



Estudos de Caso e Notas Técnicas

Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Influência do monocultivo de *Pinus sp.* na qualidade da água subterrânea superficial da Ilha dos Marinheiros (Rio Grande, RS)

Influence of *Pinus sp.* monoculture in the quality of surface groundwater in Ilha dos Marinheiros (Rio Grande, RS)

Izabella Nunes P. Castanha¹; Maria da Graça Zepka Baumgarten², Carlos Francisco Ferreira de Andrade³ ✉

¹ Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.

² Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.

³ Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS.

✉ izabella_npc@yahoo.com.br, dqmmgzb@furg.br, carlos.fand@gmail.com

Resumo

Palavras-chave:

Água subterrânea.
Pinus sp.
Ilha dos Marinheiros.
Rio Grande (RS).

A qualidade da água subterrânea pode ser comprometida pela substituição da mata nativa por espécies exóticas, como o *Pinus sp.*, recorrente na Ilha dos Marinheiros (cerca de 1300 hab., 39,28km²), Rio Grande (RS). Na ilha não há suprimento oficial de água potável, sendo consumida a água subterrânea. Durante anos houve o cultivo de *Pinus sp.* em regiões da Ilha e por ordem judicial, estes foram removidos posteriormente, deixando resíduos. O presente estudo avaliou a qualidade da água subterrânea de três áreas da ilha: Área 1: presença remanescente de uma mata de *Pinus sp.* em desenvolvimento; Área 2: presença de mata residual; Área 3: controle, sem atividades antrópicas. O objetivo foi avaliar a influência dos monocultivos na qualidade da água subterrânea superficial. Os resultados mostraram que a água subterrânea da ilha é levemente ácida e subsaturada em oxigênio. A mata em desenvolvimento contribui com aumentos para a água subterrânea da acidez, condutividade, cloretos e fosfato. Na área com a mata residual, a água subterrânea apresentou intensos acréscimos de ferro dissolvido, cor e turbidez e manganês. Portanto, a desarborização dos monocultivos não evita a contaminação da água subterrânea. É indispensável a retirada total dos resíduos da mata no solo. Os ilhéus precisam ser contemplados com ações de gestão pública, que lhes permitam o consumo de água potável e com a conscientização da inadequação da ilha para implantação de monocultivos de espécies exóticas.

Abstract

Keywords

Groundwater.
Pinus sp.
Ilha dos Marinheiros.
Rio Grande (RS).

The quality of groundwater can be compromised by the replacement of native forest by exotic species, such as *Pinus sp.*, recurrent in Ilha dos Marinheiros (about 1300 inhabitants, 39,28km²), Rio Grande (RS). In that island, there is no official supply of drinking water, and underground water is consumed. For years there was the cultivation of *Pinus sp.* in regions of the island and these were removed by court order, leaving residues. The present study evaluated the quality of groundwater in three areas of the island: Area 1: remnant presence of a *Pinus sp.* under development; Area 2: presence of residual forest; Area 3: control, no anthropogenic activities. The objective was to evaluate the influence of monocultures on the quality of surface groundwater. The results found that the island's groundwater is slightly acid and undersaturated in oxygen. The developing woodland contributes to increase the acidity of groundwater, conductivity, chlorides and phosphates. In the area with residual forest, the groundwater presents intense additions of dissolved iron, color and turbidity and manganese. Therefore, deforesting monocultures does not prevent groundwater contamination. The total removal of forest residues from the soil is essential. The islanders need to be contemplated with public management actions, which allow the consumption of drinking water and the awareness of the island's inadequacy for the implementation of monocultures of exotic species.

DOI: <http://doi.org/10.14295/ras.v35i2.30066>

1. INTRODUÇÃO

1.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA E A IMPORTÂNCIA DE SUA PRESERVAÇÃO

A água tem importância vital para os seres vivos e assim, a avaliação da sua potabilidade e das suas condições higiênico-sanitárias são primordiais para a qualidade de vida.

Em áreas menos urbanizadas e sem suprimento de água potável canalizada pela rede pública, as águas subterrâneas podem ser usadas como fonte de abastecimento, com pré-tratamento e posterior canalização oficial ou “*in natura*”, quando tiver potabilidade (BAUMGARTEN et al, 2015). Estas águas armazenadas em lençóis são aquíferos subterrâneos, acumuladas pelo excesso das águas de chuvas que percorrem camadas abaixo da superfície do solo, preenchendo os espaços vazios existentes entre os sedimentos, rochas e fissuras do solo (ANA; MMA, 2007).

O comprometimento da qualidade das águas subterrâneas, principalmente as mais superficiais, é decorrente de aportes antrópicos de diferentes fontes. Dentre elas citam-se o escoamento superficial urbano e agrícola e ações que geram efluentes domésticos e industriais não tratados e infiltrados no solo. Isso é piorado quando há deficiência de políticas públicas regionais voltadas para a preservação da água subterrânea (SCORSAFAVA et al., 2010).

O uso inadequado do solo pode ser uma potencial fonte de contaminação da água subterrânea. Isso pode ocorrer por ações que modifiquem a natureza equilibrada do solo, como: aplicações não otimizadas de fertilizantes, agrotóxicos em atividades agrícolas; devastação massiva de cobertura vegetal natural; deposição de resíduos sólidos. A captação da água de forma inadequada pela população também pode pôr em risco o lençol freático (ARÉVALO, 2008).

Algumas práticas florestais, tais como substituição da mata nativa por monocultivos de espécies exóticas, como por exemplo, de *Pinus sp.*, bastante frequente no Estado (RS), podem alterar significativamente a boa qualidade da água subterrânea (ARÉVALO, 2008; MENEZES, 2012).

A qualidade da água subterrânea é definida pelas suas características físico-químicas e microbiológicas, que estão associadas à sua circulação em superfície e às condições de dissolução das rochas circundantes dessa água, além das possíveis fontes antrópicas acima mencionadas.

Como a água subterrânea é naturalmente mais protegida da poluição e contaminação, comparada às águas superficiais, por vezes o seu consumo dispensa o tratamento físico-químico. A água subterrânea, ao lixiviar os solos e as rochas, fica enriquecida em certos sais provenientes da dissolução dos seus minerais constituintes. Devido as condições de menor circulação e maior enclausuramento, esta água tende a possuir menor teor de oxigênio dissolvido do que as águas superficiais (ARÉVALO, 2008; MENEZES, 2012;).

A avaliação de sua qualidade é essencial para garantir o uso sustentável e seguro para consumo humano, uso agrícola ou industrial. Ações adequadamente implantadas junto à população poderão garantir a segurança do fornecimento de água através da redução da concentração mínima de constituintes prejudiciais à saúde (MENEZES, 2012).

Os padrões de controle de qualidade de água potável são regidos pela Portaria nº 2914 (MS, 2011), que dispõe as diretrizes de potabilidade da água destinada para o consumo humano em sistemas de abastecimento público e soluções alternativas. A água é considerada própria para o consumo humano, quando seus parâmetros microbiológicos, físico-químicos e químicos atendem ou estão em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos (níveis de concentrações recomendados para cada constituinte da água), não oferecendo riscos à saúde (SCORSAFAVA, 2010).

