
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MODALIDADE PROFISSIONAL

PROCESSO DE SALINIZAÇÃO NO INTERIOR DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA
BARRA/RJ

JULIANA PARENTE RIBEIRO

MACAÉ-RJ

2024

JULIANA PARENTE RIBEIRO

PROCESSO DE SALINIZAÇÃO NO INTERIOR DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO
DA BARRA/RJ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, área de concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Orientador: Dr. Vicente de Paulo Santos de Oliveira

Coorientador: Dr. Thiago Moreira de Rezende Araújo

MACAÉ-RJ

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R484p Ribeiro, Juliana Parente, 1984-.
Processo de salinização no interior do município de São João da Barra/RJ/
Juliana Parente Ribeiro — Macaé, RJ, 2024.
xi, 32 f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Vicente de Paulo Santos de Oliveira, 1965-.
Coorientador: Prof. Dr. Thiago Moreira de Rezende Araújo, 1981-.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) — Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Programa de Pós-graduação em
Engenharia Ambiental, Macaé, RJ, 2024.
Inclui referências.
Área de concentração: Sustentabilidade Regional.
Linha de Pesquisa: Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

1. Salinidade - Brasil. 2. Mudanças climáticas. 3. Íons. 4. Água - Qualidade -
São João da Barra (RJ). 5. Impacto ambiental. I. Oliveira, Vicente de Paulo
Santos de, 1965-, orient. II. Araújo, Thiago Moreira de Rezende, 1981-,
coorient. III. Título.

CDD 628.161098153 (23. ed.)

Dissertação intitulada **PROCESSO DE SALINIZAÇÃO NO INTERIOR DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA/RJ**, elaborada por **Juliana Parente Ribeiro** e apresentada, publicamente perante a Banca Examinadora, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Fluminense - IFFluminense, na área concentração Sustentabilidade Regional, linha de pesquisa Avaliação, Gestão e Conservação Ambiental.

Aprovado em: 29/04/2024

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **VICENTE DE PAULO SANTOS DE OLIVEIRA**
Data: 29/05/2024 15:44:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Doutor em Engenharia Agrícola / Universidade Federal de Viçosa (UFV), Instituto Federal Fluminense (IFFluminense) – Orientador

Documento assinado digitalmente
 **THIAGO MOREIRA DE REZENDE ARAUJO**
Data: 28/05/2024 16:19:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Thiago Moreira de Rezende Araújo, Doutor em Ciências Naturais / Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Instituto federal Fluminense (IFFluminense) – Coorientador

Documento assinado digitalmente
 **LUIS FELIPE UMBELINO DOS SANTOS**
Data: 27/05/2024 10:42:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Luiz Felipe Umbelino dos Santos, Doutor em Ecologia / Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Federal Fluminense.

Documento assinado digitalmente
 **ERIKA CORTINES**
Data: 20/05/2024 15:14:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Érika Cortines, Doutora em Ciências / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ)

DEDICATÓRIA

À minha família e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me capacitar na realização dos meus sonhos.

À minha Família, pelo suporte em toda a minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos pelo incentivo e companheirismo.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPEA) pela dedicação ao ensino e aos colegas de turma pelas experiências compartilhadas.

Ao orientador D.Sc. Vicente de Paulo Santos de Oliveira e ao coorientador D.Sc. Thiago Moreira de Rezende Araújo pela disponibilidade e ensinamentos.

Aos membros da banca pela participação e contribuições ao meu trabalho.

Ao Polo de Inovação Campos dos Goytacazes (PICG) pelo suporte nas análises das amostras realizadas no Laboratório de Análises e Monitoramento das Águas (LabFoz).

À toda a equipe do LabFoz, em especial a Carolina Ramos de Oliveira Nunes, pelo auxílio nas coletas e análises das amostras.

Às agências de fomento CAPES, FAPERJ e CNPq pelo incentivo e financiamento às pesquisas.

EPÍGRAFE

Mas aqueles que esperam no Senhor renovam as suas forças. Voam alto como águias; correm e não ficam exaustos, andam e não se cansam.

(Isaiás 40:31).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização dos pontos de coleta de amostras de água para verificação da salinidade, próximo à foz do rio Paraíba do Sul, São João Barra-RJ.....	19
Figura 2 - Condutivímetro <i>Digimed DM-3</i>	21
Figura 3 - Phmetro <i>Thermo Orion Star A214</i>	21
Figura 4 - Cromatógrafo de íons <i>Metrohm 883 Basic IC Plus</i>	21
Figura 5 - Amostrador <i>863 Compact Autosampler</i>	21
Figura 6 - Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (HCA) para todas as amostras coletadas.....	26
Figura 7 - Análise das duas primeiras componentes principais. Onde: Sal = salinidade, Cond = condutividade elétrica, Clor = cloreto, Nit = nitrato, Sulf = sulfato, Sód = sódio, Pot = potássio, Mag = magnésio, Cál = cálcio.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Datas das saídas ao campo para coleta de amostras	19
Tabela 2 - Localização dos pontos de coleta.....	20
Tabela 3 - Resultados encontrados para pH, salinidade, condutividade elétrica e íons.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL – Alagoas

Br⁻ – Brometo

Ca²⁺ – Íons cálcio

Cl⁻ – Cloreto

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNOS – Departamento Nacional de Obras e Saneamento

ES – Espírito Santo

F⁻ – Fluoreto

HCA – Análise de Agrupamento Hierárquico

K⁺ – Íon potássio

MA – Maranhão

Mg⁺ – Íon magnésio

Na⁺ – Íon sódio

NO₂⁻ – Nitrito

NO₃⁻ – Nitrato

PCA – Análise de Componentes Principais

PO₄³⁻ – Fosfato

RJ – Rio de Janeiro

SO₄²⁻ – Sulfato

SRHPS – Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul

PROCESSO DE SALINIZAÇÃO NO INTERIOR DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA/RJ

RESUMO

Diversas regiões costeiras do mundo vêm sofrendo o processo de salinização e, dentre as causas, estão as mudanças climáticas, aumento do nível do mar, redução da vazão nos rios e sobrecarga na captação de águas subterrâneas. No Brasil, a captação de água para irrigação, uso industrial, abastecimento e geração de energia são os principais causadores da redução na vazão dos rios. Na região sudeste, o rio Paraíba do Sul teve sua vazão reduzida por diversos fatores, sobretudo pela transposição para abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro, culminando na intensificação da intrusão salina na foz do rio e na erosão costeira no balneário de Atafona. O objetivo deste trabalho é avaliar o processo de salinização no interior do município de São João da Barra, RJ, e será composto por dois artigos. O artigo científico 1 foi uma revisão sobre o processo de salinização nas regiões costeiras do Brasil e do mundo apontando os principais fatores responsáveis pela intensificação da intrusão salina. O artigo científico 2 teve como objetivo avaliar a salinidade em diversos pontos de água superficial e subterrânea na área rural de Atafona e Grussaí, no município de São João da Barra, RJ por meio da análise dos parâmetros físico-químicos, condutividade elétrica, salinidade, pH e concentração dos íons fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato, sulfato, sódio, magnésio, potássio e cálcio. Os resultados apontaram que a sazonalidade não interferiu nas concentrações dos parâmetros analisados e que a intrusão salina está avançando para o interior do município de São João da Barra, RJ.

Palavras-chave: Salinização. Íons. Parâmetros Físico-químicos.

***SALINIZATION PROCESS INSIDE THE MUNICIPALITY OF SÃO JOÃO DA
BARRA/RJ***

ABSTRACT

Several coastal regions of the world have been suffering from the salinization process and, among the causes, are climate change, rising sea levels, reduced flow in Rivers and overload in the capture of groundwater. In Brazil, water capture for irrigation, industrial use, supply and energy generation are the main causes of the reduction in river flow. In the southeast region, the Paraíba do Sul river had its flow reduced by several factors, mainly due to transposition to supply the metropolitan region of Rio de Janeiro, culminating in the intensification of saline intrusion at the mouth of the river and coastal erosion in the resort of Atafona. The objective of this work is to evaluate the salinization process in the interior of the municipality of São João da Barra, RJ, and will consist of two articles. Scientific article 1 was a review of the salinization process in the coastal regions of Brazil and the world, pointing out the main factors responsible for the intensification of saline intrusion. Scientific article 2 aimed to evaluate salinity in several points of surface and underground water in the rural area of Atafona and Grussaí, in the municipality of São João da Barra, RJ through the analysis of physicochemical parameters, electrical conductivity, salinity, pH and concentration of fluoride, chloride, nitrite, nitrate, bromide, phosphate, sulfate, sodium, magnesium, potassium and calcium ions.

Keywords: *Salinization. Ions. Physico-Chemical Parameters.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	viii
RESUMO.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	x
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	1
ARTIGO CIENTÍFICO 1: AVANÇO DA SALINIZAÇÃO NAS REGIÕES COSTEIRAS DO MUNDO, DO BRASIL E DO BAIXO PARAÍBA DO SUL.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1. Salinização no mundo.....	5
2.2. Salinização no Brasil.....	7
2.3 Estuário do rio Paraíba do Sul.....	8
5. CONCLUSÃO.....	9
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10
ARTIGO CIENTÍFICO 2: AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA, RJ.....	13
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1. O município de São João da Barra, RJ.....	15
2.2. A região da foz do Rio Paraíba do Sul.....	16
2.3. Manejo da água e do solo na produção agrícola.....	17
3. MATERIAL E MÉTODO.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5. CONCLUSÃO.....	27
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO.....	32

APRESENTAÇÃO

Em todo o mundo, a agricultura é a atividade que mais utiliza recursos hídricos, seguidos pela indústria e o abastecimento para consumo. No Brasil, a destinação da água varia de acordo com a região. Na região sudeste, além da agricultura, indústria e abastecimento, a água é bastante utilizada para geração de energia. A qualidade da água é determinante para a sua disponibilidade que por sua vez é influenciada por variáveis ambientais como vegetação, características geológicas e escoamento superficial, e antrópicas como despejo de efluentes e manejo do solo (BRASIL, 2021). A qualidade da água também é impactada pela salinização que ocorre principalmente nos períodos de estiagem, quando a vazão está baixa e a demanda pelo consumo de água está elevada.

O Município de São João da Barra está localizado na região Norte do estado do Rio de Janeiro. Possui área territorial de 452.396 km² e população em 2021 estimada em 36.731 pessoas (IBGE, 2023). O abastecimento de água no município é realizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE com ponto de captação localizado no centro da cidade. Quando a intrusão salina alcança o ponto de captação e a salinidade supera o valor permitido, o abastecimento precisa ser interrompido. Estudos revelam a tendência na redução da vazão do rio contribuindo para alterações na dinâmica do estuário do rio Paraíba do Sul em Atafona (MARENGO E ALVES, 2005; OVALLE *et al.*, 2013; OLIVEIRA, 2015), tornando importante o monitoramento da qualidade da água na região.

