

Artigos

Modelo conceitual hidroestratigráfico do sistema aquífero costeiro no litoral norte do Estado do Rio Grande Do Sul

Hydrostratigraphy conceptual model of coastal aquifer system northern portion of the State of Rio Grande Do Sul

Guilherme Casarotto Troian¹; Pedro Antonio Roehe Reginato²; Ricardo Giumelli Marquezan³; Roberto Kirchheim¹✉

¹ Serviço Geológico do Brasil-CPRM

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

³ Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, RS

✉ guilherme.troian@cprm.gov.br, pedro.reginato@ufrgs.br, rgmarquezan@yahoo.com.br, roberto.kirchheim@cprm.gov.br

Palavras-chave:

Hidroestratigrafia.
Sistema Aquífero Costeiro.
Perfilagem geofísica.

Keywords:

Hydrostratigraphy.
Coastal Aquifer System.
Geophysical survey reports.

Revisado por pares.
Recebido em: 27/04/2020.
Parovado em: 04/08/2020.

Resumo

A constante ampliação do conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos é de grande importância para subsidiar tomadas de decisões quanto ao seu uso e gerenciamento. O presente trabalho apresenta a caracterização hidroestratigráfica do Sistema Aquífero Costeiro do litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados 38 perfis de sondagens realizadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. A caracterização das unidades hidroestratigráficas foi realizada a partir da análise e revisão de perfis geológicos e construtivos de 107 poços cadastrados no Sistema Integrado de Informação das Águas Subterrâneas e 15 relatórios de perfilagem geofísica contendo perfis raios gama, resistividade e sônico. Foram identificadas quatro unidades hidroestratigráficas principais relacionadas aos depósitos Cenozoicos, sendo que cada uma destas unidades foi definida em termos de sua extensão lateral, constituição granulométrica principal, porosidade efetiva, resistividade e sais totais dissolvidos na água subterrânea. As unidades hidroestratigráficas O1 e O3 apresentam altos valores de porosidade efetiva e baixa salinidade em contraposição às unidades O2 e O4, com valores visivelmente menores de porosidade efetiva e salinidade mais elevada. Esses resultados demonstram que a identificação e caracterização de unidades hidroestratigráficas tem grande importância para a gestão da água subterrânea em sistemas aquíferos costeiros.

Abstract

The expansion of the knowledge of the groundwater resources is of great importance to the decision making processes with regard to management policies. The present work offers substantial contributions to the hydro-stratigraphic characterization of the Coastal Aquifer System on the north coast of the State of Rio Grande do Sul - Brazil. Aquifer geometry was determined by 38 survey profiles done by the Geological Survey of Brazil. The characterization of the different hydro-stratigraphic units was carried out through the analysis and review of geological and constructive profiles of 107 water wells and another 15 geophysical logs containing gamma, resistivity and sonic profiles. Four different hydro-stratigraphic units related to Cenozoic deposits were identified. Each of these units was defined in terms of its granulometric composition, effective porosity and total dissolved solids content of the respective groundwater. Hydro-stratigraphic units O1 and O3 showed high values of effective porosity and low salinity as opposed to units O2 and O4 with visibly lower values of effective porosity and higher salinities. The presence of hydro-stratigraphic heterogeneities identified here represents the fundamental scientific contribution of this work.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v34i3.29883>

1. INTRODUÇÃO

Os Sistemas Aquíferos Costeiros estão localizados em regiões litorâneas e possuem grande importância para atender às mais variadas e crescentes demandas de água potável. São representados principalmente por aquíferos livres, confinados a semi-confinados formados por sedimentos inconsolidados, característicos de ambientes deposicionais clásticos costeiros com sedimentação ocorrida durante o Cenozoico (FREEZE; CHERRY, 2017).

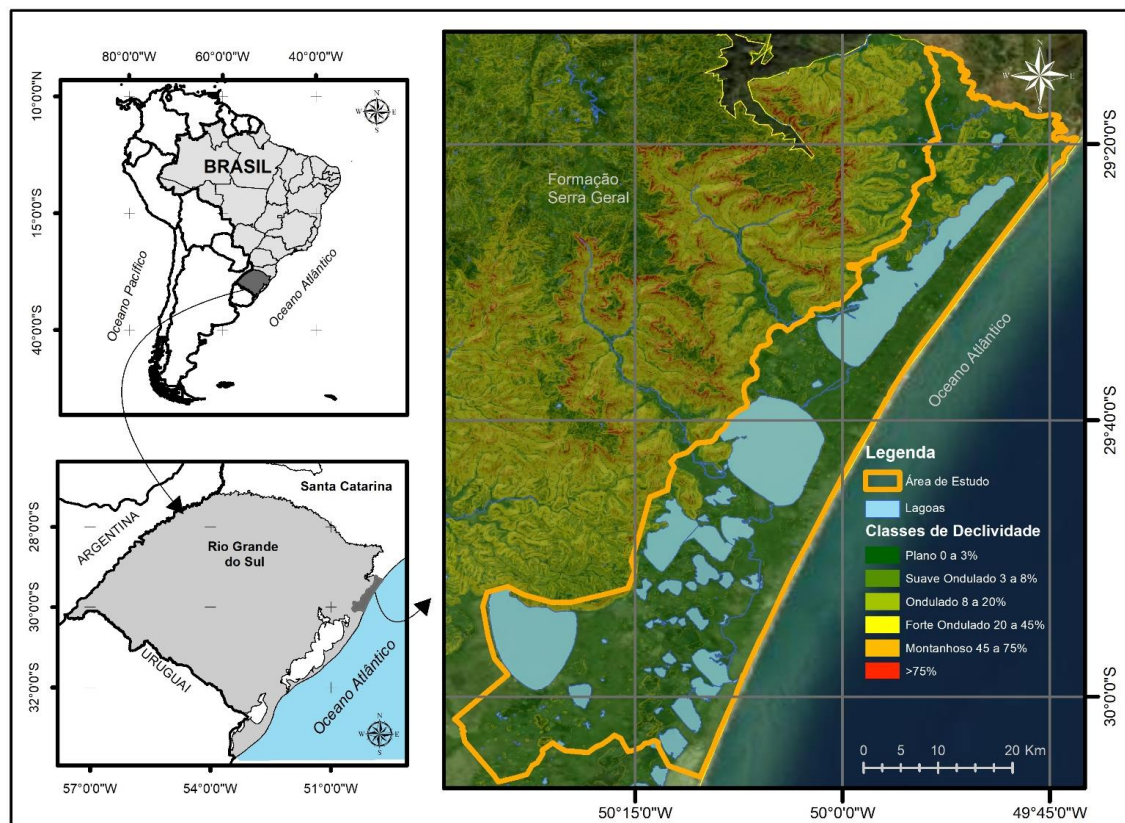
Para que se tenha pleno conhecimento do comportamento da água subterrânea num sistema aquífero, é indispensável a delimitação e a caracterização de suas unidades aquíferas e confinantes (COBLE, 1996). Estudos com ênfase na hidroestratigrafia de sistemas aquíferos costeiros são numerosos em virtude de sua importância econômica e ecossistêmica, principalmente em regiões de intensa ocupação e expressiva fragilidade ambiental. Para tanto, os métodos mais utilizados são a caracterização litológica, hidrogeoquímica, testes de aquífe-

fero e técnicas geofísicas e isotópicas (BARLOW, 2003; ZAMRSKY *et al.*, 2020). Neste contexto, vale destacar os trabalhos clássicos desenvolvidos pelo USGS (*United States Geological Survey* - Serviço Geológico dos Estados Unidos), Maxey (1964), Cooper *et al.* (1964), Vowinkel e Foster (1981), Davis (1988), Winner e Coble (1996) e Reese *et al.* (2009). Em todos estes trabalhos foram utilizadas diferentes técnicas para identificação, delimitação e caracterização de unidades hidroestratigráficas em aquíferos costeiros.

