



II-21 – ANÁLISE DA POTENCIALIDADE DO REUSO DE EFLUENTES PROVENIENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO NA REGIÃO HIDROGRÁFICA LAGOS SÃO JOÃO, RJ

Bernardo Corty dos Santos⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Endereço⁽¹⁾: Rua Canela do Campo nº 6 - Alto de Búzios - Armação dos Búzios RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20952-340 – Brasil – (22) 988182129 - bernardocortyki@gmail.com

Luiara Castro de Lana⁽²⁾

Engenheira de Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Universidade Federal Fluminense. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Endereço⁽²⁾: Rua São Francisco Xavier 524 sala 5029-F - Maracanã - RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20550-013 – Brasil – (21) 971012734 - luiaralana@gmail.com

Nyelsen Fernandes de Oliveira⁽³⁾

Graduando em Engenharia Cartográfica na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Atualmente estagiário de geoprocessamento no Sistema de Gestão da Geoinformação - SiGeo, prefeitura de Niterói.

Endereço⁽²⁾: Rua São Francisco Xavier, 524, sala 4032 B - Maracanã - RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20550-013 - Brasil - Tel.: (21) 96597-9821 - e-mail: nyelsenfernandes2@gmail.com

Sérgio Orlando Antoun Netto⁽⁴⁾

Engenheiro Cartógrafo pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Mestre em Engenharia de Computação, com ênfase em Geomática, pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e Doutor em Engenharia de Produção pela COPPE/UFRJ. Atualmente é Professor Associado da Faculdade de Engenharia da UERJ.

Endereço⁽⁴⁾: Rua São Francisco Xavier, 524, sala 4032 B - Maracanã - RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20550-013 - Brasil - Tel.: (21) 979658710 - e-mail: sergio.antoun@eng.uerj.br

Marcelo Obraczka⁽⁵⁾

Engenheiro civil e sanitarista pela FEN UERJ. Mestrado em ciências ambientais pelo PGCA da UFF. Doutorado em planejamento energético e Ambiental pelo PPE/COPPE/UFRJ. Atualmente é Professor Associado da Faculdade de Engenharia da UERJ.

Endereço⁽⁵⁾: Rua São Francisco Xavier 524 sala 5029-F - Maracanã - RJ - Rio de Janeiro - CEP: 20550-013 – Brasil – (21) 971012734 - obraczka@eng.uerj.br

RESUMO

A água é um recurso vital que já se encontra escasso em muitas regiões, o que justifica a busca por alternativas de gestão mais moderna e sustentável dos recursos hídricos, viabilizando práticas e técnicas que racionalizem do seu uso e aumentem a segurança hídrica, entre elas o reuso de efluentes.

Tendo em visto o crescimento exponencial da demanda por água, aliado à baixa disponibilidade de mananciais viáveis, a Região Hidrográfica Lagos São João (RHLSJ) do Estado do Rio de Janeiro (ERJ), denominada RH VI, é uma das que apresentam maior estresse hídrico, acentuado nos últimos anos com o crescimento populacional e que atingiu seu ápice no verão de 2023/2024.



O objetivo principal desta pesquisa é contribuir para viabilizar o aumento da segurança hídrica na RH VI, utilizando metodologia SIG para avaliar o potencial de reuso de efluentes gerados em ETEs da RH VI como alternativa de fonte de abastecimento para atendimento de demandas não potáveis. Além disso, os objetivos secundários são: a) levantar/mapear os potenciais usuários, ou seja, as outorgas de captação de água bem como os principais potenciais fornecedores de água de reuso na região; b) identificar os principais atributos a serem adotados pelo SIG para a análise de potencialidade de reuso; e c) avaliar outro aspecto benéfico do reuso de efluentes de ETEs, qual seja, a poluição evitada ao mitigar os impactos ambientais decorrentes do despejo de efluentes tratados em importantes corpos hídricos locais.

Para atingir esses objetivos, foram levantados dados de todas as 11 Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), localizadas na RH VI. Foram considerados os seguintes parâmetros para análise de viabilidade: a) vazão das ETEs; b) Outorgas e vazões correspondentes de potenciais consumidores de água para reuso; e c) Distâncias das ETEs aos potenciais consumidores, analisada através das distancias entre eles e através da elaboração de mapas calor. Os dados foram analisados através de um Sistema de Informações Geográficas,

PALAVRAS-CHAVE: Escassez Hídrica, Efluente Líquido, Estação de Tratamento de Esgoto, Sistema de Informações Geográficas, Água para Reuso, Poluição, Impacto Ambiental.

INTRODUÇÃO

Constata-se que o crescimento populacional a nível mundial vem acarretando uma pressão excessiva sobre os mananciais de abastecimento de água para áreas urbanas e rurais. Esse complexo quadro, no qual busca-se manter a qualidade de vida e prestação de serviços básicos de saneamento às populações, confronta-se com uma realidade de insuficiência de recursos hídricos adequados ao abastecimento, ocasionando cenários de escassez hídrica em diferentes localidades e em graus variados de intensidade.

Como forma de mitigar impactos da escassez hídrica no abastecimento, podem ser adotadas medidas cuja implementação proporciona a otimização do uso da água. Entre estas pode-se citar a racionalização do uso da água, o aproveitamento de água pluvial, a dessalinização e o reuso de efluentes líquidos de ETEs para fins potáveis e não potáveis.

