



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE POÇOS PONTEIRA
NO MUNICÍPIO DE OSÓRIO, RS

ROSANA ALVES PAIM

Porto Alegre, 2018.

ROSANA ALVES PAIM

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE POÇOS
PONTEIRA NO MUNICÍPIO DE OSÓRIO, RS**

Dissertação/Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, como requisito parcial á obtenção necessários para obtenção do grau de Mestre (a)/Doutor (a).

.

Orientador (a): Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, 2018

Paim, Rosana Alves Paim

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE
POÇOS PONTEIRA NO MUNICÍPIO DE OSÓRIO, RS / Rosana
Alves Paim Paim. -- 2018.

79 f.

Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato
Reginato.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas
Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS,
2018.

1. Poço Ponteira. 2. Índice de qualidade. 3.
Hidroquímica. 4. Aquífero Costeiro. I. Reginato, Pedro
Antonio Roehe Reginato, orient. II. Título.

ROSANA ALVES PAIM

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE POÇOS NO
MUNICÍPIO DE OSÓRIO, RS**

Dissertação/Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de mestre (a)/ doutor (a).

Aprovado em: Porto Alegre, (19) de (03) de (2018).

Prof. Dr. Pedro Antonio Roehé Reginato – UFRGS
Orientador

Prof.^a Dr.^a Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues– UFRGS
Examinador

Prof. Dr.^a Rosane Maria Lanzer – UCS
Examinador

Prof. Dr. Gustavo Barbosa Athayde – UFRGS
Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família pai Francisco R. B. Paim e minha mãe Mara L. A. Paim pelo apoio de sempre;

Ao meu esposo Sóstenes P. De Miranda pelo amor, apoio, incentivo e por jamais me deixar desistir, sem você jamais teria chegado até aqui;

Aos nossos amados filhos Joel e Luna por serem tudo para nós;

Ao Professor Pedro Antonio Roehe Reginato, pela orientação, por ter me acolhido quando cheguei ao IPH, pela paciência e incentivo de sempre, por jamais ter desistido da sua orientada;

A amiga e companheira Tuane de Oliveira Dutra, que esteve comigo em vários momentos (bons e ruins) que me ajudou nos campos e nos trabalhos;

A equipe do projeto LACOS 3 pelo apoio financeiro e confiança para elaboração deste trabalho, em especial ao amigo Elias Michalski que me ensinou e fez os campos comigo;

Ao IPH pela oportunidade de crescimento educacional;

Ao senhor Neimar da prefeitura de Osório e o senhor Elvis da Vigilância Sanitária de Osório, que me auxiliaram nos campos, mostrando os poços da região;

Aos amigos e colegas que conheci através deste trabalho;

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

Este trabalho buscou avaliar a qualidade da água subterrânea de poços ponteira, que captam água do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC) na região de Osório (RS), através da aplicação de diferentes métodos. Para a realização do estudo foi feito um inventário e cadastramento de poços, o levantamento e interpretação de dados geológicos e hidrogeológicos, além da coleta e análise de amostras de água. Para este trabalho foram utilizados dados físico-químicos e bacteriológicos, obtidos através das análises de água (campo e laboratório), que foram coletadas em 26 poços. A avaliação dos resultados foi realizada através dos diagramas de Piper e Stiff, da comparação com os Valores Máximos Permitidos (VMP) em portarias de potabilidade e da aplicação de métodos de avaliação da qualidade da água e risco a saúde. Os resultados obtidos permitiram evidenciar que no município, a principal forma de captação da água subterrânea, ocorre por meio de poços ponteira que possuem profundidades na sua maioria, inferiores a 20 metros e que captam água de aquíferos granulares livres associados a camadas de sedimentos arenosos. Além disso, a maior parte das águas subterrâneas apresentaram valores de pH entre 5,6 e 6,5 e valores de condutividade elétrica (CE) entre 0 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As concentrações de nitrato variaram entre 0 e 2 mg/L N-NO₃, de cloretos e sódio não ultrapassam 30 mg/L, os sólidos totais dissolvidos entre 0 e 200 mg/L, indicando a ocorrência de águas doces com baixa mineralização. Os resultados das análises bacteriológicas indicaram a presença de *Escherichia coli* e coliformes totais. A comparação dos resultados das análises com os VMP da portaria do Ministério da Saúde Nº 2914/11 (Brasil, 2011), indicaram a ocorrência de poços que apresentam alterações nos parâmetros pH, amônia, ferro, cor, manganês, turbidez, bem como presença de Coliformes Totais e *E.coli*. Com o uso do Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS), foram classificadas amostras de água como ótimas, boas e péssimas. Já o cálculo do Índice Relativo de Risco (IRR) evidenciou a ocorrência de amostras que apresentaram valores altos, a Avaliação de Risco à Saúde, indicou a ocorrência de amostras que apresentaram Risco não Carcinogênico. Por fim a partir deste estudo pode-se verificar que o uso de diferentes métodos para avaliação da qualidade da água, tem grande importância, pois torna mais consistente essa avaliação, já que cada método envolve a análise de diferentes parâmetros.

Palavras-chave: Poço Ponteira, Índice de qualidade, Hidroquímica, Aquífero Costeiro

ABSTRACT

The aim objective of this work was to evaluate the groundwater quality of wells, which capture water from the Coastal Quaternary Aquifer System (SAQC) in the region of Osorio (RS), by applying different methods. In order to carry out the study, an inventory and registration of wells, the survey and interpretation of geological and hydrogeological data, as well as the collection and analysis of water samples. For this work, physicochemical and bacteriological data were obtained through water analysis (field and laboratory), which were collected in 26 wells. The evaluation of the results was carried out through the Piper and Stiff diagrams, the comparison with the Maximum Permitted Values (VMP) in potable water consumption and the application of water quality and health risk assessment methods. The results obtained showed that in the municipality, the main way of captation of groundwater occurs through pointer wells that have a depth of less than 20 meters and capture water from unconfined granular aquifers associated with layers of sandy sediments. In addition, most groundwater had pH values between 5.6 and 6.5 and values of electrical conductivity (EC) between 0 and 200 uS/cm. Nitrate concentrations ranged from 0 to 2 mg / L N-NO₃, with sodium chloride not exceeding 30 mg/L, total solids dissolved between 0 and 200 mg/L, indicating the occurrence of fresh water with low mineralization. The results of the bacteriological analyzes indicated the presence of *Escherichia coli* and total coliforms in 4 wells. The comparison of the results of the analyzes with the MPV of Ministry of Health No. 2914/11 (Brazil, 2011) indicated the occurrence of wells that present alterations in pH, ammonia, iron, color, manganese, turbidity and presence of Total Coliforms and *E. coli*. With the use of the Underwater Water Quality Index (IQUAS), 9 water samples were classified as optimal, 2 as good and 4 bad. The calculation of the Risk Index (IRR) evidenced the occurrence of 7 samples that presented high values, the Health Risk Assessment, indicating the occurrence of 2 samples that presented non-Carcinogenic Risk. Finally, from this study we can verify that the use of different methods to evaluate water quality, is of great importance, since it makes this evaluation more consistent, since each method involves the analysis of different parameters.

Keywords: Well Pole, Quality Score, Hydrochemistry, Coastal Aquifer

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (adaptado de Tomazelli & Villvock, 2002).....	17
Figura 2: Estratigrafia da barreira holocênica na região de Tramandaí (Fonte: Travessas et. al. 2005).....	19
Figura 3: Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. (Fonte: adaptado de CPRM, 2005).....	21
Figura 4: Perfis Litológicos de poços que fazem parte da rede RIMAS e que estão localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul (Fonte: Troian et al. 2004).	23
Figura 5: Salinidade do SAQC I (Retirado e modificado de Machado & Freitas, 2005).	24
Figura 6: Classificação das águas subterrâneas do litoral médio e sul em doce, salobra e salgada (Fonte: Reginato et al,2009).	24
Figura 7: Diagrama Piper com a classificação das águas subterrâneas do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul (Fonte: Reginato et al, 2009).	25
Figura 8: Gráfico USSL com a classificação das águas subterrâneas com relação ao risco de salinização (Fonte: Reginato et al, 2009).	25
Figura 9: Diagrama de Piper com a classificação das amostras de água do aquífero costeiro do litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul (Fonte: Troian et al. 2004)...	27
Figura 10: Faixas de classes de qualidade para a água subterrânea (0 a 100) para o índice de qualidade da água subterrânea-IQUAS.....	32
Figura 11 Fluxograma do cálculo do IRR (Índice Relativo de Risco) para ingestão de água superficial in natura, aplicado para bacias hidrográficas que não apresentem risco, quando comparadas com os VMP's. VMP= Valor Máximo Permitido; IR= Índice de Risco; A, B, C= representam 3 dos 27 parâmetros avaliados; Q=Quociente.(Fonte: Athayde et al, 2014).	34
Figura 12: Localização da Área de estudo (Mapa produzido pelo Projeto Lacos 3).....	38
Figura 13: Faixas de classes de qualidade para a água subterrânea (0 a 100) para o índice de qualidade da água subterrânea-IQUAS.....	43
Figura 14: Exemplo de cálculo do IRR.....	44
Figura 15: Mapa Hidrogeológico do Município de Osório com a localização dos pontos de captação identificados no município.	45
Figura 16: Aquíferos captados pelos Poços Identificados no município de Osório (RS).	46
Figura 17: Tipos de poços identificados no município de Osório (RS).....	47
Figura 18: Uso da água subterrânea no município de Osório (RS).	47
Figura 19: Situação dos poços no município de Osório (RS).	47
Figura 20: Perfis de quatro poços tubulares que captam água de aquíferos associados a camadas de sedimentos arenosos (adaptado e modificado dos perfis do SIAGAS).....	48
Figura 21: Tipos de poços que captam água do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro.	49
Figura 22: Profundidade dos poços ponteira.	49
Figura 23: Mapa Hidrogeológico com a distribuição dos poços que possuem análises físico-químicas com maior número de parâmetros.....	50
Figura 24: Intervalo de pH dos poços analisados em campo e no laboratório.....	52
Figura 25: Intervalo de Condutividade elétrica dos poços analisados em campo e no laboratório.	53

Figura 26: Intervalo dos valores de amônia dos poços analisados em campo e no laboratório	53
Figura 27: Intervalo dos valores de Nitrato dos poços analisados em campo e no laboratório.	54
Figura 28: Intervalo dos valores de cloretos dos poços analisados em campo e no laboratório.	54
Figura 29: Intervalo dos valores de Sódio dos poços analisados em campo e no laboratório.	55
Figura 30: Intervalo dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) dos poços analisados em campo e no laboratório.	55
Figura 31: Presença e ausência de coliformes totais nas amostras dos poços analisados no laboratório.....	56
Figura 32: Presença e ausência de <i>Escherichia coli</i> nas amostras dos poços analisados no laboratório.....	56
Figura 33: Diagrama de Piper com a classificação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro(SAQC) (Gráfico gerado com uso do programa Qualigraf – Mobus, 2014).	57
Figura 34: Classificação das águas.	57
Figura 35 Diagrama de Stiff com a representação dos diferentes tipos de água subterrânea encontrada em Osório/RS.	58
Figura 36: Quantidade de parâmetros fora dos limites que aparecem nas amostras analisadas.....	59
Figura 37 Passo a passo para cálculo do IQUAS.	62
Figura 38 Localização de todos os poços.....	68
Figura 39 Localização dos poços de ótima qualidade.	69
Figura 40 Localização dos poços de boa qualidade.....	69
Figura 41 Localização dos poços de péssima qualidade.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre grupos de alteração de qualidade e parâmetros relacionados. .	30
Tabela 2: Amostras Simuladas (Cálculo do IQUAS).	33
Tabela 3: Parâmetros de exposição sugeridos para ingestão de água contaminada.	35
Tabela 4: Metodologias analíticas utilizadas nas amostras de água pelo laboratório de análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS..	41
Tabela 5: Metodologias utilizadas nas amostras de água pelo laboratório de análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS.....	41
Tabela 6: Metodologia utilizada nas amostras de água pelo laboratório de análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS.....	41
Tabela 7: Parâmetros utilizados no cálculo do ingresso por ingestão de água contaminada.....	44
Tabela 8: Parâmetros utilizados com seus respectivos valores.	51
Tabela 9: Características dos poços analisados.	52
Tabela 10: Amostras que apresentam presença de Coliformes e <i>E.coli</i> com os valores encontrados.....	56
Tabela 11: Comparação dos parâmetros analisados com os Valores Máximos Permitidos (VMP's) pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (MS) nas amostras analisadas no laboratório.	60
Tabela 12: valores utilizados para a realização dos cálculos do Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS).	61
Tabela 13: Valores utilizados para a determinação da Qualidade da Água, segundo o índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS) e seu resultado de acordo com as faixas de classes de qualidade para a água subterrânea (0 a 100)	62
Tabela 14: Parâmetros utilizados para o cálculo do Índice Relativo de Risco (IRR) com seus respectivos valores.	64
Tabela 15: Ranking do Índice Relativo de Risco (IRR).	65
Tabela 16: Cálculos da avaliação de risco.	66
Tabela 17: Comparativo entre os métodos utilizados.	66

Sumário

RESUMO	6
1 – Introdução.....	12
2 - Objetivos	15
3 - Revisão Bibliográfica.....	16
3.1 Contexto geológico	16
3.3 Hidroquímica dos aquíferos.....	22
3.4 Qualidade da Água Subterrânea.....	29
4 - Área de estudo	38
5 – Materiais e Métodos.....	39
5.1 Levantamento de Dados Hidrogeológicos e de Pontos de Captação	39
5.2 Caracterização Geológica e Hidrogeológica.....	39
5.3 Caracterização Hidroquímica.....	40
5.4 Avaliação da Qualidade de Água para consumo in natura	42
6 – Resultados e Discussão	45
6.1 Recursos Hídricos Subterrâneos da Região de Osório	45
6.2 Hidrogeologia do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro na região de Osório ..	47
6.3 Hidroquímica	50
6.4 Qualidade da água subterrânea	59
6.4.1 Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS).....	61
6.4.2 Cálculo do Índice Relativo de Risco (IRR)	63
6.4.3 Avaliação de Risco à Saúde	65
6.4.4 Comparação e avaliação da eficiência do uso de diferentes métodos e índices de avaliação da Qualidade da Água Subterrânea.	66
6.4.5 Análise das Causas das Alterações nos Problemas de Qualidade da Água Subterrânea.	68
7. Considerações Finais.....	72
8. Referências bibliográficas	74

1 – Introdução

A abordagem de temas como abastecimento de água, esgoto domiciliar e coleta seletiva, são indicadores importantes das condições ambientais e qualidade de vida da população de uma região. De acordo com o CENSO (2010), no Brasil dos 57.324.167 domicílios, 47.494.025 encontram-se ligados a rede de abastecimento de água (82,85 %). Os percentuais dos estados brasileiros variam entre 38,50 (Rondônia) e 95,11 % (Distrito Federal). O Rio grande do Sul atualmente ocupa o 6º lugar, sendo, dos 3.599.604 domicílios 3.071.715 ligados a rede de abastecimento (85,33 %). Entre os 496 municípios do Rio Grande do Sul, 178 apresentam percentuais de atendimento iguais ou superior a do estado, podendo atingir 99,35 %, como é o caso do município de Porto Alegre (Atlas Socioambiental RS, 2018).

Embora os dados sobre abastecimento de água mostrem uma posição privilegiada do Estado, muitos domicílios ainda dependem de outros tipos de fontes de abastecimento, sendo uma das principais soluções para este problema o abastecimento por poço particular.

A preocupação com a contaminação das águas subterrâneas tem crescido no meio científico principalmente quando relacionado com o consumo humano (Dores et al, 2001). A água é considerada um recurso natural limitado e existe mundialmente uma grande preocupação com sua disponibilidade, exigindo uma nova consciência em relação a utilização deste recurso.

Segundo Hirata et al (2008), a poluição de aquíferos é compreendida como a degradação das águas subterrâneas pela perda da qualidade potável quando a água apresenta níveis de concentração de substâncias nocivas superiores aos padrões de qualidade estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Conforme a Lei no. 6.938/81, da Política Nacional do Meio Ambiente, a poluição de forma geral corresponde à degradação da qualidade ambiental, pelas atividades humanas que afetam a saúde, a economia, os recursos naturais, a estética do ambiente, em desacordo com a legislação.

O zoneamento é um instrumento que possibilita viabilizar o uso e ocupação da terra com ações que visem à proteção das águas subterrâneas. É possível gerir o território instituindo-se restrições de uso para a proteção dos aquíferos, levando em conta áreas de maior susceptibilidade à poluição (Oliveira et al, 2009). É fundamental que os recursos hídricos apresentem condições físico-químicas adequadas para a

utilização dos seres vivos, devendo conter substâncias essenciais à vida e isentos de outras substâncias que possam produzir efeitos prejudiciais ao organismo (Braga et al, 2003).

A análise hidroquímica é uma importante ferramenta para avaliação da qualidade de águas. As análises físico-química e bacteriológicas, juntamente com as características da área podem fornecer informações para definir a qualidade do recurso hídrico (Araujo, 2006).

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul (RS), foi formada pela justaposição lateral de depósitos sedimentares de sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira (Villwock et al. 1986, Tomazelli 1990, Villwock & Tomazelli 1995, Tomazelli et al. 2000). Podem-se considerar dois sistemas deposicionais gerais: O Sistema Depositional Quaternário de Cobertura Laguna - Barreira, aflorante em toda a Planície Costeira e o Sistema Depositional Terciário Bacia Rasa de Pelotas, que ocorre em sub superfície (Lisboa et al, 2004).

A região a ser estudada neste trabalho será o município de Osório, que de acordo com o mapa hidrogeológico do Rio Grande do Sul (Machado & Freitas 2005), existe a ocorrência do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I e II. Este sistema é caracterizado por aquíferos associados a camadas arenosas e inconsolidadas com granulometria fina a média, que estão intercaladas com camadas siltico-arenosas e argilosas. Os aquíferos que formam o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I e II têm grande importância, porque são utilizados como fonte de água para abastecimento de áreas rurais e urbanas e também para o desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais.

Os aquíferos existentes na região são do tipo granular ou sedimentar com comportamento livre ou confinado e são captados de diversas formas através da construção de poços, denominados popularmente de “artesianos” ou “semi-artesianos”. Os recursos hídricos subterrâneos nessa região são utilizados, principalmente para o abastecimento humano. No entanto, nas pequenas propriedades rurais esses recursos são usados também na irrigação, o que acaba por elevar o consumo de água.

Este trabalho é de grande importância, pois, a captação da água subterrânea no litoral é realizada através de poços ponteira, cacimbas e tubulares, sendo que os primeiros são mais comuns sendo sua maioria utilizados para abastecimento doméstico. Os poços ponteiras são rasos e captam água de aquíferos granulares que podem ser livres e estão associados a camadas de sedimentos arenosos. As características hidroquímicas e a qualidade da água subterrânea captada por esses poços é variável,

tendo influência tanto natural como antrópica. Dessa forma, o desenvolvimento desse trabalho foi possível avaliar as características hidroquímicas e a qualidade da água subterrânea captada por poços ponteiras utilizados para abastecimento no município de Osório. A avaliação foi realizada através da aplicação de índices de qualidade da água e avaliação de risco a saúde humana, bem como a comparação com portarias de potabilidade. Os resultados obtidos também permitiram a avaliação da qualidade desse recurso e na identificação dos parâmetros que são responsáveis pela alteração da qualidade.

2 - Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral a avaliação da qualidade da água subterrânea de poços ponteira, que captam água do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC) na região de Osório (RS), através da aplicação de diferentes métodos.

Dentre os objetivos específicos citam-se:

- *Avaliação do uso dos recursos hídricos da água subterrânea da região de Osório;

- *Caracterização hidroquímica dos aquíferos captados por poços ponteira na região de Osório;

- *Avaliação da qualidade da água subterrânea captada por poços ponteira, que são utilizadas para abastecimento com base na interpretação de Valores Máximos Permitidos (VMP) presentes em portarias do Ministério da Saúde (MS);

- * Análise da qualidade da água subterrânea com base na utilização de índices de avaliação da qualidade de água, como o IQAS (Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQAS), IRR (Índice Relativo de Risco) e avaliação de Risco à Saúde;

- * Análise do uso dos diferentes métodos empregados na avaliação da qualidade da água.

3 - Revisão Bibliográfica

3.1 Contexto Geológico

Descrever o modo de ocorrência geológica das águas subterrâneas de uma região é essencial para proporcionar um modelo concreto, com a finalidade de embasar pesquisas mais detalhadas, como a distribuição de áreas de recarga e descarga, fluxo, quantidade e qualidade da água, exploração, uso, conservação, monitoramento e simulações de cenário (Lisboa et al, 2004).

Se não houver uma concepção geológica qualitativa consistente, a análise e interpretação dos dados quantitativos carece de embasamento e perde a efetividade.

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul é uma região que faz parte da Bacia de Pelotas, e foi formada como resultado das transgressões e regressões do mar, sendo considerada a formação geológica mais recente, e também o fenômeno responsável pela estruturação do grande sistema de lagoas que são encontradas no município de Osório.(Fonte)

Parte do arcabouço geomorfológico está constituído em duas unidades, o Embasamento e a Bacia de Pelotas, o primeiro é caracterizado por rochas ígneas e metamórficas do Escudo Pré-Cambriano e por sequências sedimentares e vulcânicas de idade Paleozóica e Mesozóica da Bacia do Paraná. A Bacia de Pelotas compreende uma espessa sequência sedimentar clástica com origem continental, transicional e marinha (Villwock & Tomazelli, 1995).

Os principais sistemas deposicionais da Planície Costeira são os leques aluviais que ocupam uma faixa continua na parte mais interna da planície, e um complexo lagunar constituído de sistemas deposicionais transgressivos e regressivos do tipo laguna barreira, formados a cerca de 400.000 anos (Villwock, 1984).

Os sedimentos pertencentes à Planície Costeira constituem a porção emersa da Bacia de Pelotas, que acumulou mais de 5000 metros de espessura de sedimentos desde a abertura do Oceano Atlântico no Cretáceo (Villwock, 1984). São sedimentos clásticos terrígenos, proveniente da dissecação das terras altas que, sob ação dos processos costeiros, ventos, ondas, correntes e variações do nível do mar, acumularam-se numa ampla variedade de ambientes deposicionais transicionais e marinhos (Villwock & Tomazelli, 1995), principalmente durante o período Quaternário. A deposição desses sedimentos deu origem aos depósitos de leques aluviais e a quatro sistemas Laguna-barreiras, denominados de I, II, III e IV (Figura 2). Cada sistema registra um pico de transgressão, seguido de um evento regressivo, ao qual os ambientes de sedimentação

são responsáveis pelo estabelecimento de diferentes tipos de aquíferos. Estes sistemas foram estudados por Tomazelli (1990), Villwock & Tomazelli (1995), Tomazelli *et al.* (2000), Dillenburg *et al.* (2000), Dillenburg *et al.* (2004), Clerot (2004).

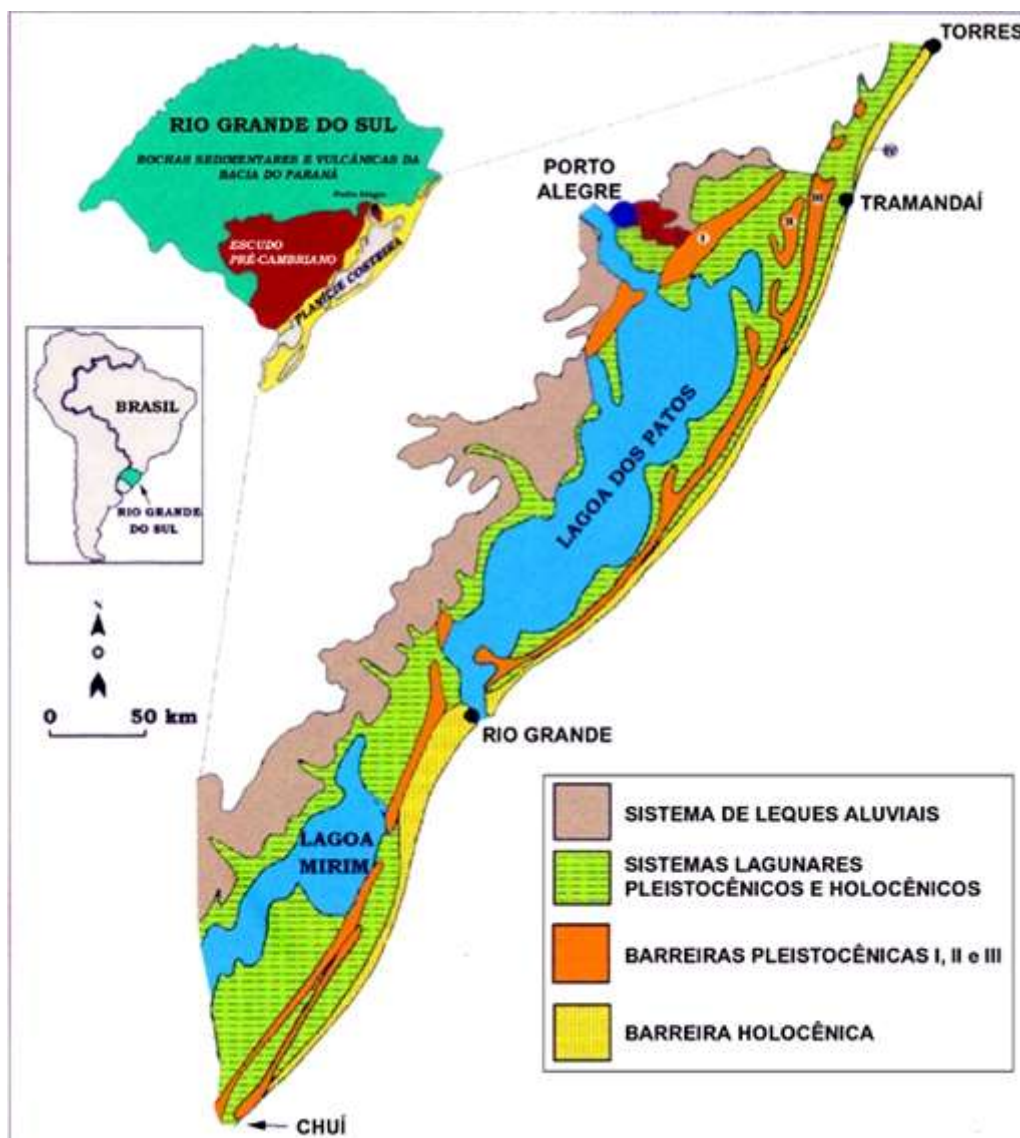


Figura 1: Sistemas deposicionais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (adaptado de Tomazelli & Villwock, 2002).