A área objeto deste estudo se situa na região norte da Planície

Costeira do Estado do Rio Grande do Sul (PCRS), a qual abrange uma faixa litorânea com extensão de aproximadamente 100 km, entre as cidades de Tramandaí e Torres, na divisa com o Estado de Santa Catarina, envolvendo outros 20 municípios. Esta região é representada por uma ampla área de terrenos planos compostos por um sistema com múltiplas lagoas costeiras, limitada ao Oeste pela escarpa formada pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e ao Leste pelo Oceano Atlântico (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo contendo as classes de declividade do relevo



Fonte: Mapa de Geodiversidade do RS, disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16774>.

O Sistema Aquífero Costeiro (SAC) ocorre nesta região e suas águas subterrâneas são captadas de diferentes formas (poços tubulares, ponteiros ou cacimbas) para utilização no abastecimento público, doméstico e para irrigação. Muitos poços perfurados acabam captando águas de unidades aquíferas que apresentam problemas de qualidade, provocados pela salinização ou ocorrência de concentrações elevadas de elementos como ferro e manganês (REGINATO *et al.*, 2009). Em outros casos, apesar de boa qualidade, os poços fornecem vazões abaixo da expectativa. O abandono destes poços indica o insucesso da estratégia e gastos econômicos desnecessários. Em adição a isto, a depender da forma de selamento, eles podem se tornar vetores de contaminação, interligando camadas aquíferas que podem apresentar problemas relacionados à qualidade da água.

Até o momento grande parte dos estudos desenvolvidos na região estão direcionados ao conhecimento litológico e estra-

tigráfico da bacia sedimentar. Existe uma notória carência de estudos hidrogeológicos envolvendo a análise das heterogeneidades e a separação de unidades hidroestratigráficas, não havendo um modelo conceitual de compartimentação do SAC. Além disso, atualmente esse sistema aquífero é considerado como Quaternário Costeiro (MACHADO; FREITAS, 2005) e não leva em consideração que verticalmente o sistema envolve unidades mais antigas, que possuem características hidrogeológicas distintas. Esta lacuna provoca impactos na locação e completação de novos poços tubulares, assim como no dimensionamento das reservas subterrâneas atuais e futuras.

O presente estudo utiliza técnicas geológicas, hidrogeológicas e geofísicas, para aprofundar e entender as heterogeneidades verticais que ocorrem no SAC. Seu objetivo é identificar e avaliar as principais unidades hidroestratigráficas presentes, e assim, propor um modelo conceitual para o entendimento e interpretação da ocorrência e dinâmica das águas subterrâ-

neas nesta região.

Esta abordagem eleva o patamar de conhecimento do SAC e gera elementos para o desenvolvimento de novos projetos de exploração dos aquíferos, assim como subsídios para a melhor gestão dos recursos hídricos subterrâneos nessa região.

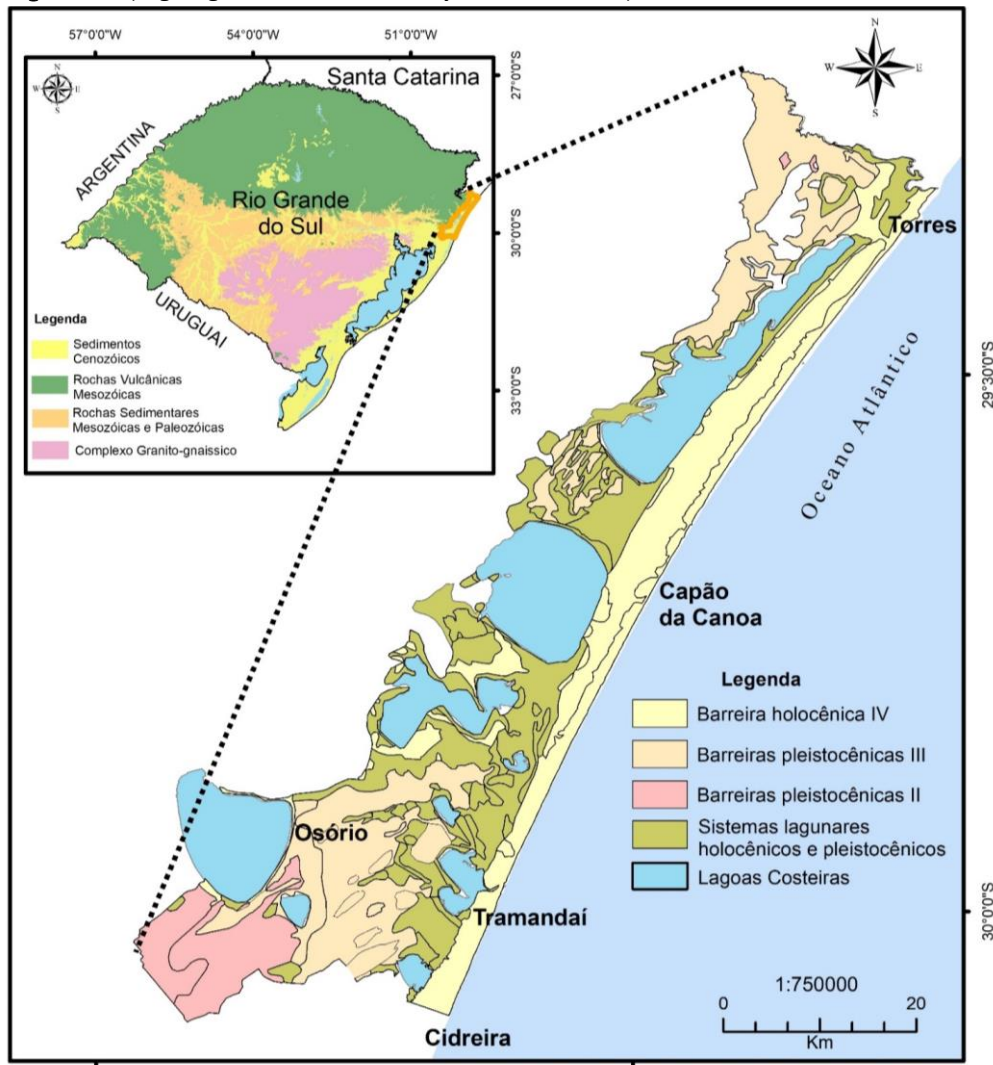
2. CONTEXTO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

Ocorrem na área sedimentos que constituem a porção continental emersa da Bacia de Pelotas. Esta bacia apresenta suas porções central e sul assentadas diretamente sobre o embasamento cristalino, formado por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas. Já a porção norte, recobre as rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná (MACHADO, 2005). Em termos de suas unidades litoestratigráficas, é caracterizada pela intercalação de sequências clásticas depositadas desde o final do período Jurássico até o Quaternário (GHIGNONE, 1960). A evolução desta deposição está relacionada ao rifteamento gerado pela abertura do Atlântico Sul (FONTANA, 1996), subdividida em Megassequência Rifte (siltitos e conglomerados), Megassequência Transgressiva (are-

nitos, margas e folhelhos marinhos) e Megassequência Regressiva (sedimentos marinhos com grande aporte detrítico continental).

