

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DESTINADAS AO CONSUMO HUMANO EM POÇOS DO SISTEMA AQUÍFERO QUATERNÁRIO COSTEIRO I - RS

Diagnosis of the quality of groundwater intended for human consumption in wells of the Quaternary Coastal Aquifer System I - RS

Diagnostic de la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation humaine dans les puits du Système Aquifère Quaternaire Côtier I - RS

Gabriel Corrêa*
Rossana Vicente Goulart**

*Graduando do curso de Geografia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil – gabriel_contato10@hotmail.com

**Geóloga da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM), Divisão de Monitoramento Ambiental, Porto Alegre, Brasil – rossana.goulart@gmail.com

Recebido em 11/07/2025. Aceito para publicação em 27/11/2025.
Versão online publicada em 04/02/2026 (<http://seer.ufrgs.br/paraonde>)

Resumo:

A utilização de aquíferos costeiros tem se intensificado em todo o mundo, como resultado do desenvolvimento e exploração das zonas costeiras nas últimas décadas, impactando estas reservas com importante papel econômico, social e ambiental de forma quali-quantitativa. Considerando este cenário, o presente trabalho objetivou verificar a qualidade das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I - RS, destinadas ao consumo humano, através da análise comparativa de parâmetros físicos, químicos e biológicos, oriundos de poços cadastrados em bancos de dados públicos, distribuídos ao longo do sistema aquífero, frente aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 888 de maio de 2021 do Ministério da Saúde. Dos 28 parâmetros analisados, 19 apresentaram ao menos uma ocorrência com concentrações que ultrapassam os Valores Máximos Permitidos (VMP) estabelecidos em legislação. Sendo assim, foi identificada a ocorrência de pelo menos um parâmetro acima do VMP de potabilidade em 127 poços, 38% dos 329 analisados, dos quais 81 (25%) foram classificados como poços ativos, localizados em 20 municípios dos 25 analisados.

Palavras-chave: Aquífero costeiro. Águas subterrâneas. Gestão de recursos hídricos. Padrões de potabilidade.

Abstract:

The use of coastal aquifers has intensified globally due to the development and exploration of coastal areas in recent decades, impacting these reserves with an important economic, social, and environmental role in both qualitative and quantitative terms. Considering this scenario, this study aimed to verify the quality of groundwater in the Quaternary Coastal Aquifer System I - RS intended for human consumption, through a comparative analysis of physical, chemical, and biological parameters from wells registered in public databases, distributed throughout the aquifer system, against the potability standards established by Federal Ordinance No. 888 of May 2021 of the Ministry of Health. Of the 28 parameters analyzed, 19 presented at least one occurrence with concentrations exceeding the Maximum Permissible Values (MPV) established by law. Thus, the occurrence of at least one parameter above the MPV for potability was identified in 127 wells, 38% of the 329 analyzed, of which 81 (25%) were classified as active wells, located in 20 of the 25 municipalities analyzed.

Keywords: Coastal aquifer. Groundwater. Water resources management. Potability standards.

Résumé:

L'utilisation des aquifères côtiers s'est intensifiée globalement, en raison du développement et de l'exploration des zones côtières au cours des dernières décennies. Cette intensification a eu un impact qualitatif et quantitatif sur ces réserves, qui ont un rôle économique, social et environnemental important. En considérant ce scénario, la présente recherche a pour objectif vérifier la qualité des eaux souterraines du Système Aquifère Quaternaire Côtier I - RS, destinées à la consommation humaine. La recherche a été réalisée par l'analyse comparative des paramètres physiques, chimiques et biologiques, provenant de puits enregistrés dans les bases de données publiques et réparties dans le système aquifère, avec les normes de potabilité établies par l'Ordonnance n° 888 de mai 2021 du Ministère de la Santé. Ainsi, la présence d'au moins un paramètre supérieur au VMA (valeur maximale autorisée) de potabilité a été identifiée dans 127 puits, soit 38% des 329 analysés. Quatre-vingt-un (25%) puits ont été classés comme actifs et sont situés dans 20 des 25 municipalités analysées.

Mots clés: Aquifère côtier. Eaux souterraines. Gestion de l'eau. Normes de potabilité.

1. Introdução

O desenvolvimento e a exploração das zonas costeiras têm se intensificado nas últimas décadas (Neumann *et al.*, 2015; Moura *et al.*, 2015), acarretando expressivas transformações socioespaciais e gerando grande pressão sobre os ambientes costeiros e seus recursos naturais. Com isso, a exploração dos aquíferos costeiros tem se intensificado em todo o mundo, levando a problemas de natureza quali e quantitativa (Marquetto *et al.*, 2024).

No Brasil, a exploração de aquíferos tem aumentado a partir da década de setenta, em função, entre outras razões, da redução do custo de extração, do aumento da demanda e da degradação das águas superficiais (Rebouças, 2006 *apud* Villar, 2016). No Rio Grande do Sul, as águas subterrâneas integram grande parte das águas usadas para consumo humano e abastecimento público em diversas regiões do estado, sobretudo em pequenos municípios e áreas de menor abrangência das redes públicas, onde se institui uma demanda constante por esse recurso (ANA, 2021).

Diante do cenário de mudanças climáticas, as águas subterrâneas tendem a ganhar ainda mais relevância, haja vista a resiliência destes recursos frente às variações climáticas (Hirata *et al.*, 2019; Leitão, 2014 *apud* Silva *et al.*, 2023). Destaca-se, ainda, a subvalorização das águas subterrâneas e seu conhecimento limitado como as principais causas da gestão insustentável destes recursos (Hirata *et al.*, 2019; Mählknecht e Mora *apud* Marquetto *et al.*, 2024).

O Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (SAQCI) compreende os aquíferos associados aos sedimentos da Planície Costeira, compostos por camadas siltico-arenosas intercaladas com camadas argilosas e arenosas inconsolidadas e possui uma área de aproximadamente 10.673km² (Machado e Freitas, 2005), que equivale a 3,78% da área total do Estado do Rio Grande do Sul. O SAQCI está situado ao longo da faixa litorânea do RS e abrange 25 municípios,

total ou parcialmente, perfazendo um total de 918.618 habitantes (IBGE, 2022). Machado e Freitas (2005) descrevem o SAQCI como um aquífero altamente vulnerável, em função de sua composição arenosa, associada a altos valores de porosidade e permeabilidade, especialmente em suas porções mais superficiais.

