



Salinization at the mouth of the São Francisco River: impacts on the Potengi community, Alagoas, Brazil

Salinização da água na foz do rio São Francisco: impactos na comunidade Potengi, Alagoas, Brasil

João Luís Vital Filho¹, Denise Souza Santos¹, Carla Maria Correia Martins², Ricardo Barros Silva³, Gleica Maria Correia Martins^{4*}

Abstract: The salinization process at the mouth of the São Francisco River has been causing serious damage to the ecosystem and the quality of life among riverine populations. This study aimed to assess the perception of the riverine populations regarding the effects of water salinization at the mouth of the São Francisco River, and also to analyze the quality of water that is provided to the Potengi community in Piaçabuçu, Alagoas, Brazil. For data collection, semi-structured interviews were conducted with 22 riverine residents. The analyses of water samples were carried out at four places in the community, in which analyzes of pH, electrical conductivity, determination of salinity, and turbidity of the water were made. It was possible to identify, during the performance of this study, the inefficiency of the public authorities, both concerning the informative and mitigating actions, as the exposure of the population to high levels of sodium and turbid water, leading to changes in the parameters concerning data established by the World Health Organization (WHO). The results revealed that one of the samples analyzed presented a saline level 17 times higher than the limit established by the WHO, and a turbidity index was 15.6 times higher than the technical limit established. Therefore, these changes have affected the health of the community, directly compromising the use of water and the composition of the biota in the region.

Key words: Health. Potability. Salinity. Water supply.

Resumo: O processo de salinização na foz do rio São Francisco vem ocasionando sérios danos ao ecossistema e à qualidade de vida das populações ribeirinhas. Neste estudo, objetivou-se avaliar a percepção da população ribeirinha quanto aos efeitos da salinização da água na região da foz do rio São Francisco e analisar a qualidade da água fornecida à comunidade de Potengi, em Piaçabuçu, Alagoas, Brasil. Para a coleta de dados foram realizadas entrevistas semiestruturadas com 22 moradores e feitas análises de amostras de água, coletadas em quatro pontos da comunidade, em que foram feitas aferições de pH, condutividade elétrica, determinação do teor de salinidade e turbidez da água. A pesquisa identificou ineficiência do poder público quanto a ações informativas e mitigadoras, assim como a exposição da população a níveis elevados de sódio e água turva, com alteração nos parâmetros em relação aos dados estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde. Verificou-se que o nível salino foi 17 vezes maior que o limite estabelecido pela organização e índice de turbidez 15,6 vezes superior ao limite técnico estabelecido. Desta forma, essas alterações têm afetado a saúde da comunidade, comprometendo diretamente o uso da água e a composição da biota na região.

Palavras-chave: Saúde. Potabilidade. Salinidade. Abastecimento de água.

*Corresponding author

Submitted for publication on 22/05/2020, approved on 02/09/2020 and published on 21/09/2020

¹Instituto Federal de Alagoas, Curso Técnico em Meio Ambiente, CEP: 57200-000, Penedo, AL, Brazil. E-mails: joao.luis-2010@hotmail.com; denisesouzasantos@hotmail.com

²Programa de Pós-graduação em Dinâmicas Territoriais e Cultura (PRODIC), Universidade Estadual de Alagoas, CEP: 57312-000, Arapiraca, AL, Brazil. E-mail: carlla-m@hotmail.com

³Centro de Ciências Agrárias (CECA), Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA), Universidade Federal de Alagoas, CEP: 57100-000, Rio Largo, AL, Brazil. E-mail: ricardoufal2010@gmail.com

⁴Instituto Federal de Alagoas, CEP: 57200-000, Penedo, AL, Brazil. E-mail: gleicamaria@hotmail.com. Address: Rua Marcelino Magalhães, 235, Alto do Cruzeiro, Arapiraca, AL.

INTRODUCTION

The São Francisco River basin occupies an area of 641 thousand km², equivalent to 7.4% of the Brazilian territory, crossing the states of Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe, and Alagoas, which make use of its watercourse in consultative and non-consultative. Due to the seasonal rainfall regime and the greater occurrence of prolonged droughts in Alagoas and Sergipe, the river has been presenting a flow below-normal in the mouth region (MEDEIROS *et al.*, 2014). With the low flow, resulting from the reduction in the volume of water, combined with the action of the Sobradinho hydroelectric plant, in Bahia (BA), the hydrological behavior of the river has been altered, and several environmental impacts have become evident. These impacts, of climatic and anthropic origin, influence directly on the decrease in the flow of the river, that in 2019, registered the lowest value in history, 550 m³ s⁻¹ (ANA, 2019).

As a consequence of the affected water availability, the sea has been advancing over the river, leading to a process named salinization, in the mouth region. Salinization is characterized by an increase in the concentration of salts dissolved in water (PALÁCIO *et al.*, 2011). For water to be considered saline, it must have a salinity equal to or greater than 30%. Under this condition, the water is classified as unfit for human consumption (BRASIL, 2005).

The water quality at the mouth has been the subject of debates at congresses and studies that attempt to gather data on the impacts that the river had suffering over the years due to the exploitation of its resources (MEDEIROS *et al.*, 2011a). In a study on the characterization of water quality, points with 16% salinity were detected between the municipalities of Brejo Grande (SE) and Piaçabuçu (AL) (SANTANA *et al.*, 2017).

In the rural area of the municipality of Piaçabuçu, the Potengi community, located near the mouth river, was identified as one of those that may be affected by the salinization process, provoking health problems in the community residents, such as the rising number of people with high blood pressure. In a survey conducted by Sousa (2017), it was found that a large part of the population uses river water to done daily activities, with a 36% increase in the number of hypertensive patients in nine years.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio São Francisco ocupa área de 641 mil km², equivalente a 7,4% do território brasileiro, atravessando os estados de Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas, que fazem uso do seu curso d'água de forma consultiva e não consultiva. Devido à sazonalidade das chuvas e a maior ocorrência de secas prolongadas em Alagoas e Sergipe, o rio vem apresentando vazão abaixo do normal na região da foz (MEDEIROS *et al.*, 2014). Com a baixa vazão, consequente redução do volume de água, aliada à ação da usina hidrelétrica de Sobradinho, na Bahia, o comportamento hidrológico do rio vem sendo alterado, e vários impactos ambientais se tornam evidentes. Esses impactos, de origem climática e antrópica, repercutem diretamente na diminuição da vazão do rio, que no ano de 2019, registrou o menor valor histórico, 550 m³ s⁻¹ (ANA, 2019).

Com a disponibilidade hídrica afetada, o mar vem avançando sobre o rio, resultando em um processo denominado de salinização na região da foz. A salinização é caracterizada pelo aumento da concentração de sais dissolvidos na água (PALÁCIO *et al.*, 2011). Para que a água seja considerada salina, ela deve apresentar salinidade igual ou superior a 30%. Sob esta condição, ela é classificada como imprópria para consumo humano (BRASIL, 2005).