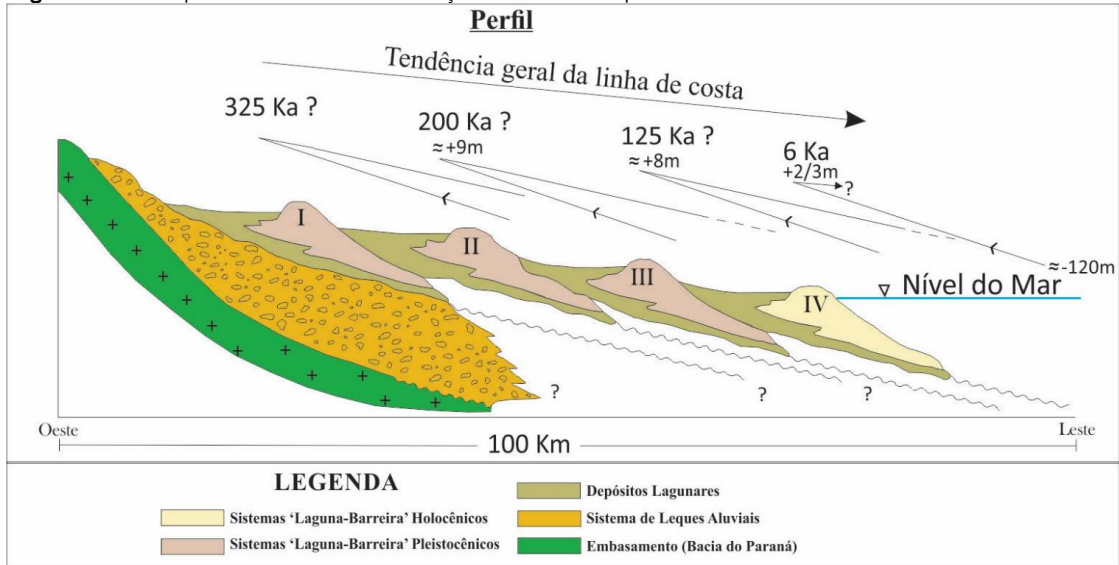
Na porção continental emersa da bacia afloram os depósitos quaternários da planície costeira (Figura 2), resultado da deposição siliciclástica gerada por meio de dois tipos principais de sistemas deposicionais: (i) na parte leste, se desenvolveu um sistema de leques aluviais, resultado do processo de erosão e transporte sedimentar das áreas do embasamento e, sobre esse sistema, depositaram-se pacotes de sedimentos marinhos identificados por Collischon (2018) e representados por areias finas e argilas; (ii) recobrendo esses pacotes foram depositadas camadas de sedimentos que representam o registro de quatro eventos transgressivos-regressivos (sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira) ocorridos durante o Cenozoico (TOMAZELLI; VILLWOCK, 2000). Essa deposição foi controlada por acentuadas variações climáticas e oscilações glacio-eustáticas, sendo os três primeiros durante o Pleistoceno e o último durante o Holoceno (BARBOZA *et al.*, 2008) (Figura 3).

Figura 2 - Mapa geológico mostrando a distribuição dos sistemas deposicionais na área de estudo



Fonte: Mapa de Geodiversidade do RS, disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/16774>.

Figura 3 - Perfil esquemático mostrando a evolução dos sistemas deposicionais da PCRS



Fonte: Modificado de Tomazelli; Villwock (2000) e Rosa (2012).

Os aquíferos que ocorrem na região são altamente influenciados pelas camadas de sedimentos que foram originadas pelos quatro sistemas deposicionais, gerando heterogeneidades verticais e laterais nesses aquíferos (LISBOA *et al.*, 2004). Segundo Caicedo (1998) ocorrem aquíferos livres e confinados, os quais seriam caracterizados nas áreas próximas às lagoas, por altas condutividades hidráulicas horizontais e baixas taxas de recargas. As áreas que compreendem as cotas mais altas são caracterizadas por condutividade hidráulica horizontal baixa e alta recarga, enquanto as áreas junto ao mar são caracterizadas por condutividade hidráulica e recarga moderada. Predominam águas bicarbonatadas sódicas seguidas por águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas e sulfatadas ou cloretadas sódicas (REGINATO *et al.* 2009). A recarga mensal foi estimada como entre 32 mm e 60 mm, com porcentagens de recarga em relação à precipitação variando entre 21% e 40%, com média de 28% (TROIAN *et al.*, 2017).

De acordo com o Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2005), na porção leste da área de estudo ocorre o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I, com capacidades específicas geralmente altas, ultrapassando 4 m³/h/m, e com concentrações de salinidade inferiores a 400 mg/L. Já na porção oeste ocorre o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II, com capacidades específicas entre 0,5 e 1,5 m³/h/m e sólidos totais dissolvidos variando entre 600 e 2.000 mg/L.

Atualmente, a área de estudo conta com o monitoramento quali-quantitativo permanente feito por meio de 07 poços pertencente à Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS, operada e mantida pelo Serviço Geológico do Brasil-CPRM.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo optou-se por utilizar a classificação de taxonomia hidrogeológica proposta por Diniz *et al.* (2014). O conceito de unidade hidroestratigráfica é proposto por ser a menor classe hierárquica e parte do entendimento que, seus limites não necessariamente correspondem aos limites das unidades estratigráficas. As formações geológicas apresentam varia-

ções internas, em diferentes escalas, que alteram suas características hidrogeológicas.

A primeira etapa do estudo foi realizar a identificação da espessura e distribuição do pacote sedimentar que forma o SAC, delimitando seus limites com as rochas do embasamento. Posteriormente foi realizada a identificação e caracterização hidroestratigráfica, limitada a profundidade onde há informações suficientes disponíveis.