O objetivo desta dissertação é avaliar a salinização no interior do município de São João da Barra, RJ sendo composta de 2 partes sendo a primeira denominada Artigo Científico 1, o qual foi submetido e publicado nos Anais do IV SRHPS - Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, cujo objetivo foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a ocorrência dos eventos de salinização nos corpos hídricos devido ao avanço da cunha salina no mundo, no Brasil e no Baixo Paraíba do Sul.

A segunda parte desta dissertação, denominada Artigo Científico 2, teve como objetivo avaliar a salinidade em diversos pontos de água superficial e subterrânea na área rural dos distritos Atafona e Grussaí, no município de São João da Barra, RJ por meio da análise dos parâmetros físico-químicos condutividade elétrica, salinidade, pH e concentração dos íons fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato, sulfato, sódio, magnésio, potássio e cálcio. Os resultados indicaram que a maior parte das amostras foram classificadas como águas salobras, apresentaram elevada condutividade elétrica e

forte influência dos íons cloreto, potássio, magnésio, sódio e cálcio e, portanto, vem sofrendo o processo de salinização.

ARTIGO CIENTÍFICO 1

AVANÇO DA SALINIZAÇÃO NAS REGIÕES COSTEIRAS DO MUNDO, DO BRASIL E DO BAIXO PARAÍBA DO SUL

*ADVANCE OF SALINIZATION IN THE COASTAL REGIONS OF THE WORLD,
BRAZIL AND BAIXO PARAÍBA DO SUL*

Juliana Parente Ribeiro - IFFluminense/PPEA

Thiago Moreira de Rezende Araújo - IFFluminense/PPEA

Vicente de Paulo Santos de Oliveira - IFFluminense/PPEA

RESUMO

Em várias partes do mundo vem ocorrendo o processo de intrusão salina nas regiões costeiras. O aumento do nível do mar e a redução da vazão dos rios contribuem para a salinização, comprometendo o abastecimento de água e sua utilização na agricultura e nas indústrias. O avanço da cunha salina para o interior do continente pode ocorrer devido à perda de vazão dos rios como consequência de menor aporte de água doce principalmente no período de seca e ao bombeamento excessivo de águas subterrâneas. Na agricultura, a salinidade da água tem efeito limitante sobre a produtividade agrícola o que pode inviabilizar o cultivo. O objetivo deste trabalho foi realizar uma pesquisa sobre a ocorrência dos eventos de salinização dos corpos hídricos devido ao avanço da cunha salina no mundo, no Brasil e na região do Baixo Paraíba do Sul (Escala temporal). Estudos apontaram que apesar da intrusão salina ser um evento natural, tem se agravado devido às mudanças climáticas e ações antrópicas. Uma boa gestão de recursos hídricos deve envolver o controle da captação e estudos de monitoramento de longo prazo da salinidade de águas subterrâneas e superficiais em prol da qualidade de vida da população e a conservação dos ecossistemas.

Palavras chave: Salinização. Estuário. Cunha Salina.

ABSTRACT

In several parts of the world, the process of saline intrusion occurs in coastal regions. The rise in sea levels and the reduction in the flow of rivers are significant for salinization, compromising water supply and its use in agriculture and industry. The advancement of the saline wedge towards the interior of the continent may occur due to the loss of river flow as a result of less transport of fresh water, especially during the dry period, and excessive bombardment of groundwater. In agriculture, water salinity has a limiting effect on agricultural productivity, which can make cultivation unfeasible. The objective of this work was to carry out research on the occurrence of salinization events in water bodies due to the advance of the salt wedge in the world, in Brazil and in the Baixo Paraíba do Sul region (Time scale). Studies have shown that although saline intrusion is a natural event, it has worsened due to climate change and human actions. Good water resources management must involve controlling the collection and long-term monitoring studies of the salinity of groundwater and surface waters in favor of the population's quality of life and the conservation of ecosystems.

Keywords: *Salinization. Estuary. Salt wedge.*

1. INTRODUÇÃO

A população das regiões costeiras é vulnerável e mais sensível às consequências das mudanças climáticas (HAUER *et al.*, 2020). As políticas públicas podem atuar auxiliando a população que precisa se deslocar da zona de risco à medida em que o nível do mar aumenta e avança para o continente (DASGUPTA *et al.*, (2021). Esse aumento do nível do mar e a redução da vazão dos rios contribui para a salinização dos corpos hídricos comprometendo o abastecimento das cidades e a utilização da água na agricultura e nas indústrias (DUC e UMEYAMA, 2011). O Brasil vem enfrentando aumento de seca em diversas regiões, principalmente na região do semiárido, acarretando perda de produtividade na agricultura e na biodiversidade (BARBOSA *et al.*, 2016). Diversos estudos apontaram forte relação entre menor aporte de água doce nos rios e aumento da salinidade (MARENGO e ALVES, 2005; OVALLE *et al.*, 2013; JONES e VAN VLIET, 2018; PACHECO, 2021).

As águas subterrâneas naturalmente fluem do interior do continente em direção à costa. A transição de água doce para salgada ocorre de forma abrupta e limitada a poucos metros. Nas condições de avanço da intrusão salina, esse gradiente pode se estender por quilômetros em direção ao interior do continente (AGOUBI, 2021). As águas subterrâneas contribuem para a vazão dos rios por meio do processo de infiltração e exfiltração. Esse abastecimento pelas águas subterrâneas é denominado fluxo de base e em períodos de seca, é a principal fonte de abastecimento de água doce (PETERS *et al.*, 2022).

As características da água utilizada na irrigação interferem no crescimento das plantas e os produtores rurais estão enfrentando dificuldades para captar água de qualidade para utilizar na irrigação das lavouras. A salinidade possui efeito limitante sobre a produtividade e viabilidade econômica da produção agrícola (DIAS *et al.*, 2016). Além disso, quando a água salobra percola no solo, os sais tendem a se acumular na superfície, contribuindo ainda mais para a improdutividade do solo (LOITZENBAUER e MENDES, 2012). Por outro lado, o manejo inadequado das culturas pode contribuir para o aumento da salinização do solo e das águas subterrâneas nas áreas rurais (ANDRADE *et al.*, 2016).

Diante disso, é importante conhecer a dinâmica da salinidade em uma bacia costeira e monitorar as condições atuais da intrusão salina para prever cenários futuros, estimar a demanda e disponibilidade de água doce e evitar conflitos envolvendo recursos hídricos (LOITZENBAUER e MENDES, 2012). O objetivo deste trabalho foi realizar uma pesquisa sobre a ocorrência dos eventos de salinização nos corpos hídricos devido ao avanço da cunha salina no mundo, no Brasil e no Baixo Paraíba do Sul.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Salinização no mundo

A região norte do continente africano está passando por um período de expansão demográfica e econômica, o que demanda aumento da utilização de água dos aquíferos subterrâneos. Em diferentes pontos, as águas subterrâneas foram salinizadas devido à intrusão da água do mar e há relatos desse fato no Egito, Líbia, Tunísia, Marrocos, Argélia e Mauritânia. Foram identificados os seguintes fatores responsáveis pela intrusão: características hidrogeológicas do aquífero, volume de água bombeado,

morfologia do aquífero, mudanças climáticas, expansão urbana e desenvolvimento econômico (AGOUBI, 2021).

Um estudo de modelagem na região costeira do Vietnã envolvendo as principais variáveis que interferem na gestão de água doce em regiões estuarinas, tais como população, consumo de água urbano, industrial e agrícola, fluxo à montante e nível do mar, projetou cinco cenários para o ano de 2050. A região sofre com redução da precipitação, aumento do nível do mar, intrusão salina e aumento da temperatura comprometendo a disponibilidade de água principalmente no período seco. O resultado apontou que atualmente a disponibilidade de água atende a demanda urbana, agrícola e industrial e que a intrusão salina é mais influenciada pela perda de vazão à montante do que pelo aumento do nível do mar, sendo essa redução da vazão a montante o principal fator da vulnerabilidade do ambiente podendo levar ao colapso o sistema de abastecimento (PHAN *et al.*, 2018).

Vargas *et al.*, (2017) realizaram um estudo na Ria de Aveiro, Portugal, envolvendo as variáveis elevação do nível do mar, variação no fluxo do rio e uma combinação entre essas duas variáveis, e projetaram 3 cenários futuros para final do século XXI. Os resultados indicaram um avanço da salinidade em direção ao continente tanto pelo aumento do nível médio do mar quanto pelas alterações nas vazões de água doce do rio. Essa projeção compromete a disponibilidade de água doce para irrigação e pode provocar perda de fertilidade e salinização do solo na região de Aveiro.

Além das mudanças climáticas e vazão, é importante também avaliar o efeito da captação de águas subterrâneas no fluxo de base e salinização. Peters *et al.*, (2022) avaliou a influência da captação de água subterrânea na salinidade do rio Savannah, nos Estados Unidos, e demonstrou a importância do monitoramento para a gestão dos recursos hídricos. Os resultados apontaram que o volume de água atualmente bombeado causa pouca influência na salinidade em comparação com outros fatores como aumento do nível do mar e dragagem do canal. Porém, se no futuro aumentarem o volume da captação, poderá se tornar o principal responsável pela salinização do rio Savannah.

Outro estudo realizado nos Estados Unidos avaliou os impactos da seca devido à baixa precipitação na salinidade dos rios da região sul, utilizando dados de 66 estações de monitoramento ao longo de 17 anos. Os resultados apontaram redução na quantidade de água disponível e na qualidade da água em função do aumento da salinidade (JONES e VAN VLIET, 2018).

2.2. Salinização no Brasil

Diversos estudos sobre a salinização nos corpos hídricos vêm ocorrendo no Brasil, tanto em águas superficiais (ROSMAN *et al.*, 2007; GENS *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2018; YAURI e BARBIERI, 2022), quanto em aquíferos subterrâneos (ALMEIDA e SILVA JUNIOR, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2018; MARTINS *et al.* 2019). A salinização nos rios causa modificações no ambiente e, conseqüentemente, na diversidade de espécies aquáticas. Na região amazônica, no estado do Amapá, houve uma expansão do manguezal para o interior do continente, conforme revelou um estudo comparativo de imagens de satélite *Landsat* dos últimos 38 anos. A intrusão salina à montante da foz provocou alterações no ambiente favorecendo a expansão dos manguezais. Neste mesmo período, houve perdas de manguezais ao longo da costa devido à erosão. Neste estudo, também foi observada relação direta entre o período de maior expansão do manguezal e o acelerado aumento do nível do mar (VISSCHERS *et al.*, 2022).