A área de estudo, de acordo com Villwock (1972), está inserida no sistema Laguna-Barreira III e IV.

O sistema Laguna-Barreira III é de idade pleistocênica, aproximadamente 120.000 anos, ao qual estende-se de Torres até o Chuí. Este sistema é formado por depósitos da Barreira III, caracterizado por sedimentos de praias arenosas e campo de dunas eólicas (Barreira III) e depósitos de sedimentos lagunares, lagos costeiros, pântanos, canais interlagunares e deltas intralagunares (Laguna III) (Villwock e Tomazelli (1995).

O sistema Laguna-Barreira IV se desenvolveu durante o Holoceno, cerca de 5 mil anos atrás, quando houve o pico máximo da transgressão Holocênica, como consequência ocorreu uma elevação do nível do mar de aproximadamente cinco metros do atual, o que permitiu a formação da barreira progradante composta por areias praias e eólicas. O desenvolvimento dessa barreira se deu devido a uma grande taxa de aporte sedimentar arenoso na plataforma continental (Tomazelli & Villwock, 2000).

Segundo Castro & Mello (2013) na região da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí os depósitos do Sistema Laguna Barreira III formam uma crista alongada de direção NNE-SSW com altitudes de até 25 metros. Os sedimentos praias dessa barreira consistem de areias finas, quartzosas, de coloração amarela clara, com estratificações cruzadas, planares e acanaladas. Os depósitos eólicos são representados por areias, de coloração avermelhada e estruturação maciça, podendo conter bioturbações por raízes. Os depósitos do Sistema Laguna Barreira IV estão associados a um conjunto de ambientes e subambientes (corpos aquosos costeiros, sistemas aluviais, deltaicos e paludais). Os principais depósitos de sedimentos são representados por areias quartzosas finas a muito finas, apresentando concentrações variáveis de minerais pesados.

Fracalossi et al. (2010) realizaram o estudo do registro da Barreira Pleistocênica (III) na região entre Osório e Tramandaí. Esses autores identificaram que os depósitos que formam essa barreira representam um padrão de empilhamento progradacional, típico de barreira regressiva, sendo identificados depósitos de argila e silte que ocorrem em maior profundidade (8 – 12 metros) e que representam uma deposição em ambiente marinho mais profundo. Acima dessas camadas, são encontradas mais duas camadas que representam depósitos de ambientes marinhos rasos e praia. Os sedimentos marinhos são caracterizados por areias finas que formam um pacote com espessuras de aproximadamente 3,5 metros. Os depósitos praias são caracterizados por areias finas esbranquiçadas, bem selecionadas, com estratificação acanalada e tabular.

Travessas et al. (2005) avaliaram a estratigrafia e a evolução da barreira holocênica no trecho entre Tramandaí e Cidreira e identificaram que na região de Tramandaí a barreira representa fases regressivas com depósitos lagunares, de leques de sobrelavagem, eólicos e praias, que ocorrem sobrepostos a depósitos pleistocênicos (Figura 3). Os depósitos que formam o substrato pleistocênico são arenosos, contendo lama subordinada e caracterizam ambientes litorâneos (shoreface). As areias são quartzosas finas, de coloração verde clara, com teores de 3 a 5% de glauconita e fragmentos bioturbados. Esses depósitos ocorrem em profundidades inferiores a 12 ou

16 metros, dependendo da região analisada. Os depósitos lagunares representam ambientes de margem e fundo lagunar. Os de margem são caracterizados por areias quartzosas finas, moderadamente selecionadas com coloração cinza, enquanto que os de fundo são caracterizados por lamas ricas em matéria orgânica, apresentando colorações entre o cinza e o preto e camadas centimétricas de areias intercaladas. Os depósitos de leques de sobrelavagem e de deltas de maré de enchente são representados, por areias quartzosas finas, de cor bege acinzentada a esverdeada, pouco selecionadas, com compactação moderada a alta e espessuras aproximadas de 4 metros. Podem ocorrer finas lâminas de minerais pesados mais próximos a base do pacote. Já os depósitos praias (estirâncio e face litorânea) são caracterizados por areias quartzosas finas, coloração bege esverdeada, compactação moderada a alta, contendo lâminas de minerais pesados. Por fim, os depósitos eólicos representam dunas frontais e campo de dunas parabólicas e barconóides, sendo caracterizados por areias quartzosas finas, bem selecionadas, de coloração bege a amarela e com baixo grau de compactação.

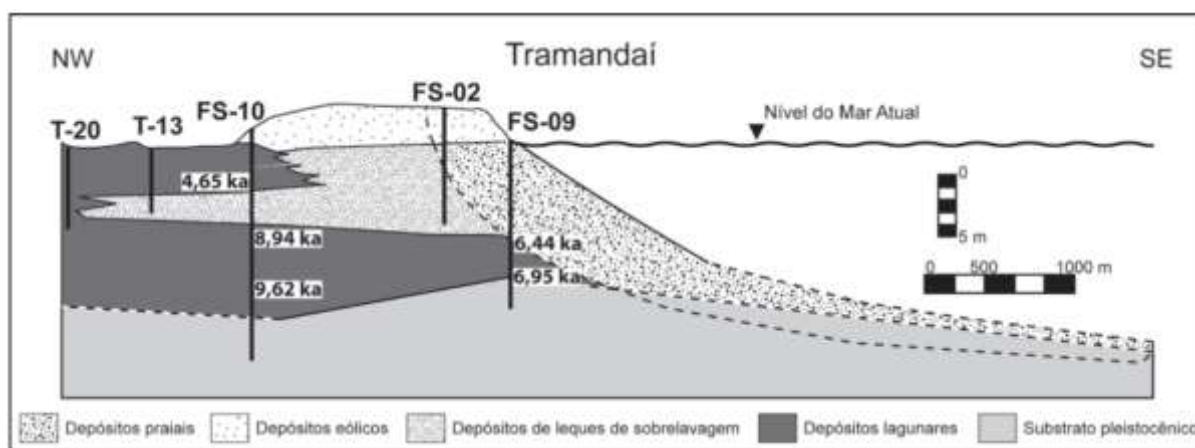


Figura 2: Estratigrafia da barreira holocênica na região de Tramandaí (Fonte: Travessas et. al. 2005).

Com base nos trabalhos desenvolvidos por Fracolossi et al. (2010) e Travessas et. al. (2005) fica claro que em profundidade há ocorrência de diferentes tipos de sedimentos, que apresentam granulometrias e estruturas diferenciadas e que representam diferentes ambientes de deposição.

3.2 Contexto Hidrogeológico

O Estado do Rio Grande do Sul, atualmente vem enfrentando problemas que envolvem os recursos hídricos, por causa das contaminações dos mananciais superficiais e devido às estiagens. Com isso, ocorreu uma intensificação no uso das águas subterrâneas, com a perfuração de poços para aumentar a oferta de água para a

população, mas a falta de conhecimento da hidrogeologia do estado pode causar problemas com a qualidade e quantidade dos recursos hídricos subterrâneos.

O primeiro pesquisador a ensaiar um esboço do modo de ocorrência das águas subterrâneas do Rio Grande do Sul foi Hausmann (1960). Este mesmo autor, em 1964 estabeleceu a sistematização das ocorrências dos aquíferos do Estado, definindo as províncias hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. Em 1995, Hausmann fez uma revisão e ampliação do seu trabalho de 1960, fundamentado no avanço dos conhecimentos geológicos do Rio Grande do Sul e no grande número de poços perfurados desde então.

Segundo Lisboa (2004) na região de estudo há ocorrência do Sistema Aquífero Cenozóico Planície Costeira que é formado por camadas de areias e arenitos fracamente cimentados, dispostos em multicamadas, que foram depositadas em diferentes ambientes de sedimentação. Esses aquíferos podem atingir boas extensões laterais e verticais, podendo ser livres, semi-confinados a confinados. Além disso, esse autor ressalta que esse sistema aquífero é o mais influenciado por variações laterais e verticais de fácies de sedimentos que representam diferentes ambientes de sedimentação.

A área de estudo está localizada, de acordo com o mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul e, segundo Machado e Freitas (2005), na área de ocorrência do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC) (Figura 4), que compreende os aquíferos que estão associados com os sedimentos da Planície Costeira, desde Santa Vitória do Palmar até Torres.

O SAQC pode ser dividido em SACQ1 e SAQC2, que se desenvolvem nas litologias arenosas ligadas aos eventos transgressivos e regressivos do mar, mais recentes, confinados por depósitos da planície lagunar, por vezes conchíferos e siltosos.

O SAQC1 é composto por uma sucessão de camadas arenosas inconsolidadas com granulometria fina a média, esbranquiçadas, intercaladas com camadas argilosas e siltico-arenosas. Possui capacidade específica, geralmente não ultrapassando a $4\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, e salinidades inferiores a $400\text{ mg}/\text{l}$, com ocorrência eventual de águas cloretadas com maior teor salino. O SAQC2 é caracterizado por uma sucessão de areias finas não consolidadas, esbranquiçadas e argila cinza, com capacidade específica que varia de baixas a médias, entre $0,5$ e $1,5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e sólidos totais dissolvidos entre 600 e $2000\text{mg}/\text{l}$ (Machado, 2005). O topo tem seus primeiros metros compactados e pelíticos, possui capacidade específica de baixa a média, entre $0,5$ e $1,5\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$.

Além do SAQC, na área do município há ocorrência do Sistema Aquífero Guarani, que está associado as rochas sedimentares da Formação Botucatu e o Sistema

Aquífero Serra Geral (SASG) que ocorre nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Soares, 2016).

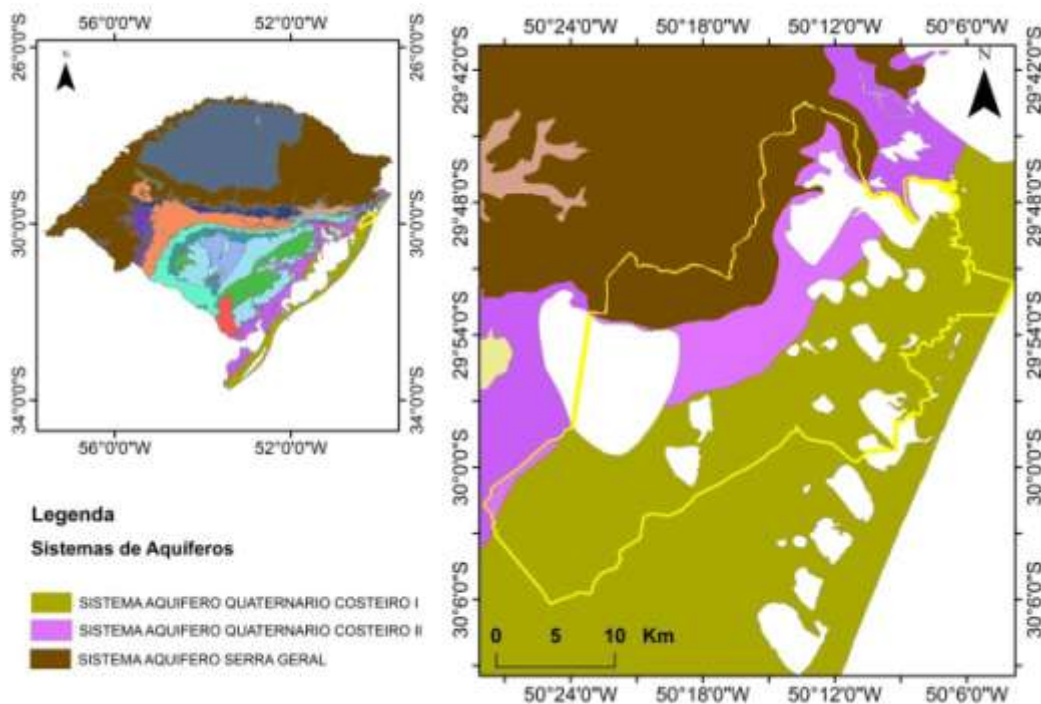


Figura 3: Mapa Hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul. (Fonte: adaptado de CPRM, 2005).

O Sistema do Aquífero Guarani, na região de Osório, ocorre associado aos arenitos médios e finos, com coloração rosada ou avermelhada, apresentam estratificação cruzada de grande a médio porte (Formação Botucatu). Esses arenitos são recobertos por rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, ocorrendo na porção continental da bacia, junto a escarpa da Serra Geral. Em função disso, esse aquífero pode ser classificado como um aquífero granular ou sedimentar do tipo confinado. O SASG é caracterizado por aquíferos fraturados que estão localizados nas fraturas que cortam as rochas vulcânicas básicas (basaltos). Em geral são aquíferos de pequena potencialidade, pois, o armazenamento e circulação de água estão condicionados a ocorrência de fraturas. Além disso, a pequena espessura do solo faz com que a maior parte da água flua de nascentes localizadas na escarpa (Soares, 2016).

Em um estudo realizado no litoral médio e sul da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Reginato et al, (2009), identificaram a existência de aquíferos granulares, associados a diferentes camadas de sedimentos arenosos intercalados com camadas siltico-argilosas e camadas orgânica de espessuras variáveis. Esses aquíferos também apresentaram de acordo com o estudo realizado, um comportamento livre, semi-confinado ou confinado. O aquífero livre está associado a uma camada arenosa

superficial, com nível estático localizado próximo a superfície, que torna a captação mais fácil. Em função dessas características hidrogeológicas, esse aquífero mais superficial apresenta uma maior vulnerabilidade para possíveis contaminações.

Um estudo realizado no litoral sul do estado segundo Nascimento (2013), o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro é caracterizado pela ocorrência de diferentes unidades hidroestratigráficas de idades holocênicas e pleistocênicas. A unidade aquífera Barreira Holocênica é caracterizada por três principais camadas, que juntas tem uma espessura em torno de 20 metros. As duas primeiras camadas possuem boas características como reservatórios de água, mas a terceira possui sedimentos argilosos de alto grau de compactação baixa porosidade e elevado teor salino, sendo considerada como um péssimo reservatório.

Para a região de Palmares do Sul, Pinhal e Cidreira, regiões próximas a Osório, foram realizados estudos hidrogeológicos do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro por Reginato e Michalski (2013). Esses autores identificaram a ocorrência de aquíferos granulares associados a camadas de sedimentos arenosos, caracterizados por areias muito finas, finas a médias que apresentam coloração amarelada, bege, castanha, marrom e cinza. Os aquíferos granulares livres estão localizados em camadas de areia fina a média, que se distribuem desde a superfície até a profundidade de 10 a 15 metros no máximo. Os aquíferos granulares confinados estão localizados em camadas de areia que ocorrem intercaladas por camadas de silte e argila de coloração acinzentada, camadas argilosas contendo matéria orgânica e camadas de matéria orgânica (sedimentos turfáceos)

Troian et al. (2004) identificaram que os aquíferos monitorados pelo Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), no litoral norte do Rio Grande do Sul, estão associados a camadas de sedimentos arenosos que ocorrem intercalados com camadas argilosas (Figura 5). Isso evidencia a ocorrência de aquíferos granulares livres e confinados na região.

3.3 Hidroquímica dos Aquíferos

A constituição hidroquímica da água subterrânea depende do tipo de ambiente geológico, das formas de ocupação, das características hidrogeológicas, do volume da água do aquífero, das reações químicas e biológicas que acontecem dentro do sistema de fluxo subterrâneo e das características climáticas como pluviometria, evaporação, evapotranspiração e variação da temperatura (Feitosa, 2000).

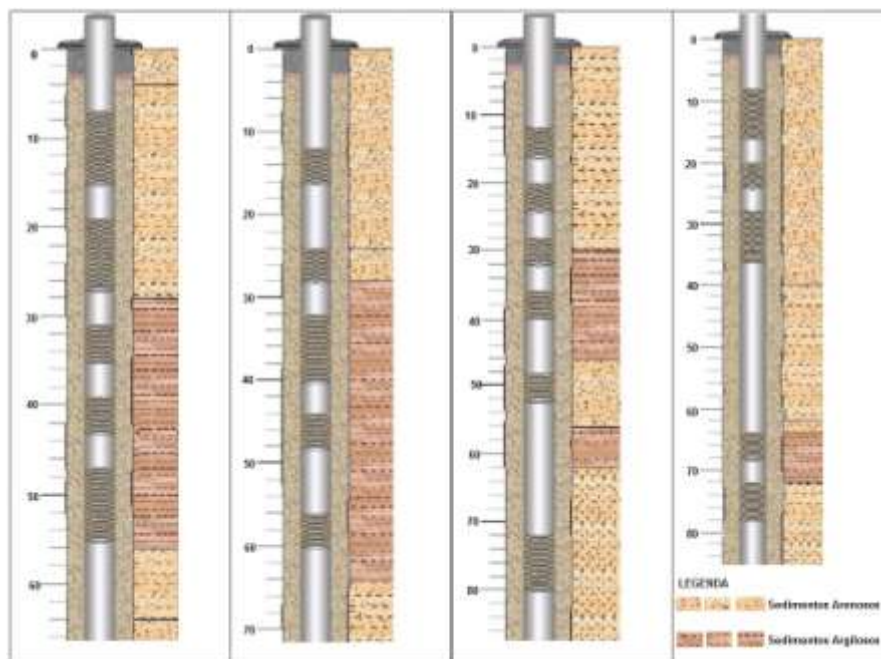


Figura 4: Perfis Litológicos de poços que fazem parte da rede RIMAS e que estão localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul (Fonte: Troian et al. 2004).

O estudo hidroquímico das águas subterrâneas possibilita promover a caracterização e classificação das águas subterrâneas, bem como a avaliação da potabilidade e da restrição para diferentes usos. A interpretação das análises químicas através de programas computacionais permite a geração de diferentes gráficos, que servem de base para a identificação dos diferentes tipos de águas subterrâneas.

De acordo com o mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul, os Sistemas Aquíferos presentes no município de estudo são o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I (SAQCI), Sistema Aquífero Quaternário Costeiro II (SAQC II) e Sistema Aquífero Serra Geral. Conforme Machado & Freitas (2005) as águas que circulam pelo SAQC I possuem ânions que variam entre bicarbonato e cloretos, sendo o sódio o cátion predominante. As águas variam de bicarbonatadas a cloretadas sódicas, e a salinidade é inferior a 400 mg/l. Eventualmente são encontradas águas cloretadas com maior teor salino. O SAQC II possui águas bicarbonatadas a cloretadas sódicas e sólidos totais dissolvidos que variam entre 600 e 2000 mg/l.

No SAQC I pode-se encontrar como mostra a figura 6, um percentual de 15% de amostras com águas salobras que excedem os limites da legislação vigente, além de apresentar teores excessivos de ferro, sendo consideradas águas impróprias para irrigação (Machado & Freitas, 2005).

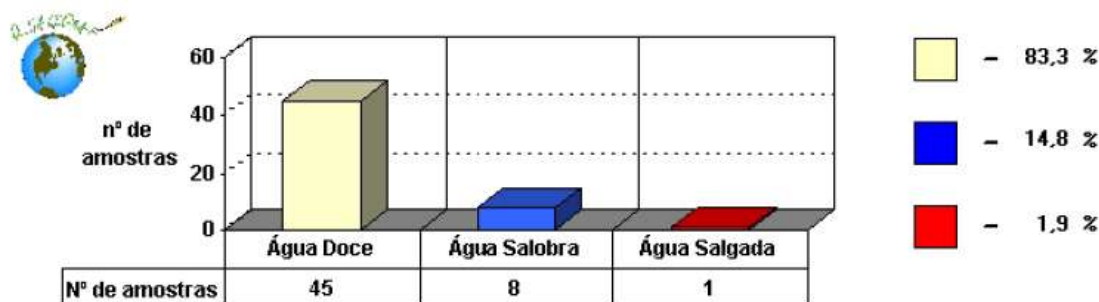


Figura 5: Salinidade do SAQC I (Retirado e modificado de Machado & Freitas, 2005).

Segundo Reginato et al (2009) as águas subterrâneas existentes nos diferentes aquíferos do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul são águas que apresentam qualidade variável. Numa classificação baseada na condutividade e sólidos totais dissolvidos (Figura 7) observa-se que a maioria das águas são classificadas como doces (88,2%) e uma pequena porcentagem corresponde a águas salobras.

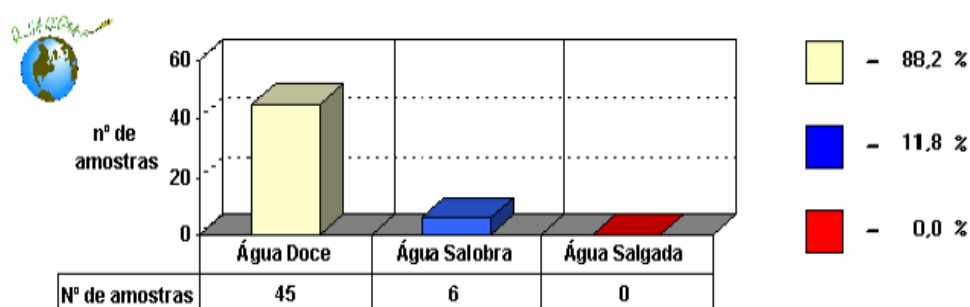


Figura 6: Classificação das águas subterrâneas do litoral médio e sul em doce, salobra e salgada (Fonte: Reginato et al,2009).

Além disso, Reginato et al (2009) utilizaram o diagrama de Piper para identificar os diferentes tipos de água subterrânea e fizeram uma avaliação do risco de salinização do solo quando do uso da água subterrânea para irrigação. Na análise do diagrama (Figura 8) é evidenciada a existência de três grupos de águas: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas e águas sulfatadas ou cloretadas sódicas. Esses autores também avaliaram o uso da água subterrânea para irrigação, sendo que os resultados indicam que há problemas de risco de salinização e de toxicidade por sódio. Na figura 9 observa-se que a maior parte das amostras demonstram risco de salinidade médio a alto, em função de valores elevados de condutividade, e risco de sódio médio, forte e muito forte. Dessa forma, a utilização de águas subterrâneas para irrigação deve ser feita com cautela, por causa das restrições apresentadas de acordo com o alto risco de teores de sódio e salinidade.

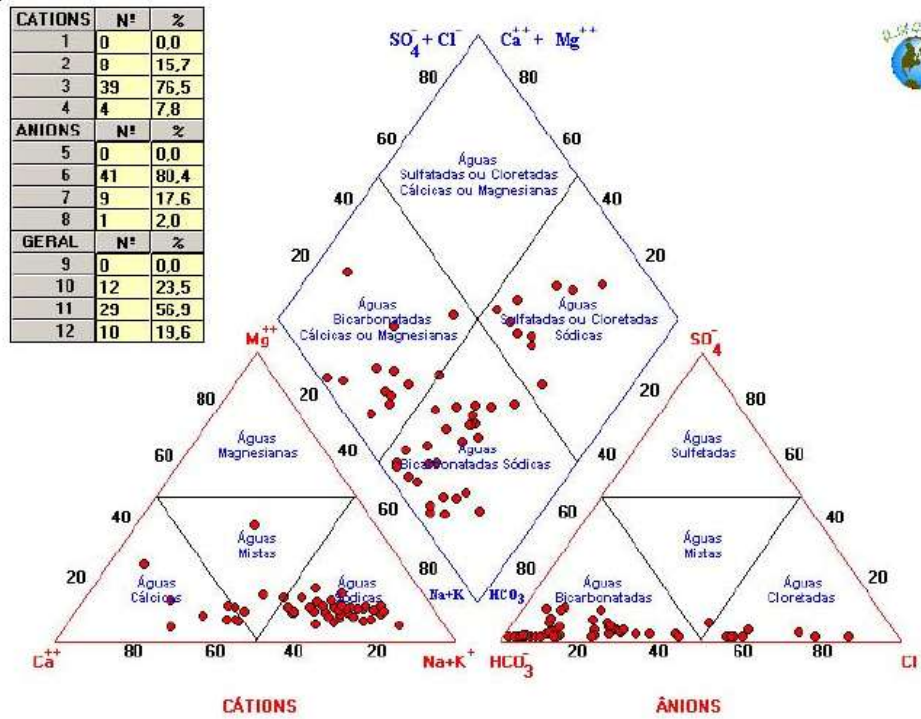


Figura 7: Diagrama Piper com a classificação das águas subterrâneas do litoral médio e sul do Rio Grande do Sul (Fonte: Reginato et al, 2009).