A qualidade da água na foz tem sido tema de debates em congressos e estudos que tentam reunir dados sobre os impactos que o rio vem sofrendo ao longo dos anos, devido à exploração de seus recursos (MEDEIROS *et al.*, 2011a). Em estudo sobre a caracterização da qualidade da água, foram detectados pontos com salinidade de 16%, entre os municípios de Brejo Grande (SE) e Piaçabuçu (AL) (SANTANA *et al.*, 2017).

Na zona rural do município de Piaçabuçu, a comunidade de Potengi, localizada próxima a foz do rio, tem sido apontada como uma das mais afetadas pelo processo de salinização, o que vem gerando problemas de saúde na comunidade, com aumento no número de pessoas com hipertensão arterial. Em levantamento realizado por Sousa (2017), foi constatado que grande parte da população faz uso da água do rio para realizar atividades diárias, com aumento de 36% no número de hipertensos em nove anos.

In addition to human consumption, the economic activities of riverine communities may also have been affected due to water salinization. The use of low-quality water is a limiting factor for agriculture since crops do not tolerate the use of saline water, leading, thus, to a dramatic productivity reduction (PAES *et al.*, 2018). Besides, irrigation with saline water causes soil salinization, making it unsuitable for agriculture (BATISTA *et al.*, 2016), demand recovery techniques that might not always be available to the farmer. Beyond agriculture, river productivity and fishing can be compromised (MEDEIROS *et al.*, 2011a). The high concentration of salts in the river causes the mortality of fish specimens, reducing their population in local waters (BRITO; SILVA, 2014).

Studies regarding the impacts that salinization has on the lives of residents, in terms of health and the source of income, can be potential subjects of discussion about how the salinization of the São Francisco river has been affecting the dynamics of riverine communities. Moreover, these data also could be used to delimit risky sites/areas, where there are more pronounced impacts from the salinization process and in the design of public actions and policies that allow the most appropriate use of São Francisco water resources.

In this context, the objective of this study was to evaluate the perception of the riverine population regarding the effects of water salinization at the mouth of the São Francisco River, and also to analyze the quality of water that is provided to the Potengi community in Piaçabuçu, Alagoas.

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted in the Potengi community, located in the rural area of the municipality of Piaçabuçu, Alagoas, Brazil (10°26'31" south latitude and 36°24'02" west longitude, at 10 m altitude). According to IBGE (2019), the estimated population of the community is approximately one thousand inhabitants. The main economic activities historically developed in the community are fishing and agriculture (ARAÚJO *et al.*, 2016). Potengi is the first community located upstream of the mouth of the São Francisco River (Figure 1).

Além do consumo humano, as atividades econômicas de comunidade ribeirinhas também podem ter sido afetadas devido a salinização da água. A utilização de água de baixa qualidade é fator limitante para a agricultura, uma vez que as culturas agrícolas não toleram o uso de água salina, tendo sua produtividade reduzida drasticamente (PAES *et al.*, 2018). Além disso, a irrigação com água salina gera salinização do solo, tornando-o impróprio para a agricultura (BATISTA *et al.*, 2016), exigindo técnicas de recuperação que nem sempre estão ao alcance do agricultor. Além da agricultura, a produtividade dos rios e a pesca podem ser comprometidas (MEDEIROS *et al.*, 2011a). A alta concentração de sais no rio gera mortandade de espécimes de peixes, reduzindo sua população nas águas locais (BRITO; SILVA, 2014).

Estudos sobre os impactos que a salinização proporciona na vida dos moradores, quanto à saúde e à fonte de renda, podem ser potenciais pontos de discussões sobre como a salinização do rio São Francisco vem afetando a dinâmica das comunidades ribeirinhas. Além disso, estes dados podem ser utilizados para demarcação de locais/zonas de risco, onde se tem impactos mais acentuados do processo de salinização e no delineamento de ações e políticas públicas que permitam a utilização mais adequada dos recursos hídricos do São Francisco.

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a percepção da população ribeirinha quanto aos efeitos da salinização da água na região da foz do rio São Francisco e analisar a qualidade da água fornecida à comunidade de Potengi, em Piaçabuçu, Alagoas.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na comunidade Potengi, localizada na zona rural do município de Piaçabuçu, Alagoas, Brasil (10°26'31" de latitude Sul e 36°24'02" de longitude Oeste, 10 m de altitude). De acordo com o IBGE (2019), a população estimada da comunidade é de aproximadamente mil habitantes. As principais atividades econômicas historicamente desenvolvidas na comunidade são pesca e agricultura (ARAÚJO *et al.*, 2016). Potengi é a primeira comunidade localizada a montante da foz do rio São Francisco (Figura 1).



Figure 1 - Location of the Potengi community, Piaçabuçu (AL), concerning at the mouth of the São Francisco River.

Spurce: Google Earth, 2019.

Figura 1 - Localização da comunidade de Potengi, Piaçabuçu (AL), em relação à foz do rio São Francisco.

Fonte: Google Earth, 2019.

Data collection was carried out through interviews using a semi-structured questionnaire with residents of the Potengi community, selected at random (probabilistic sampling). For the conduction of interviews, a previous road map was elaborated, including all streets of the community. Thus, one house was selected at random from a group of every 15 houses, totaling 22 residents interviewed. The questionnaire was made up of a series of questions, subdivided into the socioeconomic profile, perception of the population about the river salinization, and the evidence or not of awareness activities by the public authorities. More than one answer was given by the interviewees; the citations were ranked among the most cited and in the order of citation.

In order to assess the quality of the water supplied to the community, laboratory analysis was carried out. Samples were collected from the following points: 1 - tap of Community Health Center; 2 - tap of a residence (both taps receive water from an artesian well); 3 - directly from the river in a place very frequented by the residents, where water was collected to supply the community; 4 - alternative source of supply, like watering truck that supplies water to the community, collected in points of the river with a lower percentage of salinity, according to residents' indications in the interviews. The points were selected because they represent multiple sources of water use in the community and, therefore, with the potential to provide more comprehensive data on the conditions of water consumed by the population.

A obtenção de dados foi realizada por meios da aplicação de entrevistas com questionário semiestruturado com moradores da comunidade de Potengi, selecionados de modo aleatório (amostragem probabilística). Para realização da entrevista foi sistematizado um roteiro prévio, onde o percurso contemplou todas as ruas da comunidade, a cada 15 casas uma foi selecionada, no total foram entrevistados 22 moradores. O questionário foi composto por uma série de perguntas, subdivididas entre perfil socioeconômico dos entrevistados, percepção da população sobre a salinização do rio e indícios ou não de atividades de conscientização por parte do poder público. Mais de uma resposta foi dada pelos entrevistados, assim, estas foram ordenadas entre as mais citadas e na ordem de citação.