Tendo em vista a importância dos recursos hídricos subterrâneos para o consumo humano, esta pesquisa avaliou a qualidade da água de poços do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I - RS através da análise de informações constantes em bancos de dados públicos. Por meio desses dados buscou-se identificar um amplo panorama da qualidade das águas subterrâneas consumidas pela população ao longo do SAQCI, atentando especialmente aos municípios que apresentam maior dependência dos recursos subterrâneos e que os têm como principal forma de abastecimento dos domicílios. A partir dessa análise da qualidade das águas subterrâneas e dos indicadores sociais associados ao consumo dessas águas, foi possível identificar os pontos críticos a serem observados na gestão destes recursos.

2. Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida a partir da análise quantitativa e geoespacial de dados químicos, físicos e biológicos compilados de análises hidroquímicas constantes dos cadastros de poços disponíveis nos bancos de dados públicos do Sistema de Outorga de Água do RS (SIOUT), e do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), integrados aos dados socioeconômicos dos municípios, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os dados hidroquímicos são oriundos de poços do tipo ponteira e tubulares, destinados ao consumo humano, distribuídos ao longo de todos os municípios compreendidos pela área do SAQCI. Os parâmetros físico-químicos e biológicos foram analisados comparativamente aos Valores Máximos Permitidos (VMP's) estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde, que dispõe sobre a qualidade da água para consumo humano e seus padrões de potabilidade. A análise foi realizada através de tabulação no *Google Sheets* e, posteriormente, os dados foram georreferenciados no *software* Qgis (versão 3.34), de modo que possibilitasse a identificação de poços inseridos nos limites do SAQCI, bem como sua análise conjunta com outras classes de dados, tais como dados populacionais, características dos domicílios e abastecimento público.

2.1 Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul

O Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul - SIOUT é um banco de dados público, vinculado à Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA/RS) e tem como objetivo aperfeiçoar e gerenciar as concessões de outorga de uso de água no Estado, através de ferramentas de informações relativas ao uso dos recursos hídricos (SEMA, 2024).

Foram compilados do SIOUT os dados dos parâmetros físicos, químicos e biológicos dos poços constantes no módulo de Cadastro de Uso de Água que possuíam o *status* 'concluído', bem como das Outorgas que possuíam o *status* 'concedido'. Quanto aos filtros aplicados no módulo de pesquisa, aplicou-se o critério "águas subterrâneas" no parâmetro 'fonte de captação', de modo a retornar todos os tipos de intervenção, sendo desconsideradas as intervenções para rebaixamento de nível de água subterrânea. As pesquisas foram feitas selecionando, individualmente, os municípios compreendidos pelo SAQCI. Foram compiladas, portanto, todas as análises de poços compreendidos pela área do SAQCI que possuíam o consumo humano entre as finalidades de uso.

2.2 Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

O SIAGAS é um banco de dados público, gerido pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, que armazena dados contínuos, gerados no monitoramento de intervenções hidrogeológicas. Foram compilados do SIAGAS os dados dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de poços destinados ao abastecimento comunitário, abastecimento público, abastecimento doméstico, abastecimento urbano, consumo humano e abastecimento múltiplo, conforme uso indicado no parâmetro 'finalidade', constantes no banco de dados, de todos os municípios compreendidos pela área do SAQCI, individualmente.

2.3 Definição dos parâmetros e padrões de qualidade

Os parâmetros definidos para serem compilados e empregados nesta análise limitaram-se aos disponíveis nas análises hidroquímicas constantes nos cadastros dos poços catalogados nos bancos de dados públicos. Os VMP's aplicados neste projeto correspondem aos valores estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021. Foram analisados uma gama de 28 parâmetros, sendo 26 parâmetros químicos inorgânicos e 2 parâmetros biológicos (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros e VMP's praticados

PARÂMETRO	PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021 (mg/L)
<i>Escherichia coli</i>	Ausente em 100ml
Coliformes Totais	Ausente em 100ml
Antimônio	0,006
Arsênio	0,01
Bário	0,7
Cádmio	0,003
Chumbo	0,01
Cobre	2
Cromo	0,05
Fluoreto	1,5
Mercúrio	0,001
Níquel	0,07
Nitrato (como N) (3)	10
Nitrito (como N) (3)	1
Selênio	0,04
Urânio	0,03
Alumínio	0,2
Amônia (como N)	1,2
Cloreto	250
Cor Aparente	15 (uH)
Dureza total	300
Ferro	0,3
Manganês	0,1
Sódio	200
Sólidos dissolvidos totais	500
Sulfato	250
Turbidez	5
Zinco	5

Fonte: Brasil (2021). Elaborado pelos autores.

2.4 Classificação de poços ativos

Buscando identificar os poços ainda em atividade, adotaram-se critérios distintos para a classificação, a depender do banco de dados do qual foram compiladas as análises. Tratando-se dos poços oriundos do SIAGAS, os cadastros apresentam no parâmetro 'situação', os poços não instalados, equipados, bombeando, obstruídos, fechados, colmatados ou abandonados. Foram considerados ativos, portanto, os poços oriundos do SIAGAS que apresentavam a indicação "bombeando" no parâmetro 'situação'. Quanto aos poços oriundos do SIOUT, os cadastros não possuem um parâmetro que indique a situação do poço. Foram considerados ativos, portanto, os poços que indicavam 'sim' no parâmetro "poço já existente?", 'não' no parâmetro "poço já tamponado?" e, ainda, que apresentavam valores declarados no quadro de vazão da intervenção.