Porém, apesar dos graves problemas relacionados à indisponibilidade hídrica e/ou à incapacidade dos sistemas convencionais em atenderem a crescente demanda, o reuso ainda não se configura como uma alternativa de fonte de água na gestão de recursos hídricos e na matriz de abastecimento do país (OBRACZKA et al., 2017).

No Brasil, onde a irrigação equivale a 2/3 da demanda por água, havendo regiões onde as necessidades já superam as disponibilidades hídricas (ANA, 2017), uma solução para superar tais déficits seria utilizar águas para reuso, as quais são efluentes do tratamento de esgoto sanitário.

Neste trabalho pretende-se abordar a potencialidade do reuso de efluentes líquidos de ETEs, utilizando como estudo de caso a Região Hidrográfica Lagos São João, RH VI, situada no Estado do Rio de Janeiro.

A Região Hidrográfica Lagos São João possui uma área de 3,8 mil km², e abrange total ou parcialmente 13 municípios, possuindo 520 mil residentes fixos, mas que podem chegar a 1,2 milhão no período de férias e feriados (CILSJ, 2005).

A RH VI pode ser subdividida em quatro bacias segundo suas características hidrológicas, a saber: a) Bacia do Rio São João (maior corpo hídrico e principal manancial da região); b) Bacia do Rio Una e Cabo de Búzios; c) Bacias drenantes à Lagoa de Araruama; e d) Bacias drenantes ao Sistema Lagunar de Saquarema, de acordo com a Figura 1.

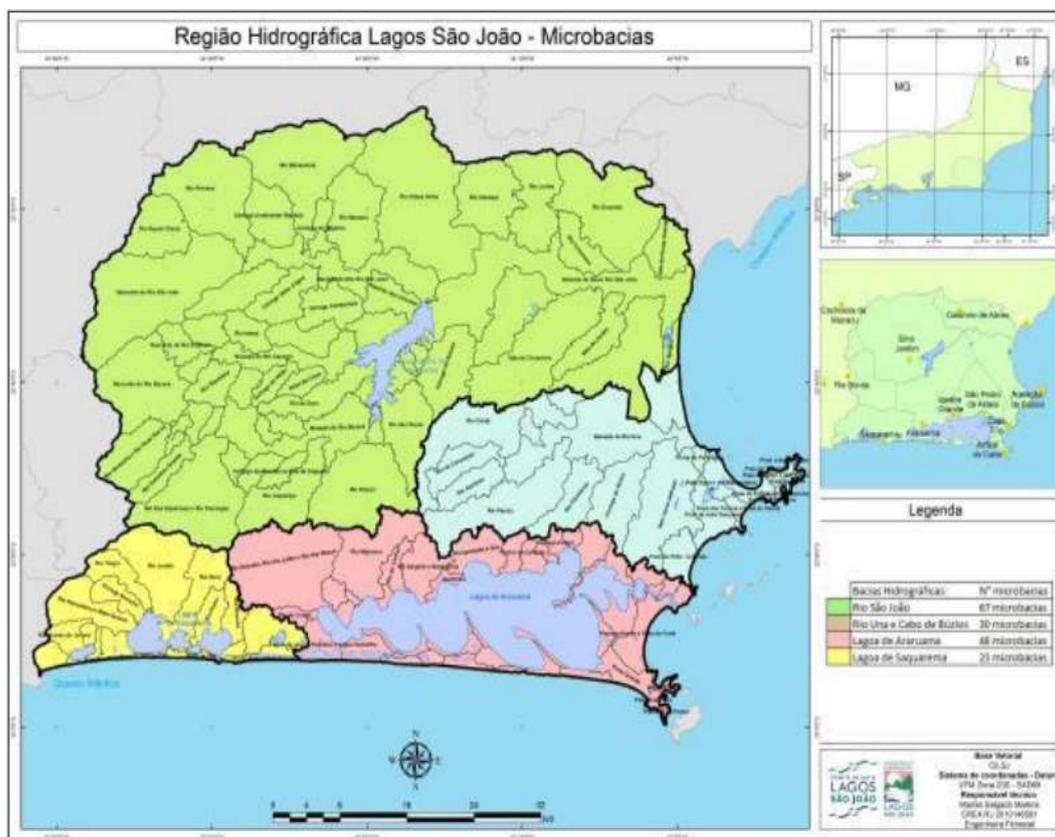


Figura 1 – RH VI - Lagos São João e respectivas sub-bacias Fonte: CILSJ(2024)

No contexto da RH VI, situada na bacia do rio São João, merece destaque a represa de Juturnaíba, por se tratar do manancial responsável pelo abastecimento público de praticamente toda a Região Hidrográfica em estudo, atendendo os municípios de Araruama, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Iguaba Grande, Maricá, Rio Bonito, Rio das Ostras, São Pedro da Aldeia, Saquarema e Silva Jardim.

Com exceção de outorgas pontuais, a integralidade do abastecimento regional (incluindo usos residencial, industrial, agrícola e demais) depende exclusivamente da represa de Juturnaíba e não há outras fontes para abastecimento, mesmo em caso de eventos emergenciais (Fonte: CILSJ, 2024).