A Resolução CONAMA nº 396/2008 dispõe as diretrizes ambientais e classificação para o enquadramento das águas subterrâneas levando em consideração sua utilização para consumo humano ou irrigação.

Portanto, para a avaliação da qualidade da água subterrânea faz-se necessário que análises físico-químicas e microbiológicas sejam realizadas na mesma, e seus resultados comparados com os níveis recomendados pelas legislações específicas (ARÉVALO, 2008).

1.2 MONOCULTIVO DE *PINUS sp.*: CONSEQUÊNCIAS NA QUALIDADE AMBIENTAL

A silvicultura refere-se ao cultivo e manejo de florestas do gênero *Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.* e outras espécies, geralmente com o intuito comercial na produção de madeira e outros derivados, buscando uma combinação entre a preservação ecológica e o aproveitamento da floresta com fins sociais (SILVA et al., 2003). O desenvolvimento da silvicultura no estado do RS se deu por incentivos fiscais, através da necessidade crescente de regulamentação do setor florestal, e para substituir espécies lenhosas nativas em processo de extinção.

O *Pinus sp.* tornou-se um dos gêneros mais importantes de árvores atualmente utilizadas para plantações florestais, devido a sua grande adaptabilidade, ritmo de crescimento e até mesmo a qualidade da madeira e dos produtos com ela fabricados (DUTRA e VARGAS, 2017).

As plantações de *Pinus sp.* cooperam para o crescimento de indústrias de celulose, papel, serrarias e móveis. Estas plantações proliferam-se com grande facilidade nos ambientes abertos e independem da fertilidade do solo, sendo considerados importantes invasores exóticos (BECHARA, 2003; GIANUCA, 2012).

Seus impactos ambientais têm sido discutidos em escala mundial, pois podem causar alterações químicas no solo, inibindo o crescimento de espécies sensíveis e, conseqüentemente, reduzindo a população de espécies nativas. Os monocultivos de *Pinus sp.* consomem água subterrânea, podendo ser responsáveis por modificar as características dos ambientes naturais ou pela redução do nível do lençol freático superficial, afetando a disponibilidade para os demais plantios ou abastecimento da população (GIANUCA, 2012).

Além disso, os monocultivos empobrecem continuamente o solo e resultam em seu sombreamento e deposição de grandes quantidades de biomassa residual vegetal, que podem ser responsáveis por alterações nas propriedades físicas e químicas do ambiente, seja no solo ou na água (GIANUCA, 2012).

Os depósitos residuais no solo de monocultivos de *Pinus sp.* contém abundância de acículas, que é uma estrutura filamentosa, de forma agulhada, resultante de desfolhamentos da árvore. A serapilheira formada nas áreas desses monocultivos acumulam estas acículas, e se caracteriza como a camada formada pela deposição dos restos de vegetais e acúmulo de material orgânico em diferentes estágios de decomposição que reveste superficialmente o substrato.

A serapilheira é a principal via de reciclagem de nutrientes ao solo ou sedimento em áreas de cultivos. A liberação de ácidos orgânicos e compostos de nitrogênio e fósforo por acículas em decomposição favorecem a acidificação do solo (SILVA et al., 2003; ARÉVALO, 2008).

A regulamentação da silvicultura no Rio Grande do Sul iniciou em 2004, quando a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA) regulamentou tal atividade e deu início ao Zoneamento Ambiental da Silvicultura (ZAS). Já o enquadramento da espécie exótica de *Pinus sp.* (Portaria nº 79, SEMA, 2013) foi como Categoria 2, que deve ser utilizada com restrições e obedecendo regulamentações específicas, sujeitas à análise de risco e plano de controle ambiental e licenciamento

Focando nos aspectos acima apresentados, o presente estudo foi desenvolvido na Ilha dos Marinheiros, pertencente ao município de Rio Grande, no sul do Estuário da Lagoa dos Patos, ao sul do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Nessa ilha não há suprimento de água potável nem rede de coleta de esgotos. A água para o consumo e irrigação na comunidade da ilha é obtida a partir de poços artesianos, cacimbas e similares captadores de águas subterrâneas (BAUMGARTEN et al., 2015).

O objetivo geral foi avaliar as variações da qualidade da água subterrânea superficial desta Ilha em áreas com diferentes fases de implantação de monocultivos de *Pinus sp.* A proposta foi identificar as influências de monocultivos na qualidade da água subterrânea dessa ilha, contribuindo para a conscientização da comunidade local, em termos do conhecimento das desvantagens desse monocultivo na Ilha.

1.3 A ILHA DOS MARINHEIROS

Ao sudeste do estuário da Lagoa dos Patos, na margem oeste da cidade de Rio Grande ($32^{\circ}00'00''S$ e $52^{\circ}09'00''O$), distante de cerca de 1500 metros, está a Ilha dos Marinheiros, que se localiza na enseada rasa estuarina "Saco do Arraial". A ilha está dividida em cinco áreas: Bandeirinhas (sul), Porto do Rei (sudeste), Marambaia (nordeste), Coréia (norte) e Fundos da Ilha (noroeste). Tem uma extensão de 39,28km² (fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ilha_dos_Marinheiros, consulta em 07/2015) e possui aproximadamente 1300 habitantes, sendo estes predominantemente pescadores e agricultores.

A ilha tem abundante vegetação, aparente boa qualidade da água subterrânea superficial e solo fértil. Possui diversidade de ambientes (marismas, dunas, lagoas, matas) e processos ligados às condições estuarinas de intensas variações da salinidade nas margens hídricas (CUNHA, 2015).

As dunas da Ilha dos Marinheiros são de 2 tipos: dunas semi-vegetadas e dunas vivas. As dunas semi-vegetadas podem atingir cerca de 10 metros de altura e formam um cinturão em torno das dunas vivas, protegendo as casas e lavouras da areia transportada pelo vento. As dunas vivas são uma grande reserva de areias quartzosas, localizadas na porção central da ilha. São pobres em nutrientes, sem potencial de utilização agrícola, além de serem importantes para a regulação hidrológica. Ambos tipos de dunas retêm os detritos orgânicos, dispersando rapidamente a água através do lençol freático. As dunas areno-argilosas aliadas às lagoas na ilha, formam um sistema de armazenamento e filtragem das águas captadas das chuvas. A aparente e tradicional boa qualidade dessa água é atribuída a composição geológica que a armazena (CUNHA, 2015).



Figura 1 - Rio Grande do Sul com aproximação da área de estudo: Ilha dos Marinheiros no município do Rio Grande (RS), no estuário da Lagoa

O desmatamento no interior da ilha transformou a paisagem sua paisagem e favoreceu o avanço das dunas sobre cultivos e construções. Por volta de 1980, convencidos de que o florestamento seria uma solução para a invasão de areia das dunas em casas da ilha, os ilhéus arrendaram terras para a plantação de cerca de 700 hectares de *Pinus sp.* na ilha. Além disso, a plantação apresentava-se como uma alternativa à agricultura. A empresa FLOPAL Florestadora Palmares Ltda. foi responsável pelo plantio (CUNHA, 2015; PEREIRA, 2016).