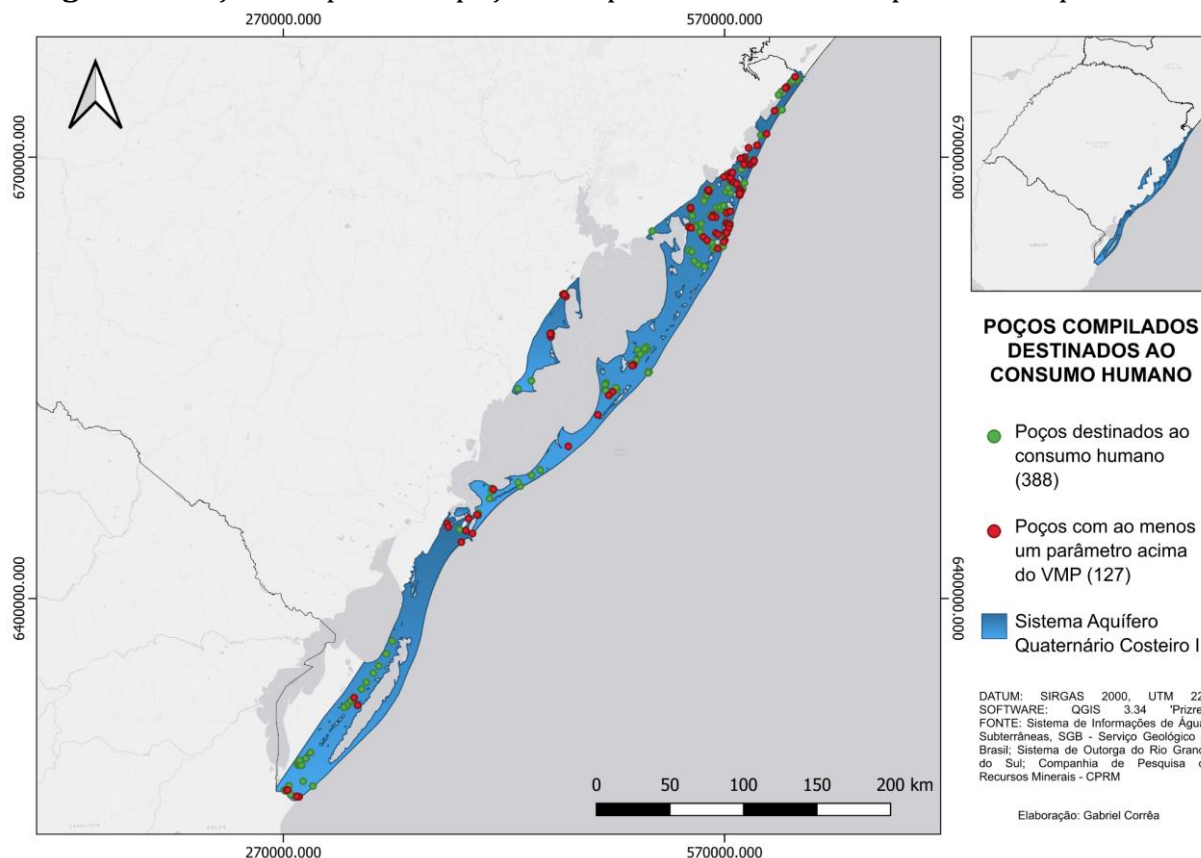
3. Resultados

3.1 Poços analisados e parâmetros fora dos padrões de qualidade

Foram encontrados nos bancos de dados um total de 388 poços destinados ao consumo humano, entre poços tubulares e de ponteira, ao longo dos 25 municípios compreendidos pelo SAQCI. Destes, 329 possuíam análise hidroquímica associada ao cadastro no banco de dados. 127 poços, 38% do total de poços com análises disponíveis, possuíam ao menos um parâmetro acima dos VMP's referentes aos padrões de potabilidade, distribuídos ao longo de 20 municípios do Sistema Aquífero (Figura 1). Desses 127 poços, 86 são do tipo tubular e 41 do tipo ponteira, 81 de suas análises são oriundas do SIAGAS e outras 46, do SIOUT, e 81 foram classificados como poços ativos.

Dos 28 parâmetros verificados ao longo das análises desses 329 poços, 19 apresentaram ao menos uma ocorrência com concentrações que ultrapassam os Valores Máximos Permitidos, estabelecidos em legislação (Tabela 2). Dos 127 poços que apresentam parâmetros com concentrações superiores aos VMP's, conforme legislação, 68 (53%) deles contêm a presença de manganês e 64 (50%) de ferro acima dos valores máximos permitidos. Em relação à totalidade de poços destinados ao consumo humano com análises disponíveis (329), os valores representam 20% e 19%, respectivamente.

Figura 1 - Poços compilados e poços com parâmetros fora dos padrões de qualidade



Fonte: SIOUT (2024); SIAGAS (2024). Elaborado pelos autores.

Além destes, com exceção da cor aparente e da turbidez, os demais parâmetros apresentam um número menos significativo de ocorrências (Tabela 2). Destaca-se ainda o parâmetro mercúrio que possui três ocorrências, todas oriundas de poços cadastrados no SIAGAS, no município de Osório, dos quais dois apresentam a situação “bombeando”. Quanto aos dados do ferro, parâmetro com um número elevado de valores acima dos limites previstos, utilizando a metodologia descrita por Barbeta (2002, p. 117), a qual considera valores que se afastem mais que $(1,5) \cdot d_q$ dos quartis do conjunto de dados como valores discrepantes, foi possível identificar cinco *outliers*: os valores 12,5 mg/l, 19,03 mg/l e 76 mg/l, são oriundos de poços cadastrados no SIAGAS, tendo seus valores transcritos e, portanto, passíveis de erros de digitação. Os demais valores discrepantes, 48 mg/l e 53 mg/l, são oriundos de poços cadastrados no SIOUT, retirados diretamente da análise laboratorial.

Condições semelhantes às identificadas na área de estudos foram também relatadas por outros autores. Lima *et al.*, (2023) também observaram significativa ocorrência de poços com altas concentrações de ferro e manganês na região compreendida entre o município de Torres e São José do Norte, em acordo com Troian *et al.*, (2014), que verificaram resultados similares

entre os municípios de Torres e Palmares do Sul, com destaque para as altas concentrações de ferro. Adicionalmente, Baumgarten *et al.*, (2017) verificaram na Ilha dos Marinheiros (Rio Grande - RS), que parte considerável dos domicílios analisados (42%) apresentavam concentrações de ferro maiores ou iguais a 0,3 mg/L, caracterizando as águas como ferruginosas.

Tabela 2 - Ocorrência de parâmetros excedentes aos VMP's

Parâmetro	Número de ocorrências acima do VMP	Menor Valor Excedente	Maior Valor Excedente	Período das análises
Manganês	68	0,109 mg/L	95,0 mg/L	1963 - 2020
Ferro	64	0,33 mg/L	76,0 mg/L	1963 - 2022
Cor Aparente	47	17 uH	525 uH	1963 - 2022
Turbidez	47	5,2 uT	760 uT	1963 - 2022
Sólidos Totais Dissolvidos	19	507,7 mg/L	968,4 mg/L	1993 - 2019
Cádmio	9	0,004 mg/L	0,005 mg/L	2017 - 2021
Cloreto	7	272 mg/L	462 mg/L	1996 - 2017
Coliformes Totais	9	Presença	Presença	2017 - 2021
<i>Escherichia coli</i>	6	Presença	Presença	2013 - 2021
Amônia	4	1,6 mg/L	4,4 mg/L	2008 - 2015
Sódio	3	214,18 mg/L	296 mg/L	2015 - 2017
Mercurio	3	0,565 mg/L	0,932 mg/L	2015
Chumbo	3	0,013 mg/L	0,02 mg/L	2007 - 2020
Alumínio	2	0,23 mg/L	0,253 mg/L	2008 - 2019
Cobre	2	3,72 mg/L	5,72 mg/L	2012 - 2015
Dureza Total	2	321 mg/L	395 mg/L	2013 - 2020
Cromo	1	0,198 mg/L	0,198 mg/L	2012

Fluoreto	1	2,83 mg/L	2,83 mg/L	2015
Selênio	1	2,9 mg/L	2,9 mg/L	2007

Fonte: SIAGAS (2024); SIOUT (2024). Elaborado pelos autores.