Esse quadro demonstra uma realidade de insegurança hídrica, pois em uma eventual ocorrência de um evento de sinistro relacionado a citada represa, compromete-se todo o abastecimento de água a nível regional, tendo ainda como agravante a existência de um único rio de maior potencial hídrico, responsável por abastecer toda área abrangida pela RH VI.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento de metodologia adequada à abordagem da potencialidade de emprego do reuso de efluentes de ETEs na RH VI, seguiu-se passos operacionais para o adequado tratamento de dados e desenvolvimento do Sistema de Informações Geográficas, e assim viabilizar a análise do contexto existente e as possibilidades de planejamento através do reaproveitamento de efluentes para atendimento de potenciais demandas industriais.

Para estimativa dessa demanda, foram levantados dados quantitativos de outorgas para fins não potáveis, disponibilizados pelos sistemas de informação de instituições competentes, como Agência Nacional de Águas (ANA) e Instituto Estadual do Ambiente-RJ (INEA).



No caso específico da ANA, destaca-se um maior grau de dificuldade no tratamento estatístico de dados, por abordarem geograficamente a totalidade do Brasil. Essa configuração da fonte primária acarreta elevada complexidade relacionada ao quantitativo de dados, correspondente a cerca de 43 mil outorgas, nos 26 Estados e Distrito Federal, além de incluir registros de outorgas para lançamento.

As etapas relacionadas à ciência de dados, como levantamento, tratamento estatístico, e e adicionalmente a realização do Sistema de Informações Geográficas, foram todas desenvolvidas no ambiente de execução Google Colaboratory utilizando-se a linguagem Python e suas bibliotecas como Pandas, Matplotlib, Folium e GeoPandas.

Todas as ferramentas listadas são de acesso livres, permitindo que sejam utilizadas, por exemplo, por pesquisadores e instituições de menor capacidade financeira, dependendo-se apenas de acesso à internet.

As etapas metodológicas para desenvolvimento do estudo são descritas, a seguir:

- a) Reuniões do grupo de pesquisa envolvido para definir itens como escopo, objetivo geral, objetivos específicos, premissas do estudo e formas de obtenção e tratamento de dados;
- b) Identificação dos princípios básicos do projeto, como a definição da região de estudo, adotando-se a Região Hidrográfica Lagos São João em função de situações recorrentes de escassez e insegurança hídrica ocasionada pelo crescimento exponencial da demanda estimado para os próximos anos e degradação ambiental dos poucos mananciais disponíveis e viáveis (PERHI, 2014);
- c) Identificação e tratativas com instituições competentes para parcerias visando a troca de informações e obtenção de elementos para proceder à análise de dados, como a ANA, o INEA, o Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ) e Prefeitura Municipal de Armação dos Búzios (PMAB);
- d) Análise dos dados obtidos, de acordo com as funcionalidades disponíveis da linguagem Python, em ambiente Google Colaboratory. Realização de tratamento dos dados de outorga de captação exclusivamente da RH VI, com as referências de coordenadas geográficas disponíveis para latitude e longitude e cálculo de vazão em litros por hora;
- e) Obtenção de dados de vazão das principais ETEs situadas na RH VI, com base no material fornecido pelo INEA e ANA, incluindo localização geográfica com latitude e longitude e vazões operacionais;
- f) Elaboração do Sistema de Informações Geográficas incluindo no mesmo mapa a localização das outorgas de captação, adotadas como potenciais consumidores de água de reuso, e as ETEs, adotadas como principais fornecedoras de água de reuso (RIO DE JANEIRO, 2022; FARIA et al, 2021) correlacionando-se seus raios de influência às distâncias de 10km, 20km e 50km a partir de cada ETE. Através do cruzamento de dados, o SIG possibilita analisar a viabilidade e o grau de atendimento das ETEs, considerando-se cada ETE como potencial pólo gerador de água para reuso não potável para fins industriais (LANA,2023).

PRIMEIRA ETAPA: ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS DAS OUTORGAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

Procedeu-se, então, a operações de filtragem e limpeza desses elementos utilizando-se a biblioteca Pandas da linguagem de programação Python. Os ambientes de execução utilizados foram os notebooks do Google Colaboratory, operados em ambiente virtual do Google Drive. Nesse primeiro passo buscou-se fazer uma leitura dos dados presentes a nível nacional, utilizando-se a função:

```
outorgas_brasil = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ETEs/1)Tratamento de dados/ 1_outorgas_geral_brasil.csv").
```

No segundo passo buscou-se reduzir os dados apenas para os correspondentes ao Estado do Rio de Janeiro, utilizando-se a função:



outorgas_erj = (outorgas_brasil.loc[outorgas_brasil['UF'] == 'RJ']).