Para avaliar a qualidade da água fornecida à comunidade, foi realizada a análise laboratorial. As amostras foram coletadas dos seguintes pontos: 1 – torneira do posto de saúde da comunidade; 2 – torneira de uma residência (ambas as torneiras recebem água proveniente de poço artesianos); 3 – diretamente do rio em um local bastante frequentado pelos moradores, onde era realizada a captação de água para abastecimento da comunidade; 4 – fonte alternativa de abastecimento, que se trata de carro-pipa que fornece água à comunidade, coletada em pontos do rio com menor percentual de salinidade, de acordo com indicações de moradores nas entrevistas. Os pontos foram selecionados por representar fontes múltiplas de uso da água na comunidade e, portanto, com potencial de fornecer dados mais abrangentes das condições da água consumida pela população.

The samples were collected in triplicates on May 17, 2019, packed in sanitized tubes, identified and transported in an isothermal box. Technical analyzes of water quality were carried out in the Environment laboratory of the Federal Institute of Alagoas, in the municipality of Penedo (AL). The pH and electrical conductivity were obtained using an AKROM 8405 multiparameter meter. Through the water electrical conductivity values, the level of salinity was determined using the method determined by Fofonoff and Millard (1983). Besides, the level of water turbidity was also analyzed using a turbidimeter (model AP 2000 PoliControl 13). The analyzes aim to obtain the water quality standards supplied to the populations in their homes, the efficiency of the supply proposed by the municipality, and the current conditions of salinity in the river. The data were tabulated in the Excel software and analyzed according to WHO parameters - Guidelines for Drinking-water Quality (WHO, 2017).

RESULTS AND DISCUSSION

Interviews

The interviews were conducted with adults (20 to 65 years old) living in the community. As it is a rural and riverine region, the major of the interviewed (61%) carry out activities related to fishing and agriculture. While the other part (39%) has occupations such as bricklayer, health worker, carpenter, student, unemployed, and retired. Fishing is the most important activity in the region of the São Francisco River, being a food source, a commercial product, and an leisure element; therefore, it is essential to income generation of riverside populations (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Both fishing activities and agricultural practices depend directly on the quality of the river's water for their productive increase. However, the river salinization has significantly reduced native species of local fauna and flora, allowing the introduction of species of marine origin (SOUZA *et al.*, 2009), and interfering in the cultivation of agricultural species, due to changes in the nutritional balance (PAES *et al.*, 2018) and the chemical and physical characteristics of the soil (OLIVEIRA *et al.*, 2010a; PEDROTTI *et al.*, 2015).

This imbalance may lead to several socio-environmental impacts and losses, since problems in the water supply to changes in community livelihood. The new reality created at the riverine communities as a consequence of the salinity increase requires adjustments in some productive activities; however, it is worth mentioning that these communities, in general, do not have enough income, technical training, and equipment to adapt to it (PAES *et al.*, 2018).

As amostras foram coletadas em triplicatas no dia 17 de maio de 2019, acondicionadas em tubos higienizados, identificadas e transportadas em caixa isotérmica. As análises técnicas de qualidade da água foram feitas no laboratório de Meio Ambiente do Instituto Federal de Alagoas em Penedo (AL). Obteve-se o pH e a condutividade elétrica por meio de um medidor multiparâmetro AKROM 8405. A partir dos valores de condutividade elétrica da água, foi determinado o nível de salinidade por meio do método determinado por Fofonoff e Millard (1983). Também foi analisado o nível de turbidez da água com um turbidímetro (modelo AP2000 PoliControl 13). Objetivou-se com as análises obter o padrão da qualidade de água que a população recebe na torneira de suas residências, a eficácia do abastecimento proposto pelo município e as condições atuais de salinidade no rio. Os dados foram tabulados no software Excel e analisados de acordo com os parâmetros da OMS - Guidelines for Drinking-water Quality (WHO, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entrevistas

Os entrevistados apresentam faixa etária entre 20 e 65 anos, e, por ser uma região rural e ribeirinha, a maior parte (61%) realiza atividades relacionadas a pesca e agricultura; a outra parte (39%) tem ocupações de pedreiro, servidor da área da saúde, carpinteiro, estudante, aposentado e desempregado. A pesca é a atividade de maior importância na região do baixo São Francisco, constituindo fonte alimentícia, produto de comercialização e elemento de lazer, contribui, portanto, para a formação da renda dos ribeirinhos (ARAÚJO *et al.*, 2016).

As atividades de pesca e agrícolas dependem diretamente da qualidade da água do rio para seu incremento produtivo. Entretanto a salinização do rio vem reduzindo significativamente as espécies nativas da fauna e flora local, gerando a introdução de espécies de origem marinha (SOUZA *et al.*, 2009) e interferindo no cultivo de espécies agrícolas, por alterações no balanço nutritivo (PAES *et al.*, 2018) e nas características químicas e físicas do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2010a; PEDROTTI *et al.*, 2015).

Esse desequilíbrio pode levar a diversos impactos socioambientais e perdas, desde problemas no abastecimento de água até mudanças na subsistência da comunidade. A nova realidade criada nas comunidades ribeirinhas, como consequência do aumento da salinidade, requer ajustes em algumas atividades produtivas; no entanto, deve-se mencionar que essas comunidades, em geral, não tem renda suficiente e treinamento técnico e equipamentos para se adaptar (PAES *et al.*, 2018).

Another point investigated was the access of the community members to information concerning the salinization situation through the public authorities; the interviewees answered that there was neither an information campaign nor an analysis of possible consequences to be faced by them. The majority population (76%) reported that they had become aware of the problem through their frequent contact with the river and changes in the color and flavor characteristics of the water coming from a public supply, and also by information sharing among community residents. Differently, only one (4%) of all those interviewed mentioned that they got information by a public servant from the Community Health Center.

This result reinforces the hypothesis of inefficiency in sharing information for the community, which generated uncertainties in the population since they were not able to identify the possible changes in the local ecosystem over time. Therefore, it can be claimed that possible changes in the region's economic activities and water supply collected directly from the river have been not properly shared with the population. It is noteworthy that the awareness and dissemination of information to the community could assist the population in the search for alternatives and in carrying out preventive actions.

Seeking to identify the base of thoughts and the coherence of information, it was gathering data concerning the population's perception about the factors responsible for salinization at the mouth of the São Francisco River (Figure 2).

Outro ponto investigado foi o acesso dos membros da comunidade a informações sobre a situação de salinização por meio do poder público, os entrevistados responderam que não houve nenhuma campanha informativa, nem análise de possíveis consequências a serem enfrentadas pela população. A maior parte da população (76%) obteve ciência do problema a partir de seu contato frequente com o rio e por mudanças nas características de cor e sabor da água proveniente do abastecimento público, além de troca de informações dentro da comunidade. Do total de entrevistados, apenas um (4%) citou que foi informado pelo servidor do posto de saúde local.