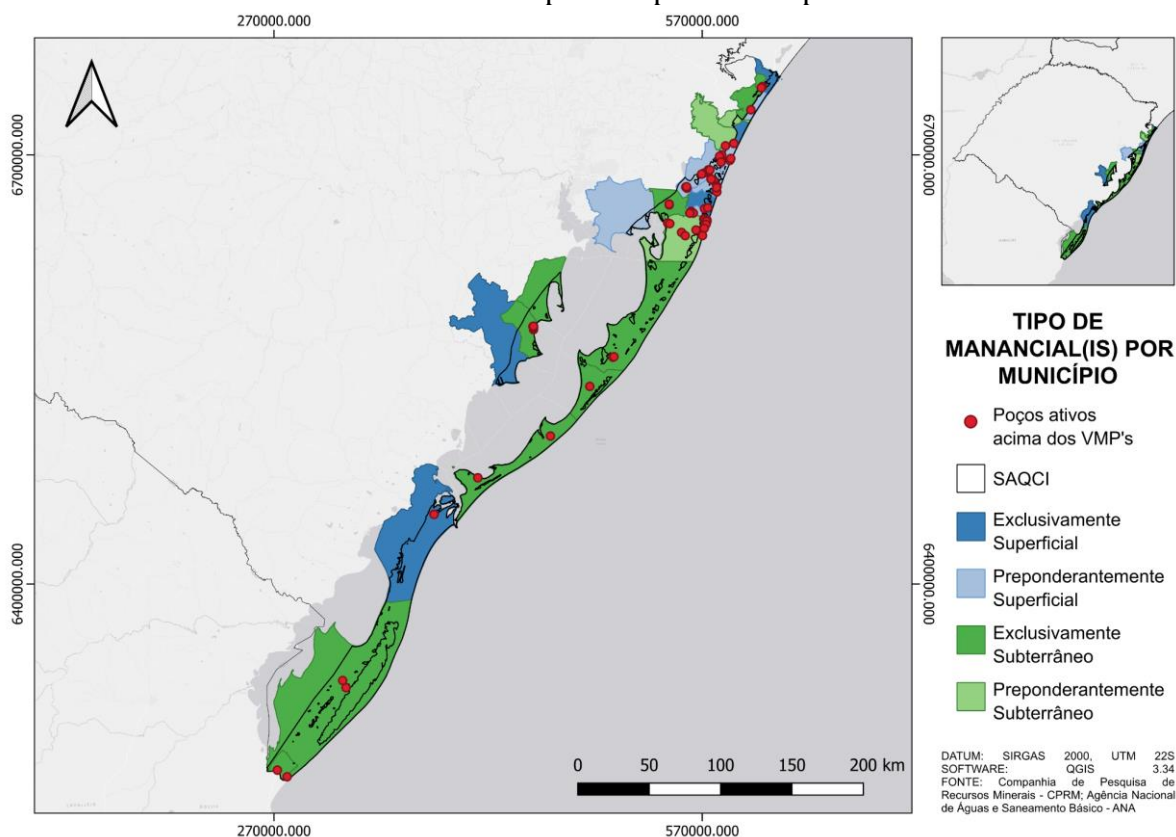
3.2 Mananciais de abastecimento e população atendida

Conforme o Atlas Águas (ANA, 2021) da ANA, apenas cinco municípios compreendidos pela área do SAQCI têm seu abastecimento realizado exclusivamente através de mananciais superficiais, ao passo que as águas subterrâneas são empregadas no abastecimento público, ainda que de forma complementar, em vinte municípios ao longo do SAQCI (Figura 2). Destes, dez municípios utilizam exclusivamente mananciais subterrâneos para o seu abastecimento público (a saber: Dom Pedro de Alcântara, Três Cachoeiras, Capivari do Sul, Tapes, Arambaré, Mostardas, Tavares, São José do Norte, Santa Vitória do Palmar e Chuí), atendendo uma demanda urbana de 231 litros/s (ANA, 2021) e uma população urbana de 93.770 habitantes (IBGE, 2022). Considerando ainda os outros dez municípios, abastecidos por mananciais mistos (a saber: Osório, Balneário Pinhal, Tramandaí, Xangri-lá, Arroio do Sal, Maquiné, Palmares do Sul, Viamão, Terra de Areia e Imbé), os números chegam a 1.445 litros/s de demanda urbana (ANA, 2021) e uma população urbana atendida de 497.439 pessoas (IBGE, 2022), com participação direta ou indireta dos recursos do SAQCI.

A qualidade das águas dos mananciais de abastecimento é monitorada pelo Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA), o qual disponibiliza por meio do seu sistema de informação, o SISAGUA, informações e indicadores sobre a água consumida nos municípios brasileiros, de acordo com as formas de abastecimento existentes (VIGIAGUA, 2025).

Dentre os dez municípios compreendidos pelo SAQCI que utilizam exclusivamente mananciais subterrâneos no seu abastecimento público, somente Três Cachoeiras não apresentou análise hidroquímica com parâmetros que excedem os VMP's oriunda de poços cadastrados nos bancos de dados do SIOUT e do SIAGAS, nem análises fora dos padrões no SISAGUA (VIGIAGUA, 2025), ou seja, realizadas em amostras obtidas diretamente dos sistemas de abastecimento, considerando os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888/2021.

Figura 2 - Poços ativos com parâmetros acima dos VMP's e tipo de manancial utilizado no abastecimento público por município



Fonte: ANA (2021); SIOUT (2024); SIAGAS (2024). Elaborado pelos autores.

Os municípios de Dom Pedro de Alcântara, Tapes e Chuí, apresentam poços com valores acima dos VMP's, oriundos dos bancos de dados públicos, mas não possuem análises com padrões excedentes no SISAGUA. Os seis municípios restantes, além de poços com parâmetros cujos valores excedem os VMP's da Portaria GM/MS nº 888/2021, também apresentaram ao menos uma análise de amostra de água com parâmetros acima do VMP, disponibilizados no Painel de Informações de Controle Semestral e Painel de Informações de Vigilância do VIGIAGUA. Essas amostras são coletadas na saída do tratamento ou no sistema de distribuição do Sistema de Abastecimento de Água (SAA), e as aqui referidas foram coletadas no período entre 2014 e 2022 (Tabela 3), conforme dados do VIGIAGUA (2025).

