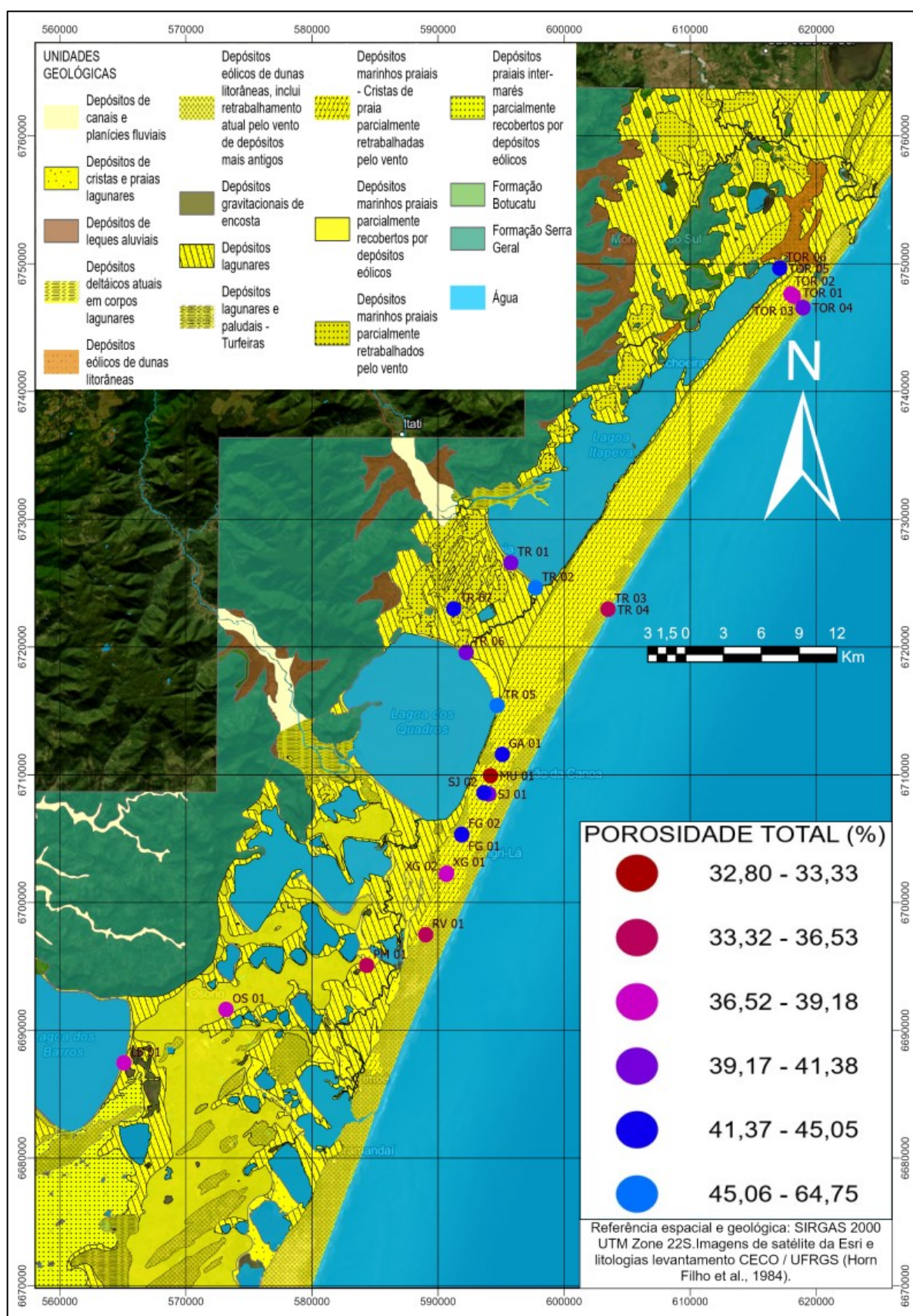


Figura 6. Mapa com litologias do SAC-RS Litoral Norte, pontos de coleta com a porosidade total. Cada ponto indica a porosidade analisada e a cor do ponto indica a porcentagem de porosidade total (%).