Esse procedimento fica demonstrado na Figura 2, conforme a seguir:

```

1 import pandas as pd

1 # chamar/up load do arquivo outorgas_brasil
2
3 outorgas_brasil = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ete's/1)Tratamento de dados/1_outorgas_geral_brasil.csv")

1 # ler arquivo outorgas_brasil
2
3 outorgas_brasil

```

	Município	UF	Finalidade_Principal	Tipo_Interferencia	Latitude	Longitude	Data_de_vencimento	Categoria	VolumeAnual_m³
0	SÃO JOÃO DABARRA	RJ	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-21,64228	-41,07625	23/07/2018	Direito de Uso	3923078.40
1	CASANOVA	BA	Irrigação	Captação	-9,14514	-41,04861	15/07/2024	Direito de Uso	124950.00
2	MARIZÓPOLIS	PB	Irrigação	Captação	-8,87775	-38,34392	06/09/2018	Direito de Uso	81139.50
3	GLÓRIA	BA	Irrigação	Captação	-9,0825	-38,36197	29/11/2027	Direito de Uso	82240.00
4	PILÃO ARCADO	BA	Outras	Captação	-10,07111	-42,42806	NaN	Direito de Uso	21830.40
...
43647	COLATINA	ES	Mineração - Extração de Areia/Cascalho em Leit...	Captação	-19,54194	-40,46056	NaN	Direito de Uso	120960.00
43648	GARARU	SE	Irrigação	Captação	-9,98889	-36,97472	25/05/2020	Revogação	103920.96
43649	URANDI	BA	Abastecimento Público	Captação	-14,76803	-42,79528	21/09/2024	Preventiva	166440.00
43650	SOBRADINHO	BA	Irrigação	Captação	-9,46542	-40,84197	NaN	Direito de Uso	38183.86
43651	BELÉM	PA	Esgotamento Sanitário	Lançamento	-1,36267	-48,468	04/09/2028	Preventiva	83920.80

43652 rows × 9 columns

Figura 2: RH VI - Tratamento de Dados. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Em seguida, procedeu-se a novas operações de filtragem e limpeza de dados, a partir do Data Frame “outorgas_erj.csv”. Nesse estágio foram realizadas as seguintes operações:

- retirada de valores nulos, em termos dos parâmetros de vazão, latitude e longitude, o que dificultaria sobremaneira e causaria erro durante a operação com a biblioteca Folium para elaboração de mapas de Sistemas de Informações Geográficas.
- no banco de dados fornecidos pela ANA, os valores de consumo foram disponibilizados em termos de volume anual. Portanto procedeu-se à inserção de uma nova coluna, na qual calculou-se os dados de vazão em metros cúbicos por hora.
- com os novos valores obtidos para vazão das outorgas de captação, obteve-se números com quantidade elevada de casas decimais. Assim, procedeu-se a padronização para números com apenas duas casas decimais, o que facilita a leitura do arquivo.
- outra importante modificação foi a restrição da coluna “Tipo_Interferencia”, a qual possuía inicialmente dados correspondentes a valores de captação e lançamento. Procedeu-se, assim, a limitação apenas para outorgas de captação.
- reinício da coluna índice, para que seja possível ter a proporção da quantidade de linhas/pontos de outorga totais presentes na tabela.

Dessa forma, obteve-se o arquivo denominado de “outorgas_erj_filtrado.csv”, conforme exposto na Figura 3:



Unnamed: 0.1	index	Unnamed: 0	Município	Latitude	Longitude	vazao(m³/h)	
0	0	686	686.0	ANGRA DOS REIS	-22,93175	-44,398	44.96
1	1	522	522.0	ANGRA DOS REIS	-22,97814	-44,54611	4.11
2	2	705	705.0	ANGRA DOS REIS	-22,97833	-44,54569	392.91
3	3	469	469.0	ANGRA DOS REIS	-23,00111	-44,54161	4.11
4	4	86	86.0	ANGRA DOS REIS	-22,98967	-44,54444	4.11
...
1016	1016	173	NaN	Cabo Frio	-22,756	-42,068	1.00
1017	1017	174	NaN	Cabo Frio	-22,888	-42,026	1.00
1018	1018	175	NaN	Cabo Frio	-22,756	-42,068	1.00
1019	1019	176	NaN	Cabo Frio	-22,878	-42,01	0.80
1020	1020	177	NaN	Cabo Frio	-22,877	-42,319	1.00

1021 rows x 7 columns

Figura 3: RH VI - Tratamento de Dados. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Segunda Etapa: Obtenção dos Dados de ETES da RH VI

Como não uma fonte integrada de dados, para a obtenção de informações de vazão das ETES (potencial oferta de água de reúso), foram utilizados os acervos de dados disponibilizados por cinco fontes, nos respectivos anos ou períodos: a) Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos do INEA (PROCON Água) (2019-2021); b) ICMS Ecológico (2020); c) Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – Atlas Esgotos (ANA, 2017) – (2013-2017).

De posse dos dados disponíveis, conforme as fontes estabelecidas anteriormente, consolidou-se uma tabela geral sobre as ETES da RH VI, conforme exposto na Figura 4:

```

1 from google.colab import drive
2 drive.mount('/content/drive')

[ ] 1 data_etes

```

	ETE	LAT	LONG	VAZÃO(L/S)
0	ETE Praia do Siqueira	-22.884	-42.053	275.0
1	ETE Ponte dos Leites	-22.879	-42.336	125.3
2	ETE São Pedro	-22.826	-42.126	111.5
3	ETE Jardim Esperança	-22.820	-42.085	95.5
4	ETE São José	-22.777	-41.942	86.5
5	ETE Arraial do Cabo	-22.966	-42.031	69.5
6	ETE Iguaba	-22.849	-42.240	64.5
7	ETE Bacaxá	-22.902	-42.483	41.1
8	ETE Idaiaçú	-22.899	-42.452	30.0
9	ETE Novo Horizonte	-22.943	-42.149	12.2
10	ETE Itaúna	-22.930	-42.499	7.6
11	ETE Saquarema	-22.777	-41.942	4.0

Figura 4: Coordenadas e Vazões das ETES da RH VI - Leitura do Arquivo ETES_rhvi.csv. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para a execução do mapa denominado de mapa_etes, realizou-se um procedimento de tratamento dos dados obtidos, conforme apresentado a seguir.