Na bacia do rio Tramandaí, no Rio Grande do Sul, Loitzenbauer e Mendes (2012) desenvolveram um estudo para identificar a concentração de salinidade tolerada pelo ambiente e para os usos da água doce. Este modelo foi uma ferramenta útil para monitorar as condições atuais da intrusão salina, controlando a salinidade por meio do aumento ou redução da captação de água doce. Em um longo período de escassez hídrica, houve uma redução nas vazões defluentes na barragem de Xingó, acarretando redução na vazão do rio São Francisco. Fonseca *et al.*, (2020) analisaram entre 2013 e 2017 a salinização na foz do rio e constataram um avanço da cunha salina por um longo trecho, alcançando uma distância de 9,3 km a montante da foz, chegando próximo aos pontos de captação de água. Esse processo alterou as características do estuário com risco de comprometimento do abastecimento na região de Piaçabuçu, AL.

A salinização da foz do rio Amazonas tem prejudicado os moradores ribeirinhos do arquipélago de Bailique, AP. Os moradores relataram que a salinização ocorre desde o ano 2017 durante o verão amazônico e tem se intensificando tornando a água imprópria para consumo e atividades domésticas. Já os pescadores relataram que os peixes estão ficando cada vez mais escassos, perdendo o meio de subsistência. O fenômeno é natural, mas o aumento da intensidade pode estar associado à poluição e ao assoreamento do rio Araguari, provocado pelo desmatamento (PACHECO, 2021).

Na cidade de São Mateus, ES, o rio São Mateus sofreu avanço da intrusão salina por mais de 50 km de distância da foz principalmente no período de seca, quando a

demanda pela captação é maior e a pluviosidade é baixa. Nesses casos, a intrusão salina alcança o ponto de captação de água para abastecimento urbano e a cidade de São Mateus sofre com interrupção no abastecimento. Um estudo realizado entre 2016 e 2020 calculou que a vazão mínima deve ser de 10 m³/S para garantir o abastecimento de água doce sem influência salina. Para tanto, os autores propuseram a construção de um reservatório com capacidade de armazenamento de 173 hm³ (COTTA e DE JESUS, 2021).

2.3. Estuário do rio Paraíba do Sul

Um estudo sobre a tendência nas séries hidrológicas do rio Paraíba do Sul revelou que nos últimos 50 anos houve redução da vazão nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Em contrapartida, não houve tendência negativa na precipitação, refutando a hipótese de redução na vazão em função das alterações climáticas e regime de chuvas. Evidências indicam que somados ao abastecimento, os usos do rio para geração de energia e irrigação são os principais fatores responsáveis pela redução da vazão no rio Paraíba do Sul (MARENGO e ALVES, 2005). A região metropolitana do Rio de Janeiro carece de recursos hídricos para abastecimento da população. A região conta com pequenos rios que foram canalizados e poluídos. O abastecimento é realizado pela captação no rio Guandu onde houve a transposição de mais de 60% das águas do rio Paraíba do Sul (BARBOSA *et al.*, 2016).

Segundo Ovalle *et al.*, (2013) durante períodos nos quais ocorreram o fenômeno *La Niña*, a região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul sofreu baixa precipitação e o rio Paraíba do Sul teve sua vazão reduzida. Somando a baixa precipitação ao assoreamento do leito do rio, ocorreu o aumento de proliferação de algas, desencadeando o processo de eutrofização. Como consequência, houve redução da qualidade da água na região próxima à foz do rio Paraíba do Sul. Situação preocupante devido à importância do rio para abastecimento das áreas urbanas da cidade de São João da Barra.

Uma pesquisa realizada por Oliveira (2015), sobre as variações na linha da costa do delta do rio Paraíba do Sul identificou que a característica deposicional do delta sofreu muitas alterações. As grandes cargas de sedimentos transportadas que contribuíram para a criação do esporão arenoso foram substituídas a partir da década de 1973 por erosões até deixar de existir por completo no ano de 2014. Os sedimentos

erodidos do delta foram remanejados e depositados em áreas mais afastadas. O estudo aponta ainda que a carga sedimentar em suspensão teve redução nos seus valores médios, entre os anos de 1989 e 1994. Em contrapartida, a pluviosidade média apresentou um leve aumento. Porém, apesar de aumento do volume de chuvas, a vazão e a carga sedimentar reduziram. Essa alteração na dinâmica da sedimentação no delta do rio Paraíba do Sul ocorreu devido às ações antrópicas como construção de barragens como Paraibuna, Santa Branca, Funil, Santa Cecília e Ilha dos Pombos, utilizadas para geração de energia e abastecimento.

De 1997 a 2007, Ovalle *et al.* (2013) realizaram uma análise da hidroquímica do rio Paraíba do Sul e os resultados apontaram forte contribuição de águas subterrâneas para a vazão do rio Paraíba do Sul, principalmente nos períodos secos. Barroso *et al.* (2019) descreveram a influência da vazão no avanço da cunha salina na foz do rio Paraíba do Sul. Entre julho de 2014 e dezembro de 2015 analisaram a variação de pH, oxigênio dissolvido, temperatura da água e salinidade no estuário do rio Paraíba do Sul, a uma distância de 10 km a montante da foz. Por meio da análise de regressão linear múltipla entre as variáveis ambientais salinidade, vazão, temperatura do ar, velocidade e direção do vento e pressão atmosférica verificou-se a relação apenas entre salinidade e vazão.

Aplicando a função para a salinidade média do estuário em 0,5, descobriu-se que a vazão do rio deve ser de 567,45 m³/s para garantir o equilíbrio ecológico e os usos da água do rio Paraíba do Sul. Nunes *et al.*, (2022) avaliaram entre 2018 e 2019 a uma distância de até 24 km da foz do rio, as seguintes variáveis: salinidade, pH, condutividade elétrica e íons. Durante o estudo, houve o fechamento natural da principal foz do rio Paraíba do Sul, em Atafona e os resultados apontaram grande influência da vazão em todas as variáveis, tanto no período anterior quanto posterior ao fechamento da foz.

3. CONCLUSÃO

A gestão de recursos hídricos envolve uma série de fatores e para tomada de decisões é necessário ponderar e escolher a melhor opção para o bem-estar da comunidade, para preservar os ecossistemas e para a manutenção do desenvolvimento econômico. A intrusão salina, isto é, o avanço da água salgada para o interior do continente, é um fenômeno natural nos estuários. Porém, nos últimos anos tem se

agravado devido às mudanças climáticas, sobretudo pela redução da pluviosidade e de aumento do nível médio do mar e às atividades antrópicas como transposições, aumento da captação de água para abastecimento e obras civis. Uma boa gestão de recursos hídricos deve envolver controle da captação e estudos de monitoramento de longo prazo da salinidade de águas subterrâneas e superficiais para minimizar os impactos atuais e futuros e elevar a qualidade de vida da população e a conservação dos ecossistemas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOUBI, B. (2021). “*A review: saltwater intrusion in North Africa’s coastal areas—current state and future challenges*”. *Environmental Science and Pollution Research* 28(14), pp. 17029-17043.

ALMEIDA, G. M.; SILVA JUNIOR, G. C. (2007). “*Fatores hidrogeológicos no estudo da intrusão salina em aquíferos costeiros da região litorânea do Município de Maricá-RJ*”. Anuário do Instituto de Geociências–UFRJ 30(2), pp. 104-117.

ANDRADE, E. M. D.; AQUINO, D. D. N.; LUNA, N. R. D. S.; LOPES, F. B.; CRISÓSTOMO, L. D. A. (2016). “*Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas*”. *Revista Ceres* 63(5), pp. 621-630.

BARBOSA, L. V.; ABRANTES, E. T.; DE SEIXAS FILHO, J. T. (2016). “*O estado da arte da represa Ribeirão das Lajes*”. *Semioses* 10(1), pp. 71-78.

BARROSO, G. C.; SILVA, L. B. C.; OLIVEIRA, V. P. S. (2019). “*Analysis of the correlation between salinity and environmental variables in the estuary of the Paraíba do Sul River – Brazil*”, in *As Ciências do Mar em todos os seus Aspectos Org.* por Rodrigues, T. A. Neto, J. L. Galvão, D. O. 1ª ed. Atena Editora, Ponta Grossa – PR, pp. 103-117.

COTTA, A. J. B.; DE JESUS, H. C. (2021). “*Impactos, extensão e proposta de mitigação da intrusão salina no Rio São Mateus*”. *Pesquisas em Geociências* 48(4), pp. 1-23.

DASGUPTA, S.; WHEELER, D.; BANDYOPADHYAY, S.; GHOSH, S.; ROY, U. (2022). “*Coastal dilemma: climate change, public assistance and population displacement*”. *World Development* 150, pp. 105707.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; NETO, O. N. S.; QUEIROZ, Í. S. R. (2016). “*Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade*”, in *Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados.* Org. por Gheyi, H. R., Dias, N. D. S. Lacerda, C. F. D. Gomes Filho, E. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, Fortaleza – CE, pp. 151-162.

DUC, N. H.; UMEYAMA, M. (2011). “*Saline intrusion due to the accelerative sea level in the Red River system in Vietnam*” in *World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability*, 1, pp. 4413-4422.

FONSECA, S. L. M.; MAGALHAES, A. A. J.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. (2020). “*Estudo da salinidade no estuário do rio São Francisco em decorrência da redução das vazões defluentes da barragem de Xingó*” in Anais do XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Evento online, Nov 2020, 1, pp. 1-10.

GENZ, F.; LESSA, G. C.; CIRANO, M. (2008). “*Vazão Mínima para Estuários: Um Estudo de Caso no Rio Paraguaçu/BA*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 13(3), pp. 73-82.

HAUER, M. E.; FUSSELL, E.; MUELLER, V.; BURKETT, M.; CALL, M.; ABEL, K.; McLeman, R.; WRATHALL, D. (2020). “*Sea-level rise and human migration*”. *Nature Reviews Earth & Environment* 1(1), pp. 28-39.

JONES, E.; VAN VLIET, M. T. H. (2018). “*Drought impacts on river salinity in the southern US: Implications for Waterscarcity*”. *Science of the total environment* 644, pp. 844-853.