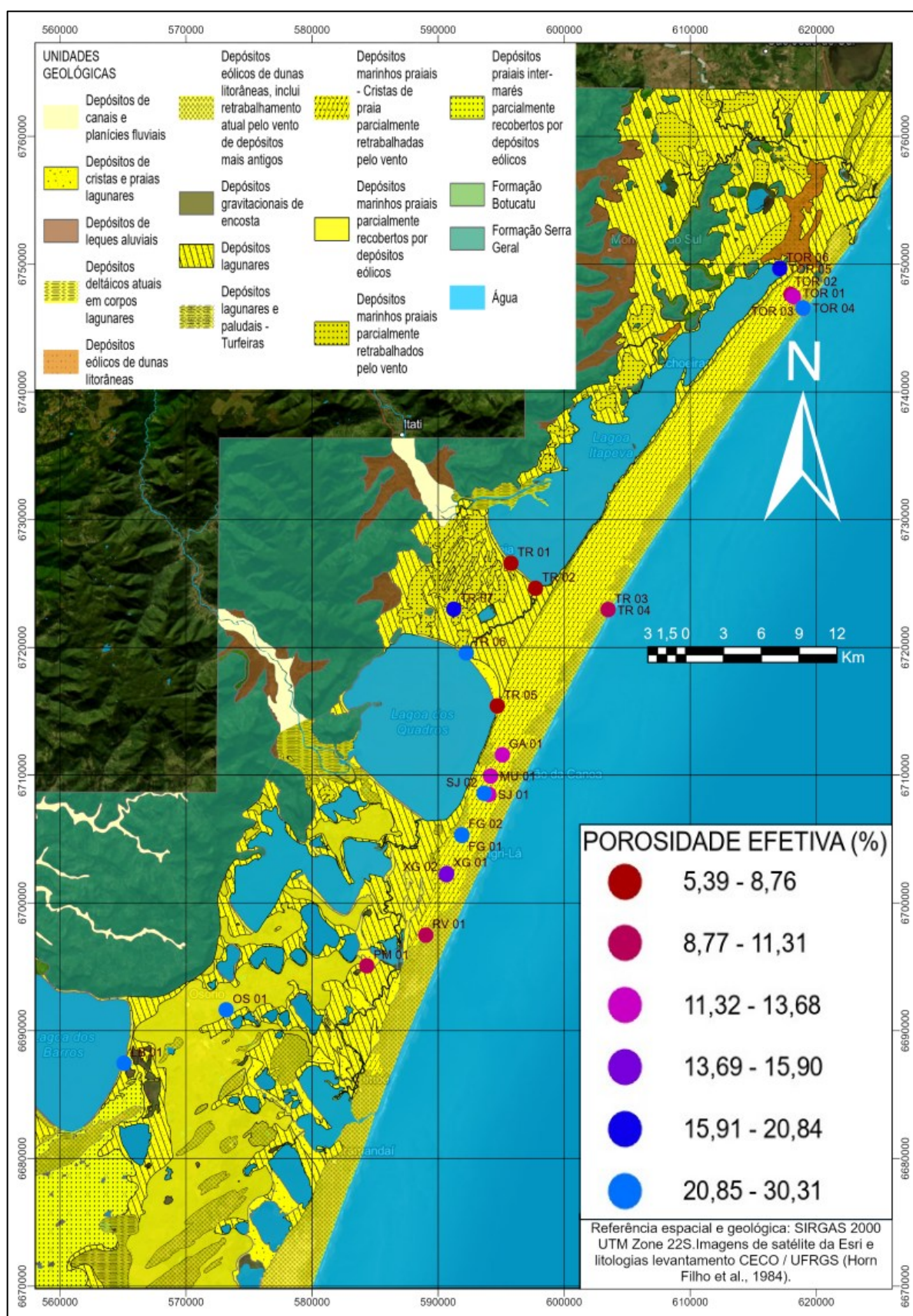


Figura 7. Mapa com litologias do SAC-RS Litoral Norte, pontos de coleta com a porosidade efetiva. Cada ponto indica a porosidade analisada e a cor do ponto indica a porcentagem de porosidade efetiva (%).

CONCLUSÕES

Como contribuição inicial, este estudo possibilitou analisar as distintas unidades geológicas superficiais da PCRS no Litoral Norte, considerando suas características de porosidades total e efetiva. Também foi realizada uma avaliação visual e tátil das amostras, permitindo identificar variações relativas na presença de matéria orgânica entre as diferentes unidades.

Os depósitos de dunas e litorâneos (barreiras III e IV) apresentaram sedimentos com porosidades efetivas (medianas dos depósitos da barreira III e das dunas da barreira IV entre 23,71% e 25,67%, respectivamente).

Já os depósitos marinhos e face praial, apresentaram sedimentos com porosidades efetivas que variaram de média a alta (medianas dos depósitos marinhos e face praial, 18,85% a 20,41%, respectivamente).

Os sedimentos dos depósitos associados a cristas e praias lagunares apresentaram um valor de mediana igual a 20,64% para as porosidades efetivas.

Por fim, a mediana da porosidade efetiva dos sedimentos pertencentes aos depósitos lagunares foi de 7,08%.

Espera-se que os resultados do presente estudo possam ser utilizados como apoio na elaboração de estudos de gestão da água subterrânea, como a delimitação de perímetros de proteção de poços, bem como estudos de avaliação de recarga e reservas renováveis e permanentes dos aquíferos que formam o SAC do RS região Litoral Norte.

Este estudo também serve como motivação a trabalhos relacionados não só à região costeira, mas a todos as regiões em que os seus aquíferos se encontrem sob pressão antrópica, vulnerabilidade ambiental ou em risco de superexploração, pois dados de porosidades, como já mencionado na justificativa deste estudo, são utilizados junto a outros dados para não só determinar o quanto pode-se retirar de água dos aquíferos quanto também para saber qual a área de proteção ideal para preservar a boa qualidade da água explorada.

