

# Compartimentação hidroestratigráfica do sistema aquífero costeiro do estado do Rio Grande do Sul

*Hydrostratigraphic compartmentation of the coastal aquifer system of the state of Rio Grande do Sul*

Guilherme Casarotto Troian<sup>1</sup>; Pedro Antonio Roehe Reginato<sup>2</sup>;  
Ricardo Giumelli Marquezan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Serviço Geológico do Brasil, Santa Catarina - Brasil, guilherme.troian@sgb.gov.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul - Brasil, pedro.reginato@ufrgs.br

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul - Brasil, rgmarquezan@yahoo.com.br

## Recebido:

13 de julho de 2024

## Recebido no formato de revisão:

20 de dezembro de 2024

## Aceito:

21 de janeiro de 2025

## Disponível online:

29 de abril de 2025

## Seção:

Artigos

## Palavras-chave:

Hidrogeologia costeira.  
Estratigrafia.  
Informações geofísicas.

## Keywords:

Coastal hydrogeology.  
Stratigraphy.  
Geophysical information.

<https://doi.org/10.14295/ras.v39i1.30286>



## RESUMO

O Sistema Aquífero Costeiro localizado na região da Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul (PCRS) representa uma importante reserva de água subterrânea do estado. Assim, este estudo teve por objetivo a identificação das unidades hidroestratigráficas que formam esse aquífero costeiro a fim de caracterizar e avaliar cada compartimento hidrogeológico quanto ao potencial de uso das águas subterrâneas. Para isso, tomou-se por base levantamentos geológicos, hidrogeológicos e geofísicos, cujos dados foram empregados na determinação das principais características de cada uma das unidades em questão. Foram identificadas 06 diferentes unidades hidroestratigráficas (UH) distribuídas nas regiões norte, central e sul da planície costeira. As UH-1 (livre) e UH-3 (confinada), que representam aquíferos regionais com características produtivas favoráveis a exploração de água subterrânea. As UH-2 e UH-4, presentes em toda a região com boas características produtivas, mas exercem a função de barreiras semipermeáveis e também propiciam o aumento expressivo da salinidade das águas subterrâneas. As UH-3 (livre) e UH-5, as quais apresentam ocorrência restrita, e grande importância local. O modelo conceitual desenvolvido para o Sistema Aquífero Costeiro é um resultado imprescindível para a realização de uma gestão correta e mais eficiente desse importante recurso hídrico.

## ABSTRACT

The Coastal Aquifer System located in the Coastal Plain region of the State of Rio Grande do Sul represents an important reserve of groundwater in the state. This study aimed to identify the hydrostratigraphic units that form the coastal aquifer, seeking to characterize and evaluate each unit regarding its potential for using groundwater. For this purpose, data from geological, hydrogeological and geophysical surveys were based to identify the main characteristics of each of the units. Six different hydrostratigraphic units were identified distributed in the northern, central and southern regions of the Coastal Plain. The UH-1 (free) and UH-3 (confined), those represent regional aquifers with productive characteristics favorable to exploration of groundwater. The UH-2 and UH-4, commonly present in the region, with good productive characteristics, which act as a semi-permeable barrier and allow the salinity of its groundwater to increase. The UH-3 (free) and UH-5 of restricted occurrence, but of great local importance. The conceptual model developed for the Coastal Aquifer System represents essential knowledge for correct and more efficient management of this important water resource.

## 1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras representam as regiões com maior concentração populacional do planeta e intensa demanda pelos recursos hídricos em geral. Segundo Fitts (2015), são caracterizadas pela ocorrência de unidades aquíferas associadas a camadas arenosas, intercaladas com camadas de sedimentos mais finos (siltes e argilas) que formam sistemas aquíferos multicamadas de diferentes características hidráulicas, composição e qualidade de água.

Trabalhos como os de Erskine e Fischer (2001) na Califórnia; Giambastiani *et al.* (2013) no sistema deltaico do rio Pó na Itália; Murgulet e Tick (2013) no Alabama; Mahmud *et al.* (2017) na planície deltaica dos Ganges; Gottschalk *et al.* (2018) na Califórnia; Aladejana *et al.* (2020) na Nigéria; Edet (2017) na Nigéria e Cianflone *et al.* (2021) na Itália, são exemplos de relevantes estudos realizados em planícies sedimentares costeiras, onde é possível observar a ocorrência de mais de uma camada aquífera, que possuem diferentes características hidrodinâmicas e hidroquímicas. Esta heterogeneidade justifica a importância de estudos que visem identificar e caracterizar o arcabouço hidrogeológico e hidroestratigráfico destas regiões, a fim de buscar o melhor gerenciamento do recurso hídrico subterrâneo.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) teve sua evolução intensamente marcada pelas variações do nível mar, ocorridas desde o Terciário, com a deposição de um pacote de sedimentos clásticos terrígenos, representado pelos depósitos de leques aluviais. Posteriormente, esses depósitos foram retrabalhados por no mínimo quatro ciclos transgressivos-regressivos, que deram origem aos sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira I, II, III e IV (Villwock e Tomazelli 1995; Barboza *et al.* 2008; Barboza *et al.* 2021). Segundo Rosa *et al.* (2017), as oscilações dos níveis do mar, durante o Pleistoceno e o Holoceno foram responsáveis pela origem de padrões de empilhamento retrogradacional, progradacional e degradacional, que podem ser identificadas nas camadas de sedimentos que formam a PCRS. Assim, dependendo da região avaliada da PCRS haverá ocorrência de depósitos de sedimentos associados a diferentes ambientes deposicionais, como pode ser observado em vários estudos, entre eles os de Fracalossi *et al.* 2010; Rosa 2012; Caron 2014; Bitencourt *et al.* 2020.

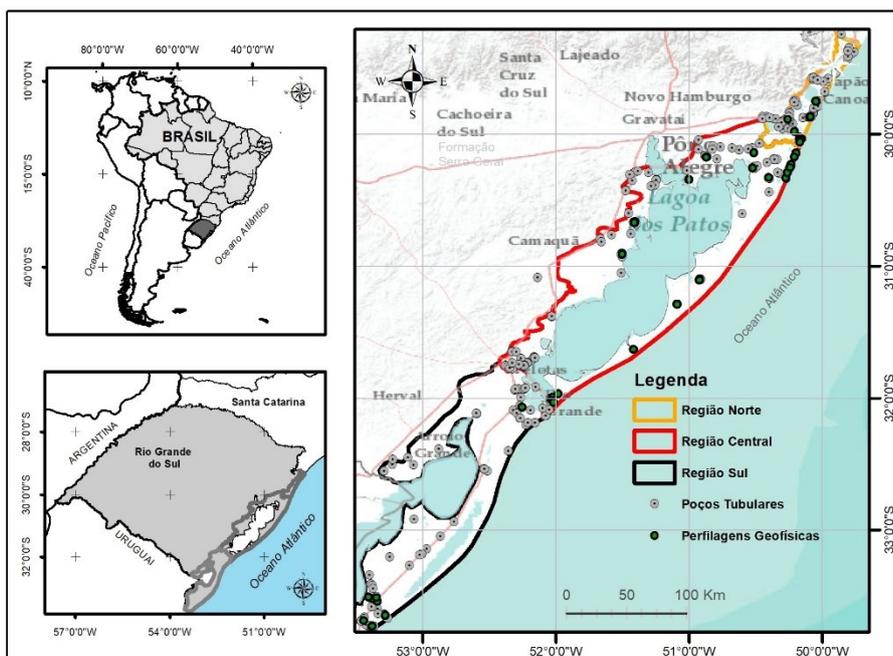
Depósitos que se intercalam tanto lateralmente, como verticalmente, geram heterogeneidades litológicas que tem reflexo na hidrogeologia, sendo caracterizados por camadas de sedimentos arenosos (areia grossa, média, fina e muito fina) intercaladas com camadas de sedimentos finos (argilosos e siltosos) de profundidades e espessuras variadas. A ocorrência de camadas distintas de sedimentos de idades terciárias e quaternárias forma um sistema aquífero multicamadas e que pode ser estruturado em diferentes unidades hidroestratigráficas.