Dos dez municípios que utilizam mananciais mistos para o seu abastecimento público, os municípios de Viamão, Terra de Areia e Imbé não apresentam poços com parâmetros acima dos VMP's cadastrados no banco de dados do SIAGAS ou SIOUT. Quanto aos cinco municípios que utilizam exclusivamente mananciais superficiais, somente o município de Camaquã não possui poços com parâmetros excedentes aos VMP's no SIAGAS ou SIOUT.

Tabela 3 - Amostras fora do padrão de potabilidade coletadas na saída do tratamento ou sistema de distribuição do SAA dos municípios abastecidos exclusivamente por mananciais subterrâneos

Município	Parâmetros	Nº de Análises	Ano das ocorrências
Capivari do Sul	Coliformes Totais	16	2015 - 2017
	<i>Escherichia Coli</i>	13	2017
	Ferro	1	2020
	Cor Aparente	4	2015
	Fluoreto	2	2015
Arambaré	Manganês	2	2022
	Sódio	1	2020
	Turbidez	1	2017
Mostardas	Alumínio	4	2020 - 2021 - 2022
	Ferro	3	2020 - 2021 - 2022
	Turbidez	148	2015 - 2018 - 2019 - 2020
	Cor Aparente	114	2015 - 2018 - 2019
	Chumbo	1	2016
	Fluoreto	173	2015
São José do Norte	Amônia	3	2021 - 2022
	Fluoreto	60	2019
	Cloreto	1	2020
Tavares	Cor Aparente	190	2015 - 2017 - 2020
	Fluoreto	302	2015 - 2017 - 2020
	Turbidez	87	2018
	Coliformes Totais	1	2015
	Chumbo	1	2014
Santa Vitória do Palmar	Amônia	6	2021 - 2022
	Ferro	5	2021 - 2022
	Manganês	20	2021 - 2022
	Sódio	12	2015 - 2021 - 2022
	Cor Aparente	1	2021

Fonte: VIGIAGUA (2025). Elaborado pelos autores.

4. Discussão

O Programa de Gerenciamento Costeiro divide o litoral do estado do Rio Grande do Sul em três setores: Norte, Médio (Leste e Oeste) e Sul, correspondendo ao território de 39 municípios (FEPAM, 2025), dos quais 25 estão compreendidos, total ou parcialmente, pela área do SAQCI e 20 deles apresentam poços com ao menos um parâmetro acima dos VMP's. A maior parte dos 127 poços com valores excedentes aos VMP's, 66 poços (51%), está concentrada em municípios do Litoral Norte (Tabela 4). Dessas 66 análises hidroquímicas com valores acima do estabelecido em legislação localizadas no Litoral Norte, 50 são oriundas de poços classificados como ativos.

Esses dados correlacionam-se com as expressivas alterações dos territórios do Litoral Norte nos últimos cinquenta anos, condicionadas, em maior parte, pela crescente urbanização e exploração turística (Moura *et al.*, 2015). A taxa de crescimento demográfico, considerando os municípios do Litoral Norte que possuem ocorrências acima dos VMP's, é de 30%, a qual é superior à dos municípios do Litoral Médio (0,29%) e dos municípios do Litoral Sul (-2,13%), bem como à taxa de crescimento do Estado, de 1,77% (Tabela 5).

Tabela 4 - Distribuição geográfica de análises hidroquímicas por setorização do Programa de Gerenciamento Costeiro do RS

Setorização GERCO - RS	Município	Quantidade de poços com ao menos um parâmetro acima dos VMP's	Total
Litoral Norte	Osório	19	66
	Balneário Pinhal	15	
	Tramandaí	15	
	Xangri-Lá	7	
	Capão da Canoa	3	
	Cidreira	2	
	Dom Pedro de Alcântara	2	
	Arroio do Sal	1	
	Maquiné	1	

	Torres	1	
Litoral Médio (Leste e Oeste)	Arambaré	13	46
	Palmares do Sul	12	
	São José do Norte	6	
	Tapes	5	
	Capivari do Sul	4	
	Mostardas	3	
	Tavares	3	
Litoral Sul	Rio Grande	7	15
	Santa Vitória do Palmar	6	
	Chuí	2	

Fonte: FEPAM (2025); SIOUT (2024); SIAGAS (2024). Elaborado pelos autores.

Tabela 5 - Dinâmica demográfica dos municípios com ocorrências de parâmetros acima dos VMP's

Setorização GERCO - RS	Município	População em 2010	População em 2022	Variação Absoluta	%	Renda média (2022)	IDH (2010)
Litoral Norte	Osório	40.906	47.396	6.490	15,87	3.004,44	0,751
	Balneário Pinhal	10.856	14.955	4.099	37,76	2.076,34	0,696
	Tramandaí	41.585	54.387	12.802	30,79	2.845,94	0,719
	Xangri-Lá	12.434	16.463	4.029	32,4	3.032,21	0,735
	Capão da Canoa	42.040	63.594	21.554	51,27	2.832,82	0,743
	Cidreira	12.668	17.071	4.403	34,76	2.215,4	0,729
	Dom Pedro de Alcântara	2.550	2.562	12	0,47	2.100,03	0,691
	Arroio do Sal	7.740	11.057	3.317	42,86	2.190,81	0,74
	Maquiné	6.905	7.418	513	7,43	2.064,23	0,682

	Torres	34.656	41.751	7.095	20,47	2.854,62	0,762
	Total	212.340	276.654	64.314	30,29		
Litoral Médio (Leste e Oeste)	Arambaré	3.693	4.112	419	11,35	2.014,88	0,691
	Palmares do Sul	10.969	12.844	1.875	17,09	2.143,56	0,715
	São José do Norte	25.503	25.443	-60	-0,24	1.982,3	0,623
	Tapes	16.629	14.695	-1.934	-11,63	2.153,66	0,695
	Capivari do Sul	3.890	3.991	101	2,6	2.534,76	0,766
	Mostardas	12.124	12.090	-34	-0,28	2.080,45	0,664
	Tavares	5.351	5.212	-139	-2,6	1.813,16	0,586
	Total	78.159	78.387	228	0,29		
Litoral Sul	Rio Grande	197.228	191.900	-5.328	-2,7	2.695,49	0,744
	Santa Vitória do Palmar	30.990	30.983	-7	-0,02	2.455,39	0,712
	Chuí	5.917	6.262	345	5,83	2.326,74	0,706
	Total	234.135	229.145	-4.990	-2,13		
	Rio Grande do Sul	10.693.929	10.882.965	189.036	1,77		

Fonte: FEPAM (2025); IBGE (2010, 2022). Elaborado pelos autores.