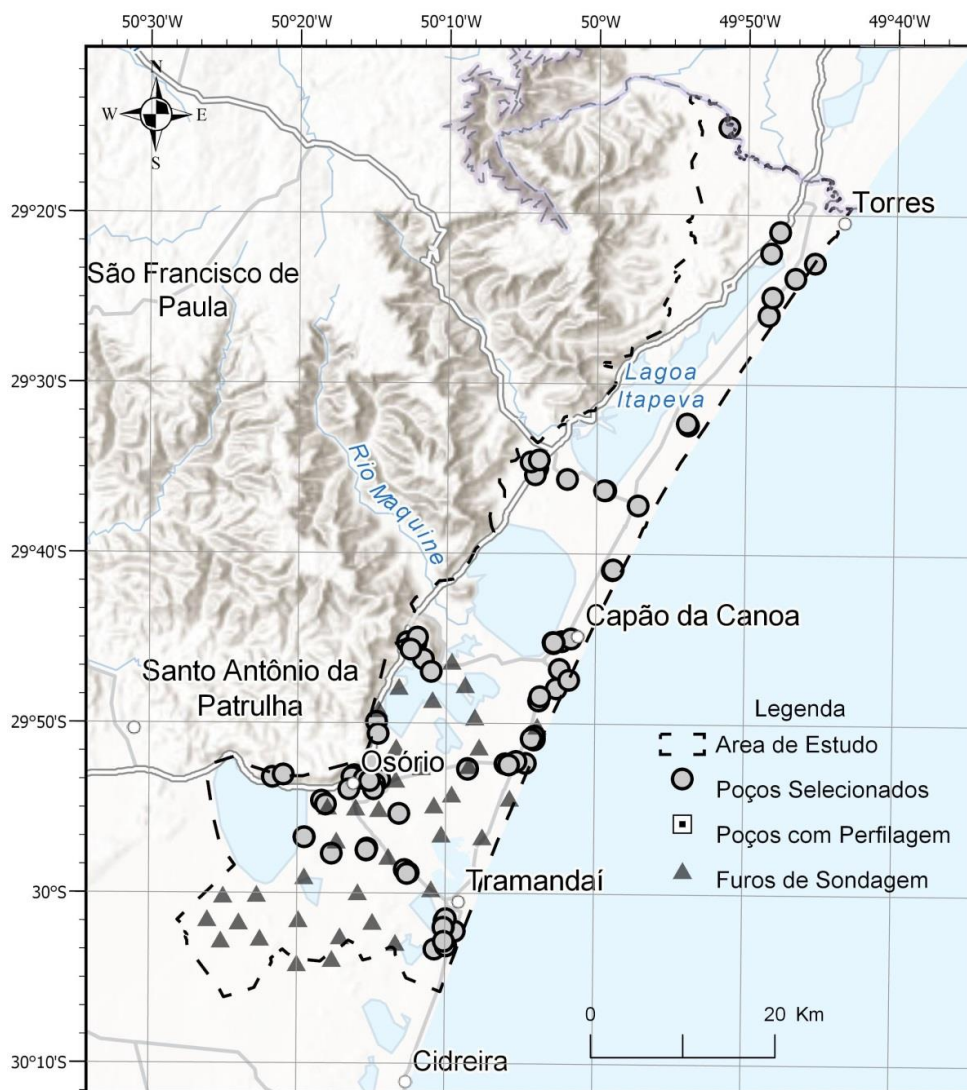
A identificação da espessura e distribuição do pacote sedimentar que forma o SAC foi determinada combinando informações bibliográficas e dados de 38 furos de sondagem realizados pela CPRM na região norte da PCRS. Para tanto foram analisados os perfis geológicos e geofísicos das sondagens identificando a profundidade do embasamento cristalino e as espessuras do pacote sedimentar que forma a Bacia de Pelotas e a Bacia do Paraná na região.

A identificação e avaliação das diferentes unidades hidroestratigráficas seguiu critérios litológicos, granulométricos e geofísicos, identificados a partir da sistematização de um banco de dados elaborado com informações construtivas e litológicas de 107 poços tubulares profundos, selecionados a partir de 211 poços cadastrados no Sistema Integrado de Informação das Águas Subterrâneas (SIAGAS) para a região. Essa consistência se embasou na identificação de poços com relatórios considerados completos e confiáveis em termos de dados geológicos e hidrogeológicos. Foram descartados os poços com relatórios incompletos, bem como aqueles do tipo ponteira e cacimba.

Também foram utilizadas informações de perfis compostos de perfilagens geofísica realizadas em 15 poços pertencentes à Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Estas perfilagens possibilitam a caracterização qualitativa e a visualização das características petrofísicas dos sedimentos em profundidade (NERY, 2008).

A Figura 4 mostra a localização dos furos de sondagens e dos poços utilizados no estudo.

Figura 4 - Distribuição dos poços e furos de sondagem utilizados, compilados a partir de banco de dados da CORSAN e CPRM



As informações litológicas foram avaliadas espacialmente 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 que permitiram corroborar a delimitação do topo e base das mesmas.

A avaliação das diferentes unidades hidroestratigráficas foi realizada através dos resultados de porosidade (total e efetiva), sais totais dissolvidos (STD) e resistividade extraídos diretamente das curvas constantes nos perfis geofísicos. Na Tabela 1 estão apresentadas as informações fornecidas por cada um dos métodos geofísicos utilizados. Os valores foram analisados e plotados em diagramas de caixa utilizando-se o programa

ma *Past 4.01*, que fornece os valores máximos, mínimos e mediana, além dos limites do 1º e 3º quartis.

Os perfis hidroestratigráficos foram desenhados a partir da correlação lateral do topo e base de cada unidade. Visto que a topografia da região é caracterizada por variações altimétricas inferiores a 10 metros, optou-se por representar as unidades considerando a superfície horizontalizada, como sendo cota zero (nível do mar) com aumento dos valores em profundidade.

Os bloco-diagramas esquemáticos foram elaborados utilizando imagens de satélite Landsat/Copernicus, 2015 disponível no Google Earth pró, georreferenciadas e projetadas no software ArcGIS. A modelagem tridimensional utilizou curvas de nível com espaçamento de 20 m com exagero vertical de 2x e extrusão das edificações para 100 m. A perspectiva subterrânea foi desenhada utilizando o programa CorelDrawX6.

Tabela 1 - Métodos e dados geofísicos utilizados

Método	Tipo de Perfil	Perfil Composto (Calculado)
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.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