Segundo o Serviço Geológico do Brasil, atualmente, o Sistema Aquífero Costeiro é denominado como "Sistema Aquífero Quaternário Costeiro" (Machado; Freitas 2005). No entanto, na área de sua abrangência, há outras camadas mais antigas de sedimentos (Terciário) que ocorrem em maiores profundidades e que também são unidades aquíferas. No estudo desenvolvido por Collischon (2018; 2021) e por Collischon e Rosa (2022), foi identificada uma unidade aquífera mais antiga e que não está associada aos depósitos dos Sistemas Laguna-Barreira. Assim, este sistema não é formado apenas por materiais sedimentados no Pleistoceno e Holoceno, mas sim por todo o pacote de sedimentos depositados na PCRS.

A partir disso, este trabalho teve por objetivo principal o estudo geológico, hidrogeológico e geofísico das unidades hidroestratigráficas que formam o Sistema Aquífero Costeiro (SAC) na PCRS, bem como a caracterização dessas unidades e a elaboração de um modelo hidrogeológico conceitual que represente esse arcabouço. Os resultados obtidos permitem compreender melhor sua estruturação e compartimentação, bem como servem de subsídios para o desenvolvimento de projetos de captação e gestão de recursos hídricos subterrâneos na PCRS.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Este trabalho abrangeu a região da PCRS, a qual ocupa toda a extensão da faixa litorânea entre os municípios gaúchos de Torres e Chuí, totalizando, aproximadamente, 620 km de extensão e 33.000 Km<sup>2</sup> de área aflorante. A PCRS consiste em uma extensa planície com um vasto complexo de lagoas e dunas, constituída por 32 municípios e dividida nas regiões norte, central e sul (Figura 1).



**Figura 1.** Mapa de localização da Planície Costeira do estado do Rio Grande do Sul com destaque para as regiões norte, central e sul e para os poços e perfilagens geofísicas utilizadas (Fonte: Autor).

O estudo sobre a hidrogeologia da PCRS iniciou-se com o trabalho pioneiro de Hausman (1960), o qual dividiu o estado em províncias hidrogeológicas, sendo elas: Planalto Basáltico, Planalto Cristalino, Planície Uruguaia e Planície Litorânea. Visto que ainda haviam poucos dados hidrogeológicos disponíveis, o autor se deteve em demarcar áreas com maior ou menor probabilidade de ocorrência de água subterrânea, dentro de determinados limites de vazões.

Sanberg (1980) estudou o comportamento das águas subterrâneas nas quatro províncias geológicas do estado utilizando métodos de análises estatísticas das variáveis hidrodinâmicas e hidroquímicas que mais influenciam nas condições das águas subterrâneas. Desta forma, obteve agrupamentos de poços com características semelhantes em cada Província Geológica.

Com o incremento de informações geológicas e de perfuração de poços, Hausman (1995) revisou os trabalhos anteriores lançando o primeiro mapa de Províncias Hidrogeológicas do Rio Grande do Sul na escala 1:1.000.000. Nele a região costeira do ficou classificada como Província Litorânea e dividida, segundo as condições de captação e de qualidade da água, em subprovíncias denominadas Oceânica, Lagunar Externa, Lagunar Interna (norte e sul), Itapuã e Guaíba.

Caicedo (1998) estudou o comportamento hidrogeológico dos aquíferos costeiros do litoral norte do Rio Grande do Sul através da análise de dados de piezômetros multiníveis com até 30 m de profundidade e identificou aquíferos livres e confinados em áreas próximas às lagoas, caracterizados por alta condutividade hidráulica horizontal e baixa recarga. Segundo este mesmo autor, as regiões que compreendem as cotas mais altas foram caracterizadas com condutividade hidráulica horizontal baixa e alta recarga e as áreas junto ao mar, com condutividade hidráulica e recarga moderada. Suas águas foram consideradas como próprias ao consumo humano, com ressalva às concentrações de ferro e a presença de coliformes fecais em algumas amostras.

De Freitas *et al.* (2002) realizaram estudo do comportamento do potencial aquífero relacionado a barreira marinha no município de Viamão utilizando-se de modelagem computacional e identificaram a grande potencialidade aquífera dos sedimentos que formam a conhecida unidade geomorfológica "Coxilha das Lombas".

A partir do estudo e interpretação de dados estratigráficos, estruturais e geomorfológicos, Lisboa *et al.* (2004) abordaram o modo de ocorrência das águas subterrâneas no Estado do Rio Grande do Sul. Eles definiram o Sistema Aquífero Cenozóico Planície Costeira como sendo o aquífero mais influenciado por variações verticais e

laterais de fácies, sendo formado por dois sistemas deposicionais: Sistema Depositional Quaternário de Cobertura Laguna-Barreira, aflorante em toda a Planície Costeira e, em subsuperfície, o Sistema Depositional Terciário Bacia Rasa de Pelotas.

O Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), em convênio com o governo estadual elaboraram o primeiro Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul na escala 1:750.000 (Machado; Freitas 2005). Segundo os autores, na região da PCRS ocorre o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I, com capacidades específicas geralmente altas, ultrapassando 4 m<sup>3</sup>/h/m e concentrações de sais inferiores a 400 mg/L; e o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II, com capacidades específicas entre 0,5 e 1,5 m<sup>3</sup>/h/m e sólidos totais dissolvidos variando entre 600 e 2.000 mg/L. AUTOR apresentaram dados de um estudo preliminar da estimativa de recarga subterrânea no aquífero costeiro na região do litoral norte do RS, ao aplicar o método WTF (*water table fluctuation*) por meio da utilização de dados de cinco poços tubulares pertencentes a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS). A recarga mensal foi estimada entre 32 mm e 60 mm, e as porcentagens de recarga em relação à precipitação variaram entre 21 % e 40 %, com média de 28 %. Estes resultados demonstraram a intensa recarga que é característica desses aquíferos costeiros constituídos, principalmente, por sedimentos arenosos.

A caracterização hidroestratigráfica do SAC na região norte do litoral norte do RS foi apresentada por Troian, et al. (2020) e com base em dados litológicos de sondagens estratigráficas, perfis de poços e de perfilagens geofísicas. Os autores identificaram quatro unidades hidroestratigráficas principais relacionadas aos depósitos sedimentares que formam a PCRS. As unidades hidroestratigráficas 01 e 03 que representam os aquíferos regionais com características mais favoráveis a exploração; e as unidades hidroestratigráficas 02 e 04, predominantemente argilosas exercem a função de barreiras semipermeáveis, além de proporcionarem o aumento expressivo da salinidade das águas subterrâneas. A partir deste trabalho, Marqueto *et al.* (2024) apresentaram uma modelagem 3D das principais unidades hidroestratigráficas presentes na região.

O conhecimento hidrogeológico da PCRS demonstra que, na maior parte dos trabalhos, a avaliação detalhada e a caracterização hidroestratigráfica do sistema aquífero costeiro não foi totalmente realizada, dificultando o entendimento da organização, estruturação e características hidrogeológicas (hidrodinâmicas e hidroquímicas). Essa lacuna de conhecimento começou a ser preenchida com o trabalho desenvolvido por Troian *et al.* (2020) no litoral norte da PCRS, estendida para toda a região da planície costeira posteriormente e cujos resultados são apresentados nesse artigo.

### 3. MATERIAS E MÉTODOS

Neste estudo, optou-se por utilizar a classificação de taxonomia hidrogeológica de Diniz *et al.* (2014), onde o conceito de unidade hidroestratigráfica proposto é a menor classe hierárquica e cujos limites não necessariamente correspondem aos limites das unidades estratigráficas. Para este autor, as formações geológicas apresentam variações internas, em diferentes escalas, que alteram suas características hidrogeológicas.

Para a região norte da PCRS, foram utilizados os dados do trabalho publicado por Troian, et al. (2020) e, para as regiões central e sul, a identificação e avaliação das diferentes unidades hidroestratigráficas seguiu critérios litológicos, granulométricos e geofísicos pela sistematização de um banco de dados elaborado com informações construtivas e litológicas de 313 poços tubulares profundos, selecionados dos 863 poços cadastrados no Sistema Integrado de Informação das Águas Subterrâneas (SIAGAS) para a região. Este procedimento se embasou na identificação de poços com relatórios considerados completos e confiáveis em termos de dados geológicos e hidrogeológicos com descarte de poços com relatórios incompletos, bem como daqueles do tipo ponteira e cimba.