Esse resultado reforça a hipótese de ineficiência no compartilhamento de informações para a comunidade, o que gera incertezas na população, uma vez que não conseguem identificar as possíveis mudanças no ecossistema local ao longo do tempo. Assim, pode-se afirmar que possíveis mudanças nas atividades econômicas da região e do abastecimento de água não são compartilhadas com a população. A conscientização e a divulgação de informações à comunidade poderiam auxiliar a população na busca por alternativas e na realização de ações preventivas.

Buscando identificar a base de pensamentos e a coerência de informações, reuniu-se informações sobre a percepção da população sobre os fatores responsáveis pela salinização na foz do São Francisco, a fim de identificar as causas pela salinização (Figura 2).

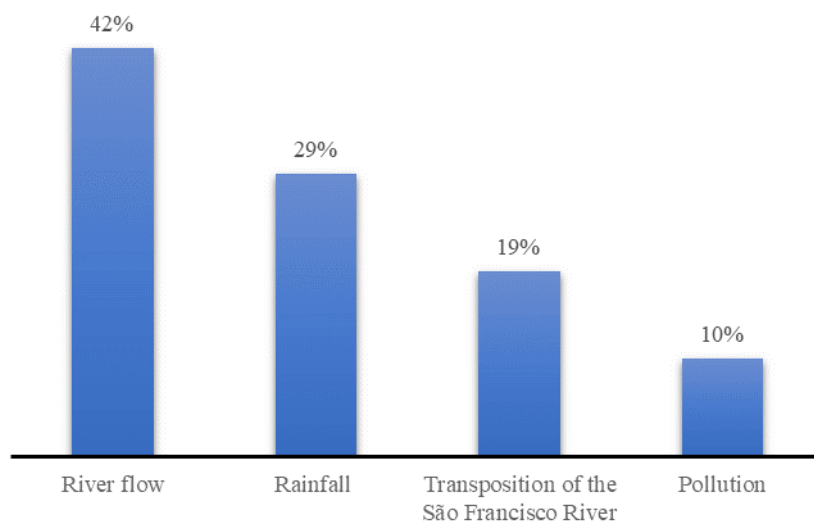


Figure 2 - Factors responsible for salinization in the mouth of the São Francisco River according to residents of the Potengi community, Piaçabuçu, (AL).

Spurce: Google Earth, 2019.

Figura 2 - Fatores responsáveis pela salinização na região da foz do rio São Francisco de acordo com os moradores da comunidade de Potengi, Piaçabuçu, (AL).

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Furthermore, about 71% of the interviewees justified that the salinization of the river was due to the decrease in its flow and the lower rainfall in the region (Figure 2). They still reported that the set of local changes associated with salinization occur, mainly due to human interference, and when combined with natural events, such as prolonged drought, contribute to the intensification of this process. In addition to this event, other factors of a natural order that have been identified as potential sources of the salinization process of a watershed may be cited, such as atmospheric deposition of marine aerosols, salts from the dissolution of soil and rocks (FONTES *et al.*, 2015), characteristics of climate variability, with concentrated and heavy rains and high evaporation rates (MEDEIROS *et al.* 2014).

The main anthropic event that has historically been associated with changes in the São Francisco River flow is the construction of hydroelectric power plant (HPP). The main HPPs installed at the São Francisco River are Três Marias (MG), Paulo Afonso (BA), Sobradinho (BA), Itaparica (BA/PE), Moxotó (AL), and Xingó (AL/SE). The activity of these hydroelectric plants has caused major changes in the natural conditions of the Sub-Middle and Lower São Francisco River basin, creating a cascade reservoirs system and reservoirs along its main axis. Over time, reservoirs have caused physical, chemical, and biological changes in water and sediments, influencing biogeochemical processes in rivers, estuaries, and coastal ecosystems (MARTINS *et al.*, 2011; MEDEIROS *et al.* 2011b; MEDEIROS *et al.*, 2014; HUNT *et al.*, 2016; VASCO *et al.*, 2017).

In the case of water supplied from a distribution network to the population, 96% of the interviewees reported having observed changes in the water coming out of their tap in terms of color (yellowish) and flavor (high salinity), which may indicate problems of potability with the water used for human consumption. The participants of the study also highlighted that this problem was a result of poor management by the public power.

The water used to supply the municipality was collected directly from the river; although, after the occurrence of this problem, it was started to use wells to get at underground water, drilled without any technical evaluation, leading, consequently, to a water supply with inferior quality than from the river. Fernandes *et al.* (2010) report that in rural communities in the Brazilian Northeast region, the use of groundwater from tubular wells is a frequent alternative to the water supply. However, there is a great limitation in the use of these wells to face water scarcity, which is the high content of dissolved salts. In this sense, these alternative sources need constant monitoring.

Dos entrevistados, 71% justificam a salinização do rio em razão da diminuição da vazão do rio e da menor precipitação pluvial na região (Figura 2). Os entrevistados acrescentaram que as mudanças locais associadas à salinização em sua maioria ocorreram devido à interferência humana, o que combinado aos eventos naturais, como estiagem prolongada, contribuem para intensificação deste processo. Além desse evento, outros fatores de ordem natural que têm sido apontados como fontes potenciais do processo de salinização de uma bacia hidrográfica incluem: a deposição atmosférica de aerossóis marinhos, sais provenientes da dissolução do solo e rochas (FONTES *et al.*, 2015), características de variabilidade climática, com chuvas concentradas e de forte intensidade e altas taxas de evaporação (MEDEIROS *et al.* 2014).

O principal evento antrópico que historicamente está associado a modificação na vazão do rio São Francisco é a construção de usinas hidroelétricas (UEH). As principais UEH do rio São Francisco são: Três Marias, Paulo Afonso, Sobradinho, Itaparica, Moxotó e Xingó. A atividade destas hidroelétricas provocaram grandes alterações nas condições naturais do Submédio e Baixo São Francisco, criando sistema de cascata de barragens e reservatórios, ao longo do seu eixo principal. Ao longo do tempo, as barragens têm provocado alterações físicas, químicas e biológicas na água e nos sedimentos, influenciando processos biogeoquímicos nos rios, estuários e ecossistemas costeiros (MARTINS *et al.*, 2011; MEDEIROS *et al.* 2011b; MEDEIROS *et al.*, 2014; HUNT *et al.*, 2016; VASCO *et al.*, 2017).

Quanto as características da água fornecida à população, 96% dos entrevistados relataram alteração na água que chega às torneiras quanto a cor (amarelada) e sabor (salinidade elevada), o que pode indicar problemas de potabilidade com a água utilizada para consumo humano. Os entrevistados relataram, ainda, que este problema é resultado da má gestão pelo ente público.