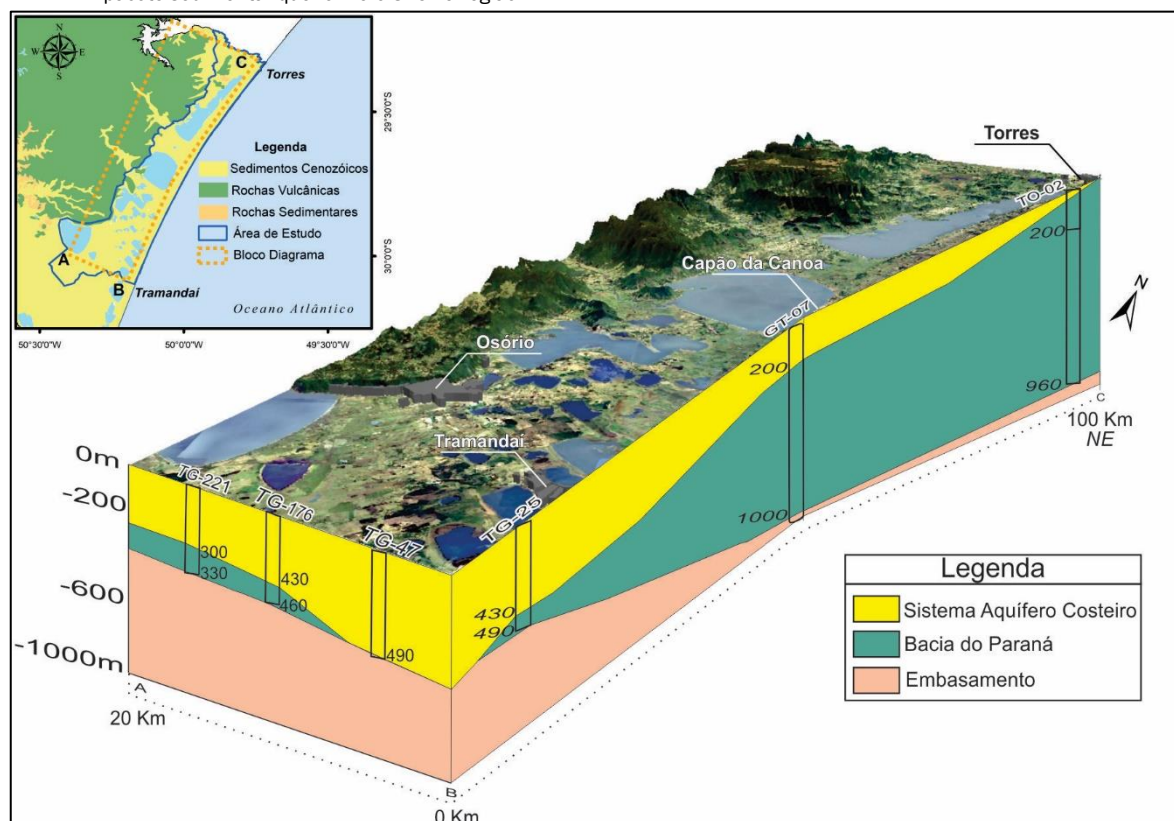
As observações e interpretações realizadas resultaram na (i) identificação da espessura e distribuição dos sedimentos que formam o Sistema Aquífero Costeiro (SAC) na região, bem como (ii) na definição e delimitação das principais unidades hidroestratigráficas de ocorrência regional.

O bloco-diagrama da Figura 5 apresenta o arcabouço geológico mostrando que, na parte oeste próximo ao município de Osório, o SAC apresenta espessuras que variam de 250 a 300 m, chegando a 490 m próximo à linha de costa. Em sentido

nordeste o pacote sedimentar apresenta redução gradativa de espessura, entrando em contato com as rochas da Bacia do Paraná próximo ao município de Torres.

Isso demonstra que o SAC é formado por um espesso pacote de sedimentos Cenozoicos inconsolidados que não se restringe aos depósitos quaternários. Isso vai ao encontro do que foi apresentado por LISBOA *et al.*, (2004) e MACHADO (2005), que definem este pacote sedimentar como Aquífero Cenozoico que ocorre recobrendo o Sistema Aquífero Guarani (representado pelas rochas sedimentares da Bacia do Paraná).

Figura 5 - Bloco-diagrama do modelo conceitual elaborado a partir de perfis de sondagens mostrando o arcabouço geológico do pacote sedimentar que forma o SAC na região

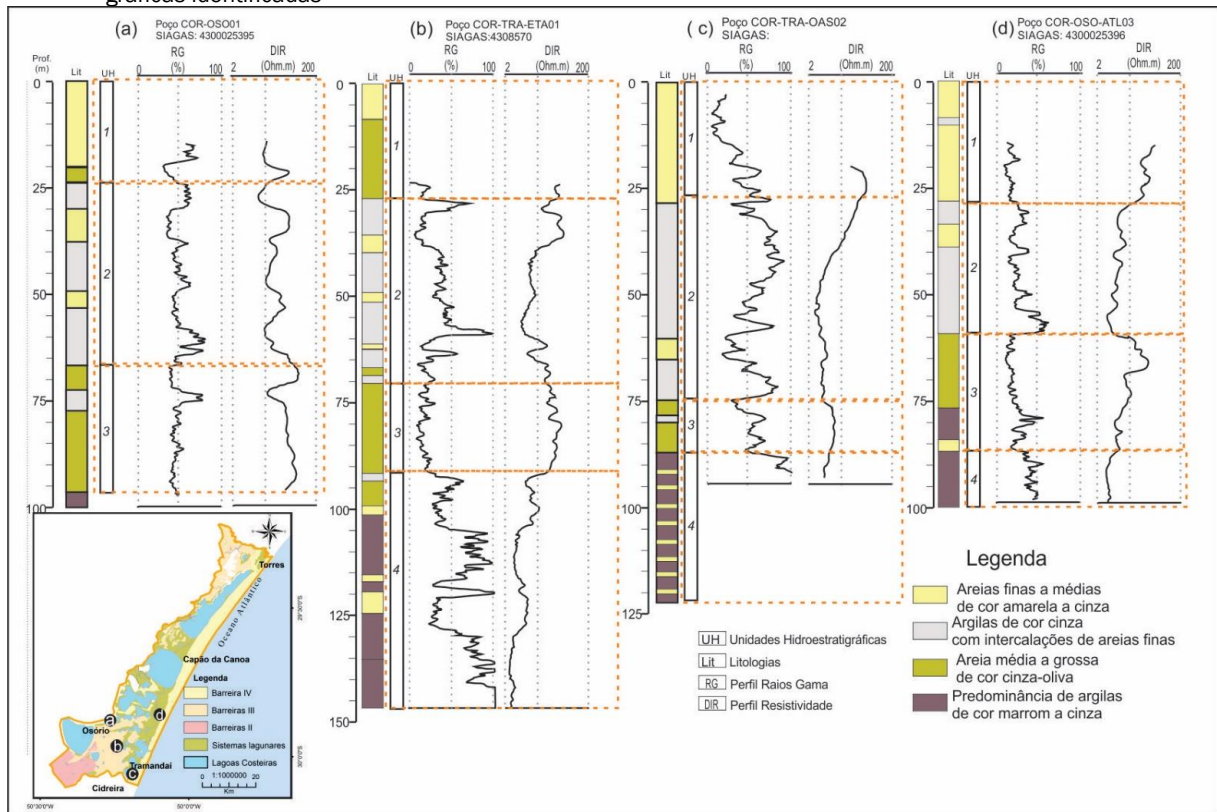


Fonte: Sondagens identificadas com código de projeto, disponível em http://acervo.cprm.gov.br/rpi_cprm/docreaderNET/docreader.aspx?bib=PerfisSondagem&pasta=PERFIS\TG&pesq=.

O resultado da correlação dos dados geológicos e geofísicos é exemplificado na Figura 6, onde estão apresentados os perfis de quatro poços representativos (selecionados dos quinze poços analisados) da região. Os respectivos perfis apresentam

as separações que serviram de base para elaboração do modelo conceitual, dividido em quatro unidades hidroestratigráficas.