Após a implantação dos monocultivos na Ilha dos Marinheiros, foram constatados problemas nas águas das lagoas naturais, formadas pelo afloramento de água subterrânea. Estas lagoas, antes cristalinas, passaram a apresentar coloração escura nas margens e as mais rasas secaram mais rapidamente em períodos de estiagem (BAUMGARTEN et al., 2015; PEREIRA, 2016).

Em função destas constatações, a pedido dos moradores da ilha, foi assinado um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC do MP, 2008) entre o Ministério Público e a empresa florestadora para a retirada dos monocultivos de *Pinus sp.* da ilha. A silvicultura começou a ser oficialmente extinta somente em 2012 pela empresa. Entretanto, em 2015, ainda foram identificadas áreas com *Pinus sp.* não erradicado, e depósitos de sementes das referidas árvores (PEREIRA, 2016). Atualmente, ainda são identificados vestígios dos monocultivos, pois como não houve a total retirada das árvores até a raiz, muitas delas brotaram de novo. Outras cresceram em áreas onde as sementes migraram pelos ventos.



Figura 2 - Mata em desenvolvimento e mata residual de um monocultivo de *Pinus sp.* na Ilha dos Marinheiros (Fonte: Autores).

Dentre os estudos já realizados na Ilha dos Marinheiros sobre a qualidade da água consumida, Arévalo (2008) constatou em algumas casas de cada área, que havia consumo de água com elevada condutividade, alta concentração de fósforo, ferro total e dissolvido e a presença da bactéria fecal *Escherichia coli*, em desconformidade com os padrões de potabilidade.

Baumgarten et al. (2015) documentaram que, em cerca de 42% das 309 casas avaliadas (de um total de cerca de 515 casas habitadas na época), havia o consumo de água ferruginosa (rica em ferro). Os níveis dessa contaminação variaram entre as casas avaliadas, mas a maior incidência foi nas áreas Coréia e Fundos da Ilha, ao norte, mais afastada de Rio Grande. A presença de águas ferruginosas foi maior nas regiões próximas às áreas que foram submetidas a monocultivos de *Pinus sp.* As concentrações de ferro nestas águas apresentaram concentrações até 10 vezes acima do limite máximo recomendado pela legislação para água potável ($0,3 \text{ mg.L}^{-1}$). Estas águas também estavam insaturadas de oxigênio, favorecendo a manutenção de formas ferrosas mais solúveis.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 AMOSTRAGENS

As amostragens de água subterrânea superficial foram realizadas no inverno de 2019 e distribuíram-se em três áreas distintas da Ilha (Tabela 1 e Figura 3), totalizando 6 pontos de coleta:

Área 1: mata em desenvolvimento, pontos 1, 2 e 3: caracterizada pela presença de um monocultivo de *Pinus sp.* em desenvolvimento.

Área 2: mata residual, pontos 4 e 5: também com monocultivo de *Pinus sp.*, porém, mais antigo que o da área 1 e com a vegetação cortada e/ou retirada até a raiz;

Área 3: controle, ponto 6: próximo a Lagoa da Noiva (formada pelo afloramento de água subterrânea), situada nas proximidades da margem sul da ilha. Esta lagoa é margeada por dunas arenosas e sem influência direta dos monocultivos.

Tabela 1 - Georreferenciamento dos pontos amostrados na Ilha dos Marinheiros.

Região da ilha	Área amostrada	Pontos	Coordenadas
Fundos da ilha	Área 1	1	32°0'6" S 52°11'4" O
		2	32°0'6" S 52°11'3" O
		3	32°0'7" S 52°11'5" O
Marambaia	Área 2	4	32°00'19.2" S 52°06'59" O
		5	32°00'20.1" S 52°7'0.5" O
Porto do Rei	Área 3	6	32°0'48" S 52°8'9" O



Figura 3 - Ilha dos Marinheiros com destaque nas áreas amostradas. Área 1: Presença de *Pinus sp.* em desenvolvimento. **Área 2:** monocultivo residual. **Área 3:** ponto controle, sem monocultivo, próximo de dunas arenosas (Fonte: Google Earth e adaptado pelos autores).

2.2 PARÂMETROS ANALISADOS INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA

Foram analisados os seguintes parâmetros (Tabela 2), caracterizados e descritos segundo Baumgarten et al. (2010):

- Temperatura; cor e turbidez: parâmetros físico-químicos importantes para a boa qualidade, aparência e potabilidade da água a ser consumida;
- Oxigênio dissolvido e sua saturação: importante gás para a respiração da biota (consumo). Pode também ser consumido em reações de oxidação química de compostos reduzidos presentes na água (exemplo: ferro ferroso). Esse gás é liberado pelos produtores primários (fotossíntese) e pode ser acrescentado na água por processos de aeração e exposição.
- Fitonutrientes inorgânicos dissolvidos: parâmetros químicos. O nitrito, o nitrogênio amoniacal e o fosfato podem ter origem na decomposição da matéria orgânica natural ou antrópica ou em aportes de fertilizantes. Seus excessos proporcionam desequilíbrios tróficos na água, como eutrofização, na presença de luz. O fosfato e o silicato podem também ter origem a partir da redissolução de sedimentos. O silicato é um nutriente para determinadas espécies, que usam esse ânion para sintetizar suas estruturas rígidas.
- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅): parâmetro microbiológico que identifica os níveis de matéria orgânica biodegradável na amostra;
- pH: identifica os níveis de acidez, neutralidade ou alcalinidade das águas;
- Salinidade e condutividade: identificam os níveis de determinados sais dissolvidos. Nem todos sais que aumentam a condutividade da água são considerados no valor da salinidade;
- Cloretos: abundantes em águas mais salinas. Podem provir da intrusão dessa água na coluna sedimentar contaminando a água subterrânea e também, se originarem da dissolução de minerais da coluna sedimentar. Altas concentrações prejudicam o uso da água para a agricultura e consumo;
- Alcalinidade: se origina através da dissolução das rochas, sendo função principalmente do teor de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes na água, neutralizando os ácidos e aumentando o pH.
- Ferro e manganês: metais que podem estar na forma reduzida (mais solúvel) e oxidada (menos solúvel). Estes metais são oligoelementos indispensáveis para o metabolismo, mas passam a serem tóxicos quando em altas concentrações, prejudicando a potabilidade da água. Podem se originar a partir da redissolução de minerais do substrato ou por origem microbiana. Águas ferruginosas (ricas em ferro) quando expostas ao oxigênio do ar, podem amarelar e adquirir sabor ferruginoso devido a oxidação do ferro, que então pode vir a formar micelas coloidais.

2.3. AMOSTRAGEM E MÉTODOS ANALÍTICOS

A coleta de água subterrânea foi realizada com o auxílio de uma bomba peristáltica conectada a um sistema de *Push-point*, que consiste em uma vara de aço inox com 1,5 metro de comprimento, enterrada até a profundidade de aproximadamente 1 metro, e uma ponteira inerte ligada a uma mangueira Masterflex®. Os primeiros volumes de água coletados foram descartados.