Inicialmente, importa-se as bibliotecas Pandas e Folium, para obter suas ferramentas e são carregados os dados do arquivo `data_etes`, exposto na Figura 5, o qual fornece os dados necessários a este estudo.

Com esses dados da Figura 4, os quais proporcionam informações de Latitude, Longitude e Vazão, estabelece-se e nomeia-se quais variáveis serão utilizadas pela biblioteca Folium na função “`Folium.CircleMarker`”, conforme Figura 5.

```

1 #Importa a biblioteca
2
3 import folium
4 import pandas as pd
5
6 #carrega os dados
7
8 #importa os dados do drive
9
10 data_etes = pd.read_csv("/content/drive/MyDrive/1 - TI/Projeto_ete's/ete's_rhvi.csv")
11
12 #carrega os dados
13 lat_ete = data_etes["LAT"]
14 long_ete = data_etes["LONG"]
15 vazao_ete = data_etes["VAZÃO(L/S)"]
16 vazao_ete = vazao_ete.astype(float).astype(int)
17

```

Figura 5: Leitura do Arquivo ETEs_rhvi.csv e definição de variáveis.
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nesse contexto, foram definidas as variáveis para Latitude (`lat_ete`), Longitude (`long_ete`) e Vazão de cada ETE (`vazao_ete`). Esses dados são carregados de forma que possam ser disponibilizados para leitura na elaboração do mapa.

Na etapa seguinte elaborou-se o mapa base, que representa as configurações básicas visuais a serem exibidas durante a leitura do mapa, além de estabelecer o seu estilo, conforme exposto pela Figura 6.

```

28
29 #cria o mapa base
30
31 mapa_etes = folium.Map(location = [-22.777, -41.942], zoom_start=10, tiles="OpenStreetMap", control_scale=True)
32

```

Figura 6: Definição do mapa base. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O estilo de mapa de fundo selecionado para o presente trabalho foi de “`OpenStreetMap`”, o qual permite uma visualização mais apurada em termos de referenciais nas proximidades dos pontos de outorga e facilita uma visualização mais contextualizada para os usuários do mapa.

Além disso, o parâmetro de início foi estabelecido como a ETE Búzios, em termos de latitude e longitude e o zoom de início (raio de influência) foi estabelecido com o valor de 10 km.

Em seguida, foram estabelecidos os parâmetros necessários para utilizar-se a biblioteca Folium e sua correspondente função `Folium.CircleMarker`, de acordo com a Figura 7.



```

43
44 #plotagem Dos marcadores
45 for lat_ete, long_ete, vazao_ete in zip(lat_ete, long_ete, vazao_ete):
46
47     folium.CircleMarker(location=[lat_ete,long_ete], radius=5, popup= str(vazao_ete)+" l/s",
48                          fill_color="black", color="gray", fill_opacity=0.9).add_to(mapa_etes)
49

```

Figura 7: Geração de raios das áreas de influência. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Determinou-se que as ETEs da RH VI fossem representadas por círculos pretos com bordas na tonalidade de cinza e ao clicar-se em cada ponto representativo seria explicitada a vazão correspondente.

Terceira Etapa: Implantação do SIG - RHVI e Mapas de Calor

Nesse ponto do trabalho torna-se necessário, para avaliar a capacidade de atendimento de cada ETE, elaborar-se uma estrutura de avaliação das potencialidades de acordo com os raios de alcance em termos geográficos.

Para definição da ordem de prosseguimento, considerando-se que existem onze ETEs a serem analisadas, optou-se por seguir a ordem decrescente de vazão das Estações, seguindo os parâmetros da Figura 5, iniciando-se pela de maior vazão, que é a ETE Praia do Siqueira.

Portanto a proposta em estudo, para equacionamento da problemática “oferta versus demanda” de água para reúso pressupõe que sejam avaliados os possíveis cenários de atendimento dessa demanda por meio de ETEs que geograficamente estejam nas proximidades dos pontos de outorga, para viabilizar economicamente a operação.

Nesse quadro, optou-se por analisar, para cada ETE da RH-VI, o potencial de demanda com base nos raios de abrangência de 10 km, 20 km e 50 km.

Para isso, utiliza-se a função “Folium.Circle”, estabelecendo-se um raio de determinado alcance, conforme proposto inicialmente. Optou-se pelo preenchimento do círculo na cor verde, para gerar efeito de destaque no mapa.

SIG para ETE Praia do Siqueira

Com uma vazão afluyente de 275 l/s, a ETE Praia do Siqueira, localizada em Cabo Frio, é a maior ETE da RH VI. Pela sua maior expressividade em termos de vazão, procedeu-se a análise geográfica e quantitativa (vazão tratada), para demonstração da viabilidade de atendimento dos pontos de outorgas de captação no seu entorno, considerando os raios/distâncias de 10km, 20km e 50 km.