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. (2012). “*Salinity dynamics as a tool for water resources management in coastal zones: An application in the Tramandaí River basin, southern Brazil*”. *Ocean & Coastal Management* 55, pp. 52-62.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. (2005). “*Tendências hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul*”. Revista Brasileira de Meteorologia 20(2), pp. 215-226.

MARTINS, B.; FERREIRA, J. P. L.; PEREIRA, E. D.; CASTRO, R. M. S. (2019). “*Trabalhando as variáveis do método Gaudit de vulnerabilidade a intrusão salina no curso inferior do rio Bacanga, Maranhão, Brasil*” in Anais do 14º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa, Cidade da Praia, Cabo Verde, Set. 2019, 1, pp. 1-4.

NUNES, C. R. O.; PRÉ, H. L. S.; SILVA, K. C.; NETO, P. B.; OLIVEIRA, V. P. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2022). “*Ionic characterization and salinity evaluation in the Paraíba do Sul River estuary, southeast, Brazil, between 2018 and 2019*”. *Regional Studies in Marine Science* 55, pp. 102507.

OLIVEIRA, A. M.; TOLEDO, P. H. O.; FREIRE, C. C.; GOMES, M. G.; BUARQUE, A. C. S. (2018). “*Análise do avanço da cunha salina em sistema aquífero costeiro*”. Engenharia Sanitária e Ambiental 23(5), pp. 939-950.

OLIVIERA, E. C. (2015). “*Mudanças na Sedimentação do Delta do Rio Paraíba do Sul nos Últimos 40 Anos: Resultados do Manejo Excessivo*”, in Homem e as Zonas Costeiras Tomo IV da Rede BrasPor. Org. por Pereira, S.D., Rodrigues, M. A. Bergamaschi, S., Freitas, J. G., Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Rio de Janeiro – RJ, pp. 17-178.

OVALLE, A. R. C.; SILVA, C. F.; REZENDE, C. E.; GATTS, C. E. N.; SUZUKI, M. S.; FIGUEIRDO, R. O. (2013). “*Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeastern Brazil*”. *Journal of Hydrology* 481, pp. 191-203.

PACHECO, N. (2021). *Mar avança no rio Amazonas e ribeirinhos de arquipélago ficam sem água potável: ‘Não presta nem para beber’*. *GI Amapá*, Disponível em:

<<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2021/10/12/mar-avanca-no-rio-amazonas-e-ribeirinhos-de-arquipelago-ficam-sem-agua-potavel-nao-presta-nem-para-beber.ghtml>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

PETERS, C. N.; KIMSAL, C.; FREDERIKS, R. S.; PALDOR, A.; MCQUIGGAN, R.; MICHAEL, H. A. (2022). “*Ground water pumping causes salinization of coastal streams due to baseflow depletion: Analytical framework and application to Savannah River, GA*”. *Journal of Hydrology* 604, pp. 127238.

PHAN, T. D.; SMART, J. C. R.; SAHIN, O.; CAPON, S. J.; HADWEN, W. L. (2018). “*Assessment of the vulnerability of a coastal fresh water system to climatic and non-climatic changes: A system dynamics approach*”. *Journal of Cleaner Production* 183, pp. 940-955.

ROSMAN, P. C. C.; DE AZEVEDO, J. P. S.; DO AMARAL, K. J. (2007) “*Modelagem computacional da intrusão salina no canal de São Francisco (RJ) como ferramenta de apoio à gestão no rio Guandu*” in Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, Nov. 2007, 1, pp. 1-15.

SILVA, F. P.; MARTINS, J. R. S.; NOGUEIRA, F. F.; PEREIRA, M. C. S.; AMORIN, L. F. (2018). “*Impacto do desassoreamento na intrusão salina em rios estuarinos urbanos: Estudo de Caso do rio Cubatão, SP*” in Anais do XII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Maceió, Nov. 2018, 1, pp. 1-9.

VARGAS, C. I. C.; VAZ, N.; DIAS, J. M. (2017). “*An evaluation of climate change effects in estuarine salinity patterns: Application to Ria de Aveiro shallow water system*”. *Estuarina, Coastal and Shelf Science* 189, pp. 33-45.

VISSCHERS, L. B.; SANTOS, C. D.; FRANCO, A. M. A. (2022) “*Accelerated migration of mangroves indicate large-scales salt water intrusion in Amazon coastal wetlands*”. *Science of the Total Environment* 836, pp. 155679.

YAURI, W. L. M.; BARBIERI, R. (2022) “*Intrusão salina em um sistema rio-planície de inundação tropical influenciado por macromarés – rio Pindaré (MA)*”. *Oecologia Australis* 26(2), pp. 271-285.

ARTIGO CIENTÍFICO 2

AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE SALINIZAÇÃO NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BARRA, RJ

EVALUATION OF THE SALINIZATION PROCESS IN THE RURAL AREA OF THE MUNICIPALITY OF SÃO JOÃO DA BARRA, RJ

Juliana Parente Ribeiro - IFFluminense/PPEA
Thiago Moreira de Rezende Araújo - IFFluminense/PPEA
Vicente de Paulo Santos de Oliveira - IFFluminense/PPEA

RESUMO

Diversas regiões costeiras vêm sofrendo o aumento da intrusão salina, ocasionando alterações ecológicas e diversos problemas para as comunidades. O município de São João da Barra, localizado no Norte do estado do Rio de Janeiro vem enfrentando erosão e intrusão salina na região do delta do rio Paraíba do Sul. Em algumas épocas do ano ocorre a interrupção no abastecimento de água devido a elevada salinidade. A região é produtora de diversas variedades de frutas, verduras e legumes com captação de água em poços freáticos. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a salinidade em 7 pontos amostrais, sendo 2 pontos num canal com origem no rio Paraíba do sul, 4 pontos de águas superficiais e 1 ponto de água subterrânea, na área rural de Atafona e Grussaí por meio da análise dos parâmetros condutividade elétrica, salinidade, pH e concentração dos seguintes íons: fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato, sulfato, sódio, magnésio, potássio e cálcio. Os resultados indicaram que a maior parte das amostras foram classificadas como águas salobras, apresentaram elevada condutividade elétrica e forte influência dos íons cloreto, potássio, magnésio, sódio e cálcio e, portanto, vem sofrendo o processo de salinização.

Palavras chave: Intrusão Salina. Íons. Parâmetros Físico-Químicos.

ABSTRACT

Several coastal regions have been suffering from increased saline intrusion, causing ecological changes and various problems for communities. The municipality of São João da Barra, located in the north of the state of Rio de Janeiro, has been facing erosion and saline intrusions in the Paraíba do Sul river delta region. At some times of the year there is an interruption in the water supply due to high salinity. The region is a producer of several varieties of fruits, vegetables and legumes, collecting water from ground water wells. Therefore, the objective of this study was to evaluate the salinity in 7 sampling points, 2 points in a channel originating in the Paraíba do Sul river; 4 points of surface water and 1 point of the groundwater, in the rural area of Atafona and Grussaí through the analysis of the parameters electrical conductivity, salinity, pH and concentration of the following ions: fluoride, chloride, nitrite, nitrate, bromide, phosphate, sulfate, sodium, magnesium, potassium and calcium. The results indicated that most of the samples were classified as brackish waters, presented high electrical conductivity and strong influence of chloride, potassium, magnesium, sodium and calcium ions and, therefore, have been undergoing the salinization process.

Keywords: *Saline Intrusion. Ions. Physico-Chemical Parameters.*

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades, das atividades industriais, mineração e produção agrícola aumentam o consumo de água tornando essencial analisar a sua qualidade para uma boa gestão dos recursos hídricos (RAMOS, OLIVEIRA e ARAÚJO, 2019). O armazenamento das águas subterrâneas e superficiais foram alterados pelo homem de diversas maneiras através das construções de reservatórios e canais, desmatamento, aumento da captação para abastecimento e, desta forma, a sua qualidade é impactada devido a problemas como erosão, despejos de efluentes domésticos e industriais, resíduos agrícolas, remoção da biomassa e de espécies, dentre outros (TUNDISI, 2006).

A intrusão salina é um dos problemas que impacta a qualidade da água. Isso ocorre quando há inversão do fluxo natural de água na zona costeira do continente para

o oceano (VILLAR *et al.*, 2022). Nas regiões costeiras, a interface entre água doce e salgada ocorre formando um fluxo do continente em direção ao mar. Na zona de mistura, a água doce, menos densa se sobrepõe à água salgada, obtendo o formato de cunha (FEITOSA *et al.*, 2008). Esse fenômeno vem ocorrendo nas regiões costeiras em diversas partes do mundo ocasionando alterações ecológicas e diversos problemas para as comunidades.

No Brasil, na região amazônica, Visschers *et al.*, (2022) identificaram uma expansão do manguezal para o interior do continente através de estudo comparativo de imagens de satélite por um período de 38 anos. Em contrapartida, houve maior erosão costeira devido ao avanço do mar. Ainda na região amazônica, os moradores do arquipélago de Bailique – AP, enfrentam há anos a salinização da água utilizada para consumo. As alterações no ambiente são refletidas com a redução do pescado relatado pelos pescadores da região. O fenômeno pode estar associado ao desmatamento na região e conseqüentemente assoreamento do rio constantes erosões nas margens do rio (PACHECO, 2021). Além da salinização da água, a comunidade enfrenta constantes erosões nas margens do rio, fato que dificulta ainda mais a implantação de uma estrutura física para a resolução do problema do abastecimento de água (LAGO *et al.*, 2023).

Na cidade de São Mateus – ES, em períodos de seca, o rio São Mateus sofre com avanço da intrusão salina percorrendo uma distância de mais de 50 km alcançando o ponto de captação de água para abastecimento urbano. Como consequência, ocorre a interrupção do abastecimento (COTTA e DE JESUS, 2021). Loitzenbauer e Mendes (2012) destacam a importância de estudar a dinâmica da salinidade monitorando a intrusão salina nas regiões costeiras com a finalidade de prever cenários futuros e estimar a demanda por água doce, evitando conflitos pelos usos de recursos hídricos. Neste sentido, a água deve ser utilizada de maneira sustentável, prezando pela sua qualidade e assegurando a disponibilidade para a coletividade.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O município de São João da Barra

São João da Barra pertence à região Norte Fluminense do estado do Rio de Janeiro e o clima é classificado como Tropical Úmido (Aw), segundo Köppen-Geiger

(1928). Possui temperatura média anual de 24,0 °C e pluviosidade média anual de 958 mm (CLIMATE-DATA, 2023). A região Norte Fluminense possui baixos índices pluviométricos, principalmente no litoral, tendendo a aumentar em direção ao interior do continente. Apesar da distribuição das chuvas serem heterogêneas no espaço e no tempo, elas são mais intensas no verão, sendo novembro o mês mais chuvoso na região de Campos e Farol de São Tomé (LEITE, 2013). As regiões Norte e Noroeste Fluminense vêm sofrendo com o aumento do período de estiagem, desta forma, tramita no Congresso Nacional um projeto de Lei que visa alterar a classificação do clima dessas regiões para semiárido (DIA, 2023a), caracterizada por altas temperaturas e irregularidade de chuvas com longo período de estiagem (RAMALHO, 2013).