Anterior ao problema, a água que abastecia a cidade era coletada diretamente do rio, após, passou-se a utilizar poços de captação de água subterrânea, perfurados sem avaliação técnica, o que determinou o fornecimento de água de qualidade inferior à do rio. Fernandes *et al.* (2010) relatam que nas comunidades rurais do Nordeste brasileiro, a utilização de águas subterrâneas de poços tubulares é uma alternativa frequente ao abastecimento d'água. No entanto, há grande limitação na utilização desses poços para enfrentamento da escassez hídrica, que é o elevado teor de sais dissolvidos. Nesse sentido, essas fontes alternativas necessitam de constante monitoramento.

As to the interviewee's perception concerning the effect of salinity on quality of life, 32% of them pointed out the difficulty to access to safe drinking water as the main effect of salinity, 28% reported an increase in hypertension incidence in the community, 22% reported problems related to fishing and agriculture, and 18% difficulty to food producing (Figure 3).

Regarding the effects of salinity on public health, it sought to gather data on the main pathologies caused by excess salt in the family members of each interviewee. Of the interviewees, 50% did not know how to report cases of diseases related to the consumption of excess sodium, the main element of table salt, and present in saline waters, in their homes. Only 18% were able to report the occurrence of related diseases. However, all respondents narrated that at least one member of the household suffers from hypertension, 14% hypertension and diabetes, and 4.5% reported the occurrence of osteoporosis. These results suggest excessive sodium consumption by the community. This correlation was evidenced in studies that sought to evaluate the quality of water used for human consumption at supply points (OLIVEIRA *et al.*, 2010b; MENEZES *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2018).

Quanto à percepção dos entrevistados acerca do efeito da salinidade na qualidade de vida, 32% dos entrevistados apontaram como principal efeito da salinidade a obtenção de água potável, 28% relataram aumento de hipertensos na comunidade, 22% relataram problemas referentes a pesca e agricultura e 18% dificuldade em produzir alimentos (Figura 3).

Em relação aos efeitos da salinidade na saúde pública, buscou-se reunir dados sobre as principais patologias associadas ao excesso de sal na residência de cada entrevistado. Dos entrevistados, 50% não sabiam informar sobre casos de doenças relacionadas ao consumo de sódio em excesso, principal elemento do sal de cozinha, e que está presente na água que chega a suas residências. Apenas 18% souberam informar sobre a ocorrência de doenças relacionadas. No entanto, todos os entrevistados relataram que pelo menos um membro da residência sofre com hipertensão, 14% hipertensão e diabetes e 4,5% relatou ocorrência de osteoporose. Esses resultados sugerem consumo excessivo de sódio pela comunidade. Esta correlação foi evidenciada em estudos que buscaram avaliar a qualidade da água utilizada para consumo humano em pontos de abastecimento (OLIVEIRA *et al.*, 2010b; MENEZES *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2018).

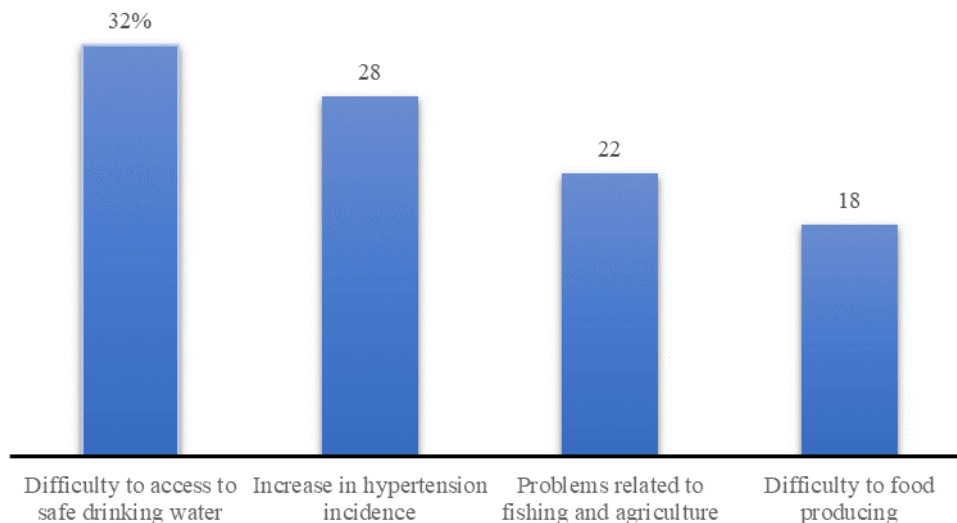


Figure 3 - Effects of salinization in the mouth of the São Francisco River on the quality of life of the Potengi community, Piaçabuçu, (AL).

Spurce: Google Earth, 2019.

Figura 3 - Efeitos da salinização na região da foz do rio São Francisco na qualidade de vida da comunidade Potengi, Piaçabuçu, (AL).

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

When asked about awareness activities and solutions conducted by the public power in the region, 55% of the interviewees pointed out that no action had been held, showing discontent and expressing some criticisms to the City Hall, to the Companhia Hidro Elétrica do São Francisco [São Francisco Hydroelectric Company] (CHESF), and to the Companhia de Saneamento de Alagoas [Sanitation Company of Alagoas] (CASAL). The low quality of water captured by underground wells was also mentioned, as previously reported.

Finally, the actions expected from the community to resolve or minimize the effects of river salinization were shown in Figure 4. The main solution proposed by the community (40%) was to increase the flow of hydroelectric power plants, because the low flow is considered the cause of the reduction of flow in the mouth of the river, and consequently, of its salinization. Moreover, from those riverine members interviewed, 31% also mentioned drilling wells, under technical evaluation to find fresh drinking water. While 20% of them further suggested the installation of a desalination plant in the community.

Quando foram perguntados sobre atividades de conscientização e soluções realizadas pelo poder público na região, 55% dos entrevistados apontaram que nenhuma ação havia sido realizada, mostrando descontentamento e expressando críticas pontuais à Prefeitura Municipal, à Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) e à Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL). Também foi mencionada a baixa qualidade da água captada por poços subterrâneos, conforme já relatado.

Por fim, as ações esperadas da comunidade para solucionar ou minimizar os efeitos da salinização do rio são apresentadas na Figura 4. A principal solução apontada pela comunidade (40%) foi o aumento da vazão das hidrelétricas, considerado o causador da redução da vazão na foz e, conseqüentemente, da salinização do rio. Muitos entrevistados (31%) também citaram a perfuração de poços, sob avaliação técnica para localizar água potável. Dos entrevistados, 20% sugeriram a instalação de dessalinizador na comunidade. Ressalta-se que as respostas a esse último questionamento tornam evidente a insatisfação e a urgência da população para que ações imediatas sejam realizadas.