Para a primeira análise, foi realizado o centro na ETE Cabo Frio/Praia do Siqueira, com raio de 10km. O mapa base foi estabelecido no modelo “Open Street Map” através da função Tiles, de forma a representar a urbanização e elementos relevantes do entorno. Além disso, foi estabelecido o controle de escala com a função control_scale e o ponto central do mapa foi definido com Latitude e Longitude da ETE Praia do Siqueira, para um zoom inicial de 8 unidades. A execução desse procedimento na linguagem Python, encontra-se na Figura 8, a seguir.

```

46
47 # cria o mapa base
48 mapa_outorgas_estadual = folium.Map(location = [-22.884, -42.053], zoom_start=8, tiles="OpenStreetMap", control_scale=True)
49
50

```

Figura 8: Configurando o mapa. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A seguir, foram demarcados os pontos de outorgas de lançamento e captação, de acordo com o código Python.

Prosseguindo-se, estabelece-se nova fronteira de código, determinando-se o raio de alcance da ETE Praia do Siqueira em 10.000 metros, conforme Figura 10.

Prosseguindo-se, estabelece-se nova fronteira de código, determinando-se o raio de alcance da ETE Praia do Siqueira em 10.000 metros (10 km). Com as linhas de código de 75 a 89, foi estabelecido o centro do mapa nas coordenadas de latitude e longitude da ETE, com função “radius” igual a 10.000 metros, cor verde com opacidade de preenchimento de 0.6, conforme Figura 9.

```
75 # plotar círculo de 10.000 metros com centro na Praia do Siqueira
76
77 radius = 10000
78 folium.Circle(
79     location=[-22.884, -42.053],
80     radius=radius,
81     color="black",
82     weight=1,
83     fill_opacity=0.6,
84     opacity=1,
85     fill_color="green",
86     fill=False, # gets overridden by fill_color
87     popup="{ } meters".format(radius),
88     tooltip="I am in meters",
89 ).add_to(mapa_outorgas_estadual)
```

Figura 9: Configuração de círculo de abrangência da ETE com raio de 10km.
Elaborado pelo autor (2024).

Fonte:

Para a segunda análise, foi considerada a ETE Cabo Frio/Praia do Siqueira adotando-se desta feita um raio de 20 km. O mapa base foi estabelecido no modelo “Open Street Map” através da função Tiles, de forma a representar a urbanização e elementos relevantes do entorno. Além disso, foi estabelecido o controle de escala com a função control_scale e o ponto central do mapa foi definida a Latitude e Longitude da ETE Praia do Siqueira, para um zoom inicial de 8 unidades.

A seguir, foram demarcados os pontos de outorgas de lançamento e captação, de acordo com o código Python demonstrado na Figura 10.

```
46
47 # cria o mapa base
48 mapa_outorgas_estadual = folium.Map(location = [-22.884, -42.053], zoom_start=8, tiles="OpenStreetMap", control_scale=True)
49
50
```

Figura 10: Configuração do mapa base das outorgas de captação. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Prosseguindo-se, estabelece-se nova fronteira de código, determinando-se o raio de alcance de emprego de água de reuso a partir da ETE Praia do Siqueira em 20 km, conforme Figura 11.



```

75 # plotar círculo de 20.000 metros com centro na Praia do Siqueira
76
77 radius = 20000
78 folium.Circle(
79     location=[-22.884, -42.053],
80     radius=radius,
81     color="black",
82     weight=1,
83     fill_opacity=0.6,
84     opacity=1,
85     fill_color="green",
86     fill=False, # gets overridden by fill_color
87     popup="{ } meters".format(radius),
88     tooltip="I am in meters",
89 ).add_to(mapa_outorgas_estadual)
  
```

Figura 11: Configuração das características referentes ao raio de alcance de 20 km a partir da ETE do Siqueira. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Observa-se que, nesta nova abordagem, avaliando-se o raio de 50 km, seria possível atender demandas de outorgas formais em todo o território da RH-VI com água de reuso da ETE analisada (Praia do Siqueira).

RESULTADOS

Os resultados, assim como a seção Metodologia, são apresentados a seguir discriminados em três tópicos: Análise e Tratamento dos Dados de Outorga, Obtenção de dados das ETES da RH VI e Elaboração do Sistema de Informações Geográficas RH VI (SIG RHVI).

Primeira Etapa: Análise e Tratamento dos Dados das Outorgas de Captação de Água Existentes.

Dessa forma, com as informações obtidas na Figura 3, elaborou-se o primeiro Sistema de Informações Geográficas, que corresponde aos pontos de outorgas de outorgas de captação de recurso hídrico, representado na Figura 12 abaixo.