Figura 4 - Coleta de água subterrânea em um dos pontos amostrados na Ilha dos Marinheiros, com auxílio de Push-Point (Fonte: autores).

Em cada ponto de amostragem, as amostras destinadas para as análises dos fitonutrientes, incluindo o ferro dissolvido, foram filtradas com suporte Aqua Prep® e filtro de 0,45 µm. As demais amostras não foram filtradas, sendo estas coletadas diretamente nos respectivos frascos de polietileno. As análises do pH, temperatura, salinidade, condutividade, oxigênio dissolvido e sua saturação foram feitas *in locu*. No laboratório, as amostras destinadas para análise de nutrientes foram congeladas individualmente por parâmetro, até a análise. Para o ferro ferroso (Fe²⁺), as análises foram imediatas.

Para os parâmetros cor e turbidez, as amostras foram mantidas refrigeradas até o momento da análise no laboratório. Para as análises de DBO₅, as amostras destinadas ao cultivo de microrganismos decompositores da matéria orgânica foram coletadas sem filtrar em frascos de vidro com tampa esmerilhada abrigados da luz. No laboratório eles foram incubados por 5 dias a 20 °C.

Tabela 2 - Relação dos parâmetros analisados e respectivas metodologias analíticas.

Parâmetros analisados e unidades	Métodos analíticos
Temperatura (°C) Salinidade e Condutividade (uS.cm ⁻¹)	Termosalinômetro WTW ProfiLine cond 3310,
pH	Potenciometria. Uso de pHmetro Mettler Toledo FiveGo.
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹) e sua saturação (%) (mg.L ⁻¹) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅) (mg.L ⁻¹)	Medidor ótico Oxímetro Ysi, ProSolo. DBO: incubação de uma alíquota de cada amostra a 20° C por 5 dias numa incubadora modelo BEL Photonics® VIS-1105 e posterior dosagem do oxigênio consumido em relação ao inicialmente presente na amostra incubada.
Turbidez (NTU)	Nefelometria. Uso de Turbidímetro Digimed, DM-TU.
Cor (mg.L ⁻¹ Pt-Co)	Colorimetria. Uso de Colorímetro Digimed, DM-COR.
Alcalinidade e cloretos (mg.l-1)	Volumetria manual.
Nitrito (N-NO ₂); Nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺); Fosfato (P-PO ₄ ³⁻); Silicato (Si-SiO ₄ ⁴⁻); Ferro ferroso (Fe ²⁺) (mg.L ⁻¹)	Espectrofotometria na faixa da luz visível (colorimetria). Uso de um espectrofotômetro modelo BEL Photonics® VIS-1105.
Manganês total (mg.L ⁻¹)	Espectrometria de absorção atômica. Uso de Espectrofotômetro de chama Shimadzu AA-7000, FAAS.

Os métodos de análises dos nutrientes, da DBO₅ e da alcalinidade estão descritos em Baumgarten et al. (2010). Os cloretos foram analisados pelo método de Mohr descrito em Baccan (2001). O ferro ferroso (forma reduzida) foi analisado pelo método colorimétrico descrito em Paiva et al. (2012). O manganês foi analisado pela metodologia descrita em APHA (1998). As concentrações dos nutrientes e dos metais ferro e manganês foram calculadas a partir da curva de calibração (reta padrão) elaborada a cada dia de análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água subterrânea analisada nas 3 áreas apresentou salinidades nulas (água doce). Em geral, as baixas concentrações registradas para alguns dos parâmetros analisados, principalmente na Área controle, podem ser consequência do alto índice pluviométrico ocorrido no período das amostragens, resultando em uma possível diluição da concentração dos mesmos.

A temperatura da água subterrânea (Figura 5) não diferenciou as áreas amostradas e variou entre em uma pequena amplitude: de 15,9 a 19,3°C. As maiores temperaturas ocorreram nos pontos 4 e 5 (Área 2), onde a mata sendo apenas residual, expõe o substrato ao aquecimento solar, devido a mata ser residual.

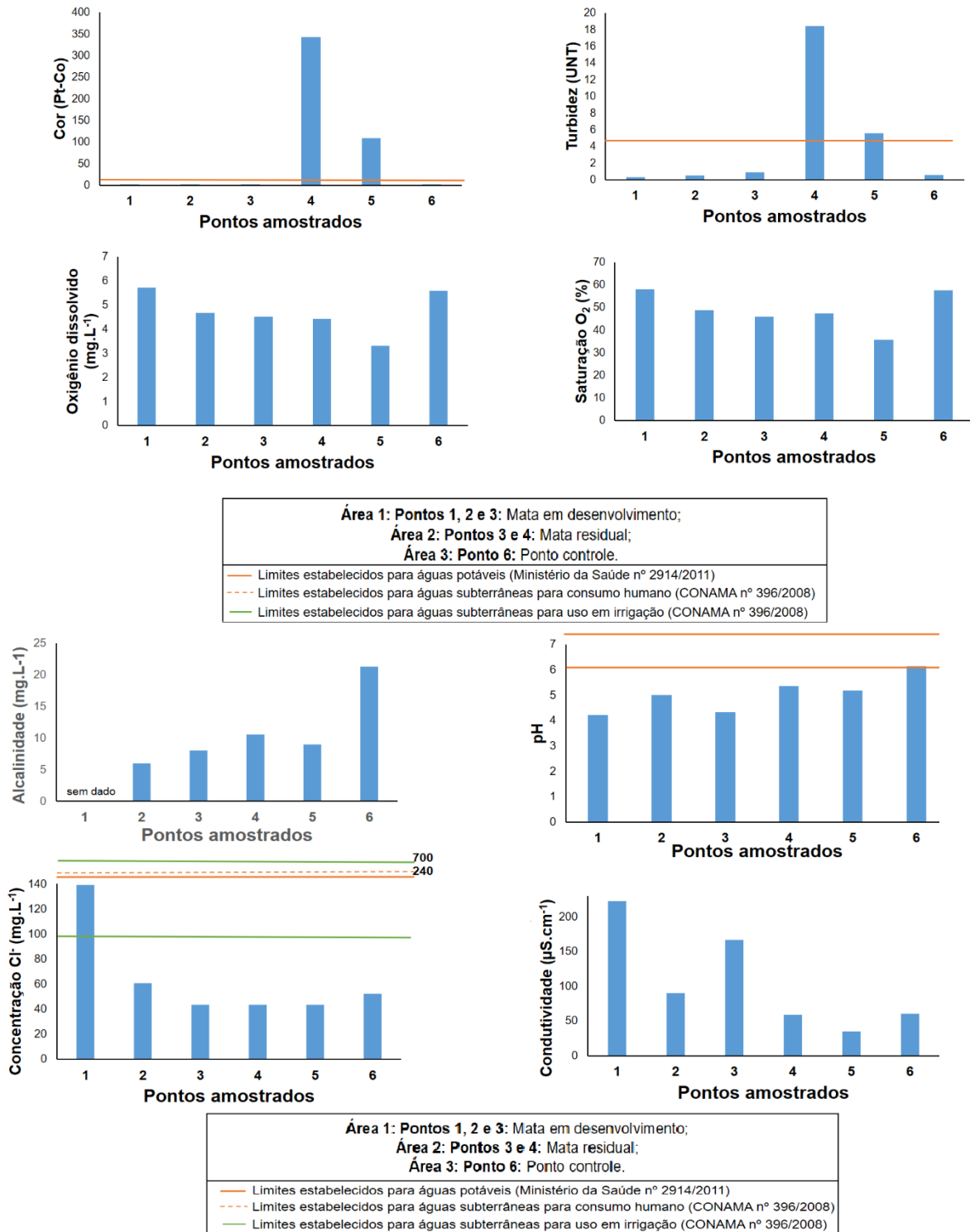


Figura 5 - Resultados da alcalinidade, pH, cloretos e condutividade da água subterrânea de 3 áreas da Ilha dos Marinheiros (Rio Grande/RS) (Fonte: autores).