O município de São João da Barra está inserido na região da baixada campista, em uma extensa planície deltaica com cobertura vegetal típica de restinga (FILHO, 2003). Originalmente, a região da bacia hidrográfica da lagoa Feia era formada por uma rede de lagoas e canais que transbordavam na estação chuvosa formando um extenso espelho d'água. Devido à baixa declividade, o escoamento ocorria lentamente durante vários meses seguintes. Estão ainda situadas dentro do território municipal as lagoas de Grussaí, Açú, Veiga, Iquipari e parte da lagoa Salgada que compreende a sub-bacia Lagoas do Nordeste (BIDEGAIN *et al.*, 2002).

Toda a bacia hidrográfica da lagoa Feia sofreu várias obras de canalização e retificação de canais realizadas pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS para drenar a água das áreas alagadas por motivações sanitárias e, conseqüentemente, favorecer a produção agrícola na região (CARNEIRO, 2004). Por fim, diversas lagoas foram extintas e as lagoas de Grussaí, Iquipari e Açú, foram assim caracterizadas como lagoas costeiras após a abertura do canal do Quitungute (SOFFIATI, 2013). Dentre as conseqüências estão redução do espelho d'água das lagoas, rebaixamento do lençol freático e salinização dos solos (BIDEGAIN *et al.*, 2002; SOFFIATI, 2013). As águas da chuva passaram a permanecer por menos tempo no continente passando a apresentar um quadro de escassez (BIDEGAIN *et al.*, 2002).

2.2. A região da foz do Rio Paraíba do Sul

Junto à foz do rio Paraíba do Sul, formou-se um sistema de cristas e cordões de areia paralelo à costa intercaladas por depressões entre os cordões (FILHO, 2003). A linha de costa da foz do rio Paraíba do Sul sofreu alterações a partir da década de 1970.

Os sedimentos transportados que formavam o esporão arenoso passou a ser erodido e remanejado para áreas mais afastadas. Ainda neste estudo, o transporte de carga sedimentar não apresentou relação direta com o aumento no volume de chuvas, o que sugere que a redução da vazão e as alterações na dinâmica de sedimentação ocorreram devido a transposições para abastecimento urbano e barragens (OLIVEIRA, 2015).

Marengo e Alves (2005) estudaram a série histórica do Rio Paraíba do Sul e constataram uma tendência negativa na vazão do rio nos últimos 50 anos não relacionada com precipitação, sugerindo que a redução na vazão esteja relacionada a fatores antrópicos. Dentre as possíveis causas para redução da vazão estão a construção de barragens para abastecimento das cidades e geração de energia, transposição para a Metrópole do Rio de Janeiro, captação para utilização na agricultura, manejo inadequado do solo provocando assoreamento e alterações na pluviosidade da bacia.

Dando sequência ao estudo, Carvalho *et al.*, (2023) analisaram a série histórica das vazões da bacia do rio Paraíba do Sul entre os anos de 2000 e 2020 e concluíram que a bacia possui tendência negativa, em conformidade com os estudos de Marengo & Alves (2005). Em condições de baixa vazão do rio Paraíba do Sul, a intrusão salina fornece um maior aporte de íons cloreto, sulfato, sódio, potássio e magnésio, além de índices maiores de condutividade elétrica e salinidade, alterando a composição química das águas do rio Paraíba do Sul (NUNES *et al.*, 2022).

2.3. Manejo da água e do solo na produção agrícola

A agricultura é o principal usuário de recursos hídricos e é também a atividade com maior potencial de contaminação do solo e da água. As técnicas de irrigação provocam impactos positivos como a redução da área de cultivo e aumento da produtividade agrícola, mas o manejo inadequado pode provocar a degradação do solo, a contaminação por insumos agrícolas (BRITO *et al.*, 2010) e a salinização do solo e das águas (BRITO *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2016). Para evitar o desperdício de água, devem ser utilizados sistemas de irrigação eficientes, assim como o manejo dos insumos agrícolas devem ser ajustados para evitar a contaminação da água. Pois o excedente desses produtos pode ser carregado superficialmente ou percolado no solo atingindo as reservas hídricas superficiais e subterrâneas (BRITO *et al.*, 2010).

A salinidade pode reduzir a produtividade e a viabilidade econômica da produção agrícola (DIAS *et al.*, 2016). Entretanto, é possível ter controle da salinização

no solo aplicando melhor eficiência na irrigação e controlando a lixiviação e a drenagem da água (BRITO *et al.*, 2010). Pois no processo de percolação da água no solo, os sais se acumulam nas camadas superficiais tornando o solo salino (LOITZENBAUER E MENDES, 2012). Para corrigir a salinidade do solo é necessário utilizar maiores volumes de água de boa qualidade na irrigação tornando elevados os custos de recuperação. Portanto, a recomendação é realizar um bom planejamento do sistema de drenagem, de recursos hídricos e de insumos (BRITO *et al.*, 2010).

Na zona rural do município de São João da Barra são produzidos abacaxi, quiabo, maxixe, pimentão, tomate, batata doce (DIA, 2023b), jiló, coco, cana de açúcar, além de realização de atividades de pecuária mista (BURLA *et al.*, 2015). No 5º distrito de São João da Barra, o manejo da lavoura ocorre utilizando técnicas tradicionais de pousio e de rotação de culturas. A irrigação ocorre com a captação de água de poços utilizando bomba elétrica e mangueiras pressurizadas ou por aspersão convencional. Os produtores rurais também utilizam adubação química e orgânica para enriquecer o solo em nutrientes, principalmente nos períodos de escassez hídrica (PAES e ZAPPES, 2016).

Algumas medidas costumam ser adotadas para promover melhorias no fornecimento de água, principalmente na zona rural, como construção de reservatórios, cisternas e perfuração de poços artesianos (RAMALHO, 2013). O monitoramento da qualidade da água nessa região é importante, pois o município de São João da Barra sofre com a influência do Complexo Logístico e Industrial do Porto do Açú e com o aumento da salinidade que vem ocorrendo na foz do rio Paraíba do Sul, comprometendo o abastecimento de água em algumas épocas do ano. Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a salinidade de água superficial e subterrânea na área rural de Atafona e Grussaí, no município de São João da Barra, RJ por meio da análise dos parâmetros físico-químicos, condutividade elétrica, salinidade, pH e concentração de alguns íons.

3. MATERIAL E MÉTODO

Este trabalho foi conduzido na área rural do 2º distrito, Atafona e 3º distrito, Grussaí, do município de São João da Barra/RJ. Toda a área de estudo possui pastagens com espécies herbáceas e lenhosas. Os pequenos produtores da região produzem coco, manga, caju, limão, banana e cana de açúcar além da criação de animais bovinos e suínos. Foram realizadas quatro saídas ao campo, identificadas como S1 a S4, para

coleta de amostras, sendo 2 em estação seca e 2 em estação chuvosa, conforme Tabela 1. Em cada saída foram coletadas amostras em 7 pontos. Os pontos P1 e P2 são no canal da Chatuba, o qual possui comunicação direta com o Rio Paraíba do Sul. Os pontos P3, P4, P6 e P7 são em águas superficiais sem comunicação com o Rio Paraíba do Sul e o ponto P5 em água subterrânea de lençol freático captada por bomba elétrica (Figura 1).

Figura 1 – Localização dos pontos de coleta de amostras de água para verificação da salinidade, próximo à foz do rio Paraíba do Sul, São João Barra-RJ.



Fonte: Google Earth (2023).

Foram levados em consideração os períodos do ciclo hidrológico, procurando identificar a influência da sazonalidade nos parâmetros analisados. As coletas das amostras foram realizadas na maré de sizígia e iniciadas no horário da primeira preia-mar do dia, momento em que ocorre maior influência do mar no estuário do rio Paraíba do Sul. Foram anotadas as condições ambientais no dia da coleta e a vazão do Rio.

Tabela 1 – Datas das saídas ao campo para coleta de amostras.

Coletas	Data	Estação
1 ^a	13/10/2022	Seca
2 ^a	10/03/2023	Chuvosa
3 ^a	18/08/2023	Seca
4 ^a	26/01/2024	Chuvosa

Os dados referentes à vazão do rio Paraíba do Sul foram obtidos utilizando o aplicativo HIDROWEB, pertencente ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o qual fornece informações sobre vazões, chuvas, níveis dos rios, qualidade da água, sedimentos e climatologia (SNIRH, 2023). Os dados da

estação Campos – Ponte Municipal foram utilizados, pois é o ponto de medição mais próximo à área de estudo.

Os pontos de coleta tiveram as coordenadas geográficas identificadas com auxílio do aplicativo GPS Altitude versão 6.06 (342). Os procedimentos de coleta, armazenamento e transporte foram adotados segundo o Manual Prático de Análise de Água (FUNASA, 2013). No dia da coleta, foram observadas as condições climáticas e qualquer alteração perceptível do ambiente. As amostras foram coletadas e armazenadas em frascos de plásticos que foram etiquetados e identificados com data e hora da coleta. Foram coletados 500 mL de água em cada ponto em águas superficiais, exceto no ponto 5, cuja amostra foi coletada em água do lençol freático. Em seguida, as amostras foram refrigeradas e encaminhadas para serem analisadas no Laboratório de Monitoramento das Águas da Foz do Rio Paraíba do Sul – LabFoz, no Polo de Inovação Campos do Goytacazes do Instituto Federal Fluminense. As coordenadas geográficas e distância de cada ponto de coleta estão descritas na tabela 2.