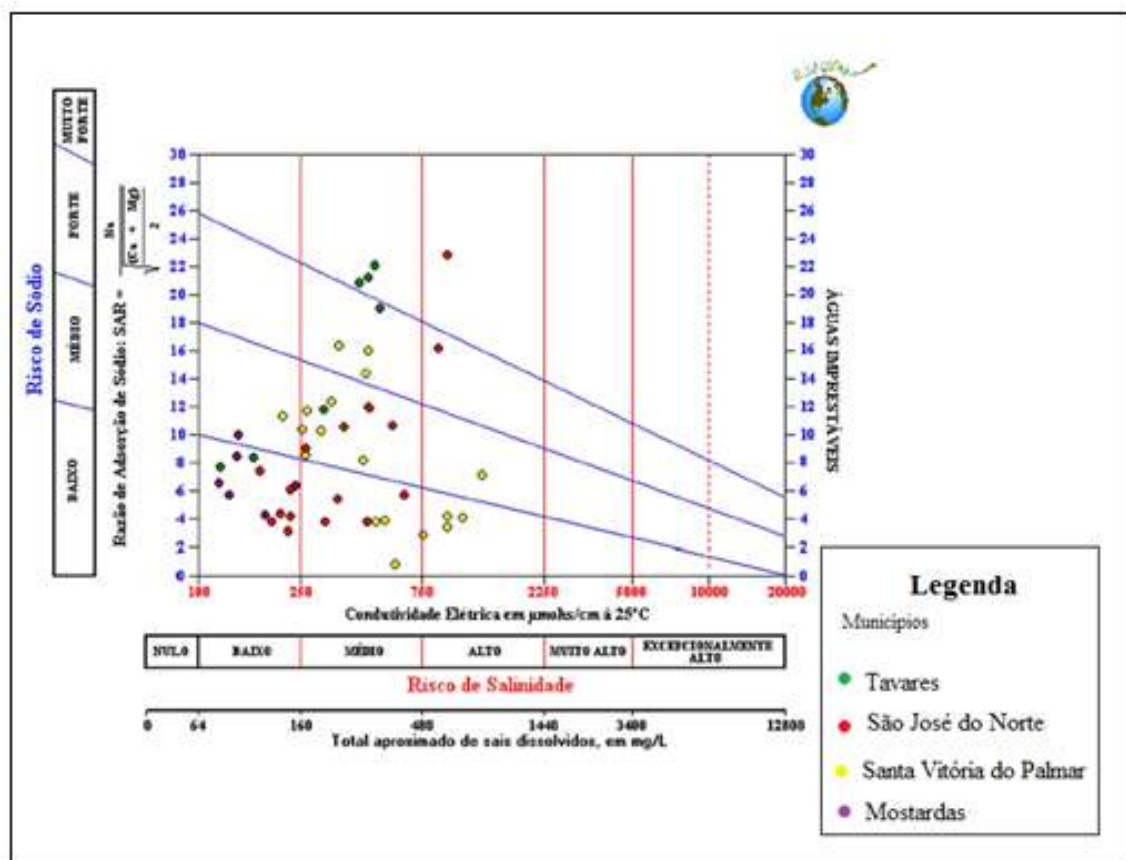


Figura 8: Gráfico USSL com a classificação das águas subterrâneas com relação ao risco de salinização (Fonte: Reginato et al, 2009).

Reginato & Michalski (2013) realizaram um estudo hidroquímico das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro na região abrangida pelos municípios de Balneário Pinhal, Cidreira e Palmares do Sul. Os resultados indicaram que as águas apresentam condutividades elétricas entre 25 e 1400 uS/cm; pH entre 6 e 9 e temperaturas variando entre 18 e 24°C. Além disso, foi identificada a ocorrência de três tipos de águas que são: bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas sódicas e sulfatadas ou cloretadas sódicas. A ocorrência dos diferentes tipos de águas e suas características físico-químicas estão relacionadas com a existência de diferentes unidades hidroestratigráficas e aquíferos (livres, confinados e semi-confinados), bem como com as diferentes formas de circulação da água entre as zonas de recarga e descarga. Os aquíferos granulares livres tendem a apresentar águas do tipo bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, pH entre 6 e 7 e condutividades baixas. Os aquíferos granulares confinados apresentam águas bicarbonatadas sódicas e sulfatadas ou cloretadas sódicas, pH entre 7 e 9 e condutividades elétricas mais elevadas. Reginato & Michalski (2013) também identificaram que os principais problemas de qualidade da água, que estão associados à origem natural, estão relacionados com a ocorrência de concentrações de ferro e fluoreto e alterações na cor e turbidez.

Troian et al. (2004) realizaram um estudo com o objetivo de monitorar a quantidade e a qualidade da água subterrânea dos aquíferos costeiros do litoral norte do Rio Grande do Sul. Segundo esses autores há ocorrência de quatro grupos de águas subterrâneas (Figura 10): águas sulfatadas ou cloretadas cálcicas ou magnesianas (cálcicas e mistas), sulfatadas ou cloretadas sódicas (predomínio de cloretadas), bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas (cálcicas mistas). Além disso, esses autores encontraram altas concentrações do elemento ferro, sendo que a maioria, acima dos limites de potabilidade estabelecidos por diferentes portarias.

Segundo Caicedo (1998) em um estudo realizado no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, as águas de aquíferos livres e confinados apresentam resultados variados para os diferentes parâmetros. Nesse trabalho, o autor Caicedo (1998) não discute os resultados, mas analisando os dados observa-se que há uma tendência de pH menor para as águas do aquífero livre, bem como maior, para as águas do aquífero confinado. Além disso, observa-se que há concentrações elevadas de ferro, cor, turbidez e presença de coliformes no aquífero livre, evidenciando que a água subterrânea da região pode apresentar problemas de qualidade.

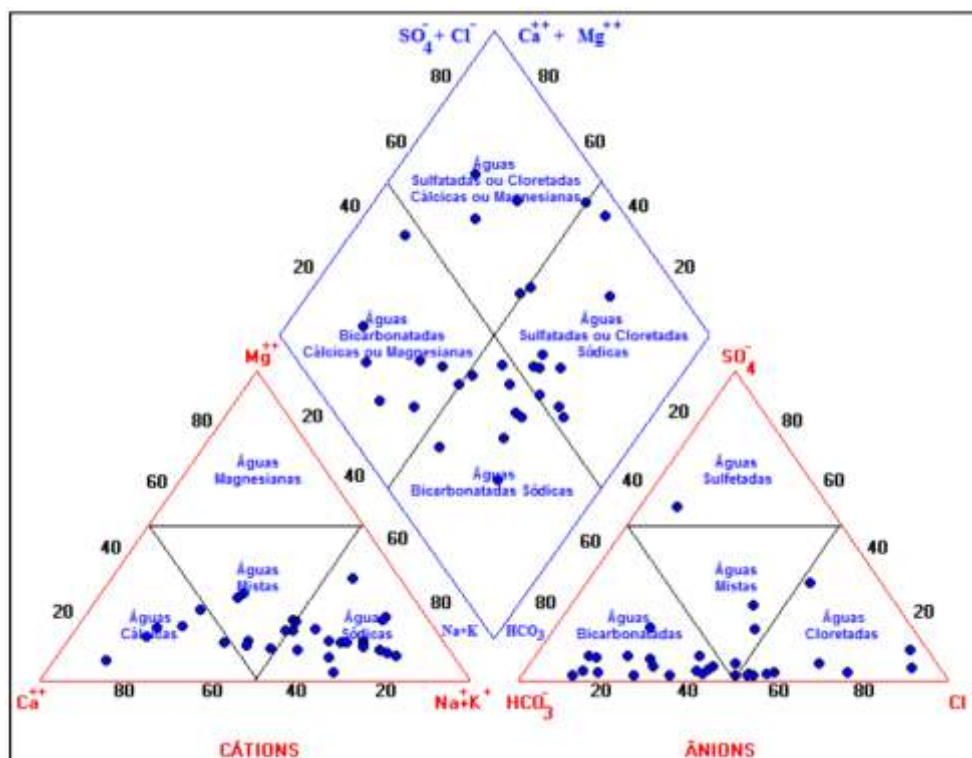


Figura 9: Diagrama de Piper com a classificação das amostras de água do aquífero costeiro do litoral norte do Estado do Rio Grande do Sul (Fonte: Troian et al. 2004).

Conforme um estudo recente realizado por Chert (2013) em poços da parte urbana do Município de Osório, as características físico-químicas e bacteriológicas das águas subterrâneas encontradas mostram variações, sendo que algumas águas foram classificadas como não potáveis. Segundo esse autor, os parâmetros cor aparente, turbidez, ferro e alcalinidade são os que mais se diferem na quantidade, com valores bem superiores nos depósitos lagunares III (Quadro 1). Outros elementos também se encontram fora do permissível para potabilidade, de acordo com a Portaria N° 518, do Ministério da Saúde, sendo os mesmos apresentados no Quadro 2 (ressaltados pelas cores vermelhas e em amarelo).

Quadro 1: Análises físico-química da água subterrânea.

Poços	Alcalinidade Mg/L (CaCO ₃)	Cor Aparente (Hazen)	Ferro (Mg/L Fe)	Turbidez (NTU)	LIII	BIII
P-01	11	<5	0,106	0,24		X
P-24	24,5	<5	0,3	1,27		X
P-52	2	<5	<0,001	0,03		X
P-53	2	Zero	<0,0005	0,218		X
P-54	141,5	20	0,974	25,93	X	

(Fonte: Chert, 2013).

Quadro 2: Análises físico-químicas com os parâmetros dos poços.

Poço Ponteira	1	24	52	53	54	VMP	Unidade
Alcalinidade	11	24,5	2	12,76	141,5		mg/L CaCO ₃
Total Alumínio	<0,01	<0,01	<0,01			0,2	mg/L Al
Bactérias Heterotróficas	160	61	390	39	200	500	UFC/mL
Cálcio	10,4	4	2,4	61,3	15,5		mg/L Ca
Chumbo	<0,001		<0,001			0,01	mg/L Pb
Cloretos	33	5,9	7,3	121,11	11,3	250	mg/L Cl ⁻
Cobre	<0,005		<0,001			2	mg/L Cu
Coliformes Termotolerantes	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	NMP/100mL
Coliformes Totais	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	NMP/100mL
Cor Aparente	<5	<5	<5	Zero	20	15	Hazen
Cromo Total	<0,024		<0,001			0,05	mg/L Cr
Dureza Total	52	22	116	45	67,1	500	mg/L CaCO ₃
Ferro Total	0,106	0,3	<0,001	<0,0005	0,974	0,3	mg/L Fe
Fluoretos	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	0,39	1,5	mg/L F ⁻
Magnésio	6,32	292	26,7	2,82	6,9		mg/L Mg
Mangânes	0,1	0,03	<0,01	0,084	0,076	0,1	mg/L Mn
Nitratos	16,1	<0,2	0,33	4,6	<0,20	10	mg/L N
Nitrogênio	16,2	0,07	0,58	<0,2	1,46		mg/L N
Total pH	5,9	5,8	6,68	6,22	6,7	6,0 à 9,5	N.A.
Residuo Seco à 105°C	180		52				mg/L
Sódio	122	8	4	1,45	26	200	mg/L Na
Solidos Totais	122	31		183	108	1000	mg/L
Dissolvidos Sulfatos	1,8	2,48	<1,0	18,49	10,7	250	mg/L SO ₄ ²⁻
Turbidez	0,24	1,27	0,03	0,218	25,93	5	NTU
Zinco	<0,024		<0,001			5	mg/L Zn

VMP: Valor Máximo Permitido

(Fonte: Chert, 2013).

Analisando os trabalhos realizados com os aquíferos localizados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, mesmo considerando que foram realizados em regiões distintas (litoral sul ou médio ou norte), os dados apresentados indicam a ocorrência de diferentes unidades aquíferas que apresentam diferentes características hidroquímicas e qualidade da água subterrânea.

3.4 Qualidade da Água Subterrânea

A qualidade da água subterrânea depende tanto das substâncias dissolvidas na água como das propriedades e características que estas substâncias dão à água. A disponibilidade dos recursos hídricos subterrâneos para os diferentes tipos de uso depende da qualidade físico-química, biológica e radiológica (Feitosa; Manoel Filho, 1997).

Os aquíferos contaminados são de difícil recuperação, de acordo com essa situação, prevenir a contaminação é algo importante. Desse modo, para os recursos hídricos, a preservação consiste em estabelecer eficientes programas de proteção dos aquíferos, controlar as atividades humanas, planejando e ordenando a ocupação e o uso do solo (Hirata et al, 1997).

Um dos principais objetivos para o controle de qualidade para o consumo humano é a redução de doenças veiculadas a água, assim como obter recursos de qualidade saudável, ou seja, a água livre de sólidos suspensos, materiais dissolvidos, cor, odor, gosto e bactérias de poluição fecal (Sargaonkar, 2003).

A avaliação da qualidade da água é realizada a partir de parâmetros físicos, químicos, biológicos e bacteriológicos, sendo que o critério de qualidade é definido pelos níveis aceitáveis de concentração dos parâmetros de qualidade específicos, que variam de acordo com o tipo de uso da água. Os limites adotados para a comparação dos resultados são os da Portaria do Ministério da Saúde N° 2914/11 (Brasil, 2011) e os teores preconizados na minuta da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para águas subterrâneas (Brasil, 2008), texto precursor da resolução CONAMA N° 396 de 03 de Abril de 2008.

Uma forma de avaliar a qualidade da água é através dos Índices de Qualidade da Água (IQA), que são uma ferramenta matemática utilizada para transformar vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade da água. O uso de um IQA é prático e é uma diretriz de condução, pois os programas de acompanhamento de qualidade da água, ao longo do tempo, geram um grande número de dados analíticos que precisam ser apresentados em um formato sintético, para que

representem e descrevam de forma compreensível e significativa o estado e as tendências da qualidade da água (Ferreira & Ide, 2001; Sánchez *et al.*, 2007).

Muitos índices foram desenvolvidos para exprimir a qualidade das águas superficiais, adequados aos diversos ambientes, o referencial mais utilizado é o WQI - Water Quality Index - proposto pela National Sanitation Foundation (NSF), em 1970 e adaptado no Brasil pela CETESB, utilizando também o método DELPHI, com a denominação Índice de Qualidade das Águas (IQA) (Porto *et al.*, 1991).

No entanto, são poucas as referências encontradas no que se refere aos indicadores de qualidade para as águas subterrâneas. A França possui um sistema de avaliação das águas subterrâneas, o SEQ-Eaux Souterraines, que propõe um índice baseado em dois conceitos: alteração da qualidade e uso do recurso. As alterações e os parâmetros recomendados pelo SEQ - Eaux Souterraines estão apresentados na Tabela 1 (Cadilhac & Albinet, 2003).

Tabela 1: Relação entre grupos de alteração de qualidade e parâmetros relacionados.

Alterações	Parâmetros Relacionados
Sabor e Odor	Sabor e Odor
Material Orgânico Oxidável	Carbono Orgânico Dissolvido
Partículas em Suspensão	Turbidez e Sólidos em Suspensão Totais
Ferro e Manganês	Ferro Total e Manganês Total
Coloração	Cor
Microorganismos	<i>Escherichia Coli</i> , Enterococos ou Estreptococos Fecais, Coliformes Totais
Mineralização e Salinidade	Condutividade Elétrica, Resíduos secos e pH Sulfato e Dureza TAC, Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Fluoreto, Índice de Saturação e RAS
Nitrato	Nitrato
Nitrogenados (fora Nitrato)	Amônia e Nitrito
Micropoluentes	Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro e Cádmio, Cianeto, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Níquel, Prata, Selênio, zinco
Pesticidas	Alaclor, Aldrin e Dieldrin, Atrazina, Bentozona, Clordano (isômeros) 2,4 D, DDT (isômeros), Endossulfan Endrin, Glifosato, Heptacloro e Heptacloro epóxido, Hexaclorobenzeno, Lindano (γ -BHC), Metalocloro, Metoxicloro, Molinato Pendimetalina, Pentaclorofenol, Permetrina, Propanil, Simazina, Trifluralina, Outros Pesticidas
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP)	Benzo[a]pireno e HAP
PCB	PCB
Micropoluentes Orgânicos	Acrilamida, Benzeno, Benzo[a]pireno, Cloreto de Vinila, 1,2 Dicloroetano, 1,1 Dicloroetano, Diclorometano, Estireno, Tetracloroeto de Carbono, Tetracloroetano, Triclorobenzenos, Tricloroetano
Corrosão	CO ₂ Dissolvido, OD, Salinidade, Condutividade, e pH Cloreto, Sulfatos, Ferro, Bactérias, Sulfitos, Eh (Potencial Óxido-Redução)
Formação de Incrustações	pH, Eh (Potencial Óxido-Redução), OD, Ferro Bactérias IS (Índice de Saturação)
Temperatura	Temperatura

(Fonte: Almeida & Oliveira 2008)

No Brasil, o IQNAS - Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea, desenvolvido por Oliveira et al. (2007), surgiu como uma das primeiras tentativas de formulação de um índice de qualidade para as águas subterrâneas. A fórmula matemática do IQNAS é o produto dos valores de qualidade (q_i), para cada variável, elevado ao peso atribuído a cada variável (w_i). Onde:

$$\text{IQNAS} = \text{Produto } (q_i^{w_i}) = q_1^{w_1} \times q_2^{w_2} \times q_3^{w_3} \times \dots \times q_n^{w_n}.$$

Entretanto, o IQNAS, embora útil, também apresenta a mesma limitação verificada no WQI/NSF para avaliação das águas superficiais, pois o índice não incorpora a presença de elementos tóxicos.

Os parâmetros químicos utilizados no IQNAS para avaliar a qualidade natural das águas subterrâneas são: cloreto, sólidos totais, dureza, fluoreto, nitrato e pH.

Porém, no âmbito nacional, existem lacunas quanto ao estabelecimento de índices de qualidade dos mananciais subterrâneos, sobretudo para aqueles localizados em áreas com atividades humanas poluidoras.

Outro trabalho foi realizado por Santos (2009) que teve como objetivo o desenvolvimento de um Índice de Qualidade de Água Subterrânea para consumo humano (IQASCH) para ser aplicado em áreas de aquíferos cristalinos em locais de uso agrícola, utilizando como área inicial a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD) Noroeste do RJ.

O cálculo do IQASCH ocorreu em duas etapas, primeiro, foram considerados parâmetros que naturalmente são observados e que não oferecem riscos à saúde humana e aos animais domésticos, sendo considerados como não tóxicos (Condutividade elétrica, Dureza, pH, Turbidez, Nitrato, Coliformes Termotolerantes, Ferro e Manganês). Na segunda etapa foram considerados parâmetros tóxicos (Arsênio, Bário, Fluoreto, Pesticidas individuais e somatórios), cuja presença pode comprometer a saúde humana e aos animais domésticos. Porém para a Aplicação deste IQASCH em regiões com outros tipos de aquíferos e outros tipos de usos do solo, há necessidade de elaboração de um IQASCH mais específico.

Segundo Almeida & Oliveira (2008) a formulação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) foi baseado na revisão de índices já existentes para a avaliação da qualidade da água subterrânea, como o IQNAS e o SEQ - Sistema de avaliação da qualidade da água desenvolvido na França, sendo modificado para a inclusão de outros parâmetros químicos e bacteriológicos. A escolha dos parâmetros e

de seus pesos foi realizada por meio da Metodologia Delphi. Foram selecionados oito grupos de alterações: Partículas em Suspensão, Ferro e Manganês, Microorganismos, Mineralização e Salinidade, Nitratos, Nitrogenados (excluindo-se nitrato), Micropoluentes Minerais e os Micropoluentes Orgânicos.

As curvas de qualidade foram elaboradas com base na resolução do CONAMA para águas subterrâneas, precursora da Resolução CONAMA nº396/08 (BRASIL, 2008); além da Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04 (BRASIL, 2004) e da Diretriz para a Qualidade da Água para Consumo Humano (WHO, 2006b).

A equação do IQUAS é a seguinte:

$$IQUAS = I_{BIO}^{0,19} * I_{FEMN}^{0,06} * I_{MS}^{0,19} * I_{PS}^{0,06} * I_{NIT}^{0,19} * I_{AMO}^{0,06} * I_{MIN}^{0,06} * I_{ORG}^{0,19}$$

(Fonte: Almeida & Oliveira 2008)

Onde:

I_{BIO} = Índice de Microorganismos;

I_{FEMN} = Índice de Ferro e Manganês;

I_{MS} = Índice de Mineralização e salinidade;

I_{PS} = Índice de Partículas em Suspensão;

I_{NIT} = Índice de Nitrato;

I_{AMO} = Índice de Nitrogenados;

I_{MIN} = Índice de Micropoluentes Minerais;

I_{ORG} = Índice de Micropoluentes Orgânicos.

A partir do cálculo das equações dos parâmetros o IQUAS resulta em um número adimensional na faixa de 0 a 100 que descreve as cinco classes de qualidade das águas subterrâneas (Figura 11).

80 - 100 = Ótima	
52 - 79 = Boa	
37 - 51 = Regular	
20 - 36 = Ruim	
0 - 19 = Péssima.	

Figura 10: Faixas de classes de qualidade para a água subterrânea (0 a 100) para o índice de qualidade da água subterrânea-IQUAS.

(Fonte: Almeida & Oliveira 2008).

Para validar o IQUAS a equação foi aplicada a uma amostra (Poço IV - Espaço Alfa – Camaçari - RMS) para a qual foram realizadas simulações. A amostra no seu estado natural apresentou um IQUAS igual a 89, sendo um poço de qualidade ótima. Nas simulações realizadas, a qualidade oscila entre 0 e 89 (Tabela 4) (Almeida & Oliveira, 2008).

Tabela 2: Amostras Simuladas (Cálculo do IQUAS).

Pontos		Subíndices								IQUAS
Nome Categoria	Amostra	IBIO	IFEMN	IMS	IPS	INIT	IAMO	IMIN	IORG	
Poço Espaço Alfa - Poço IV	35435/06	100	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	89
Simula - Amônia		100	85,1	79,6	60,2	99,1	48,3	66,2	100,0	86
Simula - CTE		0	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	0
Simula - Cloreto		100	85,1	63,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	85
Simula - Dureza		100	85,1	61,8	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	85
Simula - Ferro		100	72,0	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	88
Simula - Fluoreto		100	85,1	78,3	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	89
Simula - Mercúrio		100	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	88
Simula - Manganês		100	48,4	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	86
Simula - Nitrato		100	85,1	79,6	60,2	47,2	86,8	66,2	100,0	77
Simula - pH		100	85,1	77,4	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	89
Simula - Sulfato		100	85,1	62,5	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	85
Simula - Turbidez		100	85,1	79,6	37,3	99,1	86,8	41,0	100,0	86
Simula - Benzeno		100	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	4,4	49

(Fonte: Almeida & Oliveira 2008)

Em 2017 Almeida & Oliveira (2008), publicaram uma nova versão para o cálculo dos índices de qualidade, o Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (e-IQUAS), que é flexível na seleção de parâmetros, pode ser aplicado para múltiplos usos da água, utiliza padrões de qualidade recomendados mundialmente e pode ser programado para cálculo em qualquer linguagem de programação e em qualquer plataforma computacional, destinado para uso público, onde pode ser livremente utilizado pela comunidade. O e-IQUAS foi formulado agregando-se os parâmetros de qualidade das águas subterrâneas que produzem efeitos similares, por “Grupo de Alteração” (ou seja, por tipo de intemperismo associado à presença do parâmetro).

O método de operador mínimo é usado para calcular a nota de cada grupo de alteração, gerando um subíndice, enquanto o índice final (e-IQUAS) é definido como a menor nota entre todos os subíndices (Almeida & Oliveira, 2017).

Existe também outro método que é utilizado como ferramenta hidroquímica para classificação de bacias que é denominado como Índice Relativo de Risco (IRR), que

tem como base a detecção de multielementos dissolvidos na água e suas características tóxicas e/ou carcinogênicas. O uso de análises multielementares, mostra-se uma ferramenta com bons resultados e um excelente custo-benefício. O cálculo do IRR é realizado pela divisão entre a concentração de parâmetros (cátions e ânions) na amostra e seus respectivos VMP's. Ao final os quocientes (Q) de cada parâmetro são somados, resultando no índice da bacia como ilustra a Figura 12 (Athayde et al, 2014).