A concentração populacional intensifica a pressão sobre os ambientes costeiros, ocasionando, por exemplo, o rebaixamento do lençol freático através da abertura indiscriminada de poços (Basso, 2012) que, quando próximos de fossas sépticas mal construídas ou sem manutenção, tornam-se vetores de contaminação (Troian *et al.*, 2017; Basso, 2012). A expansão de superfícies impermeáveis e as alterações no uso e ocupação do solo modificam a dinâmica hídrica dos aquíferos, aumentando os riscos de contaminação (Silva *et al.*, 2023).

Os setores do Litoral Médio, considerando a porção Leste e Oeste, e Litoral Sul apresentam menor pujança demográfica, contendo, inclusive, municípios que registraram decréscimo populacional no período intercensitário. Dos 46 poços que possuem parâmetros com valores excedentes aos VMP's no Litoral Médio, 24 foram classificados como ativos. No Litoral Sul, dos 15 poços com parâmetros excedentes, 7 são classificados como ativos.

Considerando os aspectos socioeconômicos, os municípios localizados no Litoral Norte apresentam os maiores Índices de Desenvolvimento Humano e um rendimento médio mensal de 2.521,68 (Tabela 5). Esses índices são ligeiramente superiores aos dos municípios do Litoral Sul, com rendimento médio de 2.492,54, e consideravelmente superiores aos números do Litoral Médio, setor que possui municípios com os menores índices de desenvolvimento humano e um rendimento médio de 2.103,25. Os municípios do Litoral Médio, além de apresentarem os piores indicadores socioeconômicos entre os parâmetros mencionados, também têm maior dependência das águas subterrâneas, utilizadas tanto no abastecimento público quanto privado, em razão da significativa proporção de domicílios sem ligação com a rede geral de abastecimento, chegando a mais de 70% no município de Tavares (Tabela 6). É também no Litoral Médio que se concentra a maior parte das amostras fora dos padrões de potabilidade oriundas do VIGIAGUA.

No conjunto de 20 municípios que apresentaram análises hidroquímicas com parâmetros cujas concentrações excedem aos VMP's nos poços cadastrados no SIOUT e no SIAGAS, as águas subterrâneas, além de suplementarem os volumes empregados no abastecimento público, são a principal forma de abastecimento em mais de 41.000 domicílios (IBGE, 2022), chegando a mais de 50% dos domicílios em alguns municípios (Tabela 6).

O número de domicílios nesses municípios que possuem poços como principal forma de abastecimento (41.033) é 105 vezes maior que o número de poços destinados ao consumo humano cadastrados nos bancos de dados públicos (388), representando a imensa subnotificação que se coloca como um desafio à gestão destes recursos. Por outro lado, a quantidade de domicílios que possuem poços como principal forma de abastecimento relaciona-se diretamente com a dimensão de domicílios sem conexão com a rede geral de distribuição de água (32.593), que chega a 14% do total de domicílios ao longo dos municípios que apresentam poços com parâmetros que excedem os VMP's (Tabela 6).

Tabela 6 - Domicílios particulares permanentes ocupados (em unidade) e principal forma de abastecimento de água

Município	Total	Domicílios abastecidos por poços rasos ou profundos	% de domicílios abastecidos por poços	Domicílios sem ligação com a rede geral	% de domicílios sem ligação com a rede geral
Tavares	2.153	1.794	83,3	1.602	74,4
Mostardas	4.593	3.627	79,0	2.281	49,7
Palmares do Sul	5.173	3.035	58,7	2.357	45,6

São José do Norte	10.193	5.026	49,3	4.687	46,0
Balneário Pinhal	6.100	2.447	40,1	1.552	25,4
Arroio do Sal	4.465	1.425	31,9	748	16,8
Osório	17.768	5.253	29,6	3.438	19,3
Maquiné	2.907	813	28,0	1.263	43,4
Capivari do Sul	1.496	395	26,4	181	12,1
Santa Vitória do Palmar	12.518	2.349	18,8	1.950	15,6
Arambaré	1.729	306	17,7	283	16,4
Torres	16.524	2.905	17,6	2.466	14,9
Tramandaí	21.085	2.687	12,7	1.762	8,4
Tapes	6.011	757	12,6	761	12,7
Cidreira	6.843	852	12,5	439	6,4
Dom Pedro de Alcântara	1.050	124	11,8	38	3,6
Capão da Canoa	23.879	2.165	9,1	1.424	6,0
Rio Grande	74.570	4.657	6,2	5.066	6,8
Xangri-lá	5.802	316	5,4	200	3,4
Chuí	2.385	100	4,2	95	4,0
Total	227.244	41.033	18,1	32.593	14,3

Fonte: IBGE (2022). Elaborado pelos autores

Nestas condições, os indivíduos recorrem a poços rasos e profundos como forma de suprir suas necessidades de saneamento, sobretudo entre populações mais vulneráveis socialmente (Hirata *et al.*, 2019), que vêm a ser, também, a parcela mais afetada pelo eventual comprometimento quali-quantitativo das reservas hídricas (Agudo, 2010 *apud* Villar, 2016). O aumento do quadro de intervenções clandestinas pode causar a superexploração dos recursos, repercutindo nas vazões captadas em mananciais superficiais e subterrâneos (Hirata *et al.*, 2019) e provocar a contaminação do aquífero ou mesmo a intrusão salina, no caso de aquíferos costeiros (Custodio, 2002 *apud* Villar, 2016). À semelhança de outros aquíferos, a discrepância de poços cadastrados e a realidade dos poços em operação são significativas, o que implica em reconhecer, segundo Villar (2016, p. 89), que não se sabe quanta água é explorada, “nem os efeitos desse uso para os usuários outorgados, para os mananciais superficiais ou subterrâneos e nos ecossistemas”.

Em relação à qualidade das águas subterrâneas em outros aquíferos costeiros do Brasil, Hindi *et al.*, (2003) encontraram níveis de Fe Total acima do VMP em 5 dos 12 poços domésticos analisados na Ilha dos Valadares (Paranaguá, Paraná), além da presença de coliformes em 60% das amostras, em razão do alto nível de urbanização da ilha, somada a construção de poços rudimentares próximos a fossas. Já no aquífero costeiro de Itaipuaçu (Maricá, Rio de Janeiro),

Silveira (2013) também verificou cor e turbidez acima do VMP em 50% (ou 22) dos poços residenciais, e presença de nitrato, ferro e alumínio acima dos VMP's em 17 poços analisados.