Tabela 2 – Localização dos pontos de coleta

Ponto de Coleta	Coordenadas Geográficas	Distância do RPS	Distância do ponto anterior
P1	21°37'50.30''S 41°02'09.20''W	1,4 km	0 m
P2	21°38'09.20''S 41°02'21.60''W	2,1 km	700 m
P3	21°38'54.70''S 41°02'15.20''W	4,0 km	1,9 km
P4	21°39'09.80''S 41°02'24.40''W	4,6 km	550 m
P5	21°40'34.12''S 41°02'23.85''W	5,6 km	1 km
P6	21°40'09.60''S 41°03'06.80''W	5,9 km	300 m
P7	21°39'19.60''S 41°03'02.70''W	6,8 km	900 m

No LabFoz foram analisados os parâmetros condutividade elétrica, salinidade, pH, os ânions (fluoreto, cloreto, nitrito, nitrato, brometo, fosfato e sulfato) e os cátions (sódio, magnésio, potássio e cálcio). Esses íons foram analisados por meio da técnica de

cromatografia iônica, a qual tem sido utilizada para análises de águas salobras e salinas. A escolha dos íons se deu devido ao fato desses íons serem apontados como mais relevantes em estudos realizados anteriormente na região (NUNES *et al.*, 2022; LEITE, 2016; PRÉ, *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019).

Todas as análises foram feitas em duplicata. A condutividade elétrica e a salinidade foram realizadas utilizando o equipamento condutivímetro *Digimed DM-3* (Figura 2), o pH foi determinado pelo equipamento pHmetro *Thermo Orion Star A214* (Figura 3) e os íons foram analisados utilizando o cromatógrafo de íons *Metrohm 883 Basic IC Plus* (Figura 4) acoplado ao amostrador *863 Compact Autosampler* (Figura 5).

Figura 2 – Condutivímetro *Digimed DM-3*



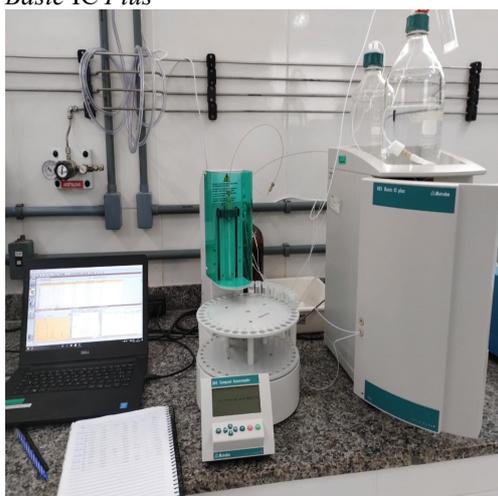
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 3 - PHmetro *Thermo Orion Star A214*



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 4 - Cromatógrafo de íons *Metrohm 883 Basic IC Plus*



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 5 - Amostrador *863 Compact Autosampler*



Fonte: Autoria própria (2024).

Para realizar as análises estatísticas foi utilizado o *software Past. 3.25*, sendo os

resultados submetidos à Análise de Agrupamento Hierárquico (HCA) e à Análise de Componentes Principais (PCA), técnicas utilizadas quando há um grande número de variáveis e deseja agrupá-las de acordo com a similaridade entre as variáveis (MOITA NETO, 2004). As condições cromatográficas utilizadas e a realização do pré-tratamento de dados por meio do cálculo de médias e desvio-padrão foram as mesmas utilizadas no trabalho de Nunes e colaboradores, 2022.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os registros da vazão do rio Paraíba do Sul na estação campos foram de 343 m³/s (S1), 927 m³/s (S2), 272 m³/s (S3) e 1110 m³/s (S4). Nas primeiras três saídas, o tempo foi de sol com poucas nuvens. Apenas na 4ª saída choveu durante às 48h que antecederam a coleta. Os resultados dos parâmetros analisados estão exibidos na Tabela 3.

Considerando o total de amostras coletadas, cerca de 60% das amostras foram classificadas como águas salobras e 40% como águas doces. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, as águas doces são aquelas com salinidade menor ou igual a 0,5‰ e águas salobras com salinidade maior que 0,5‰ e menor que 30‰ (BRASIL, 2005). E um estudo sobre a qualidade da água de poços freáticos no município de São João da Barra, Cerqueira *et al.*, (2014) classificaram 25% das amostras como salobras.

O P3 foi o único ponto onde apresentou água doce em todas as coletas enquanto os pontos P5, P6 e P7 apresentaram água salobra em todas as amostras. O Ponto P1, mais próximo ao rio Paraíba do Sul, classificou a água como salobra nos períodos secos (1ª e 3ª saídas) e doce nos períodos chuvosos (2ª e 4ª saídas). O Ponto P6 apresentou maiores valores para salinidade, variando entre 3,40 e 4,07. Em períodos chuvosos, a vazão do rio é mais alta, impedindo o avanço da cunha salina mesmo em ocasião da maré de sizígia, dado que as amostras do ponto P1 apresentaram água doce nas coletas realizadas nos meses de janeiro e março.

Tabela 3 – Resultados encontrados para pH, salinidade, condutividade elétrica e íons

(continua)

Pontos de coleta e saídas	pH	Sal* (ppt)	CE** (μS/cm)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)
P1S1	7,19	0,9	1452,10	<LD***	394,98	<LD	1,91	2,82	<LD	31,79	342,86	12,16	66,04	72,80
P1S2	7,06	0,4	740,45	<LD	181,83	<LD	<LD	1,49	<LD	9,42	154,97	9,44	22,94	89,52
P1S3	7,03	1,6	2947,50	<LD	645,81	<LD	2,91	5,30	<LD	103,78	724,38	21,58	123,04	151,45
P1S4	7,12	0,3	617,10	<LD	148,66	<LD	1,45	2,19	<LD	12,50	142,57	4,04	25,91	62,09
P2S1	7,54	0,8	1286,63	<LD	306,98	<LD	<LD	<LD	<LD	29,81	288,10	14,52	53,14	125,69
P2S2	7,27	0,4	764,20	<LD	157,04	<LD	<LD	1,23	<LD	15,86	143,77	11,84	18,22	113,90
P2S3	7,20	0,5	885,10	<LD	141,32	<LD	0,67	1,07	<LD	16,24	189,99	12,50	17,90	119,05
P2S4	7,31	0,4	630,95	<LD	111,78	<LD	1,59	<LD	<LD	20,12	121,04	42,51	18,36	113,22
P3S1	7,05	0,4	665,83	<LD	139,21	<LD	<LD	<LD	<LD	2,42	120,38	4,62	16,12	111,56
P3S2	6,73	0,3	581,35	<LD	132,30	<LD	<LD	<LD	<LD	1,32	111,19	3,94	15,17	103,48
P3S3	6,59	0,3	546,30	<LD	83,84	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	111,77	5,28	11,94	90,84
P3S4	6,73	0,2	384,95	<LD	95,19	<LD	0,41	<LD	<LD	2,19	84,77	3,53	6,88	42,11
P4S1	7,49	0,3	501,57	<LD	91,57	<LD	<LD	<LD	<LD	2,11	91,76	8,74	12,48	109,75
P4S2	7,20	0,9	1533,60	<LD	411,33	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	332,69	19,20	30,28	187,83
P4S3	6,99	0,9	1814,35	<LD	361,76	<LD	1,67	<LD	<LD	<LD	432,02	19,16	32,92	193,58
P4S4	6,98	0,5	903,65	<LD	196,02	<LD	1,69	<LD	<LD	<LD	186,96	10,30	17,23	122,27
P5S1	7,10	0,8	1364,00	<LD	257,98	<LD	<LD	56,05	<LD	64,72	233,66	53,82	37,66	199,01
P5S2	7,20	0,9	1570,05	<LD	328,50	2,68	<LD	133,42	<LD	71,46	225,74	63,38	41,25	218,59
P5S3	7,03	0,8	1469,76	<LD	215,34	<LD	<LD	60,00	<LD	79,04	263,00	52,81	38,86	205,59

Pontos de coleta e saídas	pH	Sal* (ppt)	CE** (µS/cm)	F ⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	(Conclusão)	
													Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)
P5S4	6,94	0,7	1295,30	<LD	281,27	<LD	3,14	53,89	6,47	70,68	267,40	53,59	40,61	211,58
P6S1	7,71	4,1	6774,00	<LD	1969,43	<LD	10,29	<LD	<LD	12,96	1715,58	156,37	204,18	625,86
P6S2	7,88	3,7	6066,00	<LD	1702,77	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	1343,37	127,89	185,72	626,34
P6S3	7,54	3,4	5962,50	<LD	1266,76	<LD	<LD	<LD	<LD	10,45	1507,29	137,13	170,39	738,07
P6S4	7,94	4,0	6187,00	<LD	1807,42	<LD	16,15	<LD	<LD	<LD	1681,64	153,83	184,35	765,32
P7S1	8,59	1,7	2861,33	<LD	731,44	<LD	<LD	<LD	<LD	3,20	667,95	24,46	92,77	357,40
P7S2	8,45	1,7	2887,50	<LD	759,69	<LD	3,92	7,69	<LD	<LD	631,40	38,21	76,92	360,70
P7S3	8,17	1,4	2538,50	<LD	157,10	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	234,03	14,25	40,79	260,99
P7S4	8,58	1,4	2261,00	<LD	650,74	<LD	6,27	<LD	<LD	<LD	610,08	46,62	72,77	646,30

*Sal = Salinidade. **CE = Condutividade Elétrica. ***<LD = Valor inferior ao limite de detecção do equipamento. Os limites de detecção são: F⁻ = 0,0089 mg/L, NO₂⁻ = 0,0193 mg/L, Br⁻ = 0,0291 mg/L, NO₃⁻ = 0,0228 mg/L, PO₄³⁻ = 0,0479 mg/L e SO₄²⁻ = 0,0169 mg/L.

Os menores valores de condutividade elétrica foram no ponto P3, variando entre 384,95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na quarta saída e 665,83 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira saída. Os pontos P5, P6 e P7 registraram condutividade elétrica acima de 1000,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em todas as amostras coletadas. O ponto P6 apresentou os valores mais elevados de condutividade elétrica, entre 5962,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na terceira saída e 6774,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na primeira saída.

Os pontos P5 e P6 estão localizados mais próximo à Grussaí e tais valores elevados estão de acordo com o estudo de Cerqueira *et al.*, (2014), onde os maiores registros de condutividade elétrica foram em Grussaí devido à influência das lagoas de Grussaí e Iquipari. No total de 28 amostras coletadas, cerca de 60% apresentaram condutividade elétrica acima de 1000,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enquanto Cerqueira *et al.*, (2014) encontraram apenas 4 amostras acima de 1000,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ num total de 44 poços amostrados.

A condutividade média das amostras coletadas nos períodos secos foi mais alta em relação aos períodos chuvosos. Exceto para os pontos P4 e P5 onde os valores médios de condutividade nos períodos secos foram ligeiramente menores que nos períodos chuvosos. No estudo realizado por Nunes *et al.*, (2019), houve um aumento da condutividade e salinidade por ocasião de menor vazão próximo à foz do rio Paraíba do Sul.