Figura 6 - Perfis litológicos e geofísicos representativos da região, exemplificando a ocorrência das unidades hidroestratigráficas identificadas



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

O modelo conceitual elaborado é apresentado através de dois blocos diagramas (região norte e sul), onde está representada a distribuição espacial das quatro unidades hidroestratigráficas identificadas. Os blocos diagrama apresentam direção principal SW-NE com cortes SE-NW, e projeção de perfis de poços representativos das diferentes unidades hidroestratigráficas. Os poços projetados estão identificados com código

do SIAGAS.

Em função dos dados dos poços disponíveis, a delimitação das unidades hidroestratigráficas se limitou a 100 m de profundidade, sendo a unidade 4 considerada indivisa até a base do SAC. Os dados disponíveis para profundidades maiores se limitam a poucos poços e a perfilagens geofísicas das sondagens estratigráficas, os quais permitem supor que o principal aquífero do SAC está em profundidades menores que 100 m.

No bloco diagrama da Figura 7 está sendo representada a porção norte da área, onde o SAC se apresenta em uma estreita faixa SW-NE (aproximadamente 10 km) limitada a oeste pelas rochas vulcânicas e a leste pela linha de costa. Na Figura 8 é representada a porção sul da área, onde o SAC ocupa uma área mais ampla (aproximadamente 20 km).

Figura 7 - Bloco diagrama esquemático do modelo conceitual gerado para a porção norte da área, mostrando espessuras e distribuição das unidades hidroestratigráficas identificadas

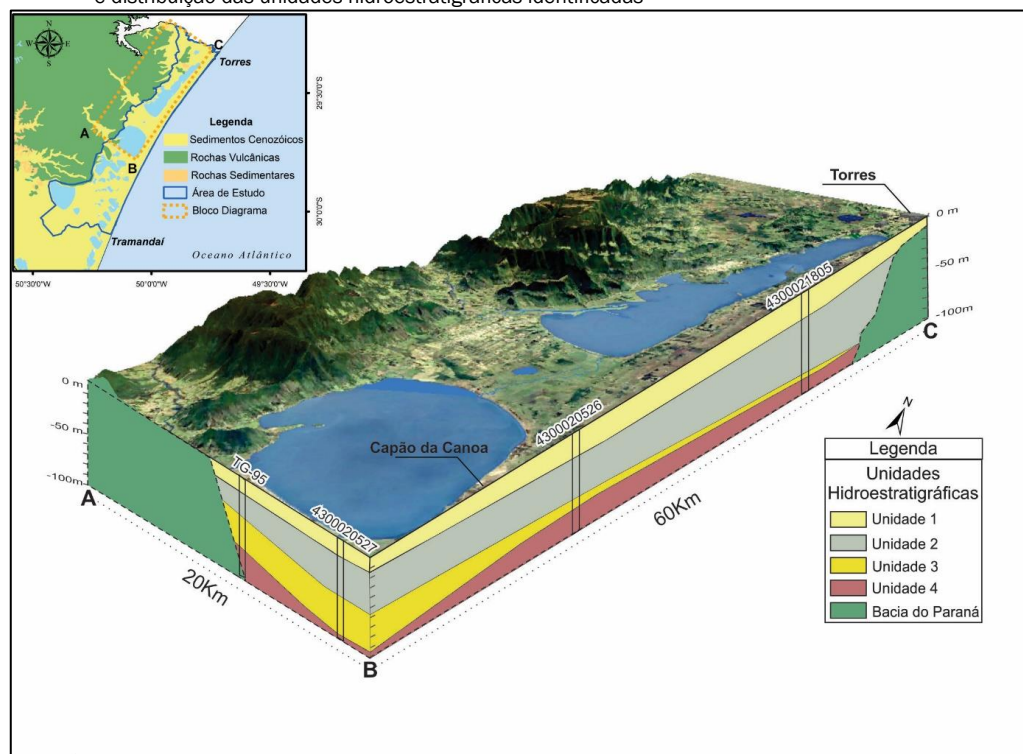
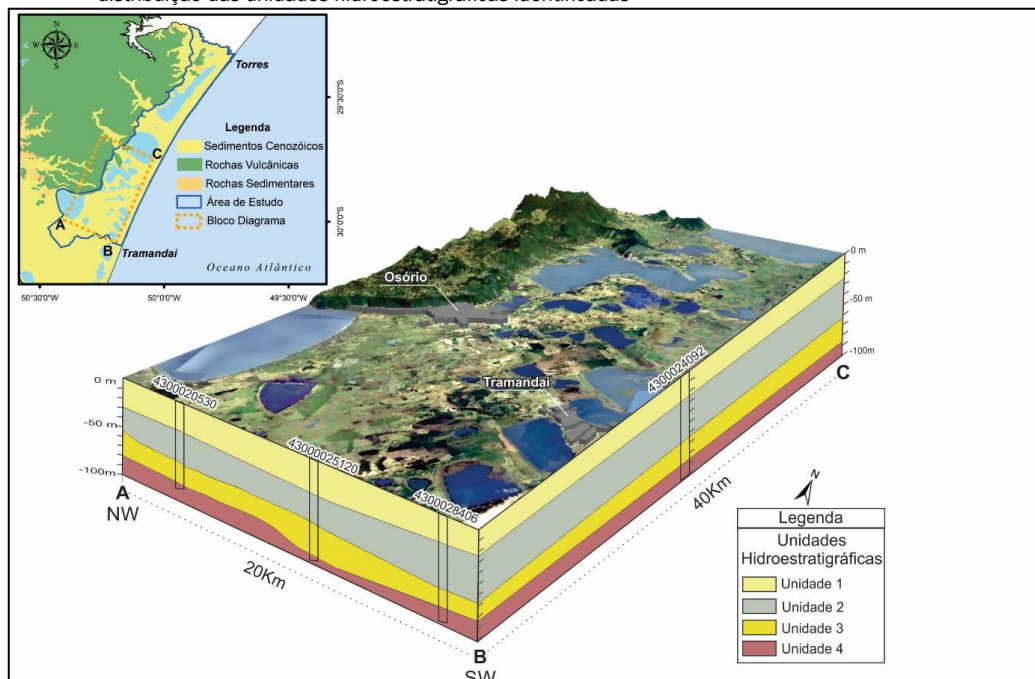


Figura 8 - Bloco diagrama esquemático do modelo conceitual gerado para a porção sul da área, mostrando espessuras e distribuição das unidades hidroestratigráficas identificadas