Também foram utilizadas informações de perfis compostos de perfilagens geofísicas realizadas em 36 poços pertencentes à Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Tais dados possibilitaram a caracterização qualitativa e a visualização das características petrofísicas dos sedimentos em profundidade (Nery, 2008).

As informações litológicas foram avaliadas especialmente e utilizadas para identificação de pacotes sedimentares predominantemente argilosos e/ou arenosos que apresentassem continuidade lateral, servindo como base para delimitação da geometria das unidades hidroestratigráficas. Estes dados foram correlacionados com os dados

de conteúdo de argila obtidos dos perfis de Raio Gama (RG), sendo possível identificar padrões de maiores contagens para as camadas mais argilosas ou menores valores para as mais arenosas (Ribeiro *et al.*, 2015) e que permitiram corroborar a delimitação do topo e base das mesmas.

A avaliação das diferentes unidades hidroestratigráficas foi realizada através dos resultados estimados de porosidade (total e efetiva), sais totais dissolvidos (STD) e resistividade elétrica extraídos diretamente dos gráficos obtidos nos perfis dos métodos geofísicos utilizados apresentados no Quadro 1. Os valores extraídos foram analisados e plotados em diagramas de caixa utilizando-se o programa *Past 4.03* (Hammer *et al.*, 2001) e as seções hidroestratigráficas foram montadas a partir da correlação lateral do topo e base de cada unidade identificada nos perfis individuais.

**Quadro 1 – Métodos geofísicos e parâmetros estimados**

<b>Método</b>	<b>Tipo de Perfil</b>	<b>Parâmetros estimados</b>
Radioativo	Raios gama (GR)	Porcentagem de argila na formação
Eletromagnético	Indução (DIR)	Resistividade + STD
Elétrico	Normal curta (SN)	Resistividade da água intersticial
Acústico	Sônico (DT)	Porosidade total e efetiva

STD: Sais Totais Dissolvidos.

Em virtude da grande extensão e complexidade da área, o modelo conceitual geral da PCRS foi elaborado em formato bidimensional, onde a região estudada é apresentada em planta, onde se destacam os perfis hidroestratigráficos de diferentes porções. Neste modelo, os dados extraídos dos perfis geofísicos são mostrados em forma de tabela, onde constam os valores das medianas dos principais parâmetros avaliados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para as regiões central e sul da PCRS, mostrando a identificação das unidades hidroestratigráficas que ocorrem em cada região. Posteriormente, é feita a discussão dos resultados integrando as informações referentes a região norte (Troian, et al. 2020).

### 4.1. Unidades hidroestratigráficas na região central do SAC

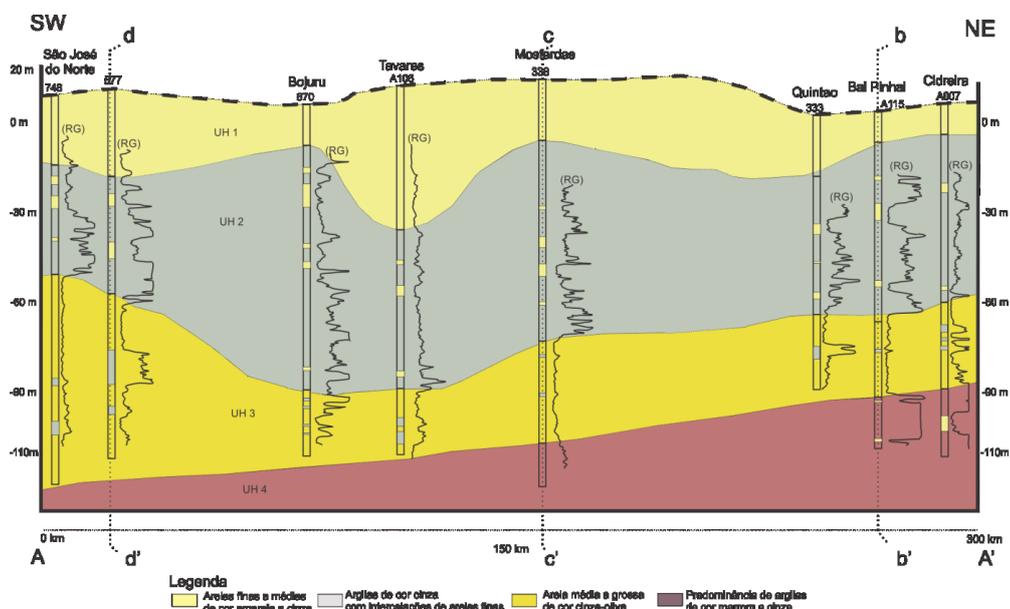
A região central da PCRS compreende uma área de planície com aproximadamente 200 km de extensão. É limitada a oeste pelas rochas do embasamento cristalino e a leste pela linha de costa.

A distribuição das principais unidades hidroestratigráficas são representadas por seções de um perfil longitudinal a linha de costa (A-A') e três perfis transversais (b-b', c-c', d-d').

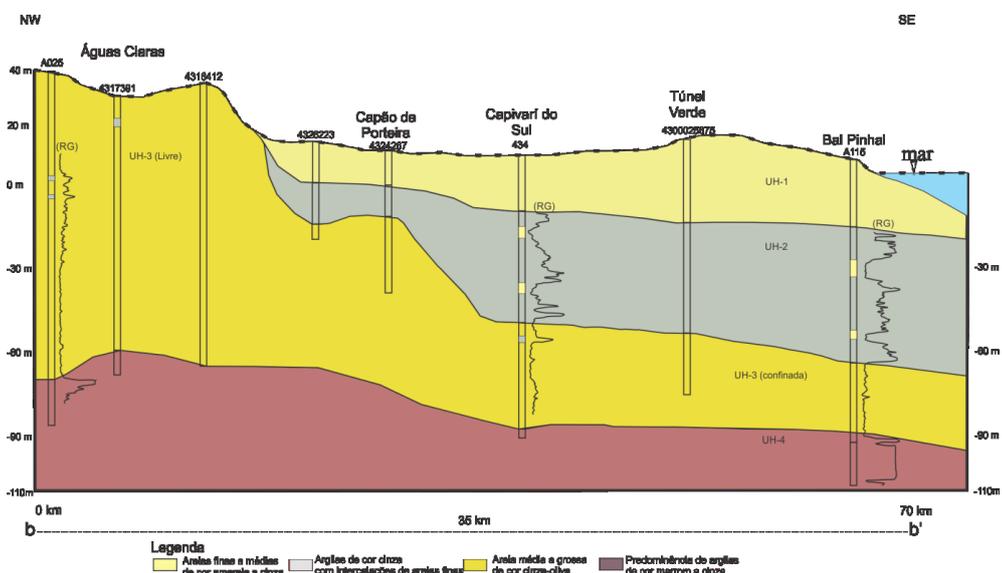
A seção do perfil A-A' da figura 2 representa um corte paralelo a linha de costa com direção SW-NE e está localizado na faixa externa da região central da PCRS, limitada a oeste pela lagoa dos patos e a leste pelo oceano atlântico.

A UH-1, relacionada ao sistema deposicional Laguna-Barreira, apresenta uma distribuição relativamente uniforme ao longo do perfil, com espessuras variando de 10 a 30 m e espessura maior nas proximidades do município de Tavares. A UH-2, relacionada ao sistema deposicional marinho, aumenta de profundidade em direção ao distrito de Bojuru, e chega a atingir 80 m de espessura. Já a UH-3, com espessuras variando de 30 a 80 m, apresenta sedimentos que podem estar relacionados a ambientes de deposição fluviais (paleocanais), leques aluviais e marinho. A UH-4, indivisa e predominantemente argilosa, ocorre a cerca de 90 m de profundidade na região de Cidreira, aumenta de profundidade em direção a sul, com mais de 120 m próximo ao município de São José do Norte.

A seção do perfil b-b' da figura 3 representa um corte transversal a linha de costa com direção NW-SE, ligando os municípios de Viamão (distrito de Águas Claras) a Balneário Pinhal.