Figura 11 Fluxograma do cálculo do IRR (Índice Relativo de Risco) para ingestão de água superficial in natura, aplicado para bacias hidrográficas que não apresentem risco, quando comparadas com os VMP's.

VMP= Valor Máximo Permitido; IR= Índice de Risco; A, B, C= representam 3 dos 27 parâmetros avaliados; Q=Quociente.(Fonte: Athayde et al, 2014).

Os valores dos IRR's foram tratados estatisticamente por meio de percentis, 25% e 75%, ou seja, primeiro quartil (Q1) e terceiro quartil (Q3), com o objetivo de demonstrar e ressaltar as bacias hidrográficas com maiores e menores riscos relativos, ocasionados pelos multielementos dissolvidos, que em grandes concentrações podem causar indesejados efeitos a saúde, por sua toxicidade (Athayde et al, 2014).

Segundo Athayde et al, (2014), esse estudo não contempla análises biológicas e também não analisa todos os parâmetros necessários para a distribuição de água potável estabelecidos em decretos e portarias, e a aplicação depende da definição prévia de concentrações máximas toleráveis e permitidas pela lei. Também se faz necessário ter o conhecimento das técnicas de coleta, armazenamento e laboratório que analise os multielementos. Sendo assim esse método permite hierarquizar as bacias mediante a sua qualidade, podendo ser utilizado como ferramenta de gestão dos recursos hídricos, para reduzir os custos de tratamento para a distribuição.

Outro método muito utilizado é a Avaliação do Risco à Saúde Humana (USEPA, 1989). Para isso, é necessário que sejam desenvolvidas atividades para quantificar os riscos, como coleta e análise dos dados para determinar as concentrações de possíveis

contaminantes no meio de interesse, avaliação da toxicidade, da exposição e caracterização do risco.

Para estimativa de risco de desenvolvimento de efeitos carcinogênicos à saúde humana são utilizados os fatores de inclinação (“Slope Factor” ou Fator Potencial Carcinogênico), para estimar o risco, que são definidos como o limite superior de probabilidade de uma resposta, isto é, câncer, por unidade de consumo de uma substância química, ao longo da vida.

O potencial não carcinogênico de efeitos à saúde, a partir da exposição oral é avaliado pela comparação dos níveis diários de ingestão estimados com doses de referência (RfDs).

Para a avaliação da exposição, devem ser identificadas as populações que podem estar expostas, considerando a proximidade e a facilidade de entrar em contato com a possível fonte de contaminação. A exposição aos contaminantes pode ocorrer por três diferentes rotas: ingestão, contato dérmico e inalação.

Para a caracterização do risco, é escolhido um cenário, como mostra a tabela 3, depois é calculada a dose de Ingresso (IR) para o cenário de exposição escolhido conforme a equação abaixo.

Tabela 3: Parâmetros de exposição sugeridos para ingestão de água contaminada.

Residencial		
Parâmetro	Adulto	Criança
IR (L/dia)	2	1
EF (dia/ano)	350	350
ED (ano)	30	6
BW (kg)	70	15
ATn (dias)	10950	2190
ATc (dias)	26280	26280

$$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT} \quad \text{Equação}$$

Onde:

I = Ingresso por ingestão de água contaminada (mg/kg.dia)

C = Concentração do composto químico na água (mg/L)

IR = Taxa de ingestão de água (L/dia)

EF = Frequência da exposição (dias/ano)

ED = Duração média da exposição (ano)

BW = Peso corpóreo médio do indivíduo durante a exposição (kg)

AT = Período de exposição médio durante a exposição (dias)

Depois deve ser realizada a caracterização do risco, combinar as estimativas de exposição e a toxicidade numa expressão integrada de risco à saúde humana.

Inicialmente, a quantificação do risco deve ser realizada individualmente para efeitos carcinogênicos e não carcinogênicos, considerando cada contaminante e cada caminho de exposição.

O risco carcinogênico é utilizado para estimar o incremento da probabilidade de ocorrência de câncer ao longo do tempo de vida, para dadas concentrações químicas e é estimado pela multiplicação da ingestão crônica diária de uma vida inteira de exposição por um fator de inclinação atribuído por bancos de dados toxicológicos, a cada substância química carcinogênica de interesse. Efeitos carcinogênicos são, então, somados para todas as substâncias químicas presentes nas vias de exposição. Esse somatório de riscos carcinogênicos assume que todas as substâncias produzem o mesmo efeito. A equação linear para quantificação do risco carcinogênico é apresentada abaixo

$$\text{Risco} = I_n \times SF \quad \text{Equação}$$

Onde:

I_n = Dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg.dia)
 SF = “Slope Factor” ou Fator Potencial Carcinogênico (mg/kg.dia)

Os efeitos não carcinogênicos são avaliados pelo cálculo do quociente de perigo não carcinogênico (HQ) que é obtido por meio da comparação de um nível de exposição por período de tempo (dose de ingresso) com uma RfD para um período de exposição similar, conforme apresentado na equação abaixo

$$HQ = \frac{I_n}{RfD_i} \quad \text{Equação}$$

Onde:

I_n = Dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg.dia)
 RfD_i = Dose de referência para via de ingresso “i” (mg/kg.dia)

Ao contrário das estimativas de risco carcinogênico, o HQ não é expresso como probabilidade. Valores de HQ menores do que 1 indicam que as exposições provavelmente não estão associadas a efeitos não carcinogênicos adversos. À medida que o HQ vai aumentando (valores maiores que 1), a probabilidade de efeitos adversos aumenta até o ponto onde devem ser tomadas ações para redução da exposição humana. Devido às incertezas que envolvem essas estimativas, valores entre 1 e 10 são de preocupação, particularmente quando fatores de risco significantes estão presentes. No entanto, devido ao fato de que os RfDs não possuem igual precisão e não são baseados no mesmo efeito, a avaliação dos índices de perigo devem levar em conta as incertezas associadas com os RfDs.

O índice de perigo (HI) é definido pelo somatório de dois ou mais HQs para múltiplas substâncias químicas e rotas de exposição, como é apresentado na equação:

$$HI = \sum \frac{I_n}{RfD_i} \quad \text{Equação}$$

Onde:

I_n = Dose de ingresso para o cenário de exposição "n" (mg/kg.dia)

RfD_i = Dose de referência para via de ingresso "i" (mg/kg.dia)

Com base no exposto observa-se a avaliação da qualidade da água subterrânea pode ser realizada através da aplicação de diferentes índices e métodos, sendo que para cada um, são utilizados parâmetros, sendo alguns comuns e outros diferentes.

4 - Área de estudo

O município de Osório está localizado no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, (Figura 1), Latitude $-29^{\circ} 89' 12''$ e Longitude $-50^{\circ} 27' 10''$, com uma área de 663.552 Km^2 , 20 metros acima do nível do mar, distante aproximadamente 100 Km da capital Porto Alegre (IBGE, 2013).

De acordo com o censo de 2010 a população do município é de 40.906 habitantes, dividida em 37.917 na zona urbana e 2.989 pessoas na zona rural. Osório possui cinco distritos: Santa Luzia, Atlântida Sul, Aguapés, Passinhos e Borússia, limita-se ao Norte com Maquiné e Caraá, ao Sul com Tramandaí, Cidreira e Capivari do Sul, a Leste com Xangrilá e Imbé e a Oeste com Santo Antônio da Patrulha.

A Região de Osório é caracterizada por uma sequência de ambientes localizados entre a escarpa da Serra Geral e a linha da costa, sendo que na planície há ocorrência de uma grande quantidade de lagoas, com a presença de uma floresta ombrófila densa e a planície sedimentar costeira.

O município integra o subsistema norte, sendo privilegiado do ponto de vista hídrico, com 23 lagoas, dentre as principais citam-se Marcelino, Peixoto, Lessa, Palmital, Pinguela, Caconde, Horácio, Traíra, Caieira, Malvas, Passo, Pombas, Inácio, Biguá, Emboaba, parte da lagoa dos Barros, Armazém, Caetano e dos Índios.(fonte)

A maior parte do município esta inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí e uma pequena área na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (localidade da Invernada, onde há a nascente do Rio Caraá – Bacia do Sinos).

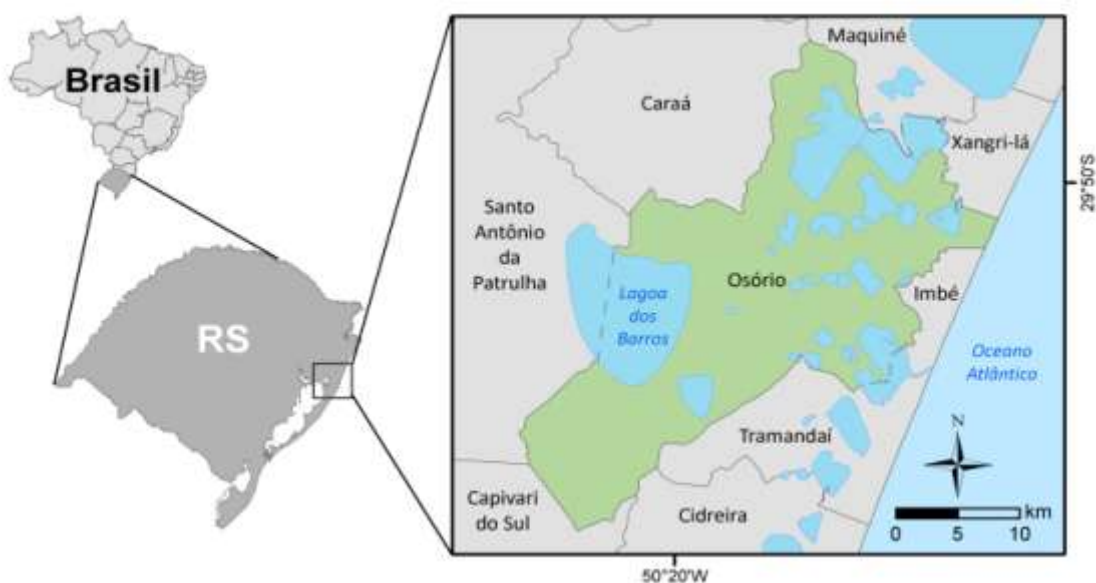


Figura 12: Localização da Área de estudo (Mapa produzido pelo Projeto Lacos 3).

5 – Materiais e Métodos

A metodologia utilizada no desenvolvimento desse estudo envolveu a realização de diferentes etapas, relacionadas com: levantamento de dados hidrogeológicos e pontos de captação; caracterização geológica, hidrogeológica e hidroquímica; avaliação da qualidade da água.

5.1 Levantamento de Dados Hidrogeológicos e de Pontos de Captação

Inicialmente foram obtidos dados geológicos e hidrogeológicos para a região da Planície Costeira que foram publicados em diferentes meios (revistas, anais de congresso, dissertações, teses, trabalhos de conclusão de cursos de graduação, relatórios técnicos, atlas ambientais, entre outros).

O inventário e cadastramento de pontos de captação, existentes na área de estudo, foi realizado através da consulta a diferentes bancos de dados pertencentes ao Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), a Companhia de Saneamento do Estado do Rio Grande do Sul (CORSAN), a Vigilância Sanitária e Secretaria de Agricultura da Prefeitura Municipal de Osório, bem como a empresas de perfuração (Hidrogeo). Com esse levantamento inicial foram obtidos diferentes tipos de informações como: localização, coordenadas UTM e geográficas, tipo de captação, uso da água, características construtivas, dados geológicos e hidrogeológicos, relatórios de análises físico-químicas de água e vazão dos poços.

Posteriormente, foram realizados também levantamentos de campo para cadastrar novos pontos de captação. Ao todo, foram realizadas três campanhas de levantamento, que permitiram a identificação de novos pontos de captação e a checagem e complementação dos dados de poços obtidos com os levantamentos anteriores.

5.2 Caracterização Geológica e Hidrogeológica

Essa caracterização foi realizada através da interpretação de dados geológicos e hidrogeológicos de poços tubulares existentes no município de Osório, obtidos na etapa de levantamento de dados. Com base nesses dados foi feita uma avaliação dos recursos hídricos subterrâneos existentes no município de Osório, identificando os tipos de aquífero, formas de captação, usos da água e situação dos poços. Além disso, foi realizada uma descrição do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro. Para isso foram selecionados perfis geológicos de poços que foram utilizados para avaliar a ocorrência de diferentes tipos de camadas de sedimentos e litologias, bem como os aquíferos que

estavam sendo captados pelos poços. Os perfis também serviram para avaliar as características geológicas das camadas aquíferas (granulometria e espessura).

5.3 Caracterização Hidroquímica

Para essa etapa foram utilizados dados existentes (relatórios de análises físico-químicas obtidos de poços da CORSAN e da empresa Hidrogeo), bem como dados obtidos através da análise de amostras coletadas em campo.

Na etapa de levantamento de campo foram realizadas medições dos parâmetros pH e condutividade elétrica em todas as campanhas, com o emprego de sonda multiparâmetros EUTECH (modelo PCTestr 35), bem como com a coleta inicial de amostras que foram analisadas em laboratórios do IPH/UFRGS com o emprego de uma sonda multiparâmetros EUREKA (modelo MANTA 2). Com a sonda EUREKA foram analisados os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, cloreto, sódio, nitrato, amônia e turbidez. Deve-se ressaltar que numa das campanhas de campo, a análise com a sonda EUREKA foi realizada diretamente no campo após coleta das amostras de água.

A coleta das amostras de água que foram analisadas através do emprego das duas sondas foi realizada da seguinte forma:

- a coleta foi feita preferencialmente na saída da boca do poço ou após a bomba;
- poços parados tiveram as bombas acionadas, sendo a coleta realizada após 10 minutos de bombeamento;
- a água foi armazenada em frasco de PVC, acondicionada em caixa de isopor e refrigerada através da colocação de gelo (amostras enviadas e analisadas no laboratório do IPH/UFRGS).
- a água foi colocada em copo Béquer para análise de pH e condutividade, quando as medidas foram feitas no campo;

Numa segunda etapa, tendo como base o banco de dados que continha as informações dos poços identificados no município de Osório e os resultados das análises físico-químicas realizadas com as sondas multiparâmetros, foram selecionados 12 poços ponteira e 3 poços cacimba. Os critérios adotados para seleção dos poços foram: uso para abastecimento doméstico ou coletivo (escolas), poços rasos (ponteira preferencialmente), poços que continham informação sobre profundidade, localização em diferentes áreas do município, evidências de problemas de contaminação ou localizados próximos a fontes de contaminação (cemitérios, aterros, etc). A coleta de amostras de água desses poços seguiu o mesmo procedimento adotado para as sondas, sendo que novamente, foi realizada a medição de pH e condutividade elétrica no campo.

As amostras coletadas foram acondicionadas em frascos de PVC e vidro, bem como frascos esterelizados, fornecidos pelo Laboratório de Análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS. Nesse laboratório foram analisados os seguintes parâmetros: Alcalinidade, Cloretos, Cor, Alumínio (Al), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Cálcio (Ca), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Dureza, Ferro (Fe), Fluoreto, Lítio (Li), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Nitrato, Ortofosfato, Potássio (K), Prata (Ag), Sódio (Na), Sólidos Dissolvidos, Sulfato, Zinco (Zn), Turbidez, Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

As tabelas 4, 5 e 6 mostram os métodos utilizados pelo laboratório de análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS.

Tabela 4: Metodologias analíticas utilizadas nas amostras de água pelo laboratório de análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS..

Parâmetros	Metodologia	Referência	Limite de detecção (LD)
Alcalinidade	Volumetria de neutralização	NBR 13736/1996	1,00
Cloretos	Volumetria de precipitação	NBR13797/1997	1,00
Cor	Espectrofotometria de comprimento de onda simples	Standard Methods 21 ST	Zero
Dureza	Complexometria EDTA	NBR12621/1992	2,00
Fluoreto	Eletrodo de Íon seletivo	Standard Methods 21 ST	0,10
Ortofosfato	Absorciometria com redução do ácido ascórbico	Standard Methods 21 ST	0,010
Nitrato	Espectrofotometria UV	Standard Methods 21 ST	0,200
Sólidos Totais Dissolvidos	Gravimetria – secagem à 180°C	Standard Methods 21 ST	10
Sulfato	Turbidimetria	Standard Methods 21 ST	1,00
Turbidez	Nefelometria	NBR11265/1990	1,00

Tabela 5: Metodologias utilizadas nas amostras de água pelo laboratório de análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS.

Metais	Metodologia	Referência
Cálcio, Cobalto, Ferro, Lítio, Magnésio, Manganês, Prata, Zinco.	EAA/Chama Ar – Acetileno	Standard Methods 21 ST
Alumínio, Bário.	EAA/Chama Óxido Nitroso- Acetileno	Standard Methods 21 ST
Potássio, Sódio.	EAA/Chama Ar – Acetileno	Standard Methods 21 ST
Mercúrio	EAA/Geração de Hídretos	Standard Methods 21 ST
Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Níquel.	EAA/Eletrotérmica	Standard Methods 21 ST

EAA - Espectrometria de Absorção Atômica EEA – Espectrometria de Emissão Atômica

Tabela 6: Metodologia utilizada nas amostras de água pelo laboratório de análises Físico-Químicas do Centro de Ecologia da UFRGS.

Parâmetro	Metodologia	Referência	Limite de Detecção (LD)
<i>E.coli</i>	Substrato Enzimático	Standard Methods 21 ST	<1 NMP/100mL
Coliformes Totais	Substrato Enzimático	Standard Methods 21 ST	<1 NMP/100mL

Para a caracterização hidroquímica foi utilizado o programa Qualigraf (Mobus, 2002) para a elaboração do diagrama de Piper e Stiff, sendo que esses diagramas foram utilizados na identificação dos principais tipos hidroquímicos de água subterrânea existentes. Além disso, foram gerados gráficos com uso do programa Excel para avaliar a distribuição de outros parâmetros como por exemplo, cloretos, nitrato e amônia.

Por fim, foi realizada uma avaliação entre os diferentes tipos de água identificados nos diagramas e suas características hidroquímicas com os aquíferos que são captados pelos poços ponteira. Para isso foram utilizados os dados obtidos na caracterização geológica e hidrogeológica e a profundidade dos poços ponteiras.

5.4 Avaliação da Qualidade de Água para Consumo In Natura

A avaliação da qualidade foi realizada através de três diferentes formas: comparação de resultados com os valores máximos permitidos (VMP's) das portarias de potabilidade, aplicação de índices de avaliação da qualidade da água subterrânea e avaliação de risco a saúde humana.

A primeira avaliação foi realizada através da comparação dos resultados dos diferentes parâmetros, obtidos com as análises feitas em campo e nas amostras coletadas, com os valores dos VMP's disponibilizados na Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde (Brasil, 2011).

Para essa comparação foram gerados gráficos em Excel com o objetivo de facilitar a interpretação dos dados. Com isso foi possível identificar quais poços apresentam problemas de qualidade e quais parâmetros estão associados. A análise dos parâmetros que estão acima dos VMP's e sua relação com a situação e localização do poço permitiram avaliar se esses parâmetros indicam uma origem natural (por exemplo, ferro ou manganês) ou origem antrópica (por exemplo, nitrato).

O ferro que pode aparecer em águas subterrâneas devido a dissolução de minerais que contém ferro, pelo gás carbônico da água, sendo que o carbonato ferroso (FeCO_3) é muito solúvel e frequentemente encontrado em poços, elevando os níveis de ferro. O manganês possui um comportamento parecido com o do ferro, sendo que ele pode fornecer uma coloração negra na água podendo aparecer nos estados de oxidação Mn^{2+} (forma mais solúvel) e Mn^{+4} (forma menos solúvel). O íon nitrato (NO_3^-) é o contaminante inorgânico de maior preocupação em águas subterrâneas que geralmente ocorrem em aquíferos de zonas rurais e suburbanas. O nitrato nas águas subterrâneas origina-se de fontes, como da aplicação de fertilizantes com nitrogênio, esterco animal,

cultivo do solo, esgoto humano depositado em sistemas sépticos e deposição atmosférica (Baird e Cann, 2011).

A segunda avaliação foi realizada com base na aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) de Almeida & Oliveira (2008). A escolha do índice foi embasada na disponibilidade de dados.

A equação do IQUAS que foi utilizada para os cálculos e a seguinte:

$$IQUAS = I_{BIO}^{0,19} * I_{FEMN}^{0,06} * I_{MS}^{0,19} * I_{PS}^{0,06} * I_{NIT}^{0,19} * I_{AMO}^{0,06} * I_{MIN}^{0,06} * I_{ORG}^{0,19}$$

(Fonte: Almeida & Oliveira 2008).

Onde:

I_{BIO} = Índice de Microorganismos;

I_{FEMN} = Índice de Ferro e Manganês;

I_{MS} = Índice de Mineralização e salinidade;

I_{PS} = Índice de Partículas em Suspensão;

I_{NIT} = Índice de Nitrato;

I_{AMO} = Índice de Nitrogenados;

I_{MIN} = Índice de Micropoluentes Minerais;

I_{ORG} = Índice de Micropoluentes Orgânicos.

Após a realização dos cálculos das equações, o resultado foi um número adimensional na faixa de 0 a 100, que foi enquadrado em uma das cinco classes de qualidade da água de acordo com a figura 13.

80 - 100 = Ótima	
52 - 79 = Boa	
37 - 51 = Regular	
20 - 36 = Ruim	
0 - 19 = Péssima.	

Figura 2: Faixas de classes de qualidade para a água subterrânea (0 a 100) para o índice de qualidade da água subterrânea-IQUAS (Fonte: Almeida & Oliveira 2008).

Também foi calculado o Índice Relativo de Risco (IRR), onde para avaliação deste método o cálculo foi realizado através da divisão do valor da concentração dos parâmetros com o seu Valor Máximo Permitido (VMP), onde foi gerado um quociente (Q) de cada parâmetro, os quais foram somados, resultando no índice de cada amostra como mostra a figura 14.

Amostra	Parâmetro X	Parâmetro Y	IRR
A	Concentração c	Concentração g	z

$$IRR = \frac{\text{Concentração } c}{VMP} + \frac{\text{Concentração } g}{VMP} + \dots,$$

Figura 3: Exemplo de cálculo do IRR.

E por fim foi realizada avaliação de risco à saúde humana, onde foi considerado um cenário residencial (rural e urbano) de ingestão de água subterrânea, cujos receptores escolhidos foram crianças, de acordo com a tabela 7, e para os cálculos foram utilizadas as seguintes equações:

$$I = C \times \frac{IR \times EF \times ED}{BW} \times \frac{1}{AT}$$

$$Risco = I_n \times SF$$

$$HQ = \frac{I_n}{RfD_i}$$

$$HI = \sum \frac{I_n}{RfD_i}$$

Onde:

I = Ingresso por ingestão de água contaminada (mg/kg.dia)

C = Concentração do composto químico na água (mg/L)

IR = Taxa de ingestão de água (L/dia)

EF = Frequência da exposição (dias/ano)

ED = Duração média da exposição (ano)

BW = Peso corpóreo médio do indivíduo durante a exposição (kg)

AT = Período de exposição médio durante a exposição (dias)

I_n = Dose de ingresso para o cenário de exposição “n” (mg/kg.dia)

SF = Slope Factor ou Fator Potencial Carcinogênico (mg/kg.dia)

RfD_i = Dose de referência para via de ingresso “i” (mg/kg.dia)

Tabela 1: Parâmetros utilizados no cálculo do ingresso por ingestão de água contaminada

Parâmetro	Fonte	Residencial Rural	
		Adulto	Criança
IR (L dia-1)	CETESB, 2009	2	1
EF (dias ano-1)	CETESB, 2009	350	350
ED (anos)	CETESB, 2001	72	6
BW (kg)	COUTO, 2006	63	15
ATn (dias)	IBGE, 2008	26280	2190
ATc (dias)	CETESB, 2009	26580	26280

Obs: ATn (efeitos não carcinogênico); ATc (efeitos carcinogênicos)

6 – Resultados e Discussão

6.1 Recursos Hídricos Subterrâneos da Região de Osório

O município de Osório possui uma grande capacidade hídrica superficial e subterrânea, pois no mesmo há ocorrência de uma grande quantidade de lagoas e de diferentes tipos de aquíferos. A análise dos recursos hídricos subterrâneos foi realizada com base na interpretação de dados de 177 pontos de captação (poços tubulares, ponteira e cacimba).

Na área de abrangência do município há ocorrência dos sistemas aquíferos Serra Geral, Guarani e Quartenário Costeiro. Na figura 15 é apresentado um mapa hidrogeológico do município com a área de ocorrência de cada um dos sistemas aquíferos e com a distribuição dos pontos de captação identificados.