Em nível internacional, Chidambaram *et al.*, (2011) avaliaram a qualidade da água de 29 poços na região de Kalpakkam, no sul da Índia, e também encontraram valores excedentes para Fe e Mn, bem como para diversos outros parâmetros. Foram verificadas concentrações de Fe acima de 0,3 mg/L em 28 amostras e acima de 1 mg/L (valor máximo permitido) em 69% dos casos; já quanto ao manganês, 90% das amostras ultrapassam o VMP de 0,1 mg/L. Além destes, foram verificados níveis excedentes de níquel, chumbo e cobre em quase todas as amostras.

Carretero e Kruse (2015) avaliaram a qualidade da água subterrânea em San Clemente del Tuyú, na costa nordeste da província de Buenos Aires, e encontraram valores médios de 0,33mg/L e 0,24 mg/L para Fe e Mn, respectivamente, em poços domésticos. No caso argentino, os elementos são oriundos de minerais ferromagnesianos, bem como de sedimentos vulcânicos, os quais constituem o aquífero explotado. Conforme os autores, a população admite problemas relacionados a manchas em aparelhos sanitários, semelhantes aos descritos por Silveira (2020), em Osório, e acrescentam que, em razão das limitações econômicas da população, estes acabam consumindo a água com teores de ferro e manganês acima dos limites estabelecidos.

Quanto aos efeitos na saúde humana e no ambiente, a literatura aponta, com relação à presença de Fe e Mn nas águas subterrâneas, a ocorrência de inconvenientes como manchas em roupas e aparelhos sanitários (Silveira, 2020), incrustações e o aparecimento de ferrobactérias que alteram o odor e gosto da água (Moruzzi e Reali, 2012). Contudo, em teores elevados, o ferro metabolizado em excesso pode afetar todos os órgãos humanos, tendo sido relacionado a uma série de condições patológicas como doenças hepáticas, cardíacas e neurodegenerativas (Prá, 2008; Baumgarten *et al.*, 2014).

Outros parâmetros, ainda que possuam menor número de ocorrências, têm graves consequências na saúde humana, sobretudo a longo prazo. A ingestão de cádmio em altas doses pode causar danos renais, bronquite, anemia e sintomas gastrointestinais (Chidambaram *et al.*, 2011; CETESB, 2022). O parâmetro cádmio foi verificado em 9 poços, todos classificados como ativos. O chumbo, podendo causar efeitos renais, cardiovasculares e neurológicos (CETESB, 2022), foi verificado em três poços, dos quais dois foram classificados como ativos. O consumo de mercúrio ao longo dos anos pode causar danos ao sistema nervoso, afetando a coordenação motora e a cognição nos casos mais graves (CETESB, 2022; Bueno *et al.*, 2011). Dos três poços

onde se verificou a presença de mercúrio ao longo do SAQCI, dois deles foram classificados como ativos.

5. Considerações Finais

Os dados analisados demonstraram que 38% dos poços localizados no Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I - RS destinados ao consumo humano e com análises disponíveis, apresentaram, em um período de 59 anos, ao menos uma análise de águas fora dos padrões de potabilidade, segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021, considerando uma gama de 19 parâmetros físico-químicos e microbiológicos verificados nesta pesquisa.

Tendo em vista a quantidade de poços com águas impróprias para o consumo humano (127), classificados como ativos em 2024 (81 - 64%), bem como a quantidade de análises fora dos padrões de potabilidade identificadas nas redes de abastecimento dos municípios que se utilizam exclusivamente de mananciais subterrâneos (cerca de 1.172 análises entre 2014 e 2022), associadas à altíssima subnotificação de poços que não constam em qualquer sistema cadastral, é possível que uma parcela da população esteja consumindo ou que já tenha consumido água explorada de porções do SAQCI que apresentam alterações em sua qualidade.

A presença de parâmetros acima dos limites estabelecidos em legislação pode contribuir para o desenvolvimento de uma série de condições patológicas, sobretudo quando estas águas são consumidas em longo prazo. Além dos danos à saúde humana, a presença excessiva de alguns dos parâmetros descritos gera uma série de inconvenientes aos consumidores, comprometendo a confiabilidade na qualidade da água, de modo que muitos recorrem a meios alternativos de abastecimento, como a aquisição de água mineral, podendo gerar significativo impacto na renda familiar, sobretudo em municípios que já apresentam uma renda média inferior. As fontes destas contaminações são diversas e estão, muitas vezes, associadas às dinâmicas socioespaciais acarretadas pelo desenvolvimento das cidades.

Os municípios de pequeno porte são grandes usuários de águas subterrâneas, como observado entre os municípios do SAQCI, e têm interesse direto na gestão e proteção das águas subterrâneas, uma vez que estas garantem a principal fonte para o abastecimento público, conforme demonstrado neste estudo.

Apesar das águas subterrâneas figurarem como um recurso fundamental, sendo empregadas em processos produtivos e no consumo humano de forma relevante e atendendo milhares de pessoas ao longo de 25 municípios, a sua qualidade no SAQCI, observada tanto por

meio dos dados do SIOUT e do SIAGAS, quanto por meio do VIGIAGUA, demonstra que há problemas na sua gestão. Adicionalmente, foi constatada também inconsistência nos bancos de dados referentes às águas subterrâneas, tendo em vista as dificuldades de acesso e falta de sistematização deles. Por fim, cabe salientar a falta de dados de monitoramento contínuo, que são importantes para análise do seu uso, bem como da sua qualidade e dos impactos causados por atividades potencialmente poluidoras, por exemplo, em áreas de recarga.

O déficit técnico de informação constatado nessa pesquisa é um ponto prejudicial à elaboração de políticas acerca das águas subterrâneas, uma vez que a falta de compreensão sobre a temática deslegitima eventuais legislações. Nesse sentido, a análise de diferentes tipos de dados constantes em bancos de dados públicos, articulados através de ferramentas de geoprocessamento, tem muito a contribuir com a gestão dos recursos hídricos integrada à gestão territorial ao longo dos municípios. Esse tipo de análise integrada e ágil pode constituir uma ferramenta técnica de grande auxílio para a consolidação de instrumentos jurídicos de proteção destes recursos, tais como a análise de vulnerabilidade para implantação de empreendimentos e monitoramento quali e quantitativo, contribuindo para o reconhecimento da sua importância econômica e socioambiental e para o seu debate na sociedade civil.

6. Apoios recebidos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Iniciação Científica PIBIC/FEPAM que apoiou o desenvolvimento deste trabalho.

7. Referências

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Águas: Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano**. – Brasília: ANA, 2021. 332 p.: il. ISBN: 978-65-88101-19-3. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

BARBETTA, Pedro, A. **Estatística Aplicada às Ciências Sociais**. 5. ed. Florianópolis. Editora da UFSC. 2002.