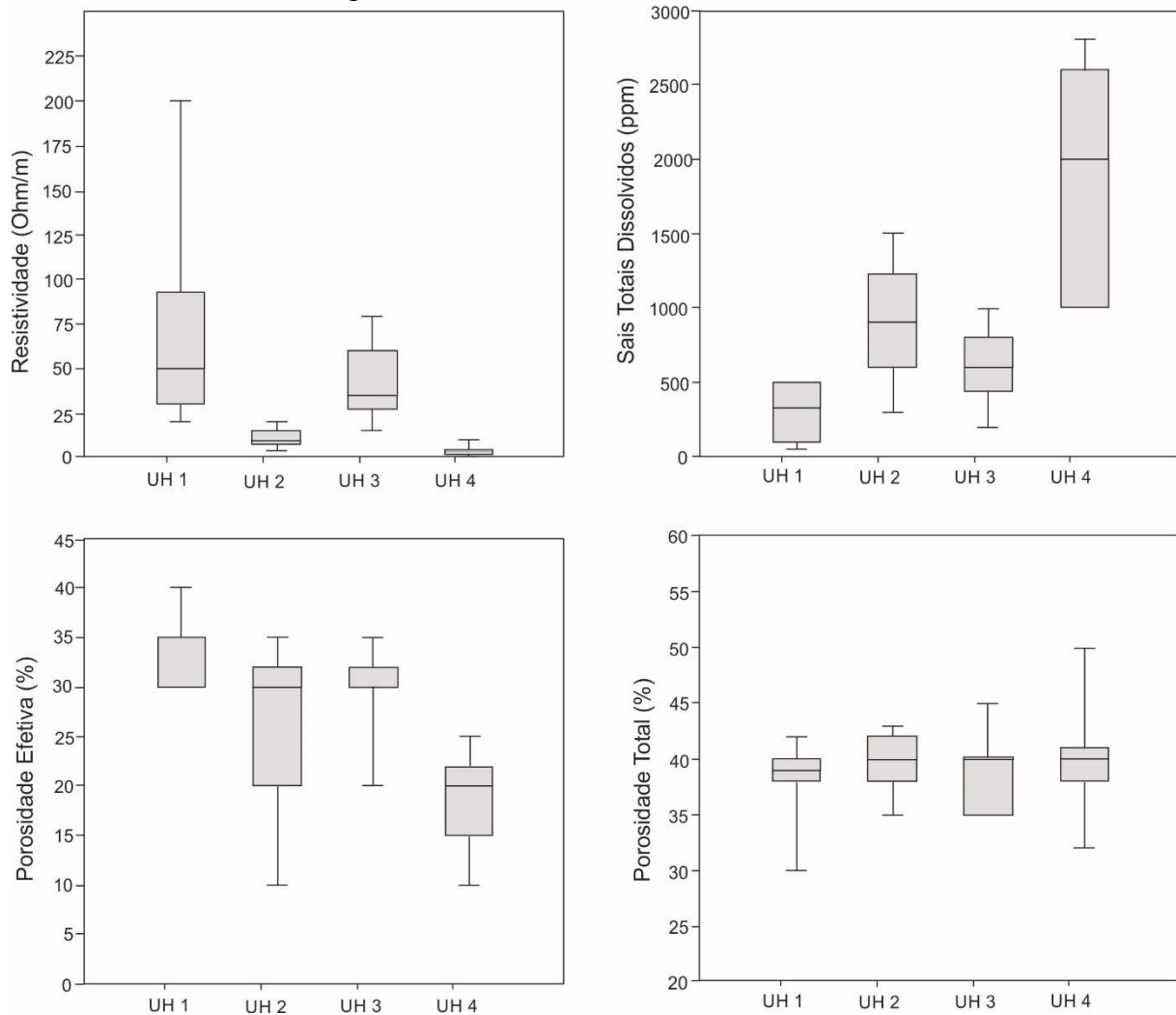


As unidades hidroestratigráficas 1 e 2, relacionadas aos sistemas deposicionais laguna-barreira e marinhos, apresentam distribuição uniforme com variações de espessuras na ordem de 10 m. Já a unidade hidroestratigráfica 3 apresenta espessuras maiores na porção sul, diminuindo gradativamente em direção a norte.

Para a avaliação das diferentes unidades hidroestratigráficas,

os valores de resistividade elétrica, porosidade total e efetiva e sais totais dissolvidos foram extraídos diretamente dos perfis compostos das perfilagens geofísicas. A Figura 9 apresenta esses dados plotados em diagramas de caixa, indicando os valores máximos, mínimos, 1° e 3° quartis e mediana para cada unidade hidroestratigráfica.

Figura 9 - Diagramas de caixa com os valores de resistividade elétrica, porosidade efetiva e sais totais dissolvidos para cada unidade hidroestratigráfica



4.1. Unidade hidroestratigráfica 01

A unidade hidroestratigráfica 01 é caracterizada pela ocorrência de sedimentos arenosos inconsolidados de tonalidades amareladas, apresentando características distintas nas camadas de topo e base. 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. Estão possivelmente relacionados aos sedimentos dos sistemas laguna-barreira III e IV. Estes sedimentos demonstram uma distribuição relativamente homogênea ao longo da região e espessuras variando de 15 a 30 m. De acordo com os perfis geofísicos, essa unidade apresenta medianas com valores de resistividade elétrica de 50,0 ohm/m, concentração de sais totais dissolvidos igual a 325 ppm, porosidade total de 39% e porosidade efetiva de 35%.

4.2. Unidade hidroestratigráfica 02

Trata-se de um espesso pacote de sedimentos predominantemente argilosos de coloração cinza com presença de lentes/

camadas de areias finas a muito finas em proporções variáveis, com espessuras que alcançam valores máximos de 45 m na parte leste, com diminuição gradativa para oeste. Essas camadas podem apresentar fragmentos de conchas provavelmente relacionados a depósitos marinhos. Mostram continuidade lateral ao longo de toda a região.

De acordo com os perfis geofísicos, essa unidade apresenta medianas com valores de resistividade elétrica de 10,0 ohm/m, concentração de sais totais dissolvidos igual a 900 ppm, porosidade total de 40% e porosidade efetiva de 30%.

4.3. Unidade hidroestratigráfica 03

É constituída predominantemente por sedimentos arenosos de granulometria média a grossa de coloração acinzentada a bege, com raras intercalações argilosas. Ao sul do município de Capão da Canoa ocorrem camadas de areia grossa a muito grossa atingindo espessuras de até 30 m. Segundo Collischonn (2018) essa camada de sedimentos de maior granulometria está associada a sistemas aluviais (paleocanais). Esta unidade possui continuidade lateral em toda a região e suas espessuras variam de 5 a 40 m.

De acordo com os perfis geofísicos, essa unidade apresenta medianas com valores de resistividade elétrica de 35,0 ohm/m, concentração de sais totais dissolvidos igual a 600 ppm, porosidade total de 40% e porosidade efetiva de 30%.

4.4. Unidade hidroestratigráfica 04

Representam 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, sendo possível sua caracterização a profundidades de até 100 m. Em função da escassez de poços e perfilações mais profundas, o limite de base da unidade 4 está sendo considerado como sendo o contato inferior do SAC. Em profundidades maiores que 100 m não é possível fazer uma individualização precisa desta unidade, porém, os dados das sondagens sugerem que há um comportamento hidroestratigráfico bem próximo ao observado na porção superior, com intercalações argilo-arenosas de variadas espessuras e gradual aumento da fração argila.

De acordo com os perfis geofísicos, essa unidade apresenta medianas com valores de resistividade elétrica de 3,0 ohm/m, concentração de sais totais dissolvidos igual a 2000 ppm, porosidade total de 39% e porosidade efetiva de 20%.

Esses resultados demonstram que o SAC é formado por distintas unidades hidroestratigráficas que representam diferentes aquíferos com características e espessuras distintas. As unidades 01 e 03 apresentam altos valores de porosidade efetiva e baixa salinidade, em contraposição às unidades 02 e 04, que, por sua vez, apresentam valores visivelmente menores de porosidade efetiva e salinidades mais elevadas.