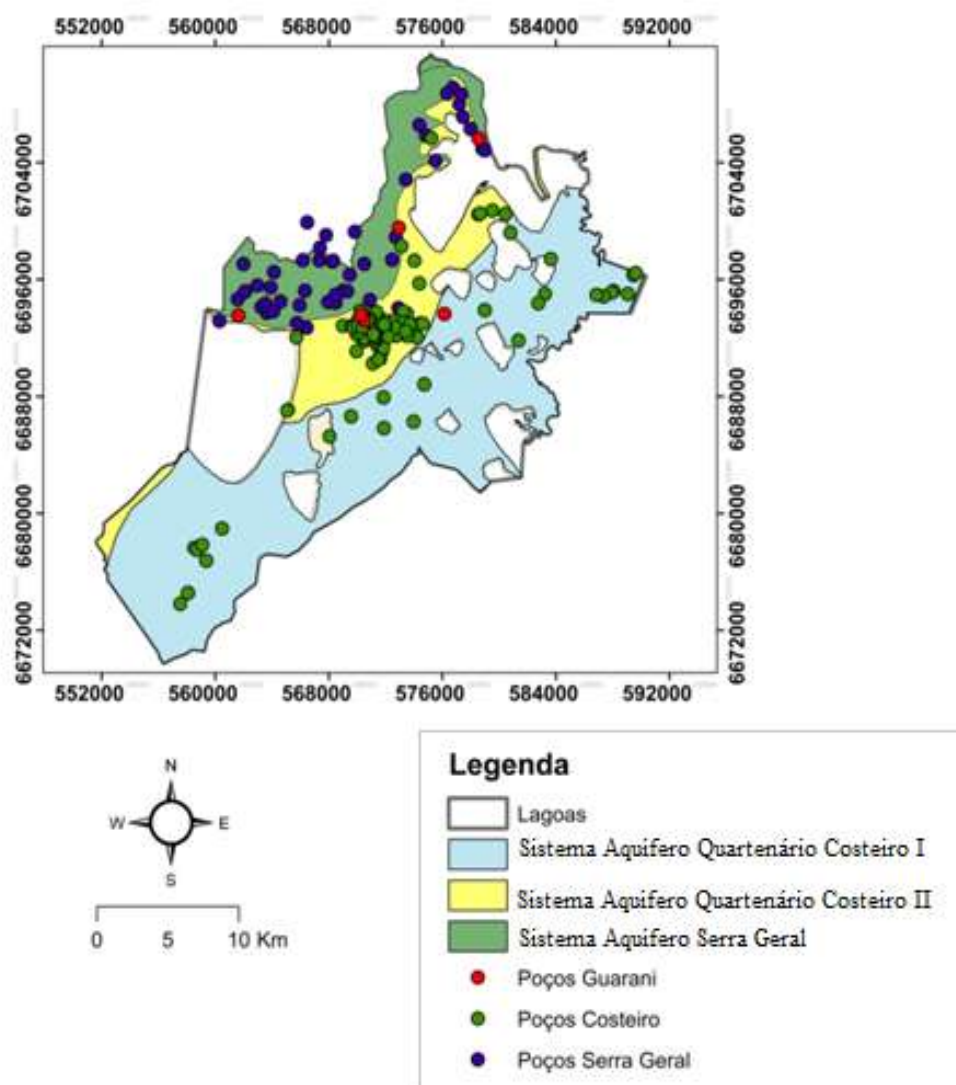


Figura 4: Mapa Hidrogeológico do Município de Osório com a localização dos pontos de captação identificados no município de Osório.

Pelo mapa observa-se que o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro I e II é o que ocupa a maior parte da área do município, bem como é o mais utilizado, visto que há uma grande quantidade de poços que captam água desse sistema aquífero. Além disso, observa-se que o Sistema Aquífero Guarani não está representado no mapa, pois na região sua ocorrência é em grande profundidade, confinado pelos sedimentos da planície costeira e pelas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral. A ocorrência desse sistema aquífero foi identificada na região, pois há poços tubulares, que em função de uma maior profundidade, captam água desse sistema.

Analisando os poços que continham informações geológicas e hidrogeológicas foi possível identificar de qual aquífero o poço retirava água (Figura 16). Os resultados indicam que a maior parte dos poços captam água de aquíferos associados ao SAQC. Também se deve destacar que há poços que captam água de mais de um sistema aquífero.

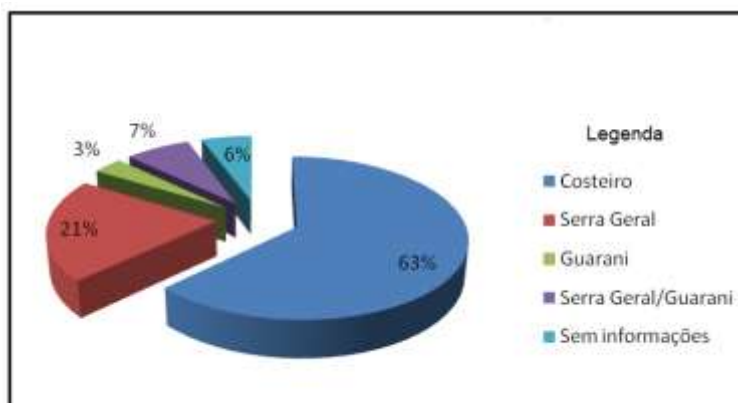


Figura 5: Aquíferos captados pelos Poços Identificados no município de Osório (RS).

A partir do levantamento de dados (177 pontos de captação) foi possível identificar que no município há ocorrência de poços do tipo tubular, ponteira, cacimba (Figura 17). Pela análise do gráfico observa-se que há uma quantidade semelhante de poços tubulares (50%) e ponteira (48%). No entanto, deve-se ressaltar que é esperado que o número de poços ponteira seja muito maior, uma vez que na região litorânea é comum as residências terem esse tipo de captação. Como não seria possível passar por todas as residências no levantamento de campo não foi possível identificar uma ocorrência maior desse tipo de poço.

Além disso, foi possível avaliar o uso da água e a situação dos poços (Figura 18 e 19). O gráfico da figura 18 evidencia que a maior parte dos poços captam água subterrânea que é utilizada no abastecimento (doméstico e comunitário). Já o gráfico da

figura 19 indica que a maior parte dos poços estão bombeando e que há um número considerável de poços que não possuem informação sobre a situação.

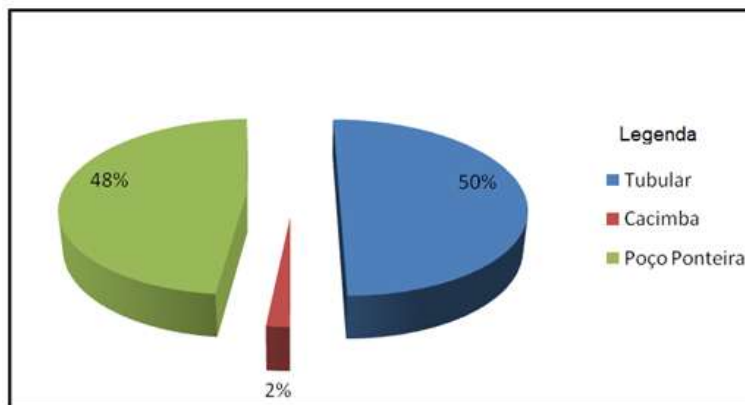


Figura 6: Tipos de poços identificados no município de Osório (RS).

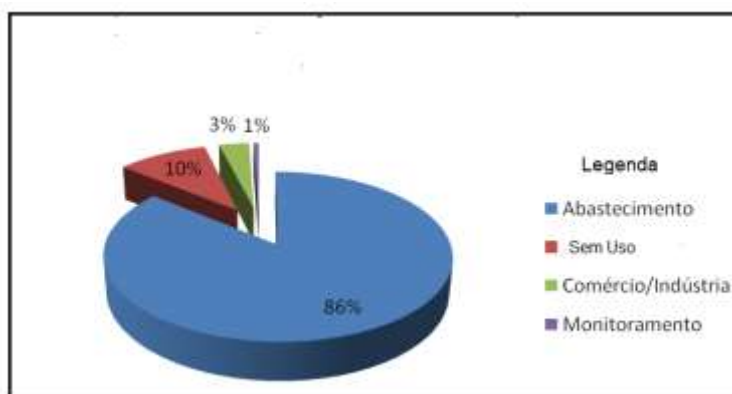


Figura 7: Uso da água subterrânea no município de Osório (RS).

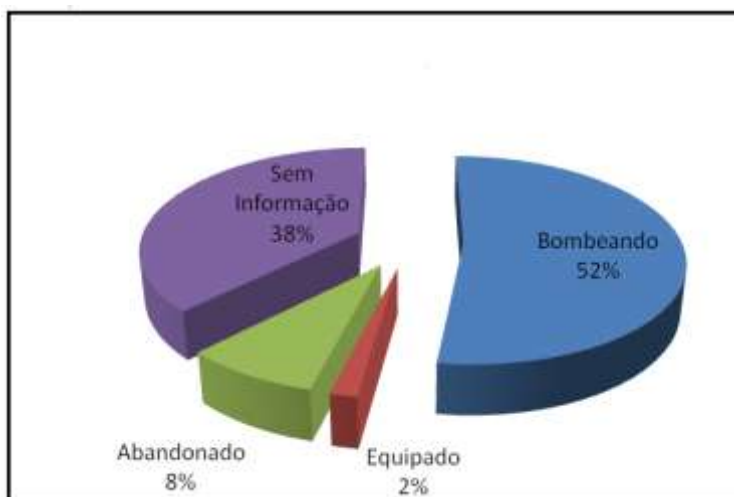


Figura 8: Situação dos poços no município de Osório (RS).

6.2 Hidrogeologia do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro na região de Osório

A avaliação hidrogeológica foi realizada a partir dos dados de 112 dos poços que captam água do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro. Desse total, 26 poços possuíam

perfil geológico, que foram utilizados para avaliar a ocorrência de diferentes tipos de aquíferos, bem como as principais características dos mesmos.

A análise dos perfis geológicos permitiu avaliar a ocorrência de aquíferos granulares que podem ser livres e confinados e que estão associados a diferentes camadas de sedimentos. A espessura de todo o pacote de sedimentos é variável, dependendo da região que for analisada, mas pode alcançar valores entre 30 metros (região próxima a escarpa) ou mais de 140 metros (região litorânea).

Na figura 20 são apresentados perfis geológicos de poços tubulares que captam água dos aquíferos associados às diferentes camadas de sedimentos arenosos.

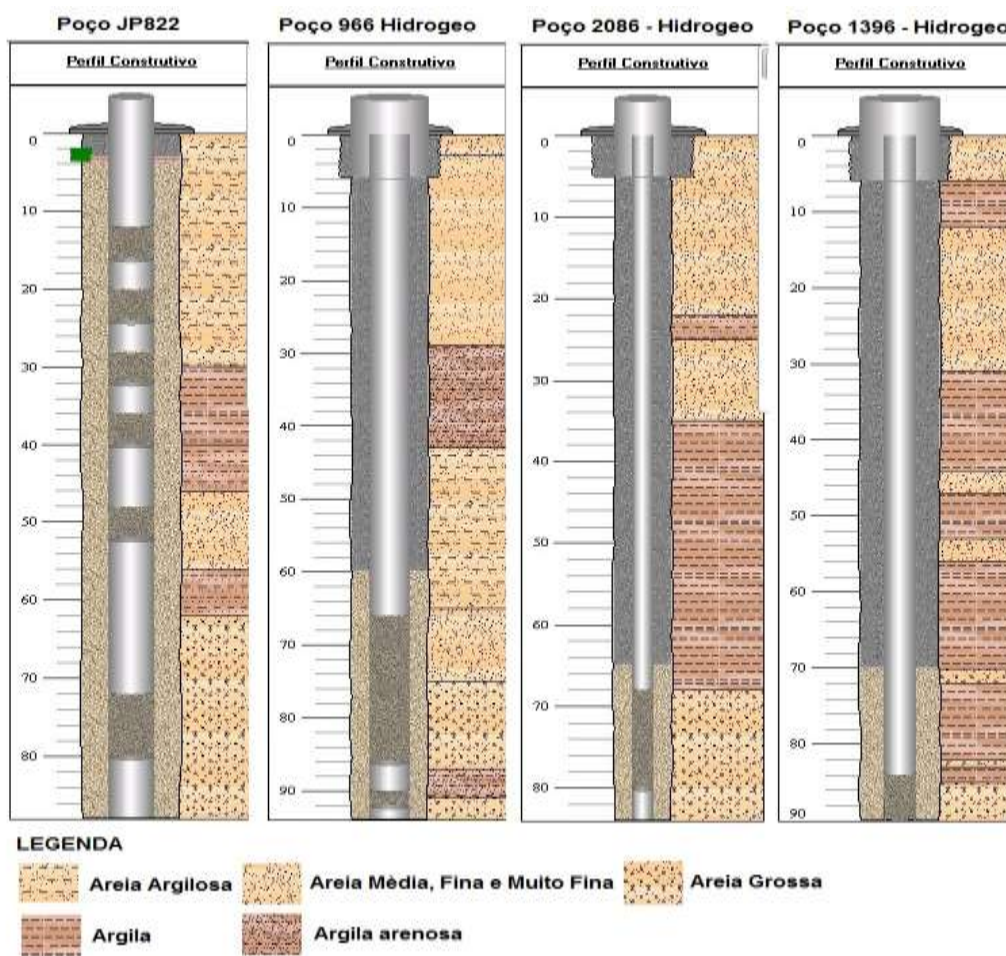


Figura 9: Perfis de quatro poços tubulares que captam água de aquíferos associados a camadas de sedimentos arenosos (adaptado e modificado dos perfis do SIAGAS).

Os aquíferos captados pelos poços tubulares estão associados a camadas de areias finas a média de coloração amarelada, esbranquiçada e cinza, areias argilosas de coloração cinza esverdeada e areia grossa. Intercalados com os sedimentos arenosos há ocorrência de camadas de argila e argila arenosa. Em função disso os poços podem captar água de aquíferos granulares livres e confinados.

O intervalo de profundidade entre 0 e 30 metros é caracterizado pela ocorrência de camadas de areia fina, muito fina e média, intercaladas com camadas de argila ou argila arenosa. Os aquíferos estão associados aos sedimentos arenosos, que apresentam espessuras variáveis entre 6 e 29 metros, sendo em geral, livres ou semi-confinados. Deve-se ressaltar, que os poços ponteira captam água desses aquíferos, que estão localizados nas camadas de sedimentos arenosos.

Com base na análise dos dados dos poços que captam água exclusivamente do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro, foi evidenciado que 75% dos poços são do tipo ponteira, 22% são tubulares e há 3% de poços cacimba (Figura 21). No caso da profundidade (Figura 22), observa-se que a maior parte desses poços possui profundidades entre 15 e 20 m (60%), mas há ocorrência de poços com profundidades inferiores a 15 m (22%), bem como poços com até 80m de profundidade (18%).

No caso das vazões, todos os poços ponteiras possuem baixas vazões, localizadas entre 1,0 e 2,5 m³/h.

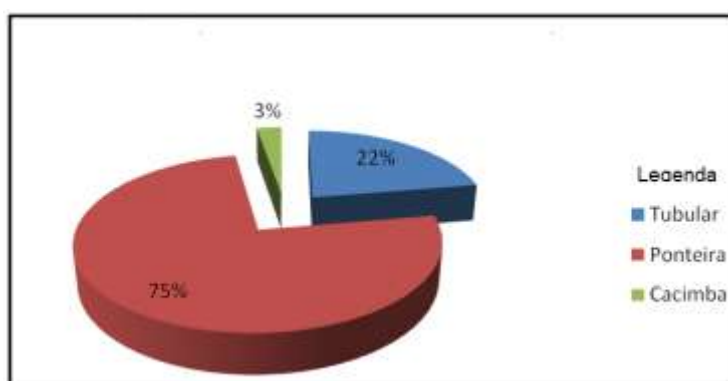


Figura 10: Tipos de poços que captam água do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro.

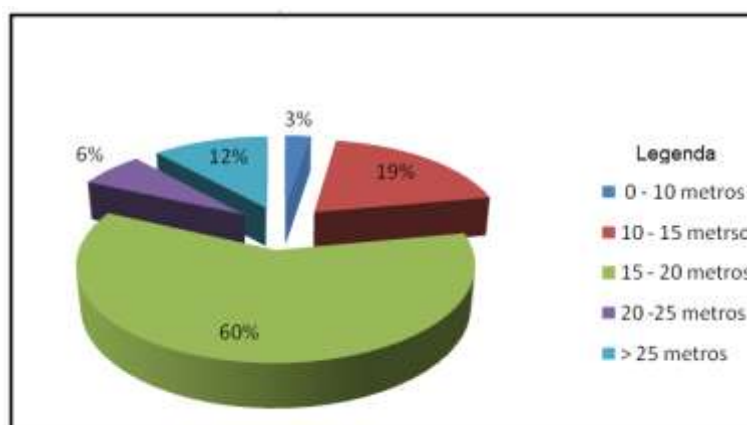


Figura 11: Profundidade dos poços ponteira.

6.3 Hidroquímica

A caracterização hidroquímica foi realizada para os aquíferos livres a semi-confinados, localizados nas camadas de sedimentos arenosos e que são captados por poços ponteiras. Essa caracterização foi realizada com base na análise de dados físico-químicos e bacteriológicos obtidos nas etapas de levantamento de dados existentes e de levantamento de campo.

Ao todo foram identificados 88 poços do tipo ponteira, sendo que 38 possuem algum tipo de dado físico-químico. Na figura 23 é apresentada a distribuição dos poços.

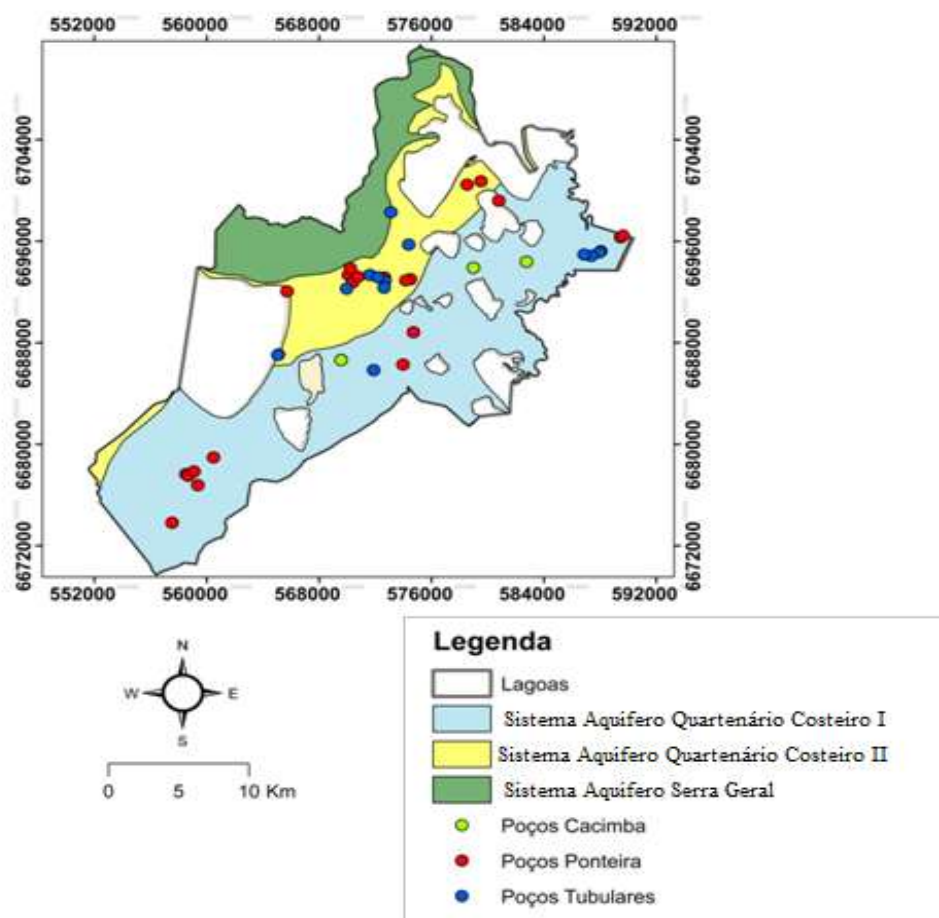


Figura 12: Mapa Hidrogeológico com a distribuição dos poços que possuem análises físico-químicas com maior número de parâmetros.

Nos trabalhos de campo foram coletadas amostras e realizadas medições de pH e CE, em 26 poços, pontos de captação (poços ponteira e cacimba), sendo que, em 12 poços ponteira e 3 poços cacimba foram realizadas coletas de amostras de água, que foram analisadas no laboratório do Centro de Ecologia da UFRGS (tabela 8). Na tabela 9 são apresentados os dados dos 26 poços (que possuem análises de campo e/ou laboratório) bem como as informações sobre localização, tipo de poço, tipo de aquífero e profundidade.

Tabela 7: Parâmetros utilizados com seus respectivos valores.

Amostra	pH	CE	NH ₃	NO ₃	Cl	Na	STD	Coliformes	<i>E. Coli</i>	Ca	Mg	A	K	SO ₄
PP01	5,61	49,7	0,5	1,450	7,50	5,170	57,0	<1	<1	0.862	1,220	5,0	0,984	ND
PP02	5,19	49,9	0,6	0,892	8,50	4,510	59,0	<1	<1	0.514	1,030	8,0	0,966	ND
PP03	6,27	107,4	0,8	0,396	7,50	11,300	170,0	<1	<1	4.990	1,240	40,0	2,320	2,850
PP04	7,12	510,2	0,9	0,636	60,00	28,300	358,0	<1	<1	35.300	4,170	160,0	0,484	23,500
PP06	6,59	137,5	1,5	2,980	7,50	4,040	159,0	121,00	86,00	13.900	2,690	45,0	3,440	ND
PP07	6,26	188,4	1,8	1,600	22,50	11,600	169,0	335,00	175,00	10.200	3,310	35,0	4,890	8,520
PP08	7,67	462,1	4	0,326	30,00	31,600	240,0	<1	<1	30.100	13,200	185,0	10,200	ND
PP09	7,43	329,4	3,6	ND	20,00	24,100	194,0	<1	<1	14.300	12,900	140,0	11,400	ND
PP10	5,15	52,6	0,3	0,307	10,00	5,430	54,0	<1	<1	0.601	1,010	10,0	0,493	ND
PP13	5,71	59,6	0,4	0,514	7,50	6,010	55,0	<1	<1	1.700	0,580	15,0	1,400	1,540
PP14	5,66	98,7	0,3	1,160	13,50	1,950	126,0	2014,00	504,00	5.840	0,824	40,0	0,306	5.260
PP16	6,57	55,3	0,4	0,295	7,50	1,960	47,0	<1	<1	0.609	0,065	15,0	0,474	ND
PP17	5,73	75,3	0,5	1,230	7,50	0,956	73,0	<1	<1	0.390	0,158	10,0	0,199	2,590
PP19	4,84	111,6	0,3	3,840	7,50	3,340	116,0	<1	<1	1.780	3,110	5,0	0,366	8,980
PP20	5	87	0,6	6,190	5,00	1,990	120,0	5794,00	495,00	4.080	1,950	10,0	1,530	5,850
B	6,31	172	0,6	0	33,7	25,5	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
C	7,68	395	1,4	0,2	25,3	30,9	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
D	6,14	157,4	0,5	0	26,5	22,3	107	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
E	5,73	128,6	0,7	0	19,9	14,2	122,8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
H	5,25	181	1,7	0,9	66	34,8	122	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
I	6,03	103,7	0,8	0	17,4	12,9	70,3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
L	6,14	54,6	0,5	0,2	10,6	9,1	36,8	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M	5,52	60,6	0,5	0,1	7,7	9	40,7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
N	5,99	174,9	1,4	1,4	13,9	24,2	117	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PP05	6,14	81,3	1,1	1,1	12,1	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PP11	5,96	75,4	0,4	1,9	9,6	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

ND – Não Detectado NA – Não Avaliado

CE = Condutividade Elétrica NH₃= Amônia NO₃= Nitrato Cl = Cloretos Na = Sódio STD = Sólidos Totais Dissolvidos Ca = Cálcio Mg = Magnésio A = Alcalinidade K = Potássio SO₄= Sulfato

Tabela 8: Características dos poços analisados.

Identificação	N	E	Tipo de poço	Aquífero	Profundidade	Análise em campo	Análise em laboratório
B	6674545	558087	Ponteira	Costeiro	25	Sim	Não
C	6674549	558084	Ponteira	Costeiro	80	Sim	Não
D	6674533	558065	Ponteira	Costeiro	25	Sim	Não
E	6687929	571854	Ponteira	Costeiro	20,5	Sim	Não
H	6695012	583229	Ponteira	Costeiro	16	Sim	Não
I	6697395	583647	Ponteira	Costeiro		Sim	Não
L	6700487	580457	Ponteira	Costeiro	18	Sim	Não
M	6700519	578662	Ponteira	Costeiro		Sim	Não
N	6697294	574035	Ponteira	Costeiro		Sim	Não
PP05	6691828	581367	Ponteira	Costeiro	26	Sim	Não
PP11	6690529	571484	Ponteira	Costeiro	30	Sim	Não
PP01	6673799	557540	Ponteira	Costeiro	6	Sim	Sim
PP02	6678950	560484	Ponteira	Costeiro	16	Sim	Sim
PP03	6676760	559375	Ponteira	Costeiro	15	Sim	Sim
PP04	6692033	565720	Ponteira	Costeiro	19	Sim	Sim
PP06	6693901	578992	Cacimba	Costeiro	9	Sim	Sim
PP07	6694371	582766	Cacimba	Costeiro	9	Sim	Sim
PP08	6696301	589466	Ponteira	Costeiro	26,5	Sim	Sim
PP09	6696443	589632	Ponteira	Costeiro	26	Sim	Sim
PP10	6677843	559095	Ponteira	Costeiro	16	Sim	Sim
PP13	6686629	569572	Ponteira	Costeiro	18	Sim	Sim
PP14	6686626	569570	Cacimba	Costeiro	12	Sim	Sim
PP16	6699183	580794	Ponteira	Costeiro	18	Sim	Sim
PP17	6700719	579530	Ponteira	Costeiro	9	Sim	Sim
PP19	6692996	574507	Ponteira	Costeiro	18	Sim	Sim
PP20	6692900	574177	Ponteira	Costeiro		Sim	Sim

A partir da análise dos dados obtidos, podemos observar que os valores de pH e condutividade elétrica (CE) foram variáveis, mas indicam a ocorrência de águas, em geral, ácidas a levemente ácidas. A figura 24 mostra que a maioria das amostras possui pH entre 5,6 e 6,5.