Figura 6 - Resultados da cor, turbidez, oxigênio dissolvido e sua saturação da água subterrânea (Fonte: autores).

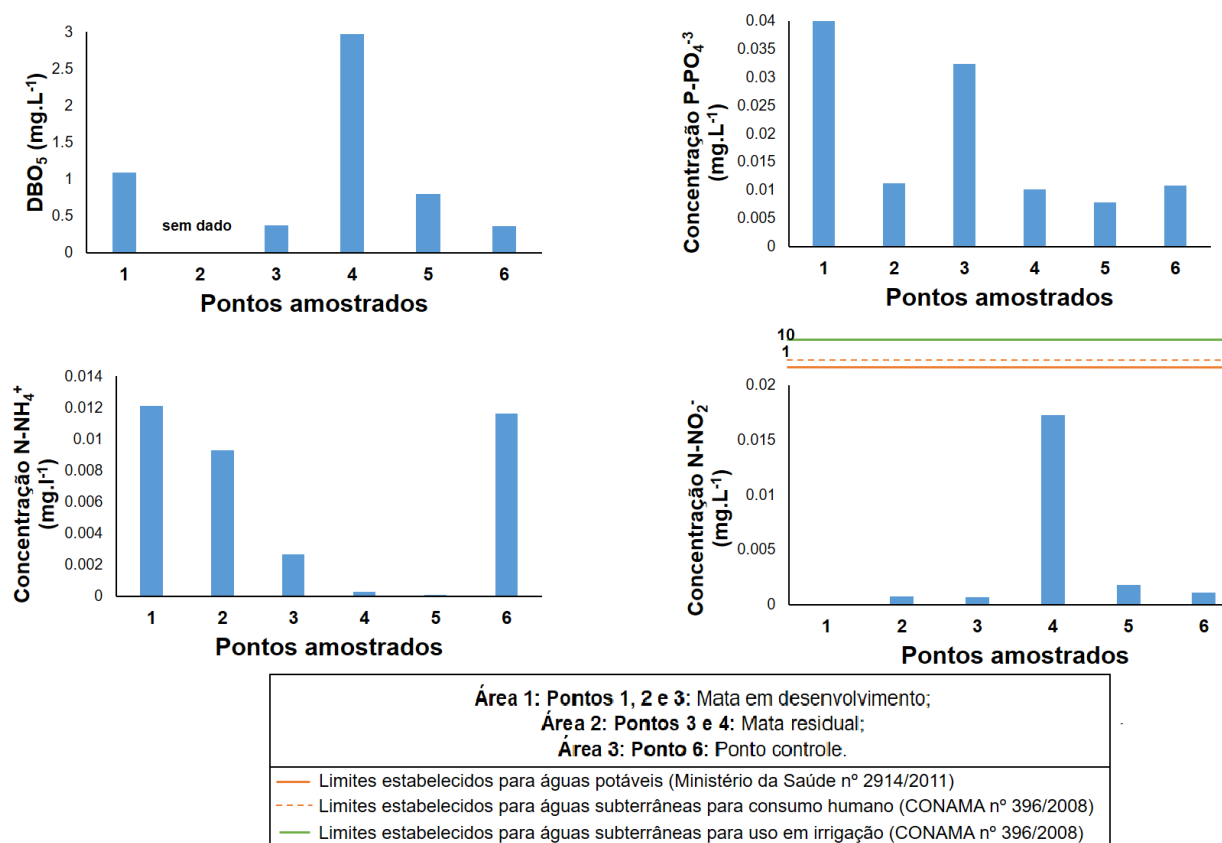


Figura 7 - Resultados da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), fosfato, nitrogênio amoniacal e nitrito da água subterrânea de 3 áreas da Ilha dos Marinheiros (Rio Grande/RS) (Fonte: autores).

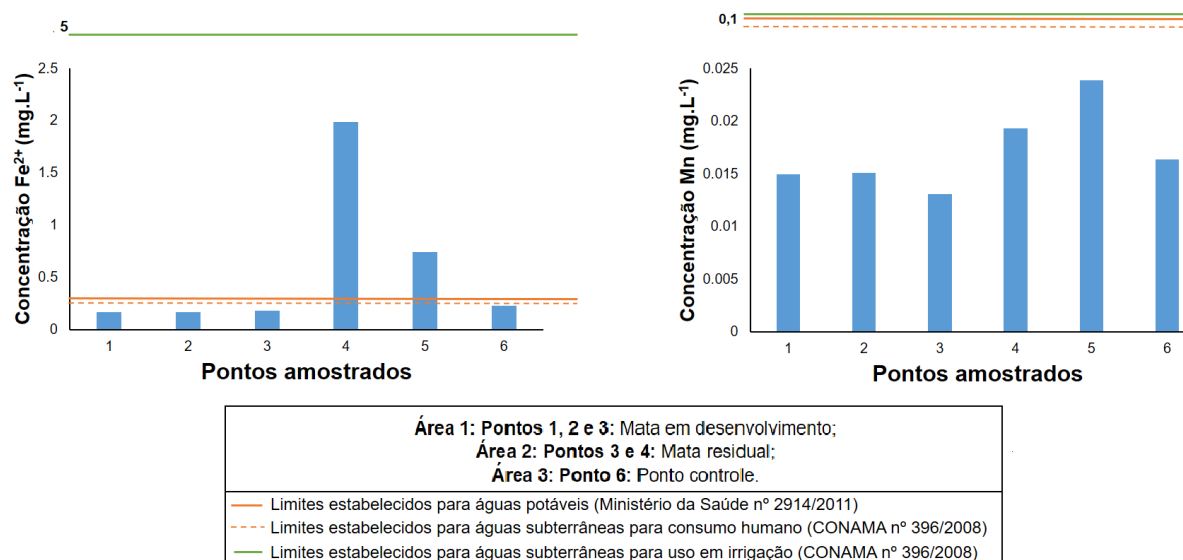


Figura 8 - Resultados de ferro dissolvido e manganês da água subterrânea de 3 áreas da Ilha dos Marinheiros (Rio Grande/RS) (Fonte: autores).