**Figura 2.** Seção do Perfil A-A' (paralelo a linha de costa) com as unidades hidroestratigráficas (UH) identificadas e os perfis de Raios Gama (RG).

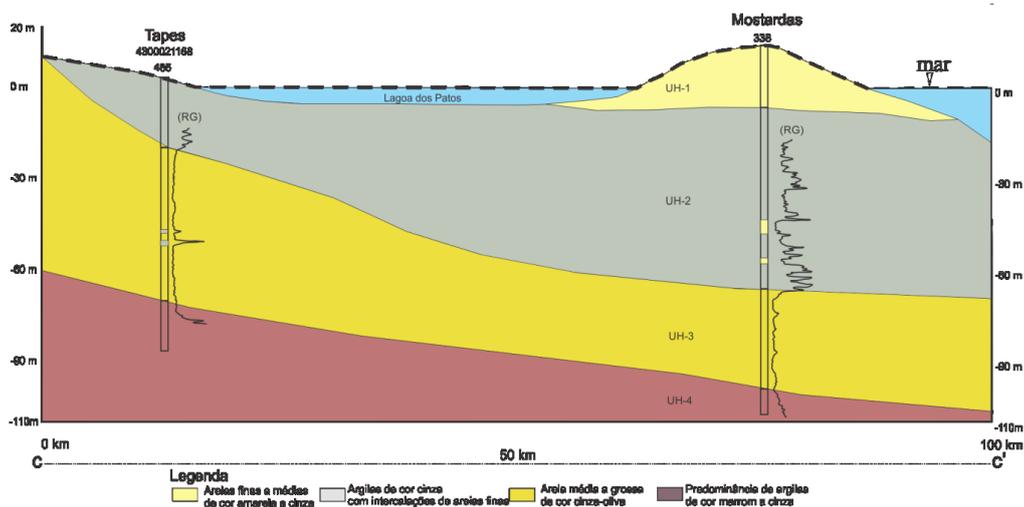


**Figura 3.** Seção do Perfil b-b' (transversal a linha de costa) com as unidades hidroestratigráficas (UH) identificadas e os perfis de Raios Gama (RG).

Na parte NW, o perfil mostra o alto topográfico marcado pelos depósitos eólicos localizados na região do distrito de Águas Claras, representando uma importante área de recarga principalmente da UH-3. Esta unidade segue em direção a linha de costa com profundidades de 60 a 90 m, onde é sobreposta pelas UH-2 e UH-1. Ocorre o aumento de porções arenosas na UH-2 na região de Capivarí do Sul e Balneário Pinhal, porém sem continuidade lateral.

A seção do perfil c-c' da figura 4 representa um corte transversal com direção NW-SE, ligando os municípios de Tapes, na parte interna, e Mostardas na parte externa da região central da PCRS.

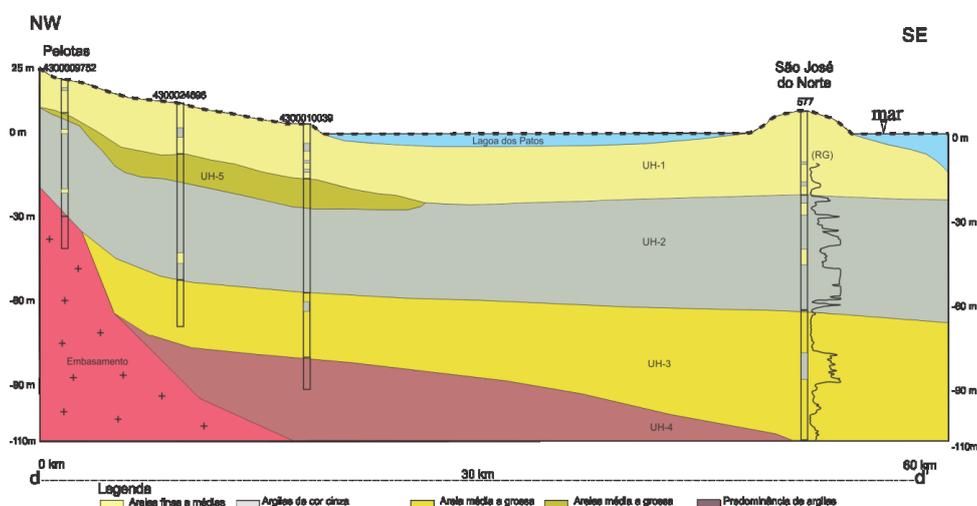
Nesta região, a planície costeira é em grande parte coberta pela lagoa dos Patos, o que limita a espacialização das informações. A UH-1 ocorre apenas na parte externa com espessura de até 20 m na região de Mostardas, onde é marcante a presença de camada de solo argiloso de 2 a 3 metros sobre esta unidade. O perfil evidencia a maior espessura da UH-3 na região interna enquanto a UH-2 aumenta de espessura em direção a região externa atingindo profundidades de até 70 m.



**Figura 4.** Seção do Perfil c-c' (transversal a linha de costa) com as unidades hidroestratigráficas (UH) identificadas e os perfis de Raios Gama (RG).

Na região interna, em virtude da proximidade com os altos do embasamento (a oeste) e a lagoa (a leste), ocorre grande variação granulométrica, com a presença de lentes de areias médias a grossas tanto na UH-1 como na UH-2, porém não chegam a apresentar distribuição lateral e horizontal que permita a formação de uma unidade hidroestratigráfica.

A seção do perfil d-d' da figura 5 apresenta corte transversal a linha de costa ligando os municípios de Pelotas a NW e São José do Norte a SE.

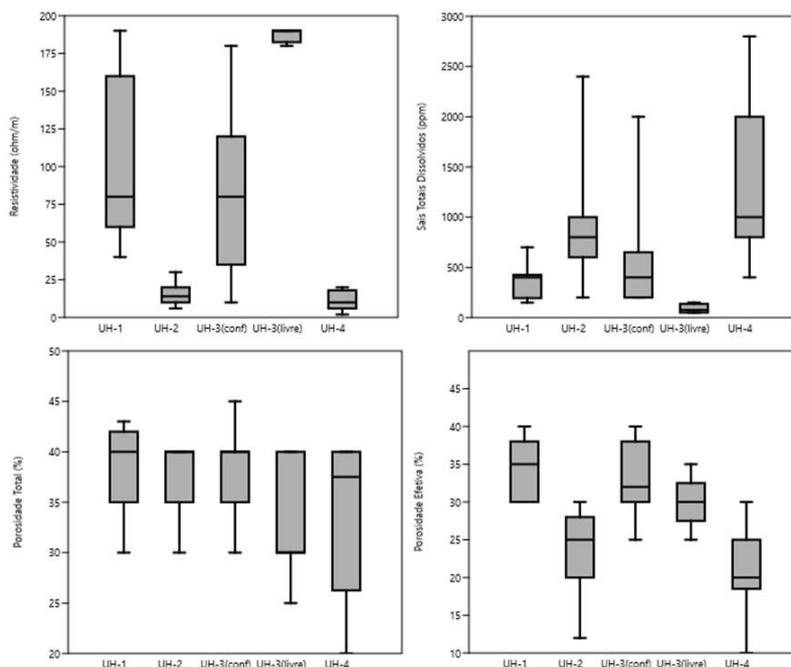


**Figura 5.** Seção do Perfil d-d' (transversal a linha de costa) com as unidades hidroestratigráficas (UH) identificadas e os perfis de Raios Gama (RG).

Diferentemente do que ocorre nas proximidades dos municípios de Tapes e Arambaré, na região de Pelotas, os sedimentos arenosos grosseiros (areias médias a grossa) provenientes de leques aluviais do embasamento apresentam aproximadamente 15 m de espessura e extensão lateral capaz de controlar o regime de fluxo subterrâneo. Tendo acima a UH-1 formada por areias finas areno-argilosas e abaixo os sedimentos argilosos da UH-2, esta unidade hidroestratigráfica foi definida como UH-5, representando um importante aquífero que é captado por um grande número de poços da região.

Na região externa, nas proximidades de São José do Norte há presença desses sedimentos dentro da UH-2, porém na forma de finas lentes intercaladas com os sedimentos predominantemente argilosos.