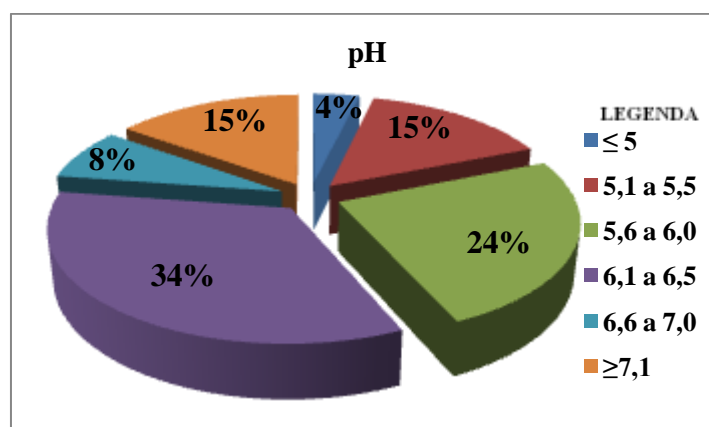


Figura 13: Intervalo de pH dos poços analisados em campo e no laboratório.

A condutividade elétrica (CE), que é a medida da facilidade da água em conduzir a corrente elétrica, é relacionada ao teor de sólidos dissolvidos sob a forma de íons na água e com a salinidade. Na figura 25 podemos observar que a maioria das amostras apresentam valores baixos, entre 0 a 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

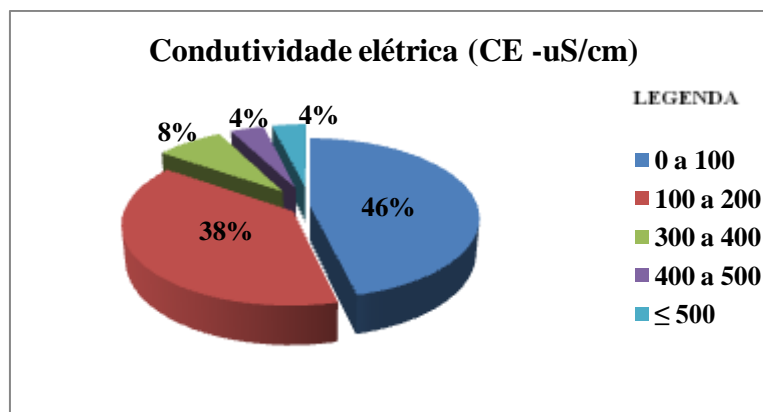


Figura 14: Intervalo de Condutividade elétrica dos poços analisados em campo e no laboratório.

A amônia está naturalmente presente em corpos d'água como produto da degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água e atividades de biota. Ela também é constituinte comum no esgoto sanitário, resultado de descargas de efluentes domésticos e industriais, da hidrólise da ureia e da degradação biológica de aminoácidos e outros compostos orgânicos nitrogenados. De acordo com a figura 26, 43% das amostras possui valores entre 0 e 0,5 mg/L, 27% está entre 0,6 e 1,0 mg/L e 15% das amostras encontra-se com valores acima de 1,6 mg/L.

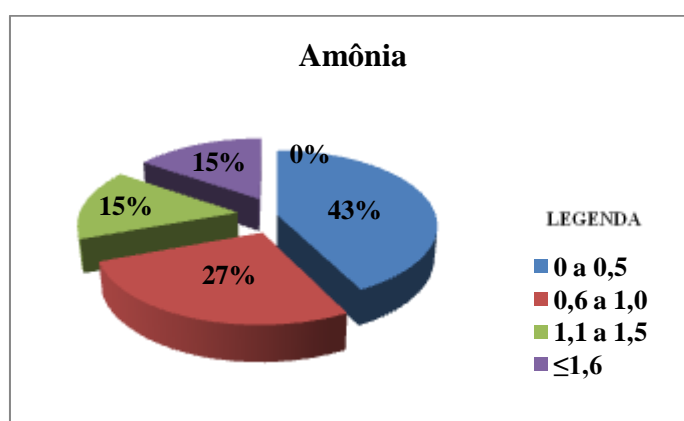


Figura 15: Intervalo dos valores de amônia dos poços analisados em campo e no laboratório

A presença de nutrientes na água faz parte do ciclo da natureza, o problema de contaminação fica restrito a alguns micronutrientes e, principalmente, aos

macronutrientes como nitrogênio. Das diferentes formas de nitrogênio presentes no solo, à amônia (NH_3) e o nitrato (NO_3^-), podem ser causas da perda de qualidade da água. Sendo que, a amônia quando presente na água é altamente letal aos peixes, pela toxicidade que representa para este grupo da fauna; quando originada no solo ou aplicada via fertilizantes essa molécula tende a ser convertida a amônio (NH_4^+) e este por sua vez é convertido a nitrato por meio de processos microbianos (Franca, 2006; Baird, 2002). A figura 27 mostra que 88% das amostras possuem valores de nitrato entre 0 e 2 mg/L

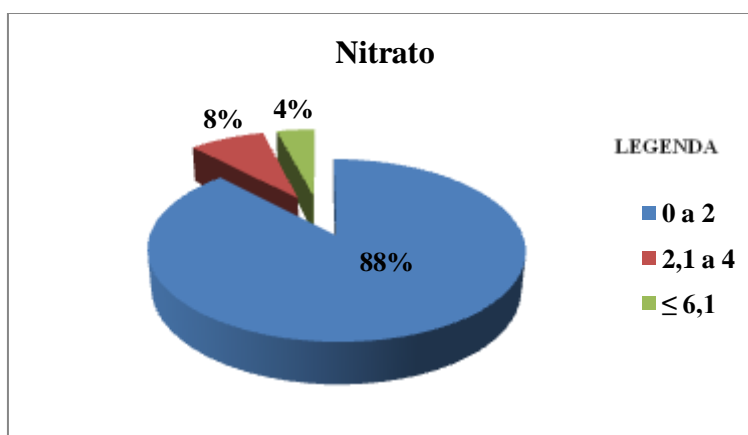


Figura 16: Intervalo dos valores de Nitrato dos poços analisados em campo e no laboratório.

O cloro geralmente está presente em teores inferiores a 100mg/L. Ele forma compostos muito solúveis. Quando existem teores altos, isso pode ser um indicativo de contaminação pela água do mar ou por aterros sanitários. De acordo com a análise das amostras de cloretos, 46% encontram-se entre 0 e 10 mg/L e apenas 13% está acima de 30 mg/L, sendo que apenas 1 amostra possui valor acima de 66 mg/L(figura 28).

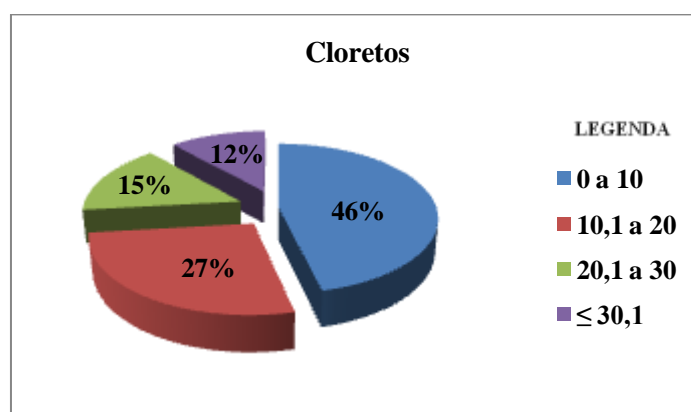


Figura 17: Intervalo dos valores de cloretos dos poços analisados em campo e no laboratório.

Em relação ao sódio, que é um elemento químico que está quase sempre presente nas águas subterrâneas, seu teor varia entre 0,1 e 100mg/L, sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga. A quantidade de sódio presente na água pode ser um elemento limitante para uso da água na agricultura. Nos aquíferos litorâneos, a presença de sódio na água poderá estar relacionada à intrusão da água do mar. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o valor máximo recomendável de sódio na água potável é 200mg/L. No gráfico da figura 29, observa-se que a maior parte das águas apresentam teores de sódio, inferiores a 30 mg/L.

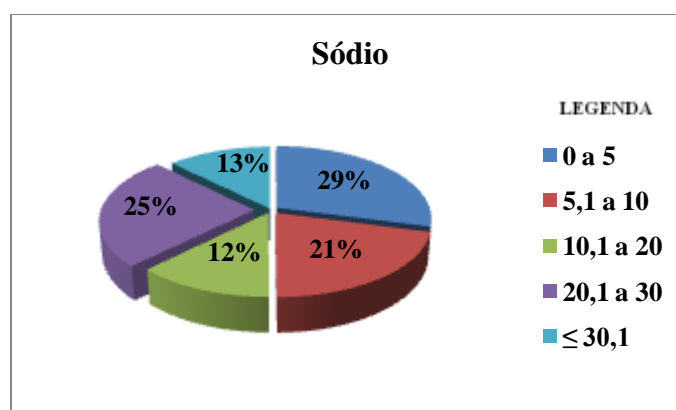


Figura 18: Intervalo dos valores de Sódio dos poços analisados em campo e no laboratório.

Os sólidos totais dissolvidos (STD), são a soma dos constituintes minerais presentes na água, esse parâmetro pode ser utilizado para classificar as águas subterrâneas em doces (0 a 500 mg/l), salobras (501 a 1500 mg/l) e salgadas (>1500 mg/l). Na figura 30 observamos que cerca de 90% das amostras fica entre 0 e 200 mg/L, indicando a ocorrência de águas doces.

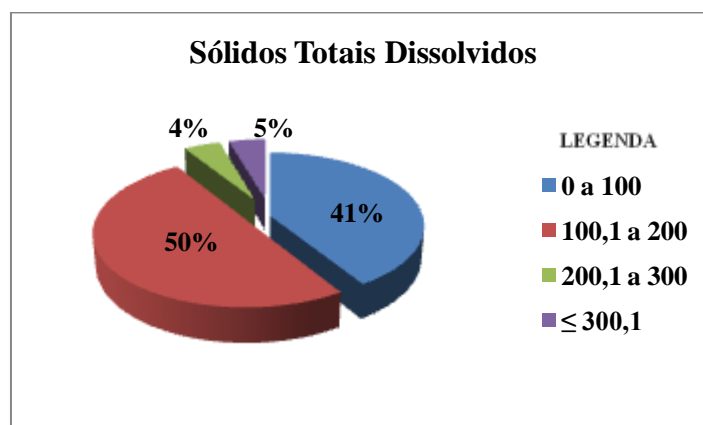


Figura 19: Intervalo dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) dos poços analisados em campo e no laboratório.

A *Escherichia coli* e os coliformes totais são importantes indicadores da poluição da água. Na água para consumo, não é permitida a presença de coliformes totais e *E. coli* em 100 ml da água, devendo ser investigada a origem da ocorrência e tomadas providências imediatas de caráter corretivo, preventivo e realizada nova análise. Nesse estudo, verificou-se que 27% das amostras de água subterrânea (figuras 31 e 32) não estão em conformidade com o padrão microbiológico estabelecido pela Portaria N° 2914/11 do Ministério da Saúde, pois apresentarem ocorrência de coliformes totais e *Escherichia coli* (valores entre 40 e 6000 NPM/mL). Na tabela 10 são apresentados os resultados.

Tabela 9: Amostras que apresentam presença de Coliformes e *E.coli* com os valores encontrados.

Amostra	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>
PP06	121,00	86,00
PP07	335,00	175,00
PP14	2014,00	504,00
PP20	5794,00	495,00

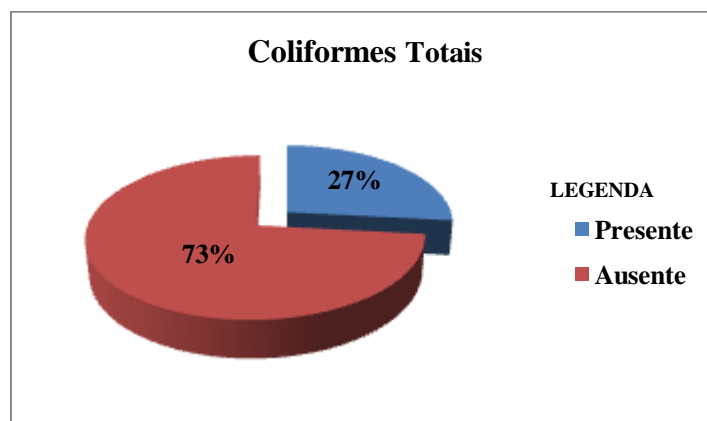


Figura 20: Presença e ausência de coliformes totais nas amostras dos poços analisados no laboratório.

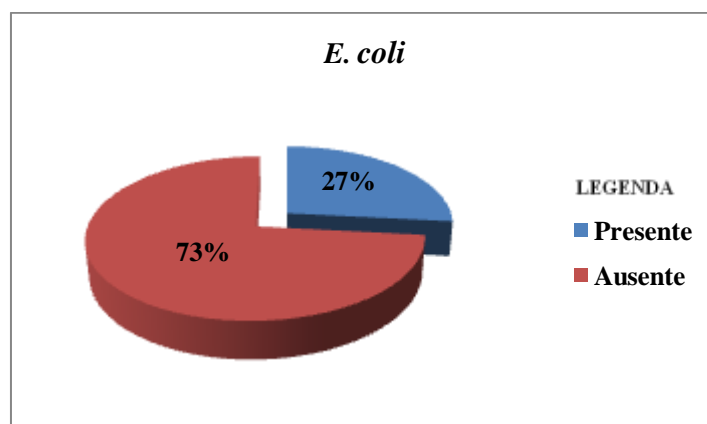


Figura 21: Presença e ausência de *Escherichia coli* nas amostras dos poços analisados no laboratório.

Com base na análise dos principais cátions e ânions e no diagrama de Piper (Figura 33 e figura 34) pode-se observar que as águas que circulam pelos aquíferos que são captados pelos poços ponteira, são águas que apresentam diferentes composições podendo ser classificadas em: Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas (33%), Águas Bicarbonatadas Sódicas (20%), Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas (27%) e Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas ou Magnesianas (20%). No caso desse último grupo, deve-se salientar que os poços que apresentaram esse tipo de água possuem evidências de contaminação antrópica, pois foi identificada a ocorrência de coliformes fecais e maiores teores de nitratos. Dessa forma, esse tipo de água pode estar sendo influenciada pela contaminação que poderia ser responsável pelo aumento das concentrações de cloretos e sulfatos.

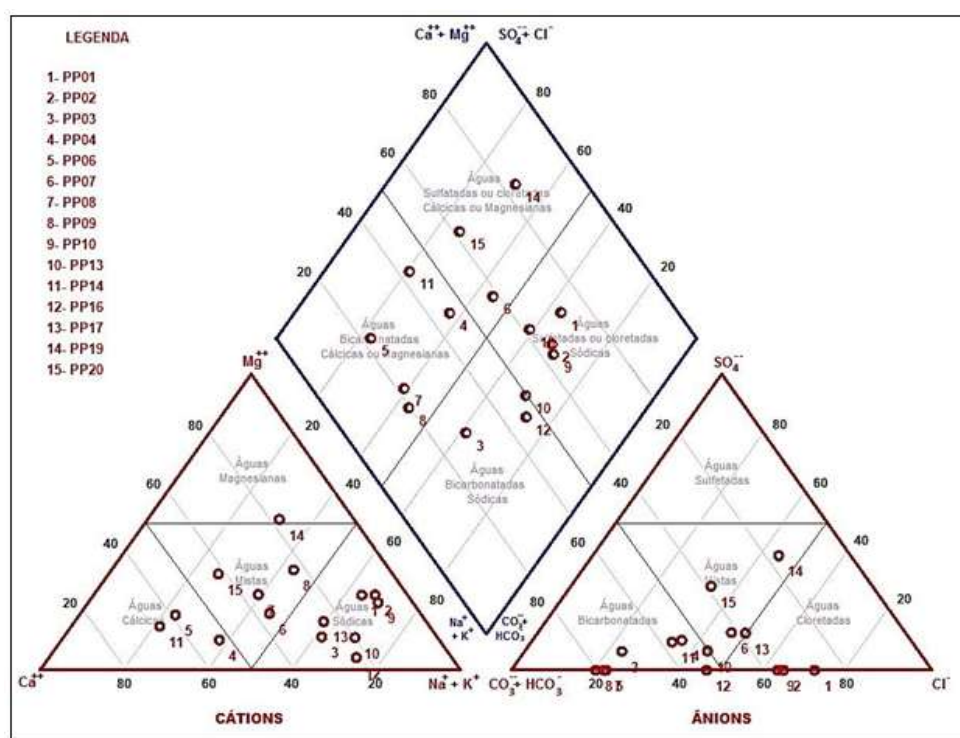


Figura 22: Diagrama de Piper com a classificação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC) (Gráfico gerado com uso do programa Qualigraf – Mobus, 2014).

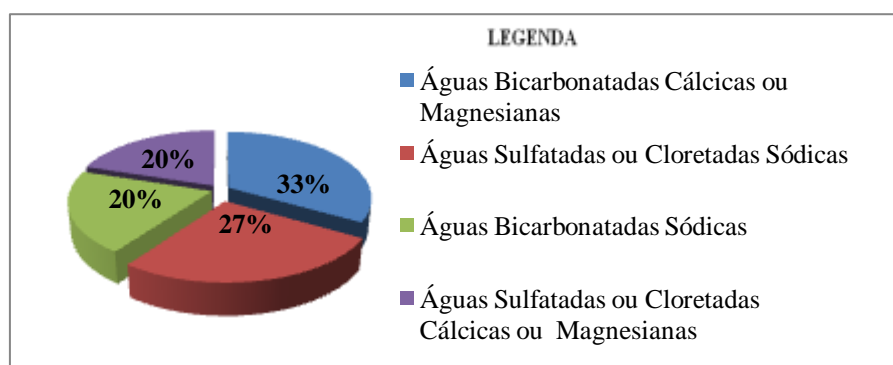


Figura 23: Distribuição das classes das águas subterrâneas segundo o Diagrama de Piper.

A análise e interpretação do diagrama de Stiff permitiu identificar a ocorrência de diferentes tipos de água, caracterizados por concentrações variadas dos principais constituintes químicos da água subterrânea (Figura 35). A maior parte das amostras apresentam águas com baixas concentrações para os principais cátions e ânions (formas geométricas lineares), valores de pH e Condutividade Elétrica(CE) baixos. Essas características podem estar relacionadas com pouco tempo de residência, visto que a concentração de elementos é baixa, assim como os valores de pH e CE. Além disso, essas características são facilmente encontradas em aquíferos livres rasos. Por outro lado, há ocorrência de amostras de água que apresentam valores mais elevados para cátions e ânions, bem como para os parâmetros pH e CE. Essas águas apresentam valores maiores de bicarbonato, pH (superior a 7,0) e CE (maiores entre 329 e 511 us/cm). Estão associadas a poços que apresentam profundidade maior (entre 19 e 26 metros) e que captam água de aquíferos que podem ser semi-confinados, o que explicaria a maior concentração desses elementos e parâmetros.

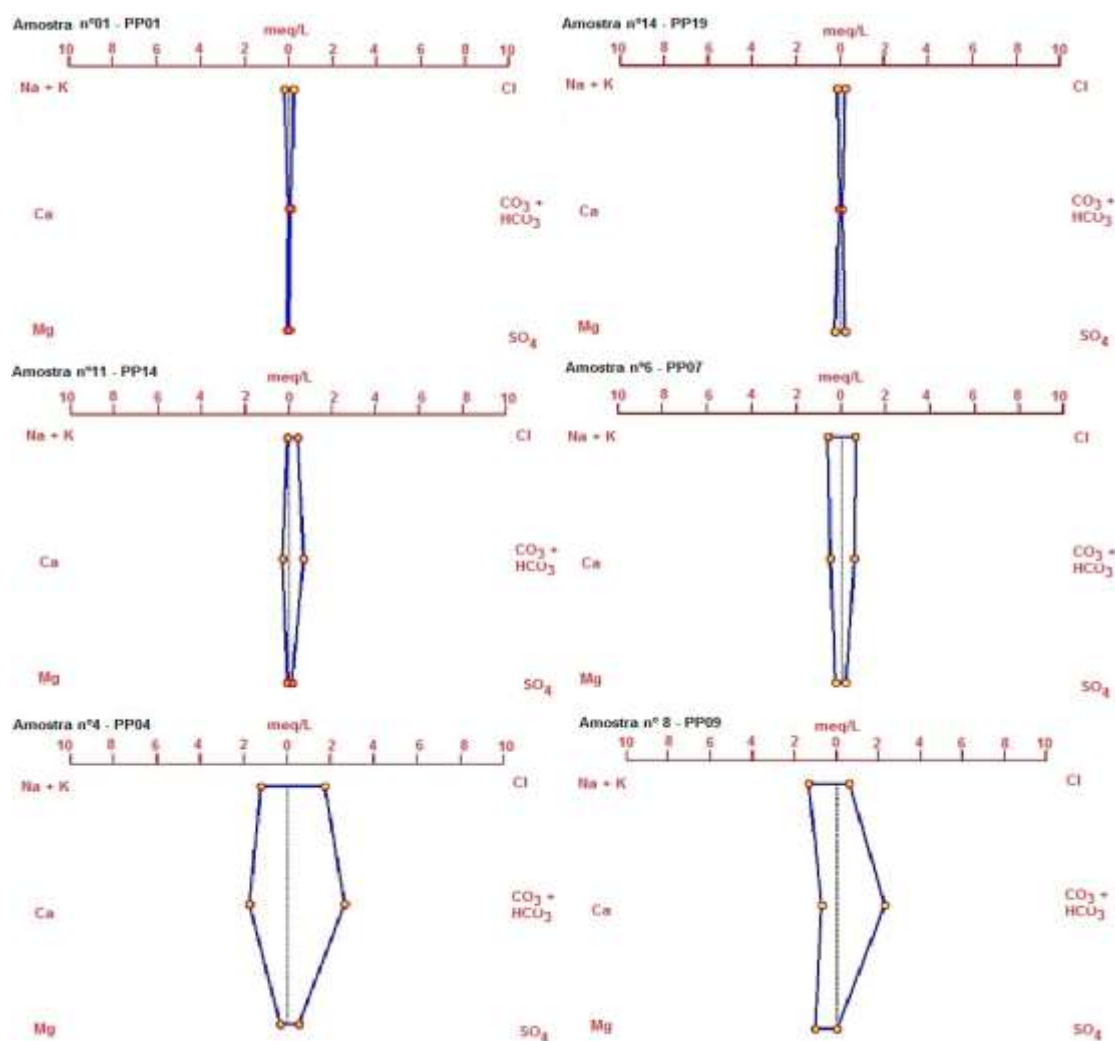


Figura 24 Diagrama de Stiff com a representação dos diferentes tipos de água subterrânea encontrada em Osório/RS.

6.4 Qualidade da Água Subterrânea

A análise da qualidade da água captada por poços ponteira, foi realizada inicialmente, através da comparação dos valores encontrados para os diferentes parâmetros, com os valores máximos permitidos (VMP da portaria 2914/11 do Ministério da Saúde). Posteriormente foi feito o cálculo do Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS), o Índice Relativo de Risco (IRR), bem como foi calculado o risco a saúde humana para ingestão de água subterrânea (Índice de Risco Não Carcinogênico)

A tabela 11 mostra a comparação dos parâmetros analisados com os valores máximos permitidos (VMP's) pela portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (MS). Pode-se observar que de acordo com isso, os parâmetros que apresentam concentrações acima dos valores permitidos, são: Al (2 amostras), NH₃ (3 amostras), Cor (2 amostras), Fe (3 amostras), Mn (2 amostras), pH (8 amostras), Turbidez (3 amostras), Coliformes Totais e *E.coli* (4 amostras).

Dessas amostras 40% apresentam pelo menos 1 parâmetro que está fora do limite permitido, 13% possuem 2 parâmetros, 3 ou 4 parâmetros fora dos limites são 20% cada, e 7% não possuem nenhum parâmetro fora dos VMP's (figura 36).