3.1 ÁREA 3: CONTROLE - PONTO 6 (Figuras 5, 6, 7 e 8):

Como consequência do enclausuramento natural, a água subterrânea da ilha apresentou-se sub-saturada de oxigênio e levemente ácida (pH em torno de 6) (Figuras 5 e 6). Os resultados dessa área representam as características naturais da água subterrânea superficial da Ilha dos Marinheiros nas áreas onde não há influência da presença de monocultivos e há proximidade de dunas. Estas funcionam como filtros em função de suas características arenosas. Comprovando isso, na região do Porto do Rei, onde fica a Lagoa da Noiva, Baumgarten et al. (2015) registraram a menor ocorrência de casas onde a água consumida é ferruginosa.

Além disso, a água dessa área apresentou insignificantes valores de cor, turbidez, condutividade, fosfato, nitrito, silicato, ferro dissolvido, manganês e DBO. Isso representa uma boa qualidade e grande vantagem para seu consumo. Todos valores se apresentaram abaixo dos limites recomendados pelas legislações referentes ao consumo humano ou irrigação.

Entretanto, para o nitrogênio amoniacal (Figura 7), a concentração nessa área foi maior que as detectadas na Área 2 (mata residual), embora tenha sido semelhante às concentrações dos pontos 1 e 2 da Área 1. Essa concentração também é considerada relativamente baixa (em torno de 0,012 mg L⁻¹), levando em conta que, apesar de não haver citação de limite para esse parâmetro nas legislações referentes a potabilidade e irrigação, a Resolução n° 357 (CONAMA, 2005) recomenda um alto limite de 3,7 mg L⁻¹ (águas com pH < 7,5) para águas doces Classe 1 (própria para consumo humano). Esse valor limite é alto porque, o íon amônio, principal constituinte do nitrogênio amoniacal em meio ácido, tem relativa baixa toxicidade para os seres humanos (Baumgarten et al., 2010).

Essa elevação na concentração do nitrogênio amoniacal da água subterrânea dessa área da ilha pode estar associada a subsaturação de oxigênio, que desfavorece a sua oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrito (Nitrificação). Isso justifica a insignificante concentração de nitrito nessa água subterrânea.

3.2 ÁREA 1: MATA EM DESENVOLVIMENTO - PONTOS 1, 2 E 3 (Figuras 5, 6, 7 e 8):

Apesar da salinidade ter sido nula, a condutividade e a acidez da água subterrânea (pH em torno de 6) dessa área foram maiores e a alcalinidade menor que os valores registrados na Área 3 ou Ponto Controle (Figura 5).

Portanto, o aumento de íons que elevam a condutividade elétrica da água subterrânea dessa área é consequência da presença da mata, seu ciclo vital e do acúmulo de resíduos vegetais. No substrato da mesma, onde formou-se a serapilheira (Figura 9), há a liberação de íons, ácidos orgânicos, húmicos e, ainda, outros compostos residuais. A decomposição dos resíduos vegetais da serapilheira por fungos e bactérias decompositoras resulta na liberação CO₂ (pela respiração) e formação de ácido carbônico, com consequente acidificação da água.

Nessa área, esta decomposição microbiológica da matéria vegetal não necessariamente parece ocorrer diretamente na água, podendo estar ocorrendo pelos organismos agregados nos sedimentos do solo superficial ou no interior da serapilheira. Isso justifica o baixo valor de DBO dessa água subterrânea (Figura 7), para onde os íons se difundem, percolam, principalmente em épocas de maior pluviosidade, como a que foram feitas as amostragens. Destaque para o Ponto 1 dessa área, onde a concentração de cloretos na água intersticial foi muito elevada (Figura 5), contribuindo muito para a alta condutividade registrado nesse ponto.

Ocorreram acréscimos das concentrações de fosfato na água subterrânea dessa área (acima de 0,03 mg L⁻¹, exceção para o Ponto 2, figura 8). Não há limite máximo para fosfatos descrito na Portaria n° 2914 do MS (2011) e nem na Resolução n° 396 do CONAMA (2008). Entretanto, para águas doces naturais Classe 1 – ambientes lênticos, a Resolução n° 357 (CONAMA, 2005) dispõe um limite máximo de fósforo total de 0,020 mg L⁻¹ (recomendação para “águas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado”). Portanto, o significativo acréscimo de fosfato na água dessa área pode ser justificado pela decomposição de matéria orgânica vegetal ou desorção de fósforo contido nos sedimentos adjacentes a reserva de água subterrânea. Esse processo é altamente favorecido pelo aumento da acidez e subsaturação em oxigênio na água.

Nessa área, as concentrações de nitrogênio amoniacal também foram altas (exceção no Ponto 3), mas semelhantes à do Ponto Controle. A combinação dos fitonutrientes fosfato e nitrogênio amoniacal favorece o crescimento vegetal e assim, do monocultivo aí existente. Entretanto, em termos de qualidade de água para consumo, apesar destes nutrientes não serem diretamente prejudiciais ao metabolismo animal, essa água, quando exposta a luz solar, pode desenvolver sérios desequilíbrios tróficos (eutrofização, com florações oportunistas), prejudicando seriamente seu consumo.

Em termos dos resultados dos outros parâmetros analisados, como oxigênio dissolvido e seu percentual de saturação, nitrito e de manganês, esses se assemelharam aos resultados do Ponto Controle. Isso sugere que, nessa área de monocultivo em desenvolvimento, não foi identificada a influência da presença das árvores de *Pinus sp.* nas concentrações destes parâmetros.

Além disso, ocorreram baixas concentrações de ferro dissolvido nessas águas, apesar das condições de subsaturação e acidez favorecerem esta forma deste metal. Isso sugere que esteja havendo absorção e incorporação dessa forma de ferro pela vegetação em crescimento, já que essa é a forma do ferro usado como fitonutriente. A captação dessa forma de ferro da água subterrânea pode ser feita pelas raízes dos vegetais e o transporte até as folhas leva ao acúmulo do mesmo nas estruturas do *Pinus sp.*, como suas folhas. Considerando que a cor e a turbidez da água dessa área apresentaram resultados insignificantes (Figura 6), não há evidências de que haja ferro oxidado (forma férrica coloidal), pois esse proporciona cor amarelada na água (BAUMGARTEN et al., 2015).

3.3 ÁREA 2: MATA RESIDUAL - PONTOS 4 E 5 (Figuras 5, 6, 7 e 8).

Na água subterrânea dessa área, os resultados da condutividade, cloreto e fosfato (Figuras 5 e 7) assemelharam-se àqueles do Ponto Controle. Isso sugere que não há influência da mata residual nestas características da água subterrânea da ilha. Isso não foi constatado para os outros parâmetros.

Os resultados da alcalinidade, pH, oxigênio e sua saturação se assemelharam aos da Área 1 (Figuras 5 e 6), onde o monocultivo estava em desenvolvimento. As águas subterrâneas destas áreas estavam mais ácidas, com menor alcalinidade e menos oxigenadas que na área Controle. Isso evidencia a influência da presença do monocultivo nestas características, esteja ele em desenvolvimento ou em declínio. Há na serapilheira acumulada no solo, principalmente em épocas de maior unidade e com a mata em declínio aumentando a quantidade de serapilheira, a redissolução de metais, além da liberação de silício e de ácidos orgânicos e compostos inorgânicos, que se difundem para a água subterrânea, contaminando-a.