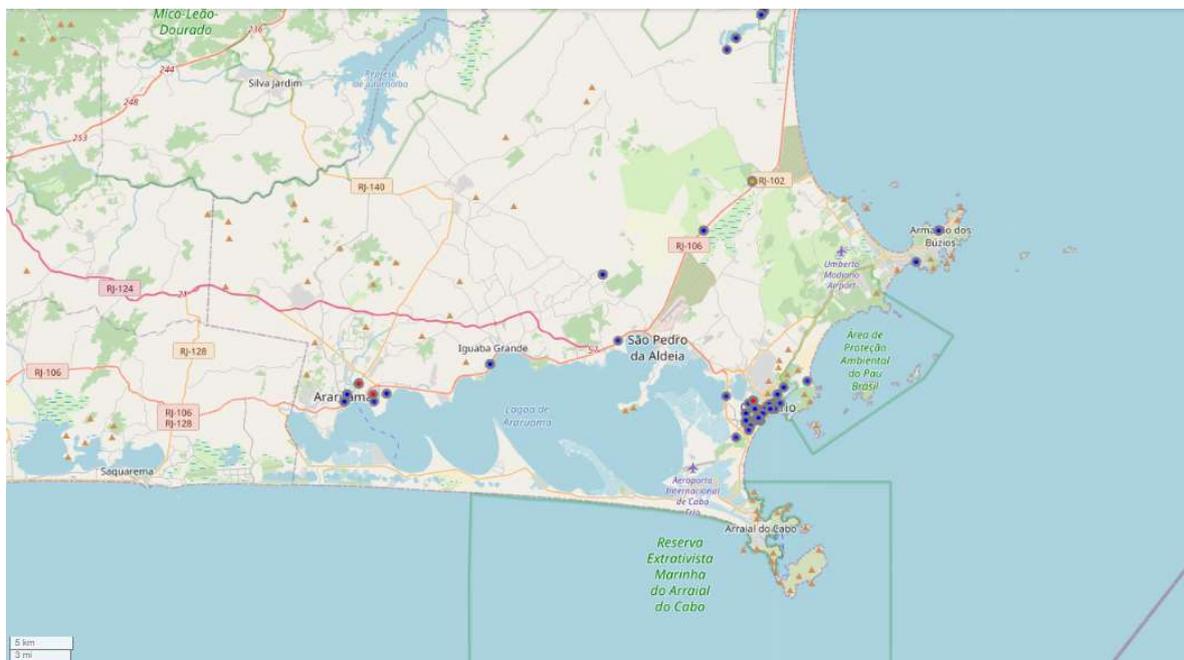


Figura 12: RH VI - SIG dos Pontos de Outorga para Captação de Recursos Hídricos. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).



Segunda Etapa: Obtenção dos Dados de ETEs da RH VI

A partir dos dados obtidos na Figura 5, foi selecionada a ETE Praia do Siqueira, em Cabo Frio, e o clique no mapa expõe a vazão de 275 l/s, a maior vazão de toda a região considerada, conforme a Figura 13, a seguir.

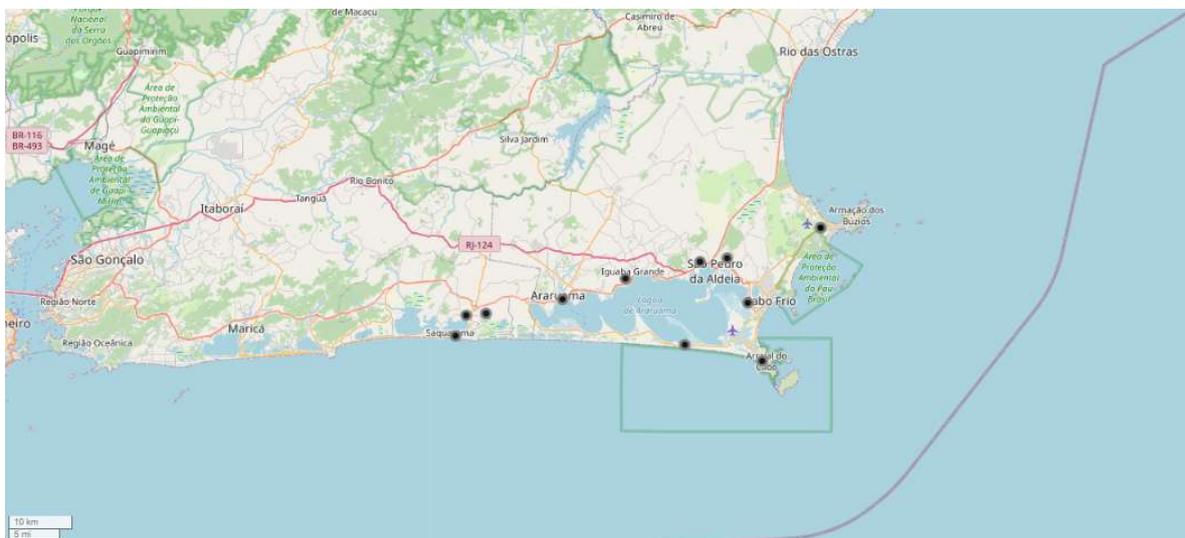


Figura 13: Mapa de localização das ETEs na RH VI com destaque da vazão da ETE Praia do Siqueira (Cabo Frio). Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Terceira Etapa: Implantação do SIG - RHVI e Mapas de Calor

Apresenta-se a seguir, o SIG da RHVI, representando as ETEs existentes na região e a totalidade das outorgas cadastradas na ANA e Inea para essa localidade, conforme Figura 14, a seguir.