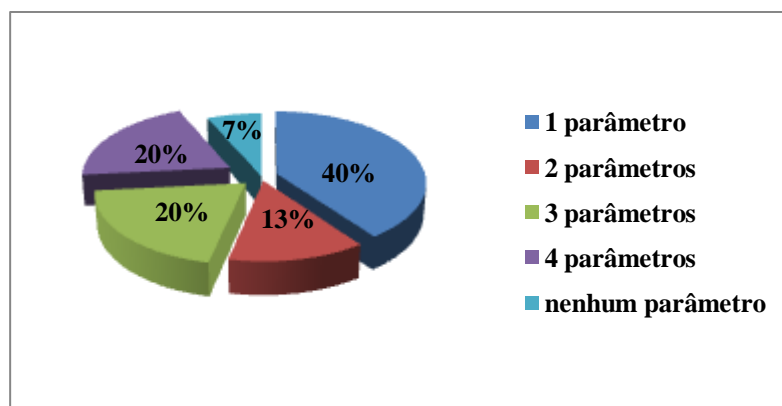


Figura 25: Quantidade de parâmetros fora dos limites que aparecem nas amostras analisadas.

Desses parâmetros o pH é o que mais aparece fora do limite (entre 6,0 e 9,5), estando abaixo de 6,0 em 53% das amostras, seguido de Coliformes Totais e *E.coli* que estão presentes em 4 amostras cada um. Parâmetros como Chumbo (Pb), Cloretos (Cl), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Dureza, Fluoreto (F⁻), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Nitrato (NO₃), Sódio (Na), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Sulfato (SO₄), e Zinco (Zn) estão todos dentro dos limites permissíveis, aparecendo em pequenas concentrações ou não sendo detectados em algumas amostras.

Tabela 10: Comparação dos parâmetros analisados com os Valores Máximos Permitidos (VMP's) pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (MS) nas amostras analisadas no laboratório.

	PP01	PP02	PP03	PP04	PP06	PP07	PP08	PP09	PP10	PP13	PP14	PP16	PP17	PP19	PP20	VMP's
Al	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,050	ND	ND	0,169	ND	ND	0,317	0,201	0,2 mg/L
NH₃	0,5	0,6	0,8	0,9	1,5	1,8	4	3,6	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,3	0,6	1,5 mg/L
Pb	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,01 mg/L
Cl⁻	7,50	8,50	7,50	60,00	7,50	22,50	30,00	20,00	10,00	7,50	13,50	7,50	7,50	7,50	5,00	250 mg/L
Cu	ND	ND	0,01310	ND	ND	ND	0,05170	ND	0,00500	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2 mg/L
Cor	5,0	5,0	75,0	50,0	10,0	5,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	15 uH
Cr	ND	ND	ND	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,05 mg/L
Dureza	8,0	7,0	25,0	190,0	60,0	55,0	150,0	90,0	10,0	10,0	60,0	10,0	12,0	25,0	30,0	500 mg/L
Fe	ND	ND	9,910	3,660	0,058	0,229	0,438	0,117	0,089	0,077	0,116	ND	ND	ND	ND	0,3 mg/L
F⁻	ND	ND	ND	0,180	ND	ND	0,360	0,320	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,5 mg/L
Mn	ND	ND	ND	0,745	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,203	ND	0,1 mg/L
Hg	0,000445	0,000496	ND	0,000745	ND	ND	ND	ND	0,000565	0,000932	0,000654	0,000703	ND	ND	ND	0,001 mg/L
Ni	ND	ND	0,000605	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,07 mg/L
NO₃⁻	1,450	0,892	0,396	0,636	2,980	1,600	0,326	ND	0,307	0,514	1,160	0,295	1,230	3,840	6,190	10 mg/L
pH	5,61	5,19	6,27	7,12	6,59	6,26	7,67	7,43	5,15	5,71	5,66	6,57	5,73	4,84	5	6,0 a 9,5
Na	5,17	4,51	11,3	28,3	4,04	11,6	31,6	24,1	5,43	6,01	1,95	1,96	0,956	3,34	1,99	200 mg/L
STD	57	59	170	358	159	169	240	194	54	55	126	47	73	116	120	1000 mg/L
SO₄	ND	ND	2,850	23,500	ND	8,520	ND	ND	ND	1,540	5,260	ND	2,390	8,980	5,850	250 mg/L
Zn	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,016	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	5 mg/L
Turbidez	ND	ND	18,700	29,400	2,570	1,840	3,900	ND	ND	ND	7,270	ND	ND	ND	ND	5 uT
C. Totais	<1	<1	<1	<1	121,0	335,0	<1	<1	<1	<1	2014,0	<1	<1	<1	5794,0	Ausente em 100 ml
E. coli	<1	<1	<1	<1	86,0	175,0	<1	<1	<1	<1	504,0	<1	<1	<1	495,0	Ausente em 100 ml

ND – Não Detectado **Coloração vermelha** - parâmetros acima do valor permitido.

6.4.1 Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS)

Para a avaliação da qualidade da água neste trabalho, foram realizados cálculos para determinar o índice de qualidade da água dos poços. A tabela 12 mostra os valores utilizados para cada amostra, e a tabela 13 mostra os cálculos e o valor do IQUAS de cada amostra. A partir destes cálculos foi feita a classificação das águas, onde, 9 amostras foram classificadas como ótimas, 4 amostras foram péssimas e 2 amostras foram boas. As amostras classificadas como péssimas são aquelas que possuem a presença de coliformes e *E.coli* (figura 37).

Tabela 11: valores utilizados para a realização dos cálculos do Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS).

Amostra	Coliformes	Fe	Mn	Cl	Dureza	F ⁻¹	pH	SO ₄	Turbidez	NO ₃	NH ₃	Hg	Benzeno
PP01	<1	ND	ND	7,50	8,0	ND	5,61	ND	ND	1,450	0,5	0,0004450	<1
PP02	<1	ND	ND	8,50	7,0	ND	5,19	ND	ND	0,892	0,6	0,0004960	<1
PP03	<1	9,910	ND	7,50	25,0	ND	6,27	2,850	18,700	0,396	0,8	ND	<1
PP04	<1	3,660	0,745	60,0	190,0	0,180	7,12	23,5	29,4	0,636	0,9	0,0007450	<1
PP06	121,00	0,058	ND	7,50	60,0	ND	6,59	ND	2,570	2,980	1,5	ND	<1
PP07	335,00	0,229	ND	22,50	55,0	ND	6,26	8,520	1,840	1,600	1,8	ND	<1
PP08	<1	0,438	ND	30,00	150,0	0,360	7,67	ND	3,900	0,326	4	ND	<1
PP09	<1	0,117	ND	20,00	90,0	0,320	7,43	ND	ND	ND	3,6	ND	<1
PP10	<1	0,089	ND	10,00	10,0	ND	5,15	ND	ND	0,306	0,3	0,0005650	<1
PP13	<1	0,077	ND	7,50	10,0	ND	5,71	1,540	ND	0,514	0,4	0,00093200	<1
PP14	2014,00	0,116	ND	13,50	60,0	ND	5,66	5,260	7,270	1,160	0,3	0,00065400	<1
PP16	<1	ND	ND	7,50	10,0	ND	6,57	ND	ND	0,295	0,4	0,00070300	<1
PP17	<1	ND	ND	7,50	12,0	ND	5,73	2,590	ND	1,230	0,5	ND	<1
PP19	<1	ND	0,203	7,50	25,0	ND	4,84	8,980	ND	3,840	0,3	ND	<1
PP20	5794,00	ND	ND	5,00	30,0	ND	5	5,850	ND	6,190	0,6	ND	<1

Fe = Ferro Mn = Manganês Cl = Cloretos F⁻¹ = Fluoreto SO₄ = Sulfato NO₃ = Nitrato NH₃ = Amônia Hg = Mercúrio

Tabela 12: Valores utilizados para a determinação da Qualidade da Água, segundo o índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS) e seu resultado de acordo com as faixas de classes de qualidade para a água subterrânea (0 a 100) .

Amostra	IBIO	IFEMN	IMS	IPS	INIT	IAMO	IMIN	IORG	IQUAS
PP01	100	100	77,04	100	100	66,61	52,00	100	89
PP02	100	100	116,69	100	100	63,85	51,25	100	96
PP03	100	36,33	77,14	22,97	100	59,72	100	100	79
PP04	100	22,70	72,70	27,50	100	58,10	48,54	100	74
PP06	0	-	-	-	-	-	-	-	0
PP07	0	-	-	-	-	-	-	-	0
PP08	100	70,61	81,32	44,11	100	41,08	100	100	85
PP09	100	93,55	83,45	100	100	42,10	100	100	91
PP10	100	100	73,21	100	100	75,01	50,37	100	90
PP13	100	100	77,68	100	100	70,15	47,11	100	89
PP14	0	-	-	-	-	-	-	-	0
PP16	100	100	81,86	100	100	70,15	48,92	100	90
PP17	100	100	76,94	100	100	66,61	100	100	93
PP19	100	64,72	72,37	100	74,12	75,01	100	100	85
PP20	0	-	-	-	-	-	-	-	0

AZUL= Ótimo VERDE= Bom VERMELHO= Péssimo.

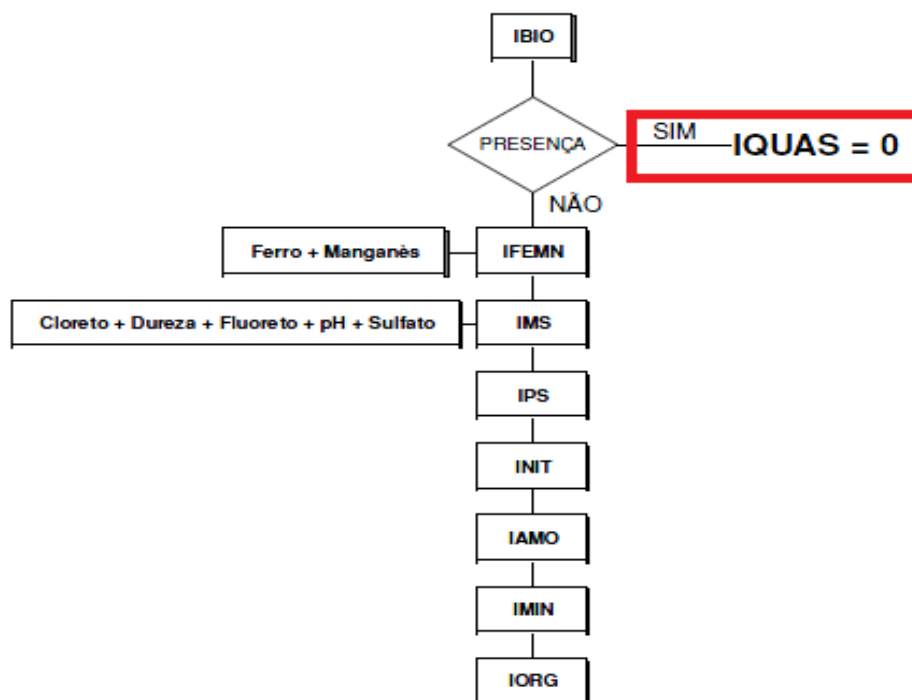


Figura 37: Passo a passo para cálculo do Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS).

(Fonte: Almeida & Oliveira 2008).

De acordo com a tabela 13 as amostras PP01, PP02, PP08, PP09, PP10, PP13, PP16, PP17 e PP19 foram classificadas como ótimas. As amostras PP03 e PP04 foram classificadas como boas e as amostras PP06, PP07, PP14 e PP20 foram classificadas como péssimas pela presença de coliformes e *E. coli*.

6.4.2 Cálculo do Índice Relativo de Risco (IRR)

O índice Relativo de Risco (IRR) foi calculado, afim de hierarquizar as amostras conforme os valores encontrados para observar quais possuem maiores ou menores valores de risco. Na tabela 14 são apresentados os parâmetros utilizados para o cálculo do IRR, com seus respectivos valores, sendo que os elementos usados foram Alumínio (Al), chumbo(Pb), cloretos(Cl), cobre(Cu), cromo(Cr), dureza, ferro(Fe), fluoretos(F), manganês(Mn), mercúrio(Hg), níquel(Ni), nitrato(NO₃), sódio(Na), sólidos totais dissolvidos(STD), sulfato(SO₄) e zinco(Zn).

A tabela 15 mostra os valores encontrados do IRR, na ordem do maior para o menor valor.

De acordo com o IRR, podemos observar que as sete primeiras amostras com valores mais altos são a PP03, PP04, PP14, PP19, PP08, PP20 e PP07 que são amostras que apresentam presença de metais e coliformes.

A amostra PP03 classificada como boa pelo IQUAS tem presença de ferro, níquel e sódio, a amostra PP04 também classificada como boa pelo IQUAS, tem presença de ferro, cromo, manganês, sódio e pequenas concentrações de mercúrio, cobre e zinco, a amostra PP14, tem presença de alumínio e coliformes, amostra PP19 classificada como ótima, possui presença de alumínio e manganês, todas essas amostras estão localizadas em áreas de atividade agrícola, o que poderia explicar a presença de certos metais em sua composição.

A amostra PP08 é a única localizada em área de vegetação, tem a presença de uma pequena concentração de chumbo, podendo ser ocasionada por alguma contaminação antrópica.

As amostras PP20 e PP07 tem presença de coliformes, que podem ser causadas devido sua localização em áreas de atividade agrícola.

Tabela 13: Parâmetros utilizados para o cálculo do Índice Relativo de Risco (IRR) com seus respectivos valores.

Amostras	Al	Cl	Cu	Fe	F ⁻¹	Mn	NO ₃	Zn	Pb	Cr	Dureza	Hg	Ni	Na	STD	SO ₄
PP01	0,2235	0,03	0,0003405	0,123	0,066	0,06	0,145	0,0024	ND	ND	8,0	0,000445	ND	5,170	57,0	ND
PP02	0,2235	0,034	0,0003405	0,123	0,066	0,06	0,0892	0,0024	ND	ND	7,0	0,000496	ND	4,510	59,0	ND
PP03	0,2235	0,03	0,00655	33,03	0,066	0,06	0,0396	0,0024	ND	ND	25,0	ND	0,000605	11,300	170,0	2,850
PP04	0,2235	0,24	0,0003405	12,2	0,12	7,45	0,0636	0,0024	ND	0,002	190,0	0,000745	ND	28,300	358,0	23,500
PP06	0,2235	0,03	0,0003405	0,193	0,066	0,06	0,298	0,0024	ND	ND	60,0	ND	ND	4,040	159,0	ND
PP07	0,2235	0,09	0,0003405	0,763	0,066	0,06	0,16	0,0024	ND	ND	55,0	ND	ND	11,600	169,0	8,520
PP08	0,2235	0,12	0,02585	1,46	0,24	0,06	0,0326	0,0032	0,005	ND	150,0	ND	ND	31,600	240,0	ND
PP09	0,25	0,08	0,0003405	0,39	0,213	0,06	0,02	0,0024	ND	ND	90,0	ND	ND	24,100	194,0	ND
PP10	0,2235	0,04	0,0025	0,296	0,066	0,06	0,0317	0,0024	ND	ND	10,0	0,000565	ND	5,430	54,0	ND
PP13	0,2235	0,03	0,0003405	0,256	0,066	0,06	0,0514	0,0024	ND	ND	10,0	0,000932	ND	6,010	55,0	1,540
PP14	4,225	0,054	0,0003405	0,386	0,066	0,06	0,116	0,0024	ND	ND	60,0	0,000654	ND	1,950	126,0	5,260
PP16	0,2235	0,03	0,0003405	0,123	0,066	0,06	0,0295	0,0024	ND	ND	10,0	0,000703	ND	1,960	47,0	ND
PP17	0,2235	0,03	0,0003405	0,123	0,066	0,06	0,126	0,0024	ND	ND	12,0	ND	ND	0,956	73,0	2,590
PP19	1,585	0,03	0,0003405	0,123	0,066	2,03	0,384	0,0024	ND	ND	25,0	ND	ND	3,340	116,0	8,980
PP20	1,005	0,02	0,0003405	0,123	0,066	0,06	0,619	0,0024	ND	ND	30,0	ND	ND	1,990	120,0	5,850

ND = Não Detectado

Al = Alumínio Cl = Cloretos Cu = Cobre Fe = Ferro F⁻¹ = Fluoreto Mn = Manganês NO₃ = Nitrato Zn = Zinco Pb = Chumbo Cr = Cromo Hg = Mercúrio Ni = Níquel Na = Sódio STD = Sólidos Totais Dissolvidos SO₄ = Sulfato

Tabela 14: Ranking do Índice Relativo de Risco (IRR).

Amostra	RANKING IRR
PP03	34,084
PP04	22,198
PP14	5,995
PP19	4,777
PP08	3,548
PP20	2,447
PP07	2,022
PP13	1,887
PP09	1,852
PP10	1,546
PP06	1,515
PP16	1,473
PP01	1,352
PP02	1,348
PP17	1,081

6.4.3 Avaliação de Risco à Saúde

Para a avaliação de risco a saúde, foi calculada a dose de ingresso (I) para cada elemento, na situação de efeito não carcinogênico. Foram selecionados os elementos alumínio, cobre, chumbo, ferro, manganês, zinco, fluoretos e nitrato, pois os mesmos possuem informações sobre as doses de referência oral ou de ingestão, na planilha da CETESB, 2013. O cenário escolhido foi o residencial rural para crianças.

Depois de obter os valores da dose de ingresso para o cenário escolhido, foram calculados para cada elemento o quociente de perigo (HQ), e por último foi realizado o somatório dos HQs, dos elementos de cada poço, gerando um Índice de perigo não carcinogênico (HI). Conforme a tabela 16, podemos observar que das amostras, os valores de HI acima de 1, que apresentam um risco não carcinogênico são as amostras PP03 e PP04, que são amostras classificadas como boas pelo IQUAS, e que apresentam a presença de ferro, cromo e manganês, a PP04 ainda apresenta uma pequena concentração de mercúrio. Essas duas amostras estão localizadas em áreas de atividade agrícola, o que pode ter efeito na presença desses metais. As amostras PP09 e PP08 possuem um HI alto, mas não apresentam risco não carcinogênico, são amostras classificadas como ótimas, com presença de uma pequena concentração de chumbo na amostra PP08, que pode ter origem de alguma contaminação antrópica, pois sua localização é em uma área de vegetação. A amostra PP09 esta localizada em área urbana.

Tabela 15: Cálculos da Avaliação de Risco à Saúde Humana.

Amostra	HQ (Al)	HQ(Fe)	HQ (F)	HQ(Mn)	HQ(NO ₃)	HQ (Zn)	HQ (Cu)	HQ(Pb)	HI
PP01	0,003	0,0032	0,09	0,0027	0,0578	0,002533	0,0002675	0,0244	0,1839005
PP02	0,003	0,0032	0,09	0,0027	0,0355	0,002533	0,0002675	0,0244	0,1616005
PP03	0,003	0,904	0,09	0,0027	0,0158	0,002533	0,02075	0,0244	1,063183
PP04	0,003	0,334	0,2875	0,34	0,0253	0,002533	0,0002675	0,0244	1,0170005
PP06	0,003	0,0052	0,09	0,0027	0,119	0,002533	0,0002675	0,0244	0,2471005
PP07	0,003	0,0208	0,09	0,0027	0,0638	0,002533	0,0002675	0,0244	0,2075005
PP08	0,003	0,0398	0,33	0,0027	0,013	0,0034	0,0825	0,0852	0,5596
PP09	0,0031	0,0105	0,55	0,0027	0,0079	0,002533	0,0002675	0,0244	0,6014005
PP10	0,003	0,008	0,09	0,0027	0,0122	0,002533	0,007975	0,0244	0,150808
PP13	0,003	0,007	0,09	0,0027	0,0205	0,002533	0,0002675	0,0244	0,1504005
PP14	0,0107	0,0108	0,09	0,0027	0,0463	0,002533	0,0002675	0,0244	0,1877005
PP16	0,003	0,0032	0,09	0,0027	0,0117	0,002533	0,0002675	0,0244	0,1378005
PP17	0,003	0,0032	0,09	0,0027	0,049	0,002533	0,0002675	0,0244	0,1751005
PP19	0,0202	0,0032	0,09	0,0921	0,1533	0,002533	0,0002675	0,0244	0,3860005
PP20	0,0128	0,0032	0,09	0,0027	0,2471	0,002533	0,0002675	0,0244	0,3830005

6.4.4 Comparação e Avaliação da Eficiência do Uso de Diferentes Métodos e Índices de Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea.

Após serem calculados o Índice de Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS), O Índice Relativo de Risco (IRR) e o Índice de Perigo Não Carcinogênico (HI), foi feita uma comparação e avaliação entre eles, e também com os valores máximos permitidos (VMP's) pela Portaria 2914 do Ministério da Saúde (tabela 17).

Tabela 16: Comparativo entre os métodos utilizados.

Amostra	IQUAS	IRR	HI	Acima dos VMP's
PP01	89 Ótimo	1,352	0,1839005	pH
PP02	96 Ótimo	1,348	0,1616005	pH
PP03	79 Bom	34,084	1,063183	Cor; Ferro; Turbidez
PP04	74 Bom	22,198	1,0170005	Cor; Ferro; Manganês; Turbidez
PP06	0 Péssimo	1,515	0,2471005	Coliformes; <i>E.coli</i>
PP07	0 Péssimo	2,022	0,2075005	Ferro; Coliformes; <i>E.coli</i> ; Amônia
PP08	85 Ótimo	3,548	0,5596	Ferro; Amônia
PP09	91 Ótimo	1,852	0,6014005	Amônia
PP10	90 Ótimo	1,546	0,150808	pH
PP13	89 Ótimo	1,887	0,1504005	pH
PP14	0 Péssimo	5,995	0,1877005	Turbidez; Coliformes; <i>E.coli</i> ; pH
PP16	90 Ótimo	1,473	0,1378005	-
PP17	93 Ótimo	1,081	0,1751005	pH
PP19	85 Ótimo	4,777	0,3860005	Alumínio; Manganês; pH
PP20	0 Péssimo	2,447	0,3830005	Coliformes; <i>E.coli</i> ; Alumínio; pH

Analisando os resultados pode-se observar que os valores do IQUAS mostram que amostras que apresentam boa ou ótima qualidade, podem apresentar problemas que não são detectados, as amostras PP01, PP02, PP10, PP13 e PP13 tem problemas no pH, que está abaixo do permitido (pH ácido), as amostras PP08 e PP09 tem problemas com ferro e amônia, e a mais preocupante a amostra PP19 que tem presença de metais que são alumínio e manganês, além de ter um pH ácido, no entanto de todas as amostras classificadas como ótimas apenas a amostra PP16 não apresentou nenhum problema de qualidade, se enquadrando no método. As amostras classificadas como boas (PP03 e PP04) tem problemas na cor, turbidez e presença de ferro e manganês. O método utiliza em sua equação pesos de atribuição a parâmetros que podem não demonstrar a real problemática da amostra, além disso, o método já considera amostras que possuem coliformes e *E.coli* como amostras péssimas sem levar em conta outros possíveis parâmetros que podem ser mais prejudiciais à água, das amostras classificadas como péssimas apenas a PP06 apresentou só problemas com a presença dos coliformes e *E. coli*, no entanto as amostras PP07 e PP14 tem presença de ferro e amônia com turbidez e pH ácido, e a amostra PP20 com presença de alumínio. Isso tem importância, pois as medidas que podem ser tomadas para reverter o problema de microorganismos são mais fáceis de serem implantadas e executadas, dos que medidas necessárias para a remoção dos metais.

As amostras classificadas como péssimas pelo IQUAS, nos outros métodos demonstraram um comportamento melhor, onde apenas a PP14 apresentou um IRR alto, e nenhuma delas possui risco não carcinogênico.

O Índice Relativo de Risco apresentou-se como uma boa ferramenta para que se tenha maior atenção a amostras que não apresentam um risco eminente, mas que podem vir a ter problemas futuros, como as amostras PP08 e PP19, que possuem um IQUAS ótimo, mas um IRR alto, o que deve ser em decorrência da presença de ferro e amônia (PP08) e de alumínio, manganês e pH ácido (PP19).

O índice de perigo não carcinogênico, chamou bastante atenção pelo fato das amostras PP03 e PP04, que de acordo com o IQUAS são classificadas como boas, que apresentam os maiores valores de IRR, também apresentaram risco não carcinogênico, com valores acima de 1, além disso fazendo comparativos com os VMP's elas possuem cor, ferro, manganês e turbidez acima dos limites.

A única amostra que teve um comportamento regular foi a amostra PP16, com IQUAS ótimo, baixo valor de IRR e HI, além de não possuir nenhum parâmetro acima dos limites permitidos.

As amostras PP01, PP02, PP10, PP13 e PP17, apresentaram um IQUAS ótimo, valores baixos de IRR e HI, e apenas apresentaram valores fora dos limites de pH, que podem ser facilmente ajustáveis.

6.4.5 Análise das Causas das Alterações nos Problemas de Qualidade da Água Subterrânea.

Para avaliar as prováveis causas dos problemas de qualidade da água subterrânea, foi realizada uma análise da localização dos poços com um mapa de uso e cobertura do solo. O mapa de uso e cobertura do solo utilizado foi elaborado por Schäfer et al. (2017) para o município de Osório.