A serapilheira densa e úmida é um ambiente favorável para a proliferação de bactérias, o que é corroborado pelo acréscimo local no resultado da DBO nessa área (Figura 7, Ponto 4, mais característico do declínio da mata). Nessa Área 2, também nesse Ponto 4, salientaram-se os importantes acréscimos nas concentrações de turbidez, cor, silicatos, DBO, nitrito, ferro e manganês.

A condição de água ferruginosa dessa área se agrava quando se constata que esses altos resultados de ferro dissolvido (forma ferrosa), de turbidez (chegando a cerca de 18 NTU) e de cor (Figuras 6 e 9) estão em desconformidade com os limites máximos recomendados pelas legislações para águas potáveis (0,3 mg L⁻¹ para o ferro). Além disso, estas características da água subterrânea dessa área (Figura 9) corroboram com a possibilidade da água subterrânea dessa área estar contaminada também com ferro oxidado (forma férrica).

O ferro férrico tem, predominantemente, a forma coloidal, formando micelas amareladas na água a turvando. Essa cor da água também é um indicativo da presença de substâncias húmicas escurecidas (ácidos húmicos e fúlvicos), provenientes da matéria orgânica em decomposição (BLUM, 2010). Além disso, é provável que nessa água turva dessa área, haja também manganês em suspensões, o que justificaria os acréscimos nas concentrações de manganês total.



Figura 9 - Acúmulo de serapilheira com depósitos de acículas e amostra de água subterrânea superficial com coloração amarelada, coletada na Área 3: mata residual (Fonte: autores).

O consumo intenso de águas ferruginosas é um problema de saúde pública, pois isso pode acarretar doenças gástricas e o acúmulo de ferro no fígado, no pâncreas e no coração. Em casos extremos, pode favorecer o desenvolvimento de cirrose, problemas hepáticos e cardíacos. Água ferruginosa muda o sabor dos alimentos com ela preparados e escurece roupas nas lavagens e enferruja estruturas de armazenamento da mesma (OLIVEIRA et al., 2004).

Quanto ao intenso pico na concentração de nitrito, ele pode ser resultado da Nitrificação, que é a oxidação do nitrogênio amoniacal, diminuindo sua concentração. Isso pode ter ocorrido na serapilheira acumulada e se decompondo junto a mata residual, enquanto ela estava exposta na superfície do solo.

Além dos problemas evidenciados nesse estudo pela presença de monocultivos residuais na qualidade da água subterrânea, Dutra (2012) relacionou a presença de acículas de *Pinus taeda* com liberação de compostos fenólicos. Estes compostos têm potencial aleloquímico devido à alta solubilidade em água e, juntamente com os outros compostos contaminantes dessas águas de áreas com monocultivos, inibem o crescimento de espécies de outros vegetais naturais do local.

4. CONCLUSÕES

A qualidade da água subterrânea superficial da Ilha dos Marinheiros na **Área 3 (Controle)**, apresentou características gerais de levemente ácida e subsaturada em oxigênio. Como os resultados de pH foram levemente menores 6 e, considerando que esse valor é o limite mínimo recomendado pelas legislações para água potável, isso representa uma desconformidade legal na qualidade dessa água. Para os outros parâmetros, não houve essa desconformidade (não há limite para oxigênio), embora o nível de ferro se apresente no limite máximo recomendado (em torno de 0,3 mg L⁻¹). Em termos de qualidade de águas para irrigação, as concentrações de íons se apresentam em conformidade legal.

Isso evidencia que nessa área da Ilha considerada como controle nesse estudo (região do Porto do Rei), como há ausência de monocultivos de *Pinus sp.* e proximidade de dunas arenosas que funcionam como filtros da água subterrânea, a qualidade da água se apresentou boa para consumo e irrigação.

A comparação dessa Área Controle com as que tem presença de monocultivo de *Pinus sp.* em crescimento (**Área 1**) evidenciou a influência dessa atividade na qualidade da água subterrânea. Estes monocultivos com aglomeração de árvores de grande porte, resulta no solo superficial o relativo bloqueio da luz solar (sombreamento), a maior retenção de águas das chuvas (umidade) e o acúmulo de serapilheira se decompondo e formando um tapete que diminui a oxigenação da coluna sedimentar.

Tudo isso contribuiu com o aumento de íons fitonutrientes como nitrogênio amoniacal, fosfato e silicato, além de cloretos devido a processos da liberação, da redissolução e da difusão destes íons para a água subterrânea superficial. Além disso, há um leve aumento da já ocorrente acidez e conseqüentemente menor alcalinidade da água e maior condutividade.

Entretanto, apesar destes efeitos negativos na qualidade da água subterrânea com vistas a seu consumo, esses aportes não resultaram em desconformidade das concentrações com relação aos limites estabelecidos pelas legislações ambientais para

águas potáveis. O problema é que, sendo estas águas mais concentradas nestes fitonutrientes, quando expostas à luz solar podem desenvolver florações oportunistas, o que inviabiliza sua potabilidade, mas não seu uso para irrigação.

Quanto ao ferro dissolvido e ao manganês, nessa **Área 1**, com monocultivo em desenvolvimento, as concentrações se equivaleram àquelas da área Controle (em conformidade com os limites legais), se mantendo similares também os resultados de turbidez e cor.

Entretanto, o problema da implantação antiga de monocultivos de *Pinus sp.* nessa ilha ficou evidenciado na **Área 2**, onde houve desmatamento e área está dominada por mata residual. Esse tipo de ambiente é frequente na ilha, após o cumprimento da ordem judicial (TAC) à empresa reflorestadora, para que a mesma retirasse os monocultivos (MP, 2008). Nessas áreas, a água se apresentou inadequada para consumo humano, pois além de ser muito ferruginosa, pois chegou a um máximo em torno de 2 mg L⁻¹ no Ponto 4, enquanto que o limite máximo para água potável é de apenas 0,3 mg L⁻¹. Além disso, os resultados da cor e da turbidez também se apresentaram em desconformidade legal para águas potáveis. Isso pode ser reflexo da presença de formas oxidadas de ferro, que turvam e amarelam a água. Foram também registrados acréscimos de manganês e DBO. Portanto, as águas subterrâneas de áreas residuais de monocultivos de *Pinus sp.* são inadequadas para consumo, prejudicando a qualidade sanitária de vida dos moradores destas áreas. Isso é um problema para os moradores da ilha. Considerando que todo cidadão tem direito ao acesso à água de boa qualidade para consumo, os ilhéus merecem uma atenção especial pelos órgãos públicos locais nesse sentido.