Não há um padrão estabelecido na resolução CONAMA 357/2005 para a condutividade elétrica. No entanto, alguns autores sugerem valores médios para uma boa qualidade e adequada para o consumo humano. Von Sperling (2007) considera concentração de até 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, enquanto outros autores recomendam valores inferiores a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (LOGAN, 1965; MENDES & OLIVEIRA, 2004).

O pH das amostras se mantiveram entre 6,0 e 9,0, conforme preconiza a Resolução CONAMA 357/05 para águas doces classes I, II, III e IV e entre 6,5 e 8,5 para águas salobras classe I. Com exceção do P7 o qual o pH se enquadrava na classe II e III, entre 5,0 e 9,0. O P7 foi o ponto onde as amostras tiveram os maiores valores de pH (8,17 a 8,59) em todas as coletas (BRASIL, 2005). O pH deste estudo está em conformidade com a faixa de pH do aquífero livre de São João da Barra, RJ caracterizado por Cerqueira *et al.*, (2014). No trabalho realizado por Nunes *et al.*, (2019), o pH no rio Paraíba do Sul se manteve alcalino em todas as campanhas amostrais.

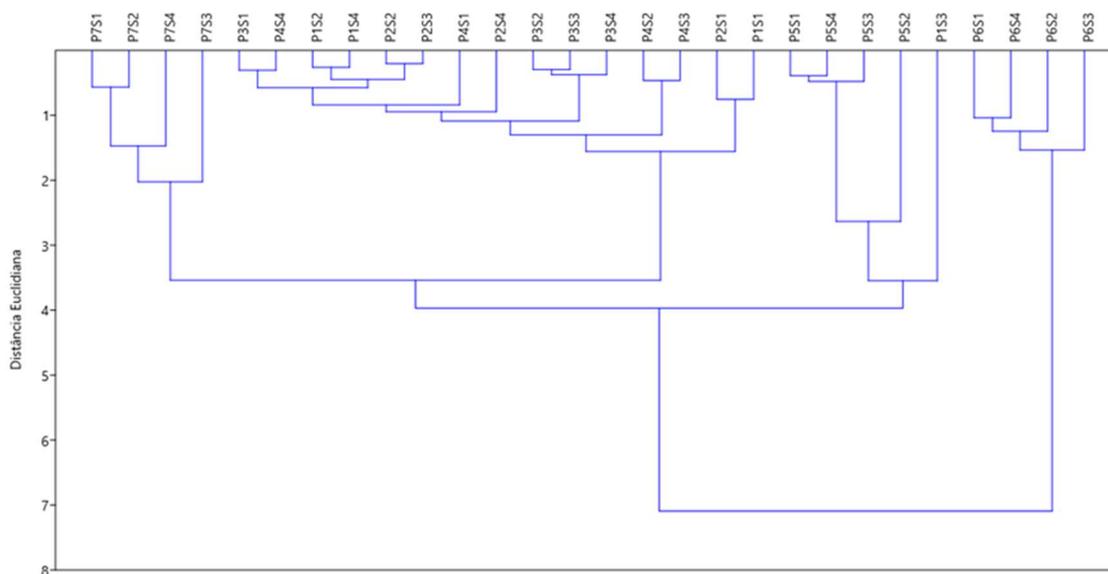
Dentre os íons, o cloreto foi o principal íon presente em mais alta concentração na maioria das amostras. Em estudos realizados no rio Paraíba do Sul, Nunes *et al.*,

(2022), encontrou o cloreto em maior concentração apenas em amostras coletadas próximo à foz do rio, enquanto no trabalho de Ovalle *et al.*, (2013) sobre tendências hidroquímicas do rio Paraíba do Sul entre 1997 e 2007 o cloreto teve pouca representatividade.

De acordo com a análise de agrupamento hierárquico (HCA), o resultado indica a formação de quatro blocos agrupados por similaridade entre as amostras (figura 6). Um grande bloco formado pelos pontos P1, P2, P3 e P4, e outros três blocos formados pelas amostras dos pontos P5, P6 e P7. Com exceção apenas do P1S3 que se assemelhou com as amostras do P5 devido aos parâmetros com valores mais elevados, principalmente condutividade elétrica e salinidade.

No dia desta coleta, foi registrada a menor vazão do rio Paraíba do Sul, 272 m³/s, e como o P1 é o ponto mais próximo ao rio, sofreu maior influência da intrusão salina. As amostras do P3 e P4, apesar de não terem comunicação com o rio Paraíba do Sul, possuem características semelhantes aos pontos P1 e P2 os quais se comunicam com rio pelo canal da Chatuba, conforme análise da HCA. O P6 apresentou a maior distância euclidiana em relação aos outros pontos. Essa diferença ocorreu devido às características de águas salobras como condutividade elétrica, e os íons cloreto e sódio.

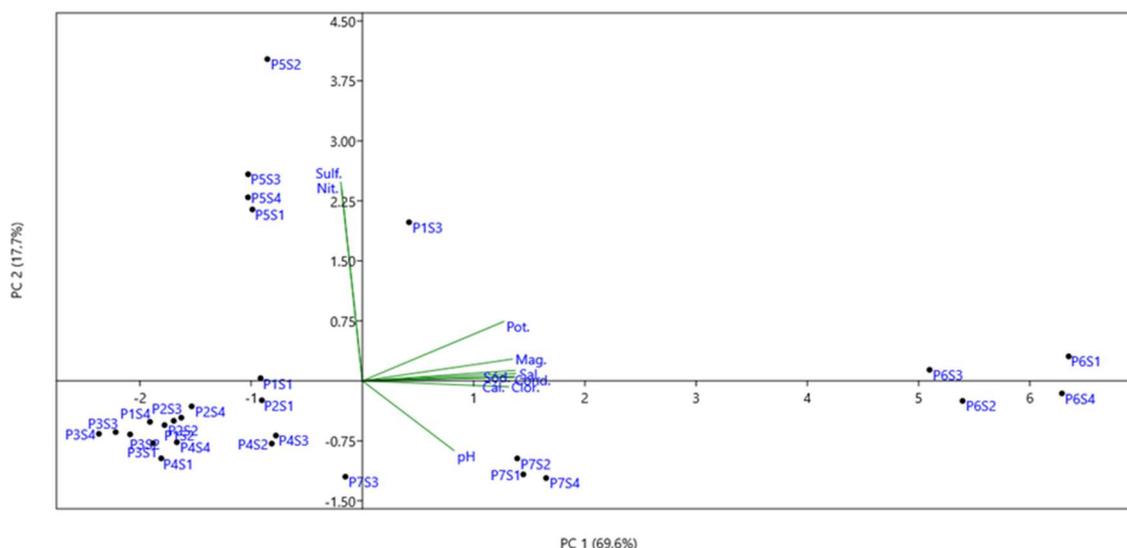
Figura 6 – Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico (HCA) para todas as amostras coletadas.



Para realizar a análise de componentes principais (PCA), foram excluídos os ânions F⁻, NO²⁻, Br⁻ e PO⁴³⁻ pois estavam presentes em poucas amostras. As duas componentes principais PC 1 e PC 2 explicam 87,3% da variação total dos parâmetros,

sendo 69,9% do componente principal 1 e 17,7% do componente principal 2 (figura 7). Os pontos P5, P6, P7 se apresentam como isolados grupos e separados dos pontos P1 a P4 os quais formam um único bloco e o P1S3 destacado devido às diferenças descritas anteriormente.

Figura 7 – Análise das duas primeiras componentes principais. Onde: Sal = salinidade, Cond = condutividade elétrica, Clor = cloreto, Nit = nitrato, Sulf = sulfato, Sód = sódio, Pot = potássio, Mag = magnésio, Cál = cálcio.



O componente principal 1 tem o potássio, magnésio, sódio, cálcio, cloreto, condutividade elétrica e salinidade como principais contribuintes positivamente para a variação nos dados, enquanto o componente principal 2 possui o sulfato e o nitrato como principais contribuintes positivos e pH como principal contribuinte negativo. O nitrato e o sulfato possuem maior concentração no ponto P5, amostra de poço. O nitrato pode estar relacionado a utilização defensivos agrícolas (QUAGGIO *et al.*, 2018). Já o sulfato, pode estar relacionado além de defensivos agrícolas, à intrusão salina (DE SOUZA *et al.*, 2022). No entanto, de acordo com a Resolução CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008), os valores se encontram dentro do valor máximo permitido para águas subterrâneas.

5. CONCLUSÃO

O agrupamento das amostras de acordo com os pontos de coleta revela que a sazonalidade não interferiu nos resultados das concentrações. Mas foi possível

determinar um padrão de similaridade entre os pontos P1 a P4 influenciados pela água do rio e outro no P6 com características de água salobra. As amostras do P5, coletadas de poço freático, apresentaram maiores concentrações de nitrato e sulfato. Para confirmar relação com uso de produtos agroquímicos são necessárias novas pesquisas.

Conclui-se que a região do município de São João da Barra está sofrendo com aumento da salinidade não só na região do delta do rio Paraíba do Sul. No entanto, novos estudos serão necessários para investigar de que maneira este processo vem ocorrendo na linha de costa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. M. D.; AQUINO, D. D. N.; LUNA, N. R. D. S.; LOPES, F. B.; CRISÓSTOMO, L. D. A. (2016). **Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas**. Revista Ceres 63(5), pp.621-630.

BIDEGAIN, P.; BIZZERIL, C.; SOFFIATI NETO, A. A. (2002). **Lagoas do Norte Fluminense: perfil ambiental**. 1 ed. Rio de Janeiro: SEMADS, 148p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. (2005). **CONAMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. (2008). **CONAMA, Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BRITO, L. T. L.; BRAGA, M. B.; NASCIMENTO, T. (2010). **Impactos ambientais da irrigação no Semiárido brasileiro**. In: BRITO, L. T. L. MELO, R. F. GIONGO, V. (Ed.). **Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, p. 137-169.

BURLA, R. D. S.; OLIVEIRA, V. D. P. S. D.; MANHÃES, C. M. C.; FRANCELINO, F. M. A.; SANTOS, J. C. O. R.; COLUCCI, M. C.; FONTES, S. C. (2015). **Caracterização dos aspectos socioeconômicos e do processo produtivo agrícola dos produtores rurais da microbacia do Rio Doce, São João da Barra, RJ**. Vértices, 17(1), 149-162.

CARNEIRO, P. R. F. (2004). **Água e conflito na Baixada dos Goytacazes**. REGA, v. 1, n. 2, p. 87-100.