Para a avaliação foram plotados os resultados obtidos com o uso do IQUAS, sendo que foram gerados, um mapa de localização de todos os poços (Figura 38), bem como mapas de localização de poços para diferentes aplicações do IQUAS.

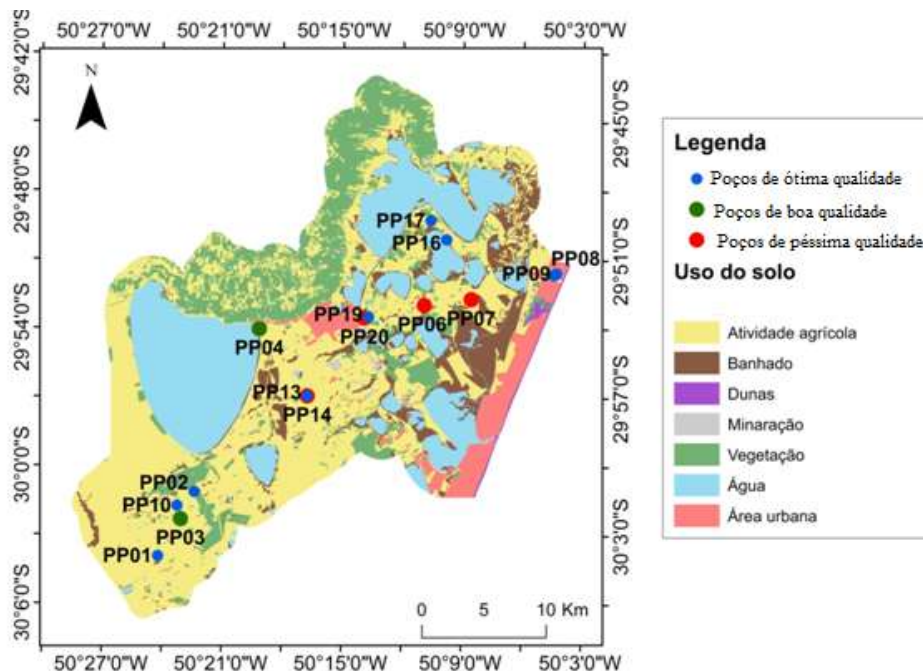


Figura 38 : Mapa de localização de todos os poços.

A figura 39 é apresentado o local das amostras de ótima qualidade, onde 7 amostras estão em áreas de atividade agrícola, 1 em área urbana e 1 em área de vegetação.

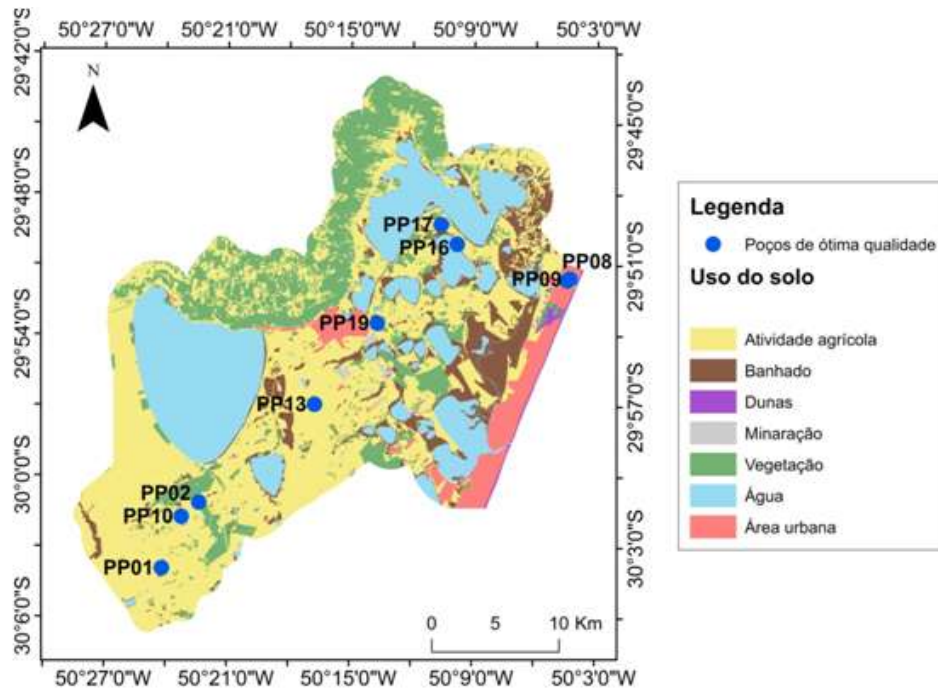


Figura 39: Mapa de localização dos poços de ótima qualidade.

A figura 40 mostra as duas amostras de boa qualidade, que aparecem em área de atividade agrícola.

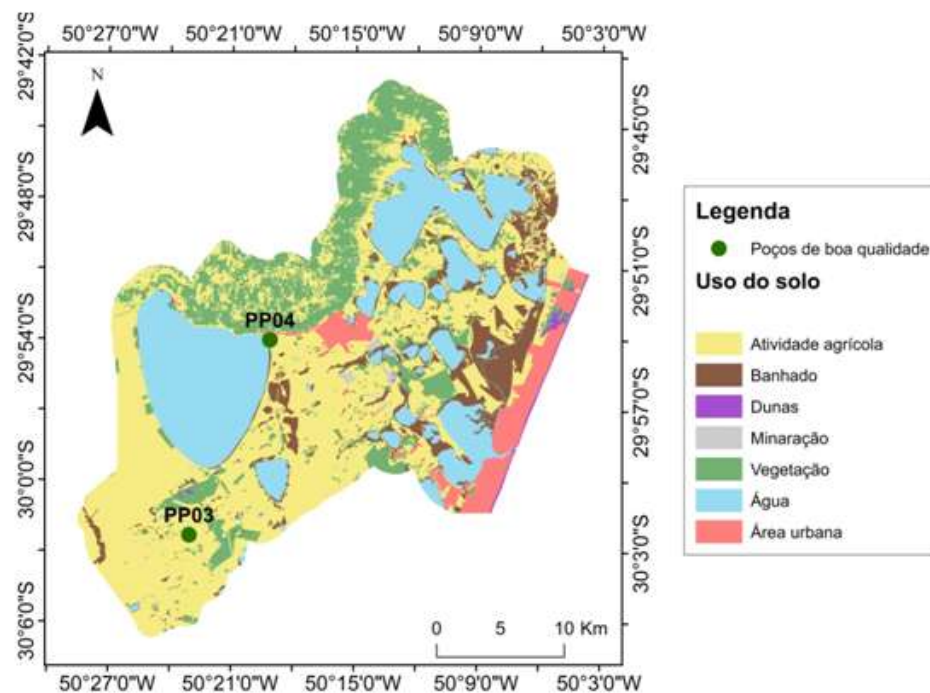


Figura 40: Mapa de localização dos poços de boa qualidade.

A figura 41 mostra as quatro amostras classificadas como ruins pela presença de coliformes, que se encontram todas em áreas agrícolas, tendo como destaque a amostra PP20 que fica em um cemitério, localizado entre a área agrícola e área urbana.

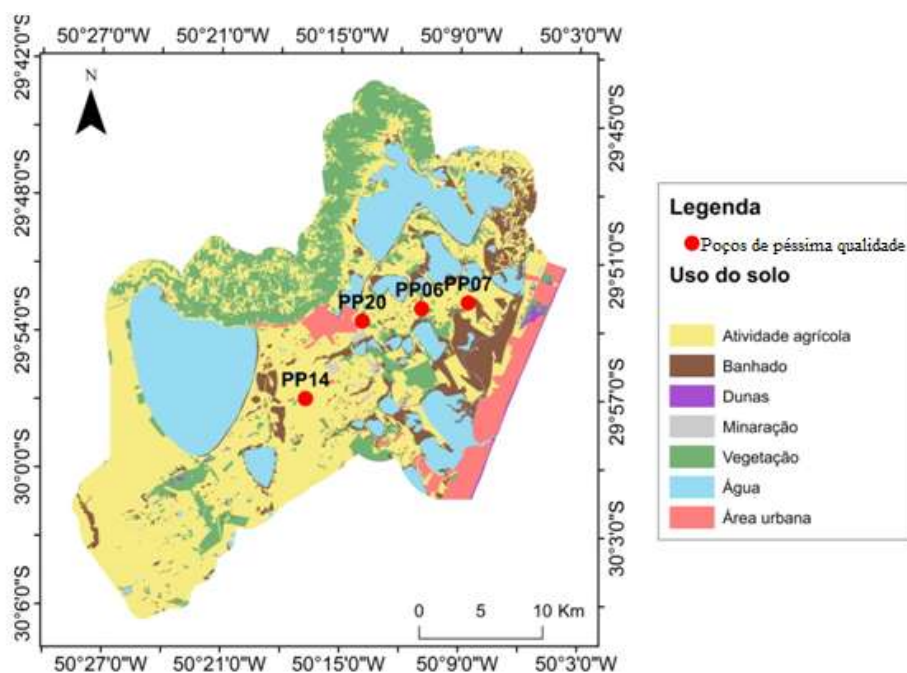


Figura 41: Mapa de localização dos poços de péssima qualidade

O uso da terra exerce forte influência sobre a qualidade da água subterrânea, uma forma de alteração da qualidade da água subterrânea está relacionada com o desenvolvimento da agricultura no País, que estimula o aumento da área cultivada e de produtividade.

A presença de atividade agrícola altera as condições geoquímicas naturais das áreas próximas de poços de abastecimento, como exemplo, o pH e a concentração de nitrato (Hooda et al., 2000; Leite et al., 2011).

Esse é um fato preocupante, podendo limitar o uso da água para o consumo humano, como também para a produção de alimentos (Carpenter et al., 1998; Mansor et al., 2006; Howden et al., 2009). Algumas práticas de cultivo do solo agrícola podem causar uma contaminação difusa, por fertilizantes, corretivos e agrotóxicos (Foster et al., 2002).

Outra importante fonte de contaminação são os esgotos que, nas cidades e nas regiões agrícolas, são lançados no solo diariamente em grande quantidade, poluindo rios, lagos e o lençol freático (Jalali, 2006).

A quantidade de microrganismos indica o grau de contaminação, e consequentemente o risco potencial quanto à presença de patógenos, atualmente a espécie *Escherichia coli* é considerada o melhor indicador de contaminação fecal, visto que algumas espécies de bactérias pertencentes ao grupo coliformes fecais podem também, ser encontradas em outras fontes que não fezes.

Os metais presentes em algumas amostras, mas que não estão acima do valor máximo permitido, podem ser de origem natural, segundo a Portaria da FEPAM N° 85/2014, que estipula Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul. No entanto, como a maior parte das amostras encontra-se em áreas agrícolas, isso pode ser também um indicativo de poluição antrópica, por isso seria necessário o desenvolvimento de estudos mais aprofundados.

Também deve destacar que o tipo de captação também tem influência na qualidade da água, pois poços construídos fora das normas, sem selo de proteção sanitária, sem filtros e pré-filtros, como é o caso de poços ponteiras, tendem a apresentar um maior risco. Além disso, esses poços, geralmente, possuem pequena profundidade e captam água de aquíferos granulares livres, que tendem a apresentar uma maior vulnerabilidade natural a contaminação da água subterrânea.

7. Considerações Finais

A área de estudo abrangida pelo município de Osório/RS, inserida na planície costeira do Rio Grande do Sul, é caracterizada pela ocorrência de diferentes sistemas aquíferos, sendo o principal o Sistema Aquífero Quaternário Costeiro (SAQC).

No município, o SAQC é caracterizado pela ocorrência de aquíferos granulares livres e confinados, que estão associados a camadas de sedimentos arenosos, sendo que a captação é realizada, principalmente, por poços ponteira (75% dos poços), que possuem profundidades inferiores a 30 metros.

Foi verificado que os valores de pH e condutividade elétrica (CE) foram variáveis, indicando a ocorrência de águas ácidas a levemente ácidas (pH entre 4,84 e 7,67), com baixa concentração de sais (CE entre 0 a 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Além disso, foi identificado que as águas subterrâneas apresentaram concentrações de nitrato inferiores a 7 mg/L N-NO₃, cloretos e sódio com os teores que não ultrapassam 60 mg/ e sólidos totais dissolvidos inferiores a 400 mg/l (90% das amostras). Em 4 amostras, foram identificadas a ocorrência de *Escherichia coli* e coliformes totais.

Através do diagrama de Piper verificou-se que as águas apresentam diferentes composições, podendo ser classificadas como Águas Bicarbonatadas Cálcicas ou Magnesianas (33%), Águas Bicarbonatadas Sódicas (20%), Águas Sulfatadas ou Cloretadas Sódicas (27%) e Águas Sulfatadas ou Cloretadas Cálcicas ou Magnesianas (20%). A análise do diagrama de Stiff permitiu identificar a ocorrência de águas com diferentes concentrações para os principais cátions e ânions.

Os resultados da avaliação da qualidade da água, captada por poços ponteira, demonstraram a ocorrência de problemas de qualidade. A comparação feita com os VMP's, indicou que a ocorrência de parâmetros acima dos máximos permitidos, sendo estes parâmetros representados pelo pH, amônia, ferro, cor, manganês e turbidez, além da ocorrência de Coliformes e *E.coli*. O uso do IQUAS, permitiu classificar 9 amostras como ótimas (PP01, PP02, PP08, PP09, PP10, PP13, PP16, PP17 e PP19), 2 como boas (PP03 e PP04) e 4 como péssimas (PP06, PP07, PP14 e PP20). O cálculo do IRR indicou a ocorrência de 7 amostras com valores altos PP03 (34,084), PP04 (22,198), PP14 (5,995), PP19 (4,777), PP08 (3,548), PP20 (2,447) e PP07 (2,022). Por fim, a Avaliação de Risco a Saúde, para ingestão da água subterrânea, resultou na identificação de 2 amostras que apresentaram Risco não Carcinogênico (poços PP03 e PP04).

Os métodos utilizados para avaliação da qualidade apresentaram um bom desempenho. O Índice da Qualidade da Água Subterrânea (IQUAS) foi o que demonstrou uma menor representatividade da situação das águas, pois algumas amostras classificadas como ótimas, quando comparadas com os Valores Máximos Permitidos, apresentaram falhas de qualidade. Além disso, as amostras que possuem Coliformes e *E.Coli*, são classificadas diretamente como péssimas, não sendo observados outros parâmetros. Isso é importante, pois a tomada de providências para a melhoria da qualidade da água é mais fácil de ser realizada, quando os problemas estão relacionados a contaminação bacteriológica do que a contaminação por metais. O Índice Relativo de Risco (IRR) demonstrou ser uma boa ferramenta para avaliação de problemas futuros, pois permite identificar as amostras que apresentam maiores índices, obtidos pela concentração de elementos químicos. Já a Avaliação do Risco a Saúde Humana, através da ingestão de água subterrânea, tem importância para a identificação de amostras que apresentam risco não carcinogênico.

A partir deste estudo podemos verificar que essas ferramentas são boas auxiliadoras nos estudos da qualidade da água subterrânea, sendo que as mesmas devem ser utilizadas em conjunto, permitindo assim uma maior avaliação dos problemas de qualidade da água subterrânea que possam ocorrer numa região.

8. Referências bibliográficas

Atlas socioambiental do município de Osório/ org. Alois Schäfer, Rosane Lanzer, Luciana Scur. Caxias do Sul, RS: Educs, 2017. 248 p;

Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul

<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/abastecimento-de-agua> acesso em 16 de abril de 2018.

Almeida, R. A. S. Índice de qualidade de águas subterrâneas destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS). 2007, 221f. Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador;

Almeida, R. A. S. Oliveira, I. B. Aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) destinado ao uso para Consumo Humano. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal - RN. Anais - XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008;

Araujo, S. F. Hidroquímica dos aquíferos freáticos da Bacia do Rio Jardim DF. 2006. Dissertação de Mestrado UnB Universidade de Brasília, Brasília, 2006;

Athayde C. M , et al. Índice Relativo de Risco, ferramenta de tomada de decisão em bacias hidrográficas destinadas ao abastecimento público. Boletim Paranaense de Geociências 71-1 (2014) 21-36;

Braga, B. et al. Introdução à engenharia ambiental. 2ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003. 305p;

Baird, C.; Cann, M. *Química Ambiental*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

Brasil. Ministério da Saúde. (2011). Portaria MS nº 2.914/2011. Brasília. p.34. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em 5 nov. 2015;

Brasil. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. PORTARIA FEPAM n.º 85/2014. *Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul, 2014;*

Caicedo, L. N. Hidrogeologia do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Anais. 7 p. 1998;

Carpenter, S.R.; Caraco, N.F.; Correll, D.L.; Howarth, R.W.; Sharpley, A.N.; Smith, V.H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, v.8, n.3, p.559-568, 1998.

Castro, D. de; Mello, R.S.P. 2013. Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Porto Alegre. Ed. Via Sapiens, 180p;

Chert Bobsin. Caracterização hidrogeológica do município de Osório Rio Grande Do Sul. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Trabalho de Conclusão de Curso) 58 p. 2013;

Cadilhac, L., albinet, M. (Coord). Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines - Rapport de présentation, Version 0, Agences de l'Eau et le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, France, Août 2003. Disponível em http://rdp.eaurmc.fr/eaux_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf. Acesso em: 26/11/ 2015;

CONAMA (2008). Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília - DF, 7 abr. DOU nº 66, pp. 64-68.

Dillenburg S.R., Tomazelli L.J., Barboza E.G. 2004. Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. *Marine Geology*, Amsterdam, **203**:43-56.

Dores, E. F. G. de ET al. Contaminação Do Ambiente Aquático Por Pesticidas. Estudo De Caso: Águas Usadas Para Consumo Humano Em Primavera Do Leste, MatoGrosso Análise Preliminar. *Quim. Nova*, v.24, n.1, p.27-36, 2001;

Feitosa, F. A. C. 2000. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. Fortaleza, CPRM, LABHID-UFPE, 412p;

Ferreira, L.M.; Ide, C.N. 2001. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. *In*: congresso brasileiro de

engenharia sanitária e ambiental, 2001, João Pessoa. **Anais**. João Pessoa: ABES, 2001. Disponível em: <<http://www.bvs.br/php/index.php>>. Acesso em: 28 nov. 2015;

Foster, S.; et al. Protección de la Calidad del Agua Subterránea - guía para empresas de agua, autoridades municipales y agencias ambientales. Washington, D.C: Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/Banco Mundial, 2002.

Fracalossi, F.G.; Barboza, E.G.; Rosa M.L.C.C.; Silva, A.B. 2010. O Registro em Subsuperfície da Barreira Pleistocênica entre Osório e Tramandaí – RS. Gravel. V. 8. Nº1 pag. 21-31;

Hirata, Vulnerabilidade à poluição de aquíferos. In.: Feitosa, F.A.C (org.) Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008. 812p;

Hausman, A. Estudo das possibilidades de água subterrânea do Rio Grande do Sul. Boletim da Sociedade brasileira de Geologia, vol. 1. P. 31 - 41. 1960;

Hausman, A. Províncias hidrogeológicas do Rio Grande do Sul. I Semana Hidrogeológica Uruguaia. Montevideu. 1964;

Hausman, A. Províncias hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul. Acta Geológica Leopoldensia, série mapas, mapa nº 2, p. 1 -127. 1995;

Hooda, et al. A review of catchment water quality concerns in livestock farming areas. The Science of the Total Environment, p.143-167, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 202. CD-ROM;

Jalali, M. Chemical characteristics of groundwater in parts of mountainous region, Alvand, Hamadan, Iran. Environmental Geology, Berlin, v.51, p.433–446, 2006.

Leite, N.K.; et al. Groundwater quality comparison between rural farms and riparian wells in the Western Amazon, Brazil. *Química Nova*, São Paulo, n.1, v.34, p.11-15, 2011.

Lisboa, N.A.; Dani, N.; Remus, M.V.D.; Castro, J. 2004. Síntese da Ocorrência Geológica das Águas Subterrâneas do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13. Anais. Cuiabá. 2004;

Machado, J. L. F.; Freitas, M. A. de. Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final. Porto Alegre. CPRM. 65p. il. mapa. 2005;

Machado, J. L. F., Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul [Tese], Programa de Pós-Graduação em Geologia—Área de Concentração em Geologia Sedimentar, Universidade do Vale do Rio Dos Sinos, São Leopoldo, Brasil, 2005;

Manoel F., J et al. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. CPRM/LABHID. Fortaleza, 1997. 412 p;

Marchet,C.A; et al. Uso e cobertura do solo.in Atlas Socioambiental do Município de Osório/org. Alois Schafer, Rosane Lanzer, Luciana Scur. Caxias do Sul,RS: 2017;

Mobus, G. Qualigraf – Programa para análise da qualidade da água. Fortaleza, FUNCENE – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Software-CD. 2002;

Nascimento, E.A.do. Sistema Aquífero Quaternário Costeiro é caracterizado pela ocorrência de diferentes unidades hidroestratigráficas de idades holocênicas e pleistocênicas. (Trabalho de Conclusão de Curso) p 67.2013;

Oliveira, I. B., Negrão, F. I, e Silva, A. G. L.S. Mapeamento dos Aquíferos do Estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. *Revista Científica Água Subterrânea*, V.21, Nº. 1, p. 123-137. 2007;

Oliveira, A, I, L et al. Proposição metodológica para modelagem da vulnerabilidade e risco dos recursos hídricos subterrâneos na sub-bacia do alto paraguaçu, estado da

bahia. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. 2009;

Porto, R. L. L. Estabelecimento de Parâmetros de Controle da Poluição. In: Porto, R. L.L., Brando, S. M., Cleary, R. W. *et al.*, Hidrologia Ambiental. São Paulo, Associação brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, 1991;

Reginato, P. A. R. ; Brancher, Luciana ; Schafer, a. E. ; Lanzer, m. Rosane. Água subterrânea utilizada para irrigação na planície costeira do rio grande do sul e seu risco a salinização. In: I congresso internacional de meio ambiente subterrâneo, 2009, São Paulo. Anais do I congresso internacional de meio ambiente subterrâneo. São Paulo: ABAS, 2009;

Reginato, P. A. R. ; Michalski, E. Z. . Água Subterrânea: Conceito, Formação e Características da Água Subterrânea. In: Schäfer, Alois; Lanzer, Rosane; Scur, Luciana. (Org.). Atlas Sociambiental dos Municípios de Cidreira, Balneário Pinhal e Palmares do Sul. 1ed. Caxias do Sul: EDUCS, 2013, v. 1, p. 107-118;

Santos, J, M, M. Índice de qualidade de água subterrânea aplicado em área de aquíferos cristalinos como uso agrícola: Bacia do Rio São Domingos-RJ. 2009, 189f. Doutorado em Geologia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro;

Sánchez, E.; Colmenarejo, M.F.; Vicente, J., Rubio, A.; García, M.G., Travieso, L.; Borja, R. Use of the Water Quality Index and Dissolved Oxygen Deficit as Simple Indicators of Watersheds Pollution. **Ecological Indicators**. v. 7, n. 2, p. 315-328. 2007;

Soares, A.D. 2016. Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Município de Osório, RS. Porto Alegre, IGEO/UFRGS, 2016, 117p.

Tomazelli, L. J.; Dillenburg, S. R.; Villwock, J. A.; Barboza, E.G.; Bachi, F. A.; Dehnhardt, B. A.; Rosa, M. L. C. C. Sistemas deposicionais e evolução geológica da planície costeira do Rio Grande do Sul: uma síntese. In: Iannuzzi, R.; Frantz, J. C. (Ed.). 50 anos de geologia: Instituto de Geociências, contribuições. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. p. 327-340;

Troian, G.C.; Goffermann, M.; Freitas, M.A. de. 2004. Monitoramento Quali-Quantitativo do Aquífero Costeiro no Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13. Anais. Cuiabá. 2004;

Travessas, F. de A.; Dillenburg, S.R.; Clerot, L.C.P. 2005. Estratigrafia e Evolução da Barreira Holocênica do Rio Grande do Sul no Trecho Tramandaí-Cidreira. Boletim Paranaense de Geociências, nº 57. P. 57-73, 2005. Editora da UFPR;

Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. Loss, E. L; Dehnhardt, B. A. Geology of the Rio Grande Do Sul Coastal Province. In: Rabassa, J. (Ed). Quaternary of South America And Atartic Peninsula. A. A. Balkema, Rotterdam. 4: 79-97. 1986;

Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. Geologia do sistema lagunar holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. 18 (1): 13-14. 1990;

Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. O Cenozoico do Rio Grande Do Sul: geologia da planície costeira. In: Holz, M. & De Ros, L. F (Eds). Geologia do Rio Grande Do Sul. Edições CIGO/UFRGS, Porto Alegre, p 375-406. 2000;

Villwock, J. A.; Tomazelli, L. J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas. CECO/IG/UFRGS. Porto Alegre, RS. nº 8: 1-45 p.

USEPA, 1989. Risk Assessment Guidance for Superfund - Volume I - Human Health Evaluation Manual (Part A). Disponível em: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsa/pdf/rags_a.pdf>. Acesso em: 22 maio. 2017.