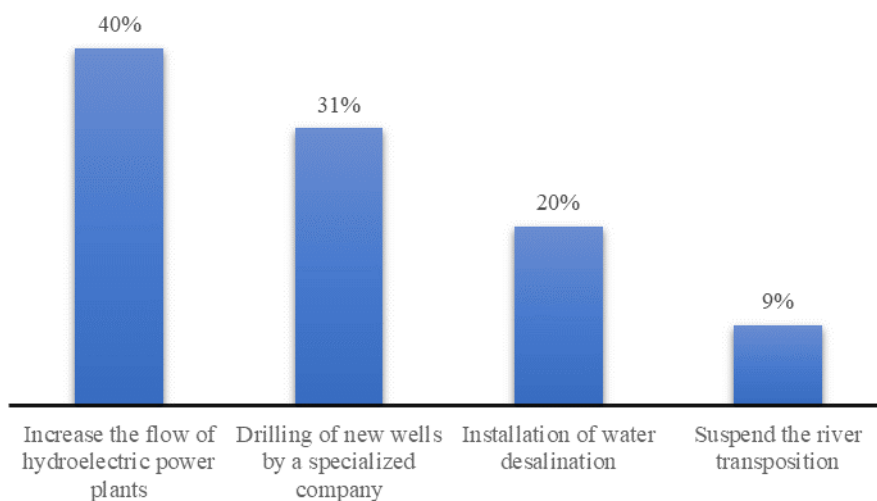


Figure 4 - Actions proposed by the interviewees to solve or minimize the problems caused by salinization in the region of the mouth of the São Francisco River.

Spurce: Google Earth, 2019.

Figura 4 - Ações propostas pelos entrevistados para solucionar ou minimizar os problemas ocasionados pela salinização na região da foz do rio São Francisco.

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Neves *et al.* (2017), to solve the salinization problem, verified in their study the implementation of water treatment plants by reverse osmosis in many rural communities in the Brazilian Northeast regions. It was aimed to obtain drinking water for those families through the desalination of brackish water from wells. The installation of these plants was assured by the Brazilian Government Program “Cultivando Água Boa” (Cultivating Good Water). Nonetheless, the desalination process generates, besides fresh drinking water, a highly saline and polluting waste, which would contaminate the area’s aquifers and generate serious environmental impacts on the soil. In this sense, the alternatives should be thought parallel to on-site studies that can highlight the most appropriate strategies in order to minimize the problems caused by salinity and ensure the supply of quality water.

Laboratory analysis

From the information obtained in the questionnaire on water quality, the chemical analysis of samples from public supply was carried out.

Regarding the color of the water, samples A and B showed turbidity, exhibiting yellowish color, both from the public supply. Sample C showed slight turbidity, and sample D had no color change (transparent) (Figure 5).

Turbidity expresses the degree of interference with the passage of light through the liquid. The change in this parameter indicates the presence of suspended material (BRASIL, 2005). The control of turbidity is essential for maintaining water quality, since waters with high turbidity are conducive to contamination, as they impair the action of disinfectants, such as chlorine (SILVA, 2016).

Para solucionar o problema de salinização, Neves *et al.* (2017) verificaram que há cerca de seis anos o Governo Federal implantou o ‘Programa Água Boa’ em várias comunidades rurais do Nordeste, que possuía estações de tratamentos de água por osmose reversa a fim de obter água potável para as famílias por meio da dessalinização da água salobra de poços. Entretanto, o processo de dessalinização gera, além da água potável, um rejeito altamente salino e de poder poluente elevado, que pode contaminar o lençol freático e gerar sérios impactos ambientais no solo. Nesse sentido, as alternativas devem ser pensadas com estudos *in loco* que possam evidenciar as estratégias mais adequadas, com o intuito de minimizar os problemas ocasionados pela salinidade e garantir o fornecimento de água de qualidade.

Análises laboratoriais

A partir da informações obtidas no questionário sobre a qualidade da água, procedeu-se a análise química das amostras provenientes do abastecimento público.

Referente à coloração da água, as amostras A e B mostraram-se com turbidez, exibindo coloração amarelada, ambas provenientes do abastecimento público. A amostra C apresentou ligeira turbidez e amostra D, não exibiu alteração de cor, se apresentando transparente (Figura 5).

A turbidez expressa o grau de interferência da passagem da luz através do líquido. A alteração nesse parâmetro indica presença de material em suspensão (BRASIL, 2005). O controle da turbidez é essencial para manutenção da qualidade da água, uma vez que águas com turbidez elevada são propícias a contaminação, por prejudicar a ação de agentes desinfetantes, como o cloro (SILVA, 2016).

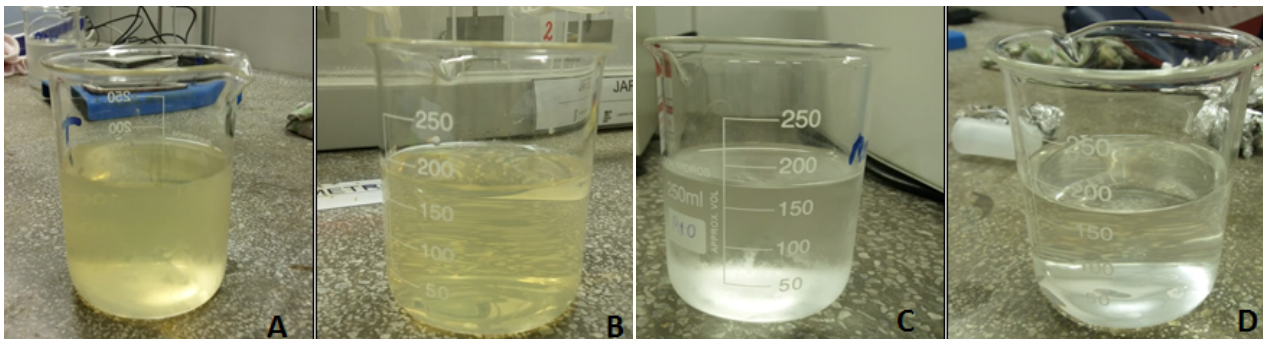


Figure 5 - Water samples collected (A - Health Center; B - Residence; C - River; D - Watering truck) in the community of Potengi, Piaçabuçu, (AL).

Spource: Google Earth, 2019.

Figura 5 - Amostras de água coletadas (A – Posto de saúde; B – Residência; C – Rio; D – Carro-pipa) na comunidade de Potengi, Piaçabuçu, (AL).

Fonte: Dados da pesquisa, 2019.