Sendo assim, as unidades 01 e 03 representam os aquíferos regionais com características produtivas e de qualidade mais favoráveis. A unidade 01 representa o aquífero livre explorado atualmente pela maioria dos poços do tipo cacimba e poeira, sendo altamente vulnerável à contaminação bacteriológica (REGINATO *et al.*, 2008). A unidade 03 está relacionada ao aquífero no qual se espera encontrar as melhores características produtivas, porém, podem ocorrer algumas camadas com teores de sais mais elevados. No entanto a camada de areia grossa identificada próximo a base dessa unidade é um excelente aquífero, pois poços que captam água dessa camada apresentam alta produtividade e águas de boa qualidade.

Já as unidades 02 e 04, predominantemente argilosas, exercem a função de barreiras semi-permeáveis além de induzirem o aumento expressivo da salinidade das águas subterrâneas, tornando-as inclusive não potáveis.

A grande maioria dos poços perfurados na região é constituída de seções filtrantes múltiplas, captando água de mais de uma unidade hidroestratigráfica. A consequente mistura dessas águas pode explicar a ocorrência da grande quantidade de poços abandonados devido a problemas na qualidade da água, oriundos tanto de fontes naturais (concentração excessiva de ferro e manganês e elevada salinidade), como também contribuição de origem antrópica (contaminação bacteriológica).

5. CONCLUSÕES

O Sistema Aquífero Costeiro localizado na região norte do Estado do Rio Grande do Sul é formado por sedimentos cenozoicos com grande heterogeneidade estratigráfica, caracterizado por camadas de sedimentos arenosos (areia grossa, média, fina e muito fina), formadas em diferentes ambientes de sedimentação (marinho, eólico, praiado e lagunar), que ocorrem em diferentes profundidades, intercaladas com camadas de sedimentos finos (argilosos e siltosos).

A avaliação em escala regional através da correlação entre os dados geológicos e geofísicos evidenciam a presença de quatro unidades hidroestratigráficas principais na região. As unidades hidroestratigráficas 01 e 03, predominantemente arenosas, apresentam altos valores de porosidade efetiva e baixa salinidade em contraposição às unidades 02 e 04, predominantemente argilosas, com valores visivelmente menores de porosidade efetiva e salinidade mais elevada.

Estes resultados representam uma importante contribuição hidrogeológica no contexto do necessário aumento da oferta hídrica e da proteção das águas subterrâneas da região costeira do Estado do Rio Grande do Sul. Além disso, fornece subsídios para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no âmbito das bacias hidrográficas, onde este estudo se insere. O caráter livre e confinado das unidades 01 e 03, respectivamente, e a magnitude do confinamento imposto pelas unidades 02 e 04 constituem-se em alvos de futuras investigações. Com isso, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos que busquem detalhar a caracterização hidroestratigráfica destas unidades em termos hidroquímicos e hidrodinâmicos.

REFERÊNCIAS

- BARBOZA, E. G.; ROSA, M. L. C. C.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Cronoestratigrafia da Bacia de Pelotas: uma revisão das seqüências deposicionais. *Gravel*, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 125-138, 2008.
- CAICEDO, N. L. HIDROGEOLOGIA DO LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 10., 1998. *Anais [...]*. [s.l.: s.n.], 1998.
- COLLISCHONN, L. *Gênese e ocorrência da camada aquífera "sal grosso" no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2018.
- DAVIS, M. E. Stratigraphic and hydrogeologic framework of the Alabama coastal plain. *Water-Resources Investigations Report*, 1988. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/wri874112>
- DINIZ, J. A. O. et al. Manual de Cartografia Hidrogeológica. Recife, Brasil. Disponível em: <file:///O:/PhD/3.Second Paper/Papers/Manual de Cartografia Censal.pdf>.
- FONTANA, R. L. *Geotectônica e Sismoestratigrafia da Bacia de pelotas e Plataforma de Florianópolis*. 1996. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. *Água Subterrânea*. Traduzido de Groundwater. São Paulo.

- GHIGNONE, J. I. *Reconhecimento gravimétrico na Bacia de Pelotas*, Boletim Técnico da Petrobras, 1960.
- HILTON H. COOPER et al. *Sea Water in Coastal Aquifers*. [s.l.: s.n.].
- JOSÉ LUIZ FLORES MACHADO. *Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*. Universidade do Vale dos Sinos, [s. l.], 2005.
- LISBOA, N. et al. Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS*, [s. l.], p. 1-25, 2004. Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Síntese+da+ocorrência+geológica+das+águas+subterrâneas+do+Rio+Grande+do+Sul#0>
- MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. De. *Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul*. [s. l.], p. 1, 2005.
- MAXEY, G. B. Hydrostratigraphic Units. *Journal of Hydrology*, v. 2, p. 124-129, 1964. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(64\)90023-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(64)90023-X)
- NERY, G. G. Perfilagem Geofísica Aplicada a Hidrogeologia. *In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Eds.). Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações*. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. p. 46.
- REESE, R.; WACKER, M. *Hydrogeologic and Hydraulic Characterization of the Surficial Aquifer System, and Origin of High Salinity Groundwater, Palm Beach County, Florida*. [s. l.], p. 96, 2009. <https://doi.org/10.3133/sir20095113>. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/sir/2009/5113/pdf/sir2009-5113.pdf>
- REGINATO, P. et al. Poços como vetores de contaminação: O caso dos aquíferos da planície costeira do Rio Grande do Sul. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUÁ SUBTERRÂNEA*, 15., 2008. *Anais [...]*. [s. l.], p. 1-11, 2008. Disponível em: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle>.
- REGINATO, P. A. R. et al. Água subterrânea utilizada para irrigação na planície COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL E SEU RISCO A SALINIZAÇÃO. *IN: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO*, 1., 2009. *Anais [...]*. 2009.
- ROSA, M. L. C. C. *Geomorfologia, estratigrafia de sequências e potencial de preservação dos Sistemas Laguna-Barreira do Quaternário costeiro do Rio Grande do Sul*. [s. l.], p. 251, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/66367>
- TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. O Cenozóico no Rio Grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. *In: Geologia do Rio Grande do Sul*. [s.l.: s.n.]. p. 375-406.
- 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: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 22., 2017, Florianópolis, SC. *Anais [...]*. Florianópolis, SC Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/18494>.
- VOWINKEL, E. F. ; FOSTER, W. . K. *Hydrogeologic conditions in the coastal plain of new jersey*. New Jersey.
- WINNER, M. D. J.; COBLE, R. W. Hydrogeologic framework of the North Carolina coastal plain. *US Geological Survey Professional Paper*, [s. l.], v. 1404- I, 1996. <https://doi.org/10.3133/pp1404>
- ZAMRSKY, D. et al. Geological Heterogeneity of Coastal Unconsolidated Groundwater Systems Worldwide and Its Influence on Offshore Fresh Groundwater Occurrence. *Frontiers in Earth Science*, [s. l.], v. 7, n. January, p. 1-23, 2020. <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00339>