CARVALHO, P. R. S.; MOTTA, M. B.; FILHO, W. A.; RIBEIRO, C. B. M. (2023). **Análise de tendência em séries históricas de vazões na bacia do rio Paraíba do Sul**. In Anais do IV Simpósio de Recursos Hídricos da bacia do Rio Paraíba do Sul, Campos dos Goytacazes-RJ, 2023.

CERQUEIRA, F. C. de; ALVES, M. Da G.; CHRISPIM, Z. M. P.; ALMEIDA, F. F. De; CORREIA, L. C.; SILVA JUNIOR, G. C. Da. (2014). **Análise preliminar da qualidade das águas do aquífero livre no município de São João da Barra, RJ.** In Anais do XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte-MG, 2014.

CLIMA-DATA (2023). **Dados climáticos para cidades.** Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/rio-de-janeiro/sao-joao-da-barra-33684/>>. Acesso em: 21 dez. 2023.

COTTA, A. J. B.; DE JESUS, H. C. (2021). **Impactos, extensão e proposta de mitigação da intrusão salina no Rio São Mateus.** Pesquisas em Geociências 48(4), pp. 1-23.

DE SOUSA, C. J. DA S.; BORGES, W. R.; PINHEIRO, K. S. F. (2022). **Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Barreiras-Itapecuru na ilha do Maranhão, no litoral norte do Brasil.** Geociências, 41(2), p. 437-450.

DIA, O (2023a). **Forte estiagem reforça defesa de mudança da classificação do clima na região.** O Dia, Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/campos/2023/12/6756801-forte-estiagem-reforca-defesa-de-mudanca-da-classificacao-do-clima-na-regiao.html>>. Acesso em: 21 dez. 2023.

DIA, O (2023b). **Segundo Maior produtor de abacaxi do estado resume potencial agrícola.** O Dia, Disponível em: <<https://odia.ig.com.br/sao-joao-da-barra/2023/09/6702043-segundo-maior-produtor-de-abacaxi-do-estado-resume-potencial-agricola.html>>. Acesso em: 10 jan. 2024.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. F. S.; NETO, O. N. S.; QUEIROZ, Í. S. R. (2016). **Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade.** In Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Org. por GHEYI, H. R.; DIAS, N. D. S.; LACERDA, C. F. D.; GOMES FILHO, E. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, Fortaleza – CE, pp. 151-162.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Orgs.). (2008). **Hidrogeologia – conceitos e aplicações.** 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM. 812p. FILHO, A. de C. *et al.* Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 197 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 32).

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. (2013). **Manual Prático de Análise de Água.** 4ª edição. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 153p.

LAGO, A.; NOBRE, L.; SANTOS, R. (2023). **Banho com água salgada e casas destruídas pela erosão são rotina para moradores do Bailique.** Planeta. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/planeta/noticias/banho-com-agua-salgada-e-casasdestruidas-pela-erosao-sao-rotina-para-moradores-do-bailique,d5aaa67d27a26217e9d151cb1dcccdb43nw9e8j0.html>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

LEITE, T. C. (2016) **Hidroquímica do Baixo Paraíba do Sul antes e após o aporte de seus principais afluentes: Rio Pomba e Rio Dois Rios**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, p. 106. 2016.

LEITE, A. F. (2013). **Comportamento espaço-temporal das chuvas do Norte Fluminense (RJ)**. In LEITE, A. F.; GOMES, M. A. S. (org.). Dinâmica ambiental e produção do espaço urbano e regional no Norte Fluminense. 1. ed. Campos dos Goytacazes: Essentia, p. 11-34.

LOGAN, J. (1965). **Interpretação de Análises Químicas da Água**. US. Agency for International Development. Recife. 66p

LOITZENBAUER, E.; MENDES, C. A. B. (2012). **Salinity dynamics as a tool for water resources management in coastal zones: An application in the Tramandaí River basin, southern Brazil**. *Ocean & Coastal Management* 55, pp. 52-62.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. (2005). **Tendências hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul**. *Revista Brasileira de Meteorologia* 20(2), pp. 215-226.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J. F. S. (2004). **Qualidade da água para consumo humano**. Lisboa-Porto Coimbra: Lidel, 2004.

MOITA NETO, J. M. (2004). **Estatística Multivariada – Uma visão didática-metodológica**. *Revista Critica*. ISSN 1749-8457. Disponível em: <http://143.54.226.61/~viali/cursos/ceea/multi/textos/Moita_Neto.pdf>. Acesso em: 10 jan 2024.

NUNES, C. R. O.; PRÉ, H. L. S.; MENEZES, G. L.; OLIVEIRA, V. P. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2019). **Interferência da vazão na concentração de íons próximo à foz do rio Paraíba do Sul**. In Anais do XXIII SBRH – Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu-PR, nov. 2011. Disponível em: < <https://anais.abrhydro.org.br/job.php?Job=5535>>. Acesso em: 12 jan 2024.

NUNES, C. R. O.; PRÉ, H. L. S.; SILVA, K. C.; NETO, P. B.; OLIVEIRA, V. P. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2022). **Ionic characterization and salinity evaluation in the Paraíba do Sul River estuary, southeast, Brazil, between 2018 and 2019**. *Regional Studies in Marine Science*, 55, pp. 102507.

OLIVEIRA, E. C. (2015). **Mudanças na Sedimentação do Delta do Rio Paraíba do Sul nos Últimos 40 anos: Resultados do Manejo Excessivo**. In Homem e as Zonas Costeiras Tomo IV da Rede BrasPor. Org. por Pereira, S. D. Rodrigues, M. A. Bergamaschi, S. Freitas, J. G. Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Rio de Janeiro – RJ, pp. 17-178.

OVALLE, A. R. C.; SILVA, C. F.; REZENDE, C. E.; GATTS, C. E. N.; SUZUKI, M. S.; FIGUEIRDO, R. O. (2013). **Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeastern Brazil**. *Journal of Hydrology* 481, pp. 191-203.

PACHECO, N. (2021). **Mar avança no rio Amazonas e ribeirinhos de arquipélago ficam sem água potável: ‘Não presta nem para beber’**. G1 Amapá. Disponível em:

<<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2021/10/12/mar-avanca-no-rio-amazonas-e-ribeirinhos-de-arquipelago-ficam-sem-agua-potavel-nao-presta-nem-para-beber.ghtml>>. Acesso em: 29 jul. 2022.

PAES, R. S.; ZAPPES, C. A. (2016). **Agricultura familiar no norte do estado do Rio de Janeiro: identificação de manejo tradicional**. *Sociedade & Natureza*, v. 28, p. 385-395.

PRÉ, H. L. S.; SOARES, I. M. M.; NUNES, C. R. O.; ARAÚJO, T. M. R. (2019). **Determinação da concentração de íons próximo à foz do rio Paraíba do Sul em diferentes períodos**. In *Anais do XI Congresso Fluminense de Iniciação Científica e Tecnológica*, Campos dos Goytacazes-RJ, Jun 2019.

QUAGGIO, C. S.; GASTMANS, D.; KIRCHHEIM, R.; BATISTA, L. V. (2018). **Variações na composição das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral em território brasileiro e sua relação com anomalias hidrogeoquímicas**. *Águas Subterrâneas*, [S. l.], 32(3), p. 283–294. DOI: 10.14295/ras.v32i3.29085. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29085>>. Acesso em: 4 abr. 2024.

RAMALHO, M. F. de J. L. (2013). **A FRAGILIDADE AMBIENTAL DO NORDESTE BRASILEIRO: O clima semiárido e as imprevisões das grandes estiagens**. *Sociedade e Território*, [S. l.], 25(2), p. 104–115. Disponível em: <<https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/3629>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

RAMOS, A. S.; OLIVEIRA, V. P. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2019) **Qualidade da água: Parâmetros e métodos mais utilizados para análise de água de recursos hídricos superficiais**. *Holos Environment*, 19(2), p. 205-219.

SILVA, K. C. S.; PRÉ, H. L. S.; NUNES, C. R. O.; CINTRA, L. S.; ARAÚJO, T. M. R. (2019). **Determinação da Salinidade e da Concentração de íons próximo à foz do Rio Paraíba do Sul em período de baixa vazão**. In *XVII Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química – Regional Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro, Dez, 2019.

SNIRH, HIDROWEB v.3.2.7 (2023). Portal do SNIRH – **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. Disponível em: <snirh.gov.br/hidroweb/apresentação>. Acesso em: 15 dez. 2023.

SOFFIATI, A. A. (2013). **As Lagoas do Norte Fluminense: uma contribuição à história de uma luta**. Campos dos Goytacazes, RJ: Editora Essentia, 203 p.

TUNDISI, J. G. (2006). **Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos**. *Revista USP*, São Paulo, n. 70, p. 24-35.

VILLAR, P. C.; HIRATA, R.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; CARVALHO, A. M. DE. (2022). **Governança das águas subterrâneas: desafios e caminhos**. Brasília: ANA. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/Busca/Download?codigoArquivo=155026>. Acesso em: 10 maio 2024.

VISSCHERS, L. B.; SANTOS, C. D.; FRANCO, A. M. A. (2022). **Accelerated migration of mangroves indicate large-scales alt water intrusion.** *In Amazon coastal wetlands. Science of the Total Environment* 836, pp. 155679.

VON SPERLING, M. (2007). **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte, MG: DESA/UFMG, 452p.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA DISSERTAÇÃO

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2021). **Relatório de Conjunturas dos Recursos Hídricos no Brasil 2021.** Brasília, DF: ANA, 2021. 412 p. Disponível em: <<http://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io>>. Acesso em: 08 maio 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (BRASIL) (2021). **Cidades. São João da Barra, RJ.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/sao-joao-da-barra/panorama>>. Acesso em: 19 abr. 2023.

MARENGO, J. A. ALVES, L. M. (2005). **Tendências hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul.** *Revista Brasileira de Meteorologia* 20(2), pp. 215-226.

OLIVIERA, E. C. (2015). **Mudanças na Sedimentação do Delta do Rio Paraíba do Sul nos Últimos 40 Anos: Resultados do Manejo Excessivo,** *in* Homem e as Zonas Costeiras Tomo IV da Rede BrasPor. Org. por Pereira, S.D., Rodrigues, M. A. Bergamaschi, S., Freitas, J. G., Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), Rio de Janeiro – RJ, pp. 17-178.

OVALLE, A. R. C. SILVA, C. F. REZENDE, C. E. GATTS, C. E. N. SUZUKI, M. S. FIGUEIRDO, R. O. (2013). **Long-term trends in hydrochemistry in the Paraíba do Sul River, southeastern Brazil.** *Journal of Hidrology* 481, pp. 191-203.