Para a avaliação das diferentes unidades hidroestratigráficas presentes na região central do SAC, os valores de resistividade elétrica, porosidade total e efetiva e sais totais dissolvidos foram extraídos diretamente dos perfis compostos das 26 perfilagens geofísicas analisadas. A figura 6 apresenta esses dados plotados em diagramas de caixa, com valores máximos, mínimos, 1° e 3° quartis e mediana para cada unidade hidroestratigráfica e onde os dados da UH-03 foram divididos para representar suas porções livres e confinadas. Especificamente, a UH-5 não apresenta dados de perfilagem e é identificada apenas pelos perfis estratigráficos dos poços.



**Figura 6.** Diagramas de caixa de resistividade elétrica, porosidade efetiva e sais totais dissolvidos das unidades hidroestratigráficas da região central da PCRS.

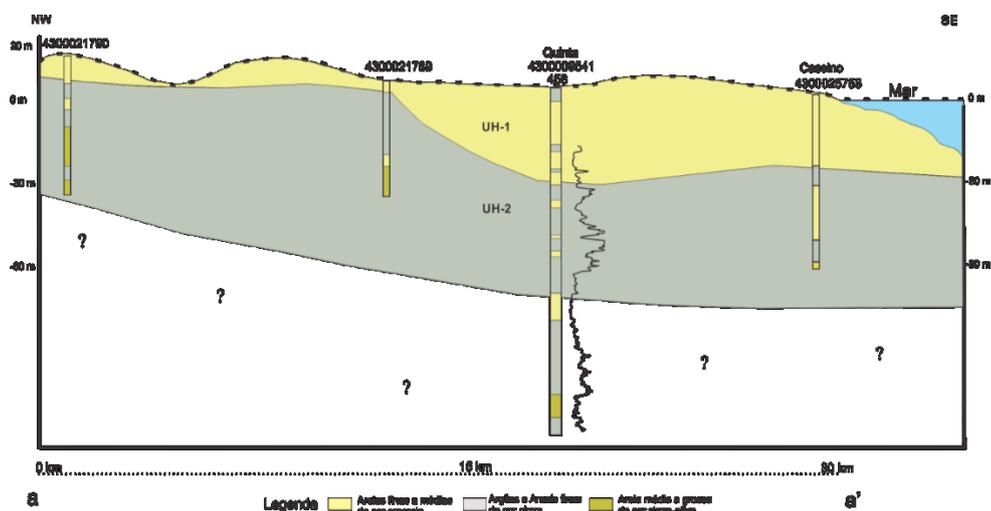
## 4.2. Unidades hidroestratigráficas na região sul do SAC

A região sul apresenta informações de poços concentrada na parte urbana dos municípios de Santa Vitória do Palmar, Chuí e Rio Grande. Estes poços possuem profundidade média de 70 m com apenas 06 poços atingindo profundidades maiores que 100 m.

A separação de diferentes unidades hidroestratigráficas buscou identificar pacotes sedimentares que possam apresentar, em escala regional, comportamentos hidrogeológicos semelhantes. Por meio dos perfis litológicos e geofísicos, fica evidente a grande heterogeneidade que marca os pacotes sedimentares na região sul, onde as unidades hidroestratigráficas apresentam camadas argilosas/arenosas de variadas espessuras, porém sem continuidade lateral que permita sua individualização em escala regional.

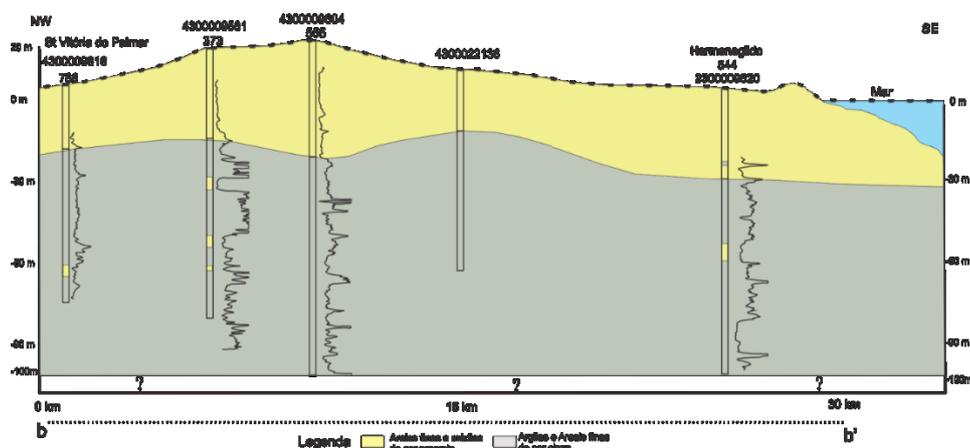
Em função dos dados disponíveis, a delimitação das unidades hidroestratigráficas se limitou a 70 metros de profundidade na seção do perfil localizado na região do município de Rio Grande (a-a') e a 100 m de profundidade na seção do perfil localizado no município de Santa Vitória do Palmar (b-b'). Diferentemente da região central da PCRS, na porção sul foi possível identificar apenas duas unidades hidroestratigráficas (Fig. 7), principalmente, em função das profundidades limitadas dos poços e pela grande heterogeneidade observada na UH-2, com camadas argilosas e arenosas sem continuidade lateral.

Conforme se pode observar a UH-1, predominantemente arenosa, está relacionada aos ambientes de deposição eólicos e praias do Sistema Laguna-Barreira. Apresenta uma variação expressiva de espessura ao longo do perfil, apresentando cerca de 30 m da região do Cassino até a localidade da Vila Quinta, diminuindo para em média 10 m em direção a oeste. O oposto se observa na UH-2, relacionada aos depósitos marinhos e leques aluviais, que apresenta espessuras maiores na porção oeste, diminuindo no sentido da linha de costa.



**Figura 7.** Seção do Perfil a-a', transversal a linha de costa com direção NW-SE, com as unidades hidroestratigráficas identificadas.

A figura 8 apresenta a seção do perfil b-b', transversal a linha de costa com direção NW-SE e localizado no município de Santa Vitória do Palmar. Nesta parte da região sul, a UH-1, predominantemente arenosa, apresenta distribuição relativamente homogênea com espessuras variando de 20 m na região próxima Santa Vitória do Palmar e chegando a 40m na região da praia do Hermenegildo. A UH-2, predominantemente argilosa, pode ser caracterizada até cerca de 100 m de profundidade apresentando distribuição homogênea na região.

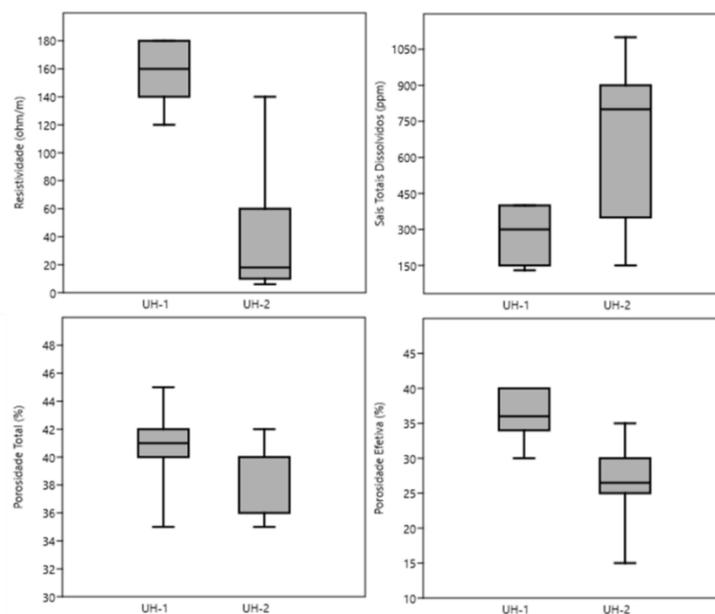


**Figura 8.** Seção do Perfil b-b', transversal a linha de costa com direção NW-SE, com as unidades hidroestratigráficas identificadas.