Posteriorly to the laboratory analysis of the samples, it was possible to identify that only water from the watering truck (Sample D) showed an acceptable level of turbidity (Table 1), according to the WHO Guidelines for drinking-water quality (WHO, 2017). The acceptable turbidity level is up to 5 UNT, with values less than 0.5 UNT considered ideal. Sample B, water from residence, presented the highest turbidity index, being 15 times higher than the limit established by WHO, followed by sample A, both from the public supply. These results confirm the low quality of the water supplied to the community, which can cause health problems as it does not meet the drinking-water quality requirements.

In the pH analysis, all samples showed standards recommended by CONAMA Resolution 357 (Table 1), which establishes a pH between 6 and 9 for the freshwater of class II, which includes waters that can be destined for supply for human consumption (BRASIL, 2005). The pH values showed low spatial variability between samples, varying from slightly acidic to neutral. Similar values were found by Silva (2009; 2010) in a study carried out on the São Francisco River.

Electrical conductivity is not used as a quality standard by the WHO; however, its values were used to calculate the salinity content, since there is a direct relationship between the electrical conductivity of water and dissolved salts. Through the salinity level, it was verified that samples A and C exceed the technical limit of salinity established by WHO. Sample 2 exhibited a salinity value close to the limit value of 0.5 g L⁻¹, while water from a water tank showed a low level of salinity (Table 1).

Após análise laboratorial das amostras, foi possível identificar que apenas a água proveniente do carro pipa (Amostra D) apresentou nível de turbidez aceitável (Tabela 1), conforme guia de potabilidade da OMS (WHO, 2017). O nível de turbidez aceitável é de até 5 UNT, sendo valores menores que 0,5 UNT considerados ideais. A amostra B, água proveniente de residência, apresentou o maior índice de turbidez, sendo 15 vezes maior que o limite estabelecido pela OMS, seguida pela amostra A ambas provenientes do abastecimento público. Esses resultados confirmam a baixa qualidade da água fornecida à comunidade, podendo acarretar problemas de saúde por não atender as exigências de potabilidade.

Na análise de pH, todas as amostras apresentaram padrões recomendados pela Resolução 357 do CONAMA (Tabela 1), que estabelece pH entre 6 e 9 para água doce de classe II, que engloba as águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano (BRASIL, 2005). Os valores de pH apresentaram baixa variabilidade espacial entre as amostras, variando de ligeiramente ácida a neutra. Valores semelhantes foram encontrados em estudo realizado no rio São Francisco por Silva (2009; 2010).

A condutividade elétrica não é utilizada como padrão de qualidade pela OMS, no entanto, os seus valores foram utilizados para o cálculo do teor de salinidade, já que há relação direta entre condutividade elétrica e sais dissolvidos. De posse do nível de salinidade, foi verificado que as amostras A e C superam o limite técnico de salinidade estabelecido pela OMS. A amostra 2 apresentou valor de salinidade próximo ao valor limite de 0,5 g L⁻¹, enquanto a água proveniente de carro pipa apresentou baixo nível de salinidade (Tabela 1).

Table 1 - Laboratory analysis of parameters, turbidity, pH, electrical conductivity, and salinity of water samples collected in the community of Potengi, Piaçabuçu, (AL)

Tabela 1 - Análise laboratorial dos parâmetros turbidez, pH, condutividade elétrica e salinidade das amostras de água coletadas na comunidade de Potengi, Piaçabuçu, (AL)

Parameters	Sample A (Health Center)	Sample B (Residence)	Sample C (River)	Sample D (Watering truck)
Turbidity (UNT)	66.00	78.00	8.00	1.00
pH	7.49	6.78	7.59	7.36
Conductivity (mS cm ⁻¹)	0.65	0.29	6.24	0.08
Salinity (g L ⁻¹)	0.90	0.40	8.63	0.11

The higher salinity value of sample C reveals a risk of emergence of long-term diseases arising for people who make a consultative use of the river and are in direct contact in daily activities. The process of salinization of the river, resulting from the entry of ocean water into the estuary, also corroborates with the information described by Medeiros *et al.* (2014). It has an impact not only on health but also on fishing and local agriculture activities, which are crucial to generate income in the community.

The salinity caused by excess of sodium in the region was reported by Santana *et al.* (2017), who found the presence of high Na levels in some points in the municipality of Piaçabuçu. The highest concentration of these points was close to the Potengi community. In one of these samples, the researchers identified a concentration of 28.87 g L⁻¹, a value 57 times higher than the limit tolerable by WHO. This situation has transformed the local ecosystem and the living conditions of the riverside population, who have access to low quality water and unfit for human consumption.

Excess sodium can cause several health problems such as hypertension, cardiovascular, and kidney diseases, in addition to the emergence of chronic noncommunicable diseases (CNCDs), such as diabetes and cancer, which are collectively responsible for 63% of deaths worldwide and 72% of those obtained in Brazil, and about 30% of these deaths occur in people under the age of 60 (MALTA *et al.*, 2017). This reveals that the largest majority of the population of Potengi is vulnerable to these diseases since approximately 90% of the population of Piaçabuçu belongs to this age group (IBGE, 2019).

CONCLUSIONS

Fishing and agriculture, the main sources of income in the riverine Potengi community, are the most impaired activities by the river salinization and by the damage caused to the local ecosystem, according to the perception from the local members.

Further research is needed to measure the level of impact that salinity has had on these activities.

The water supplied community, through the municipality's water supply network, presented high turbidity and salinity.

O maior valor de salinidade da amostra C revela risco de surgimento de doenças, a longo prazo, para pessoas que fazem uso consultivo do rio e estão em contato direto em atividades diárias. O processo de salinização do rio, resultado da entrada da água do oceano na foz, é evidente e corrobora informações descritas por Medeiros *et al.* (2014). Isto gera impacto não só na saúde, mas também nas atividades de pesca e agricultura local, cruciais para a obtenção de renda na comunidade.

A salinidade causada pelo excesso de sódio na região foi relatada por Santana *et al.* (2017), que constataram a presença de níveis elevados de sódio em pontos do município de Piaçabuçu, sendo a maior concentração destes pontos próximos à comunidade de Potengi. Em uma destas amostras, os pesquisadores identificaram concentração de 28,87 g L⁻¹, valor 57 vezes maior que o limite tolerável pela OMS. Essa situação tem transformado o ecossistema local e as condições de vida da população ribeirinha, que tem acesso à água de baixa qualidade e imprópria para consumo humano.

O excesso de sódio pode causar vários problemas de saúde como: hipertensão, doenças cardiovasculares e renais, além do surgimento de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT), como diabetes e câncer, que são responsáveis por 63% dos óbitos no mundo e 72% dos obtidos no Brasil, e cerca de 30% dessas mortes ocorrem em pessoas com idade inferior a 60 anos (MALTA *et al.*, 2017). O que demonstra que a maior parcela da população de Potengi está vulnerável a essas doenças, já que aproximadamente 90% da população de Piaçabuçu encontram-se nessa faixa etária (IBGE, 2019).