BASSO, Luís A. Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul: implicações ambientais. In: VERDUM, Roberto; BASSO, Luís A.; SUERTEGARAY, Dirce M. A. (Orgs). **Rio Grande do Sul: Paisagens e territórios em transformação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. 360p. p. 87-108.

BAUMGARTEN, Maria G. Z.; DE PAIVA, Mariele L.; RODRIGUES, Horácio R. S. Kit analítico simplificado: uma ferramenta para avaliação massiva da qualidade da água subterrânea. **Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 2, 2014.

BAUMGARTEN, Maria G. Z.; PEREIRA, A. L.; RODRIGUES, Horacio R. S.; VELOSO, Carolina; DIAS, Giovana; LIMA, Kayla. Vamos conversar sobre a água da Ilha dos Marinheiros?: um minicurso de educação ambiental para estudantes do ensino fundamental de uma comunidade com problemas de água potável (Rio Grande/RS). **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental**, Rio Grande, v. 22, ed. 2, p. 262-282. 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria Nº 888, de 04 de maio de 2021**. 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 14 fev. 2025.

BUENO, Priscila C.; RODRIGUES, Juliana C.; LEMOS, Alysson F.; MALASPINA, Fabiana G.; MATSUI, Carolina T.; ROHLFS, Daniela B. Exposição humana a mercúrio: subsídios para o fortalecimento das ações de vigilância em saúde. **Cad Saúde Coletiva**, v. 19, n. 4, p. 443-447, 2011. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-641466> Acesso em: 03 nov. 2025.

CARRETERO, Silvina; KRUSE, Eduardo. Iron and manganese content in groundwater on the northeastern coast of the Buenos Aires Province, Argentina. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 5, p. 1983-1995, 2015.

CETESB. **Qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2021**. Apêndice C. São Paulo: CETESB, 2022.

CHIDAMBARAM, S.; KARMEGAM, U.; PRASANNA, M. V.; SASIDHAR, P.; VASANTHAVIGAR, M. A study on hydrochemical elucidation of coastal groundwater in and around Kalpakkam region, Southern India. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 5, p. 1419-1431, 2011.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Programa de Gerenciamento Costeiro RS**. 2025. Disponível em: <https://fepam.rs.gov.br/gerco>. Acesso em: 15 fev. 2025.
HINDI, Eduardo C.; FILHO, Ernani F. R.; BITTENCOURT, André V. L.; XAVIER, Jorge M. Características hidrogeológicas do aquífero costeiro da Ilha dos Valadares, PR (Brasil) e sua utilização para abastecimento público. **Revista Latino-Americana de Hidrogeologia**, n. 3, p. 19-31, 2003.

HIRATA, Ricardo; SUHOGUSOFF, Alexandra; MARCELLINI, Silvana S.; VILLAR, Carolina P.; MARCELLINI, Laura. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: IGc/USP, 2019. 64 p.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática**. 2010, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso em: 13 fev. 2025.

LIMA, Suzy D.; REGINATO, Pedro A. R.; ALFONSO, Risso; TROIAN, Guilherme C. Qualidade da água subterrânea no Litoral do Rio Grande do Sul. In: **Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 7. Mai. 2023. Bento Gonçalves. Trabalhos técnicos. Caxias do Sul: UCS, 2023.

MACHADO, José L. F.; FREITAS, Marcos A. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2005. 62 p.

MARQUETTO, Luciano; JÜSTEL, Alexander; TROIAN, Guilherme C.; REGINATO, Pedro A. R.; SIMÕES, Jefferson C. 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, n. 329. p. 1-23. out. 2024. Disponível em: doi.org/10.1007/s12665-024-11609-y. Acesso em: 13 fev. 2025.

MORUZZI, Rodrigo B.; REALI, Marco A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 29-43, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/cbf6f103-7d28-40b7-b4a2-4cadcba5a130>. Acesso em: 03 nov. 2025.

MOURA, Nina S. V.; MORAN, Emilio F.; STROHAECKER, Tânia M.; KUNST, Aline V. A Urbanização na Zona Costeira: Processos Locais e Regionais e as Transformações Ambientais - o caso do Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul - Brasil. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37. n. 3, p. 594-612. set. 2015.

NEUMANN, Barbara; VAFEIDIS, Athanasios T.; ZIMMERMANN, Juliane; NICHOLLS, Robert J. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. **PLoS ONE**, p. 1-34. mar. 2015. Disponível em: [doi:10.1371/journal.pone.0118571](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118571). Acesso em: 13 fev. 2025.

PRÁ, Daniel. **Ferro e estabilidade genômica: uma análise nutrigenômica dos efeitos da deficiência e da sobrecarga**. 2008. 231 f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular). Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SIAGAS. **Sistema de Informações de Águas Subterrâneas**. 2024. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

SILVA, Hermam V.; GASTMANS, Didier; VILLAR, Carolina P.; PINESE, Jose P. P. A competência do município na gestão das águas subterrâneas e a contribuição da hidrogeologia urbana. **Revista UNG – Geociências** v. 22, n. 2, p. 5-22. 2023. DOI: 10.33947/1981-741X-v22n2-5237. Acesso em: 14 fev. 2025.

SILVEIRA, Patrícia H. M. **Aspectos hidrogeoquímicos e de qualidade da água do aquífero costeiro de Itaipuaçu, Maricá-RJ**. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013.

SILVEIRA, Márcia Neto. **Análise qualitativa simplificada da concentração de ferro na água subterrânea do município de Osório utilizada para consumo humano-Rio Grande do Sul-Brasil**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2020.

SIOUT. **Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul**. 2024. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/sistema-de-outorga-do-rio-grande-do-sul-siout>. Acesso em: 14 fev. 2025.

TROIAN, Guilherme C.; GOFFERMAN, Marcelo; FREITAS, Marcos A. Monitoramento quali-quantitativo do Aquífero Costeiro no Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul. In: **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 18. 2014. Belo Horizonte.

TROIAN, Guilherme C.; REGINATO, Pedro A. R.; SENHORINHO, Eliel M.; MARCUZZO, Francisco F. N.; KIRCHHEIM, Roberto E.; KUHN, Isadora A. Estimativa de recarga pelo método Water Table Fluctuation (WTF) na porção Norte do Aquífero Costeiro do Estado do Rio Grande do Sul. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, XXII, nov. 2017, Florianópolis.

VIGIAGUA - **Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/composicao/seidigi/demas/situacao-de-saude/vigiagua>. Acesso em: 15 fev. 2025.

VILLAR, Carolina P. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente e Sociedade**, São Paulo, v. XIX, n. 1, p. 83-102. mar. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/TWhNrmq5nKsLBLTSSKNbttbm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 fev. 2025.