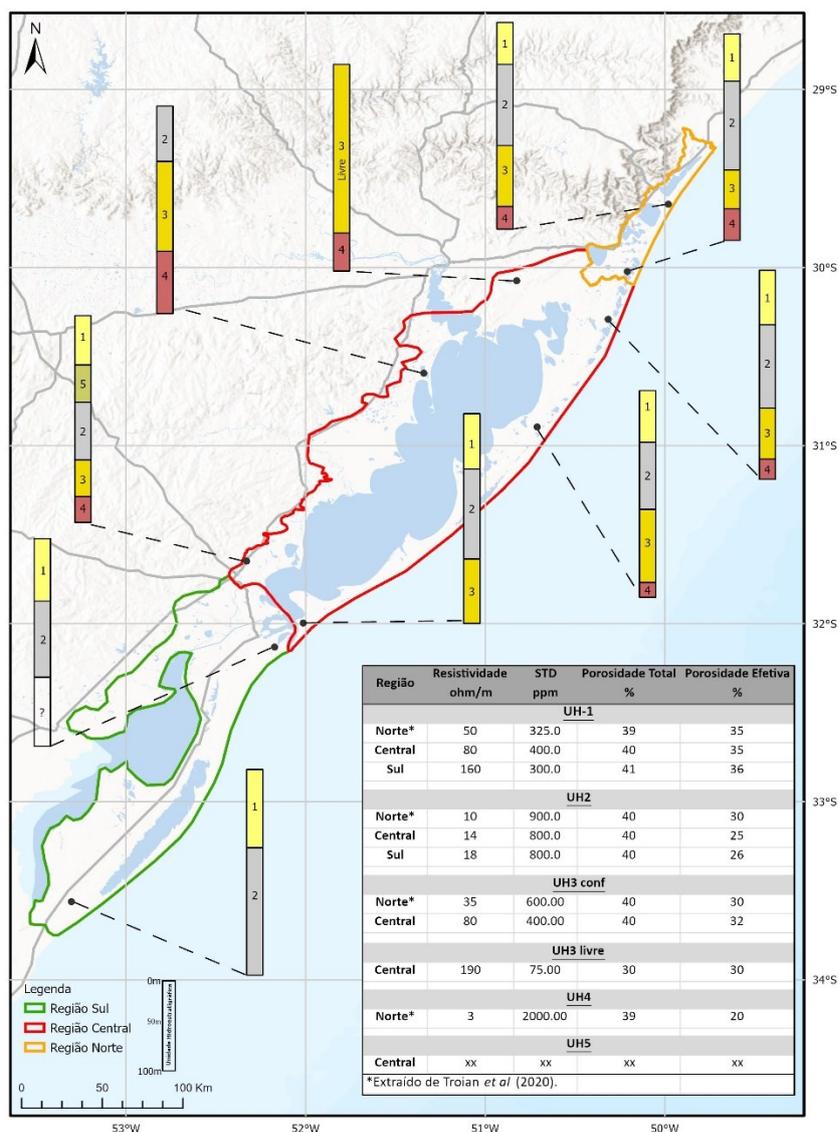
A figura 9 apresenta os dados plotados em diagramas de caixa, com os valores de resistividade elétrica, porosidade total e efetiva e sais totais dissolvidos máximos, mínimos, 1° e 3° quartis e mediana para cada unidade hidroestratigráficas da região sul.

### 4.3. Modelo conceitual do SAC

A seguir, são discutidos os resultados deste estudo, os integralizando aos dados da região norte da PCRS de AUTOR, com o objetivo de apresentar o modelo conceitual das principais unidades hidroestratigráficas que formam o SAC na PCRS, suas distribuições e as características que marcam as águas subterrâneas na região (Figura 10).



**Figura 9.** Diagramas de caixa de resistividade elétrica, porosidade total e efetiva e sais totais dissolvidos das unidades hidroestratigráficas da região sul da PCRS.



**Figura 10.** Modelo conceitual do SAC com distribuição e principais características das unidades hidroestratigráficas identificadas.

### 4.3.1. A unidade hidroestratigráfica 1

A UH-1 é a unidade superior do SAC ocorrendo integralmente nas regiões norte e sul e na parte externa da PCRS com espessuras em torno de 20 m. Na região central, apresenta as maiores espessuras chegando a aproximadamente 40 m próximo aos municípios de Mostardas e Tavares que podem estar relacionadas a sedimentação pré-terita da bacia, atuando como uma área preferencial de transferência de sedimentos para porções mais profundas, conforme sugerido por Rosa (2009; 2012), e Rosa *et al.* (2017). Essa unidade é caracterizada pela ocorrência de sedimentos arenosos (areias finas a argilosas) inconsolidados, de tonalidades amareladas a acinzentadas, relacionados aos sedimentos dos Sistemas Laguna-Barreira III e IV. Geralmente, no topo da unidade predominam areias de granulometria média a fina, grãos bem selecionados e baixo grau de compactação. Na base, predominam areias com granulometria fina com presença de lentes argilosas descontínuas e de espessuras variáveis. Os sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira geram intercalações sedimentares heterogêneas, responsáveis por variações hidrodinâmicas e hidroquímicas dentro da unidade.

De acordo com os dados extraídos dos perfis geofísicos, essa unidade apresenta boas condições aquíferas com valores de medianas da resistividade elétrica variando de 50,0 a 160 ohm/m, concentração de sais totais dissolvidos de 300 a 400 ppm, porosidade total de 40% e porosidade efetiva de 35%.

Essas variações já tinham sido observadas nos vários trabalhos realizados na PCRS, e foram utilizados como critério de separação do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I e II que foi definido por Machado e Freitas (2005). A ocorrência de maior quantidade de camadas arenosas (areia média, fina a muito fina) que apresentam maior espessura e continuidade lateral, têm reflexo na porosidade efetiva mais alta e em menores valores de salinidade da água.

### 4.3.2. A unidade hidroestratigráfica 2

A UH-2 ocorre estratigraficamente abaixo da UH-1, com espessura significativa ao longo de toda a PCRS, porém, pelas suas características argilosas, há um reduzido número de poços que captam água apenas desta unidade. As espessuras variam de 10 a 80 m, sendo as porções menos espessas encontradas na região central interna, chegando até 45 m na região norte e 70 a 80 m nas regiões central e sul. Trata-se de um espesso pacote de sedimentos predominantemente argilosos de coloração cinza e com presença de lentes/camadas de areias finas a muito finas. Estas camadas/lentes ocorrem em proporções variáveis e com espessuras que alcançam até 10 m, distribuídos ao longo da unidade e com maior ocorrência na região entre São José do Norte e Mostardas. A UH2 está relacionada aos depósitos marinhos profundos e lagunares formados durante a evolução dos Sistemas Laguna-Barreira, contendo intensa presença de fragmentos de conchas intercaladas aos sedimentos argilosos.

De acordo com os dados extraídos dos perfis geofísicos, essa unidade apresenta valores de medianas da resistividade elétrica variando de 10,0 a 18 ohm/m, concentração de sais totais dissolvidos de 800 a 900 ppm e valores de porosidade efetiva menores que 30%, indicando baixa capacidade de produção.

### 4.3.3. A unidade hidroestratigráfica 3 livre

A UH-3 Livre ocorre na região de cotas mais elevadas (maior que 40 m) localizada na porção noroeste da PCRS, com espessuras em torno de 100 m, e aproximadamente 60 km de extensão por 5 km de largura. Representa os sedimentos arenosos que formam a unidade geomorfológica Coxilha das Lombas, relacionados aos depósitos do Sistema Laguna Barreira I na região do distrito de Águas Claras. É constituída, principalmente, por areias de granulometria média, quartzosa de cor creme a avermelhada devido a presença de óxido de ferro (Freitas *et al.* 2002). Ocorrem, também, porções onde predominam areias finas com raras intercalações de níveis argilosos. Valores médios de porosidade total iguais aos valores de porosidade efetiva (30%) indicam a alta permeabilidade e a pequena quantidade de argila presente nos sedimentos.

Estes resultados vão de acordo e complementam os trabalhos realizados por Machado (1994), Herlinger Jr. e Viero (2004), Rubbo (2004), Collischonn e Kirchheim (2006), que demonstram que esse aquífero apresenta alta produtividade e águas de baixa mineralização ( $STD_{\text{médio}} = 75$  ppm).