REFERÊNCIAS

- BERTÊ, A. M. de A.; CARGNIN, A. P.; LEMOS, B. de O.; SILVA, C. R. da; FERREIRA, G. da S.; MIERES, L. da S.; PEREIRA, M. S. L.; OLIVEIRA, S. B. de; MARCON, J. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. [Porto Alegre]: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2020.
- BLACK, C. A.; EVANS, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E.; DINAUER, R. C. **Physical conditions of water in soil**. Wisconsin: Madison: American Society of Agronomy, 1965.
- CAICEDO, N. L. Hidrogeologia do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, supl., p. 1-7, 1998.
- CARRARO, C. C.; GAMERMANN, N.; EICK, N. C.; BORTOLUZZI, C. A.; JOST, H.; PINTO, J. F. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1974. 1 Mapa. Escala 1:1.000.000.
- CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI; IPH-UFRGS, 1986.
- CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- DONAGEM, G. K. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- ESRI. **Review of Research 2024**. Dublin: ESRI, 2025. Disponível em: <https://www.esri.ie/publications/esri-review-of-research-2024>. Acesso em: 27 maio 2026.
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2008.
- FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. **Águas subterrâneas**. São Paulo: Everton de Oliveira, 2017. *E-book*.

- FUNKE, A. J. **Avaliação das porosidades total e efetiva de camadas aquíferas do sistema aquífero costeiro no litoral Norte do Rio Grande do Sul**. 2025. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025.
- HAUSMAN, A. **Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul**. São Leopoldo: Acta Geologica Leopoldensia, 1995.
- HORN FILHO, N. O.; TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A.; LOSS, E. L. **Atlas Geológico da Província Costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica Porto Alegre: Instituto de Geociências/UFRGS, 1984.
- JOHNSON, A. I. **Specific Yield Compilation of Specific Yields for Various Materials**. Washington: United States Government Printing Office, 1967.
- JOST, H. **O Quaternário da região norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. 1971. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1971.
- LISBOA, N. A.; DANI, N.; REMUS, M. V. D.; CASTRO, J. Síntese da ocorrência geológica das águas subterrâneas do Rio Grande do Sul. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, supl., p. 1-25, 2004. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23638>. Acesso em: 27 maio 2026.
- MACHADO, J. L.; FREITAS, M. A. de. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2005. 1 mapa. Escala 1:750.000
- MARQUES, V. C.; NICOLODI, J. L. Análise da sedimentologia como subsídio à avaliação da sensibilidade ambiental a óleo da Bacia Sedimentar de Pelotas-RS/SC, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, Sao Paulo, v. 41, p. e170285, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.170285>
- MAZIERO, T. A.; WENDLAND, E. Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, SP. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, supl., p.1-18, , 2005.
- NASCIMENTO, E. A. D. **Caracterização hidrogeológica da unidade aquífera barreira hologênica na Região de Cassino, Rio Grande (RS)**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- PEJRUP, M. The Triangular Diagram Used for Classification of Estuarine Sediments: A New Approach. In: DE BOER, P. L.; VAN GELDER, A.; NIO, S. D. (org.). **Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1988. p. 289–300. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-94-015-7762-5_21. Acesso em: 11 set. 2025.
- PORTZ, L. C.; MANZOLLI, R. P.; GRUBER, N. L. S.; CORREA, I. C. S. Tourism and Degradation in the Coastline of Rio Grande do Sul. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n. 22, p. 153-166, jul./dez. 2010. DOI: <https://doi.org/10.5380/dma.v22i0.20351>
- REGINATO, P. A. R.; BRANCHER, L.; SCHAFER, A. E.; LANZER, R. M. Água subterrânea utilizada para irrigação na Planície Costeira do Rio Grande do Sul e seu risco a salinização. **Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, supl., p.1-9, 2009.
- STEVAUX, R. de S.; DILLENBURG, S. R. Propriedades sedimentológicas e mineralógicas das barreiras costeiras do rio grande do sul: uma análise preliminar. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 13.; ENCONTRO DO QUATERNÁRIO SULAMERICANO, 3.; CONGRESS - THE SOUTH AMERICAN QUATERNARY: CHALLENGES AND PERSPECTIVES, 13., 2011. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2011.
- TEBET, S. N.; PEREIRA, C. A.; STENNER, C.; COTOVIO, C. R. P. **Censo Demográfico 2022**. [S. l.: s. n.], 2022.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017.
- TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: GEOLOGIA do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Holz, M. & De Ros, 2000. p. 375–406.
- TROIAN, G. C. **Compartimentação hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Costeiro no estado do Rio Grande do Sul**. 2021. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- TROIAN, G. C.; REGINATO, P. A. R.; MARQUEZAN, R. G. **Compartimentação hidroestratigráfica do sistema aquífero costeiro do estado do Rio Grande do Sul. Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 39, n. 1, p. e30286, 2025. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v39i1.30286>

TROIAN, G. C.; REGINATO, P. A. R.; MARQUEZAN, R. G.; KIRCHHEIM, R. **Modelo conceitual hidroestratigráfico do sistema aquífero costeiro no litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul. Águas Subterrâneas**, Belo Horizonte, v. 34, n. 3, p. 264–274, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i3.29883>