5. RECOMENDAÇÕES FINAIS

- É recomendada a continuidade desse estudo em outro período, como exemplo no verão, quando há intensa evaporação, baixa pluviosidade e aumento do consumo da água subterrânea da ilha.
- Recomenda-se um monitoramento sazonal de parâmetros indicadores da potabilidade da água subterrânea da ilha (essencialmente ferro e acidez, cor e turbidez), focando as áreas de monocultivos residuais, principalmente nas regiões ao norte da Ilha (Fundos da Ilha e Coréia), mais afastadas de Rio Grande. Nessas áreas, estudos pretéritos identificaram os maiores percentuais de casas com consumo de água ferruginosa.
- Além destes parâmetros, é importante complementar o trabalho com análises de fenóis e especiação do ferro na água (incluir nas análises a forma de ferro férrico, que proporciona cor amarela na água), bem como análise na qualidade do solo submetido ao monocultivo.
- Mesmo após o desmatamento feito por ordem judicial na ilha, o problema identificado na Área 2 (mata residual) evidencia que não basta a desarborização dos *Pinus sp.* para evitar a contaminação da água subterrânea da ilha, principalmente em ferro. Deve ser feita a retirada completa dos resíduos do solo superficial (limpeza), das raízes das árvores. A não retirada completa de tais árvores pode servir como potencial fonte de contaminação para a água da ilha, uma vez que esses resquícios ainda contribuem com o aporte de grandes quantidades de matéria orgânica que pode conter compostos prejudiciais ao solo e a água da qual os moradores fazem uso.
- Os ilhéus têm direito, precisam e devem ter acesso à água de boa qualidade. Eles não têm suprimento de água canalizada e tem por doutrina, viverem de suas produções e bens naturais da ilha. Por isso, é indispensável que sejam constantemente informados sobre a qualidade da água consumida em cada área da ilha, com acompanhamento técnico em casas onde foram detectados problemas sérios de consumo de água ferruginosa.
- É necessária a conscientização dos ilhéus sobre a inadequação ambiental da ilha para implantação de monocultivos de *Pinus sp.* e similares, incluindo o impedimento da manutenção dos resíduos remanescentes. Estes monocultivos devem ser evitados pelos ilhéus, não só os implantados comercialmente, já em processos de plantações residuais, quanto alguns cultivos particulares de *Pinus sp.* que possam ser desenvolvidos em algumas propriedades da ilha.
- Finalmente, as áreas com mata residual na Ilha dos Marinheiros precisam serem recuperadas tecnicamente.

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Águas subterrâneas: Um recurso a ser conhecido e protegido. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. 2007. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao280120090443_56.pdf> Acesso em: 29 de nov. de 2019.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC. 1193 p. 1998.

ARÉVALO, P.R. Avaliação da qualidade da água consumida pela população da Ilha dos Marinheiros (Rio Grande/RS) – Monografia de conclusão do Curso de Oceanologia. FURG. Rio Grande, 101 p. 2008.

BACCAN, N.; ANDRADE, J.C.; GODINHO, O. E. S.; BARONE, J. S. Química Analítica Elementar. 2ª edição. São Paulo: Edgard Blucher/UNICAMP. 259p. 1979.

BAUMGARTEN, M. G. Z.; WALLNER-KERSANACH, M.; NIENCHESKI, L. P. H. Manual de análises em oceanografia química. Editora da FURG, Rio Grande – RS. 172 p. 2010.

BAUMGARTEN, M.G.Z. A extensão universitária atuando na avaliação e na melhoria da qualidade da água subterrânea consumida por uma comunidade carente de água potável. Revista digital Experiência. Santa Maria (UFSM, RS). V. 1, n.1, p. 120-133. 2015.

- BECHARA, F. C. Restauração ecológica de restingas contaminadas por *Pinus* no Parque Florestal do Rio Vermelho, Florianópolis, SC. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. Universidade Federal de Santa Catarina, SC. 136 p. 2003.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Diário oficial da União (DOU). nº 66. p. 64-68. Seção I. 2008.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17/03/2005. Diário oficial da União (DOU). Brasília. nº 53, p. 58-63. 2005.
- CUNHA, N.S. Resiliência sócio ecológica e sustentabilidade do turismo na Ilha dos Marinheiros, Rio Grande (RS). Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande – FURG. Rio Grande. 122 p. 2015.
- DUTRA, B. K. Avaliação do impacto no ambiente compostos Hidrossolúveis de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia* (Coniferae) utilizando indicadores biológicos. Tese de doutorado Programa de Pós-Graduação em zoologia. Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 166 p. 2012.
- DUTRA, B. K.; VARGAS, V. M.F. *Pinus Taeda* na região dos campos de cima da Serra do Rio Grande do Sul: uma revisão sobre alterações biológicas. FEPAM em Revista, volume 11, p.: 26-32. 2017.
- GIANUCA, K. S. Aspectos sócio econômicos e ambientais da exploração de *Pinus sp.* no município de São José do Norte e análise das alterações na paisagem em áreas adjacentes aos plantios na região do Estreito entre os anos 1964 e 2007. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande, RS. 152 p. 2009.
- MENEZES, J. P. C. Influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água subterrânea e sua adequação para consumo humano e uso na agricultura. Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo, ES. 84 p. 2012.
- MP - MINISTÉRIO PÚBLICO (MP) DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Termos de Ajustamento de Conduta ligado à retirada das florestas de pinos da Ilha dos Marinheiros. p. 1-6. Anexo 4. 1 Promotoria de Justiça Especializada do Rio Grande. 11 de março. Promotor de Justiça: Zachia Alan, J.A. 2008
- MS - MINISTÉRIO DA SAÚDE. BRASIL. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da União (DOU). Brasília. v. 239. p. 39-46. Seção 1. 2011.
- OLIVEIRA, D.A.; SCHMIDT, G; FREITAS, D.M. Avaliação do teor de ferro em águas subterrâneas de alguns poços tubulares, no Plano Diretor de Palmas – TO. Artigo completo. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 29. p. 22-27. San Juan. Porto Rico. Agosto. 2004.
- PAIVA, M. L.; BAUMGARTEN, M. G. Z.; WALLY, M. K. Especificação do ferro em águas subterrâneas: otimização do método espectrofotométrico na região da luz visível. Revista Analytica, nº 57, p. 60-66. 2012.
- PEREIRA, A. L. Água consumida na ilha dos marinheiros (Rio Grande – RS): avaliação da qualidade e ações de educação ambiental. Monografia. Conclusão de Curso e Especialização em Gestão Ambiental em Municípios. FURG. Rio Grande. 50 p. 2016.
- SCORSAFAVA, M. A.; SOUZA, A.; NUNES, C. A.; MIANEZ, T. V. Avaliação físico-química da qualidade de água de poços e minas destinada ao consumo humano. Revista Instituto Adolfo Lutz. V. 69, nº 2. São Paulo. 2010.
- SEMA – SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Portaria nº 79, de 31 de outubro de 2013. Reconhece a Lista de Espécies Exóticas Invasoras do Estado do Rio Grande do Sul e demais classificações, estabelece normas de controle e dá outras providências. 2013.
- SILVA, R.C.A., ARAÚJO, T.M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). Artigo Ciência e Saúde Coletiva. V. 8, nº 4, p. 1019-1028. 2003.