#### **4.3.4. A unidade hidroestratigráfica 3 confinada**

A UH-3 Confinada é a unidade localizada estratigraficamente abaixo da UH-2 e ocorre nas regiões norte e central da PCRS, com variações litológicas e hidrogeológicas. Apresenta menores espessuras na porção norte da PCRS, próximo ao município de Torres, aumentando gradativamente de espessura em direção a região central, chegando a atingir cerca de 50 m próximo ao município de São José do Norte. Na região central interna, próximo ao município de Tapes, apresenta espessuras próximas aos 60 m, ocorrendo a pequenas profundidades (10-30 m), onde é recoberta apenas pela UH-2.

Em geral, é caracterizada pela ocorrência de sedimentos arenosos (areias grossas a finas) inconsolidados, de tonalidades amareladas a esbranquiçadas, relacionados aos sedimentos que representam as porções basais do Sistema Laguna-Barreira. Na região norte, aproximadamente entre os municípios de Osório, Xangri-lá e Tramandaí, é representada, predominantemente, por sedimentos arenosos grossos e angulosos que formam o chamado "Aquífero Sal Grosso". Estes sedimentos foram descritos por Collischonn (2021) e Collischonn e Rosa (2022), que interpretaram essa sedimentação como a porção distal (fluvial) de um sistema aluvial, associado ao sistema de paleodrenagem do rio Jacuí. Nas demais porções, principalmente na região central, ocorre o aumento de sedimentos areno-argilosos, destacando-se na região de Bojuru e atingindo até 10 m de espessura na região de São José do Norte. Esta sedimentação, com variações de areias finas a médias e intercalações areno-argilosas de diferentes espessuras, provavelmente, está relacionada aos depósitos de ambiente marinho com influência fluvial e lentes descontínuas de areias com granulometria mais grosseira.

A UH3 Confinada difere das unidades sobrepostas por possuir características hidrodinâmicas que lhe conferem alto potencial aquífero. Conforme as informações obtidas nos perfis geofísicos, essa unidade apresenta valores de medianas da resistividade elétrica de 35 e 80 ohm/m, concentração de sais totais dissolvidos de 400 e 600 ppm, além de porosidade total e efetiva de 40 %.

#### **4.3.5. A unidade hidroestratigráfica 4**

Os poços que captam água desta unidade se encontram apenas na região norte da PCRS. A UH-4 é considerada como a unidade inferior e indivisa SAC, identificada nas regiões norte e central e caracterizada por camadas de sedimentos predominantemente argilosos de coloração cinza escura a marrom. A delimitação do topo da unidade é bem evidente tanto nos perfis dos poços como nos dados geofísicos, onde é possível sua caracterização a profundidades de até 110 m. Em função da escassez de poços e perfilagens mais profundas, o limite de base da unidade 4 é considerado o contato inferior do SAC. Assim, em profundidades maiores que 110 m não é possível se fazer uma individualização precisa desta unidade, porém, os dados das sondagens sugerem que há um comportamento hidroestratigráfico bem próximo ao da porção superior, com intercalações argilo-arenosas de variadas espessuras e gradual aumento da fração argila.

Os dados obtidos dos perfis geofísicos indicam sedimentos com baixa porosidade efetiva (20%) e águas com baixa resistividade elétrica (3,0 ohm/m) e alta concentração de sais totais dissolvidos ( $STD_{med} = 2000$  ppm), mostrando uma clara tendência a salinização das águas com o aumento da profundidade.

Como observado na UH2, o aumento do teor da argila tem um reflexo na diminuição da produtividade do aquífero, bem como no aumento da salinização das águas, o que torna a captação de água da UH4 não aconselhada.

#### **4.3.6. A unidade hidroestratigráfica 5**

A UH-05 tem sua distribuição restrita a região central interna da PCRS e ocorre entre as UH-1 e a UH-2 na região próxima ao município de Pelotas. É uma unidade formada, predominantemente, pelos sedimentos provenientes de leques aluviais do embasamento cristalino (granitos e gnaisses) e é um importante aquífero captado pela grande maioria dos poços da região. É caracterizada por sedimentos arenosos grosseiros (areias médias a grossa) de coloração esbranquiçada e de baixa esfericidade e com espessura de aproximadamente 15 m.

A presença de sedimentos arenosos grosseiros, bem como a baixa concentração de argila tendem a ter reflexo na produtividade dos poços, bem como qualidade da água subterrânea. Alguns trabalhos, como de Jeske (2019), demonstram a ocorrência de poços de alta produtividade que captam água de aquíferos associados a essas camadas de sedimentos arenosos.

Com base nos dados e no modelo apresentado, observa-se que dependendo da região da PCRS haverá a ocorrência de diferentes unidades hidroestratigráficas, que vão apresentar espessuras e características hidrogeológicas (produtividade e salinização da água) distintas. Assim, a avaliação e a representação da estruturação e compartimentação hidroestratigráfica é de grande importância para os projetos de captação, bem como para a gestão da água subterrânea. Na PCRS, as unidades UH1 e UH3 (Livre e Confinada) apresentam as características hidrogeológicas mais favoráveis à exploração, por isso seus poços apresentam maior produtividade e, comparativamente, menor salinização (valores mais baixos de STD). Em contrapartida, as unidades UH2 e UH4, por apresentarem camadas argilosas de maior espessura e continuidade, tenderão a ter poços de menor produtividade e águas de maior salinidade, com a captação de aquíferos nessas unidades não aconselhada. Por fim, na região interna da PCRS, onde há ocorrência de camadas de sedimentos arenosos grosseiros (UH5), as características hidrogeológicas indicam uma tendência de poços com maior produtividade e menor salinização, relacionados com as espessuras e continuidade lateral desses sedimentos grosseiros.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou a compartimentação hidroestratigráfica proposta para o Sistema Aquífero Costeiro (SAC) da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS) de acordo com os dados geológicos, hidrogeológicos e geofísicos aqui avaliados.

Ao todo, foram identificadas 06 unidades hidroestratigráficas presentes no SAC, sendo que, de forma geral, a UH-1, que é um aquífero livre e a UH-3 Confinada representam aquíferos regionais com características favoráveis a exploração de água subterrânea; as UH-2 e UH-4, presentes em toda a região, exercem a função de barreiras semipermeáveis, com tendência de possibilitarem o aumento expressivo da salinidade das águas subterrâneas; as UH-3 Livre e UH-5 apresentam ocorrência restrita, representando aquíferos com grande importância local.

Esta compartimentação do SAC definiu quais as unidades hidroestratigráficas presentes na PCRS, gerando uma base de conhecimento que atualmente é escassa, mas que é imprescindível para a realização de uma gestão correta e mais eficiente desse importante recurso hídrico. O incremento contínuo sobre o conhecimento do SAC como um todo, é fundamental para um correto planejamento de uso e ocupação da região da PCRS, visando garantir a sustentabilidade do recurso hídrico subterrâneo.

Agradecimentos. A CORSAN (Companhia Rio-grandense de Saneamento) pela cessão de dados. Ao SGB-CPRM pela cedência de dados de sondagem e pelo apoio no desenvolvimento desse estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Cronoestratigrafia da Bacia de Pelotas: uma revisão das sequências deposicionais. *Gravel*, v. 6, n. 1, p. 125–138. 2008. [https://www.ufrgs.br/gravel/6/1/Gravel\\_6\\_V1\\_09.pdf](https://www.ufrgs.br/gravel/6/1/Gravel_6_V1_09.pdf)
- BARBOZA, E. G.; DILLENBURG, S. R.; ROSA, M. L. C. C.; CARON, F.; LOPES, R. P.; WHATANABE, D. S. Z.; TOMAZELLI, L. J. Sistemas deposicionais e evolução geológica da planície costeira entre La Coronilha e Cabo de Santa Marta (Bacia de Pelotas): uma revisão. In: RITTER, A. J.; SOMMER, C. A. *Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Sociedade Brasileira de Geologia. Porto Alegre: Editora Compasso Lugar-Cultura, 2021. 504 p. DOI: <https://doi.org/10.29327/537860.1-27>
- BITENCOURT, V. J. B.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. A.; MANZOLLI, R. P. Padrões de Empilhamento Estratigráfico e seus Reflexos na Morfologia da Barreira Costeira Holocênica no Litoral Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v. 21, n. 3, p.529-548, 2020. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1789>
- CAICEDO, N. L. *Hidrogeologia Do Litoral Norte Do Rio Grande Do Sul*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 10., *Anais [...]*, n. 031, p. 1–12. 1998. [S.l.]: [s.n.], 1998. DOI: <https://doi.org/10.51189/rem/3256>