CONCLUSÕES

A pesca e a agricultura, principais fontes de renda na comunidade ribeirinha de Potengi, são as atividades mais prejudicadas pela percepção da comunidade, devido à salinização do rio e aos danos causados ao ecossistema local;

Estudos mais específicos se fazem necessários para mensuração do nível de impacto que a salinidade tem provocado sobre essas atividades.

A água fornecida à comunidade, pela rede de abastecimento do município, apresenta elevada turbidez e salinidade.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ANA. Agência Nacional das águas. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco. Brasília. 2004. 337p. BRASIL, 2006.
- ARAÚJO, S. S.; AGUIAR NETTO, A. O.; SALES, J. M. J. O peixe, o pescador e a barragem de Xingó no baixo São Francisco em Sergipe e Alagoas no Brasil. **Revista Interdisciplinar de Pesquisa e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2016.
- BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 03 abr. 2020.
- BATISTA, P. H. D.; FEITOSA, A. K.; LEITE, F. E.; SALES, M. M.; SILVA, K. B. Avaliação da qualidade das águas dos rios São Francisco e Jaguaribe para fins de irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 12, n. 1, p. 48-54, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v12i1.697>
- BRITO, T. M. C.; SILVA, A. M. C. Taxa de sobrevivência de tilápia *Oreochromis niloticus* em tanque de decantação com águas salobras em sistema intensivo de cultivo. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v. 2, n. 2, p. 40-50, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2312/Actafish.2014.2.2.40-50>
- FERNANDES, F. B. P.; ANDRADE, E. M.; FONTENELE, S. B.; MEIRELES, A. C. M.; RIBEIRO, J. A. Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 4, n. 2, p. 86-95, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v4i2.402>
- FOFONOFF, N. P. AND MILLARD JR, R. C. Algorithms for the computation of fundamental properties of seawater. Paris, France, UNESCO, 53p, 1983.
- FONTES, A. S.; ZUCCHI, M. R.; MEDEIROS, Y. D. P.; AZEVEDO, E. G. Avaliação dos fatores intervenientes no processo de salinização em reservatórios superficiais do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 708-721, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p708-721>
- GOMES, M. A.; RAMOS, E. V. S.; SANTOS, L. C.; BITU, S. G.; GADELHA, A. J. F. Avaliação hidroquímica e de parâmetros físico-químicos de qualidade das águas subterrâneas da zona urbana do município de Sousa-PB. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 162-172, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29115>
- HUNT, J. D.; FREITAS, M. A. V.; PEREIRA JÚNIO, A. O. Usinas hidrelétricas reversíveis sazonais no rio São Francisco: aumentando o armazenamento energético e diminuindo a evaporação. **Sustentabilidade em Debate**, v. 7, n.3, p. 18-33, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18472/SustDeb.v7n3.2016.17436>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/piacabucu/panorama>. Acesso em: 12 de março de 2020.
- MALTA, D. C.; BERNAL, R. T. I.; LIMA, M. G.; ARAÚJO, S. S. C.; SILVA, M. M. A.; FREITAS, I. M. F.; BARROS, M. B. A. Doenças crônicas não transmissíveis e a utilização de serviços de saúde: análise da Pesquisa Nacional de Saúde no Brasil. **Revista Saúde Pública**, v. 51, p. 1-10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1518-8787.2017051000090>
- MARTINS, D. M. F.; CHAGAS, R. M.; MELO NETO, J. O.; MÉLLO JÚNIO, A. V. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 1054-1061, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000010>
- MEDEIROS, P. R. P.; MANOEL MESSIAS DOS SANTOS, M. M.; CAVALCANTE, G. H.; SOUZA, W. F. L.; SILVA, W. F. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**, v. 28, p. 65-78, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5327/Z0102-9800201400010007>
- MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS B.; SOUZA W. F. L.; OLIVEIRA E. N. Aporte de material em suspensão no Baixo Rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 15, p. 42-53, 2011a. DOI: <http://dx.doi.org/10.14210/bjast.v15n1.p42-53>

- MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B. A., CAVALCANTE G. H., DE SOUZA W. F. L. Changes in nutrient loads (N, P and Si) in the São Francisco Estuary after the construction of dams. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 2, p. 387-97, 2011b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-89132011000200022>
- MENEZES, J. P. C.; BERTOSI, A. P. A.; SANTOS, A. R.; NEVES, M. A. Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo. **REGET**, v. 17 n. 17, p. 3318-3326, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117010630>
- NEVES, A. L. R.; ALVES, M. P.; LACERDA, C. F.; GHEYI, H. R. Aspectos socioambientais e qualidade da água de dessalinizadores nas comunidades rurais de Pentecoste-CE. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 1, p. 124-135, 2017. DOI: doi.org/10.4136/ambi-agua.1722
- OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Centro Científico Conhecer**, v. 6, n. 11, p. 1-16, 2010a.
- OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Salitre. **Química Nova**, v.33, n.5, 2010b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000500010>
- PAES, R. S.; MOREIRA, S. C.; ZAPPES, C. A. Conhecimento tradicional e o impacto da salinização em comunidades agrícolas no norte do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 49, p. 167-182, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v49i0.54278>
- PALÁCIO, H. A. Q.; ARAÚJO NETO, J. R.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M.; SANTOS, J. C. N.; CHAVES, L. C. G. Similaridade e fatores determinantes na salinidade das águas superficiais do Ceará, por técnicas multivariadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 395-402, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000400011>
- PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2236117016544>
- SANTANA, N. R. F. Hidrodinâmica ambiental no baixo São Francisco e suas relações antrópicas, São Cristóvão, Sergipe. 2017. 182f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D.; ALMEIDA, H. R. R. C. Variabilidade da qualidade de água na bacia hidrográfica do Rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v. 9, n. 3, p. 1-17, 2010.
- SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D.; SILVA, D. F.; ALMEIDA, H. R. R. C. Análise espaço-temporal de parâmetros de qualidade de água no alto São Francisco e sua relação com intervenções antrópicas. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 492-518, 2009.
- SILVA, L. J.; LOPES, L. G.; AMARAL, L. A. Qualidade da água de abastecimento público do município de Jaboticabal, SP. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 21, p. 615-622, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016121151>
- SOUZA, F. A salinização das águas do baixo rio São Francisco. **Água, vida & cia**, 2017.
- SOUZA, R. C. C. L.; CALAZANS, S. H.; SILVA, E. P. Impacto das espécies invasoras no ambiente aquático. **Ciência e Cultura**, v. 61, p. 35-41, 2009.
- VASCO, A. N.; AGUIAR NETTO, A. O.; PRUSKI, F. F. Impactos das barragens na disponibilidade hídrica do Nordeste do Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, v. 38, p. 47-58, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5894/rh38n2-cti1>
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for drinking-water quality. 4 ed. Geneva, 2017. 631 p.