- CARON, F. *Estratigrafia e Evolução da Barreira Holocênica na região Costeira de Santa Vitória do Palmar, Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil*. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Geociências) – UFRGS, Porto Alegre, 2014. 167p. DOI: <https://doi.org/10.22456/2317-8558.50228>
- CIANFLONE, G.; VESPASIANO, G.; DE ROSA, R.; DOMINICI, R.; APOLLARO, C.; VASELLI, O.; PIZZINO, L.; TOLOMEI, C.; CAPECCHIACCI, F.; POLEMIO, M. Hydrostratigraphic Framework and Physicochemical Status of Groundwater in the Gioia Tauro Coastal Plain. *Water*, v. 13, 3279. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13223279>
- COLLISCHONN, B.; KIRCHHEIM, R. Quantificação da Recarga e das Reservas do Aquífero Coxilha das Lombas (RS) através do Balanço Hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14., *Anais [...]* 2006. [S.l.]: [s.n.], 2006. <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23112>
- COLLISCHONN, L. *Gênese e estratigrafia do aquífero "Sal Grosso", litoral norte da planície costeira do Rio Grande do Sul*. 2021. 94 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/t.18.1988.tde-09012025-171017>
- COLLISCHONN, L. *Gênese e ocorrência da camada aquífera "sal grosso" no litoral norte do Rio Grande do Sul*. 2018. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-5271v49.1-2024-0074.ing>
- COLLISCHONN, L.; ROSA, M. L. C. Genesis of a coastal aquifer in the coastal plain of the Pelotas Basin, Southern Brazil: Implications for stratigraphic evolution. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 116, p. 103801, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103801>
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas*. 2023. <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>
- FREITAS, M. A.; COSTA, C. T.; TEDESCO, M. A.; CASTRO, M. A. H. Estudo do comportamento e potencialidade do aquífero. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS, 12., *Anais [...]*, 2002, [S. l.], [s. n.], p. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.29327/1298891.4-249>
- DINIZ, J. A. O. et al. Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo. *Hydrological Map*, p. 45, 2014. <https://www.sgb.gov.br/atlas-hidrogeologico-do-brasil-ao-milionesimo>
- EDET, A. Hydrogeology and groundwater evaluation of a shallow coastal aquifer, Southern Akwa Ibom State (Nigeria). *Applied Water Science*, v. 7, p. 2397–2412, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0432-1>
- ERSKINE, J.; FISHER, A. T. Complex geometry of depositional facies within a coastal aquifer system: three-dimensional mapping of confining layers and hydrogeologic implications. In: MONESTIEZ, P.; ALLARD, D.; FROIDEVAUX, R. (orgs.). *Geostatistics for Environmental Applications*. Dordrecht: Springer, 2001. p. 517–518. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0810-5\\_52](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0810-5_52)
- FITTS, C. R. *Águas subterrâneas*. Tradução Daniel Vieira. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2015. 608 p.
- FRACALOSSO, F. G.; BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; SILVA, A. B. O registro em subsuperfície da barreira pleistocênica entre Osório e Tramandaí – RS. *Gravel*, v. 8, n. 1, p. 21-31, 2010. [https://www.ufrgs.br/gravel/8/1/Gravel\\_8\\_V1\\_03.pdf](https://www.ufrgs.br/gravel/8/1/Gravel_8_V1_03.pdf)
- GIAMBASTIANI, B. M. S. et al. Characterization of the lowland coastal aquifer of Comacchio (Ferrara, Italy): Hydrology, hydrochemistry and evolution of the system. *Journal of Hydrology*, v. 501, p. 35–44, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.037>
- GOTTSCHALK, I. et al. Interpretation of hydrostratigraphy and water quality from AEM data collected in the Northern Salinas Valley, CA: Prepared for Marina Coast Water District. 2018. Disponível em: <https://cityofmarina.org/DocumentCenter/View/10408/Aem-Final-Report>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001. <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>
- HERLINGER JR.; VIERO, A. P. Estimativa da recarga do aquífero Coxilha das Lombas através do método do balanço de cloretos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., *Anais [...]*, 2004, *Anais [...]*. [S.l.]: [s.n.], 2004. DOI: <https://doi.org/10.29327/1298891.4-205>

- JESKE, T. B. *Análise da vulnerabilidade e do risco potencial de contaminação das águas subterrâneas do município de Cristal (RS)*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29381/0103-8559/2020300182-6>
- LISBOA, N. et al. Síntese da ocorrência geológica das águas subterrâneas do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, [s.n.], 2004. p. 1–25. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v36i2.30174>
- MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. *Mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul*. 2005. p. 1.
- MAHMUD, M. I. et al. Variations in hydrostratigraphy and groundwater quality between major geomorphic units of the Western Ganges Delta plain, SW Bangladesh. *Applied Water Science*, v. 7, n. 6, p. 2919–2932, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-017-0581-x>
- MARQUETO et al. Developing a 3D hydrostratigraphical model of the emerged part of the Pelotas Basin along the northern coast of Rio Grande do Sul State, Brazil. *Environmental Earth Sciences*, v. 83, p. 329, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3528001/v1>
- MURGULET, D.; TICK, G. R. Characterization of flow dynamics and vulnerability in a coastal aquifer system. *Groundwater*, [s. l.], v. 51, n. 6, p. 893–903, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/gwat.12020>
- NERY, G. G. Perfilagem geofísica aplicada à hidrogeologia. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Org.). *Hidrogeologia - conceitos e aplicações*. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 46. <https://www.sgb.gov.br/livro-hidrogeologia-conceitos-e-aplicacoes>
- RIBEIRO, A. F.; MENDONÇA, C. A.; BUORO, A. B. Perfilagem indução eletromagnética e radiação gama natural em poços de monitoramento. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, 14., Anais [...], Rio de Janeiro: [s.n.], 2015. DOI: <https://doi.org/10.1190/sbgf2015-024>
- ROSA, M. L. C. C. et al. Integração de métodos potenciais (gravimetria e magnetometria) na caracterização do embasamento da região sudoeste da Bacia de Pelotas, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 4, p. 641–657, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-261x2009000400008>
- ROSA, M. L. C. C. *Geomorfologia, estratigrafia de seqüências e potencial de preservação dos sistemas laguna-barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul*. 2012. 246 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-5271v49.1-2024-0074.ing>
- ROSA, M. L. C. C.; BARBOZA, E. G.; ABREU, V. S.; TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R. 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*, v. 47, n. 2, p. 183–207, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201720160138>
- RUBBO, M. *Análise do potencial hidrogeológico do Aquífero Cenozoico da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí – RS*. 2004. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. DOI: <https://doi.org/10.29381/0103-8559/2020300182-6>
- SANBERG, J. R. D. *Estudo hidrogeológico nas províncias litológicas do Rio Grande do Sul*. 1980. 99 f. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-5271v49.1-2024-0074.ing>
- TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: *Geologia do Rio Grande do Sul*, 2000. p. 375–406. [http://multimedia.ufrgs.br/conteudo/bibgeo/repositorio/Memorial/decada5/geologia\\_RS.pdf](http://multimedia.ufrgs.br/conteudo/bibgeo/repositorio/Memorial/decada5/geologia_RS.pdf)
- TROIAN, G. C. et al. Estimativa de recarga pelo método Water Table Fluctuation (WTF) na porção Norte do Aquífero Costeiro do Estado do Rio Grande do Sul. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 22., 2017. [S.l.]: [s.n.], 2017. p. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.26512/ripe.v5i1.19189>
- 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*, v. 34, n. 3, p. 264–274, 2020. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v34i3.29883>
- VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. geologia costeira do RS. **Notas Técnicas**, v. 8, p. 27–29, 1995.