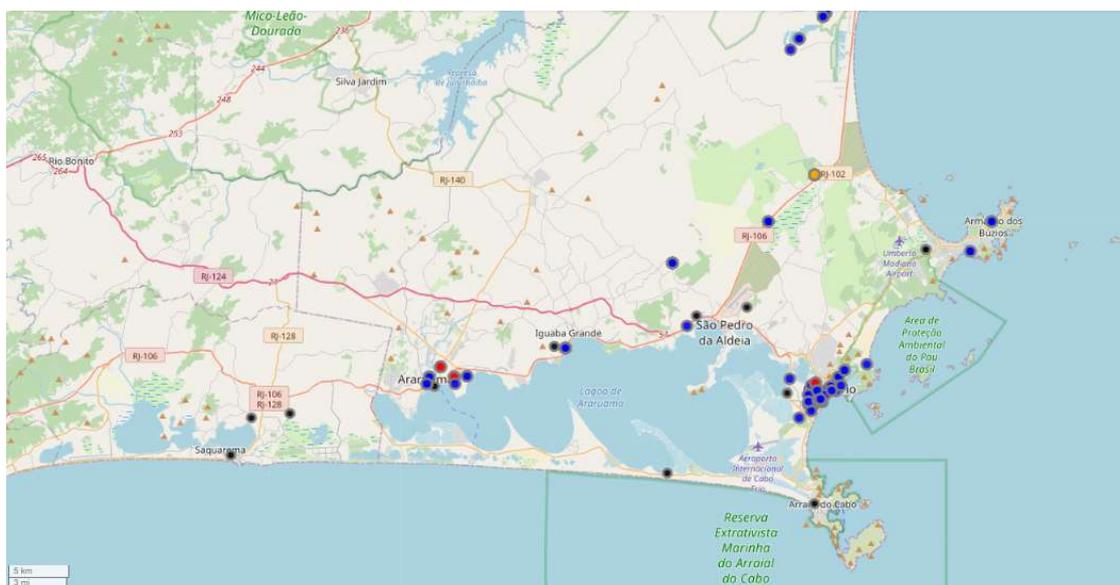


Figura 14: Mapa de localização das ETEs e Outorgas de Captação na RH VI. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Prosseguindo com a seção de Resultados, o mapa apresentado na Figura 15 materializa graficamente o SIG, no qual é possível proceder a diversas análises e planejamento considerando a região prioritária adotada pelo presente estudo. Nele é possível avaliar cenários como quais municípios podem ser atendidos pela água de reuso



desta ETE, considerando deslocamentos viáveis, em quais volumes, qual seria a ordem de preferência no abastecimento e se seria possível “exportar” eventual efluente excedente para atender demandas não potáveis fora do alcance de 10.000 metros, conforme linhas de código da Figura 9. O procedimento descrito é demonstrado graficamente na Figura 15, a seguir.

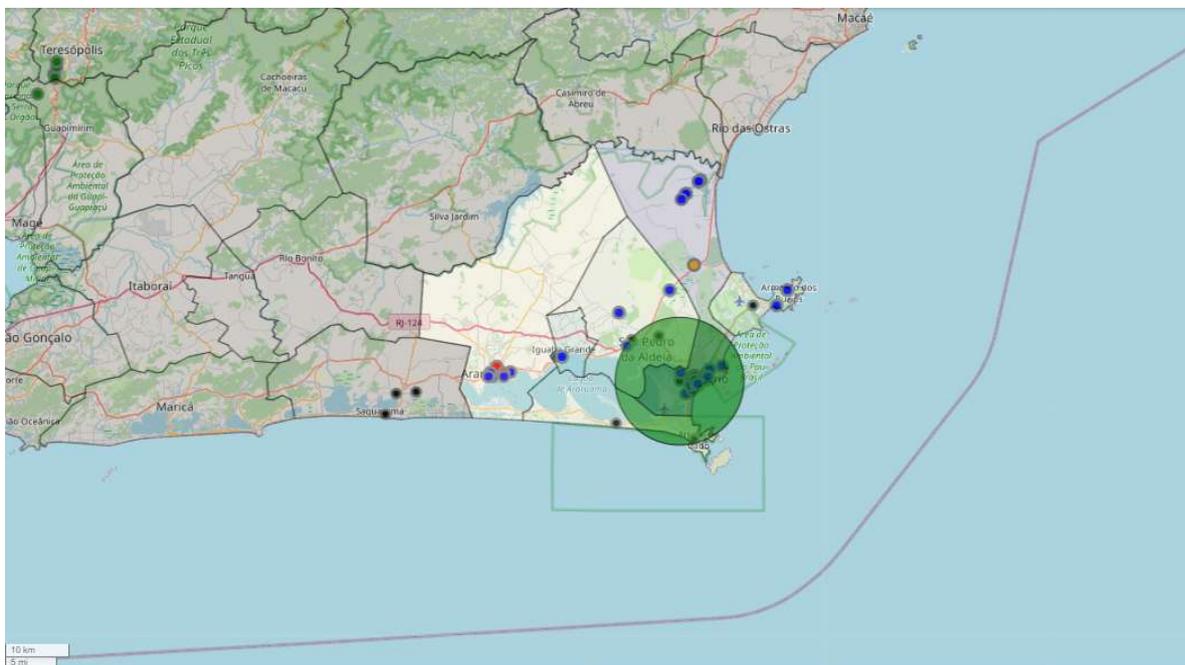


Figura 15: SIG demonstrando a abrangência de potenciais pontos de demanda de água de reuso a partir da ETE Praia do Siqueira, considerando o raio de 10km. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Com as linhas de código de 75 a 89 da Figura 11, foi estabelecido o centro do mapa nas coordenadas de latitude e longitude da ETE, com função “radius” igual a 20 km, cor verde com opacidade de preenchimento de 0.6, conforme Figura 16.

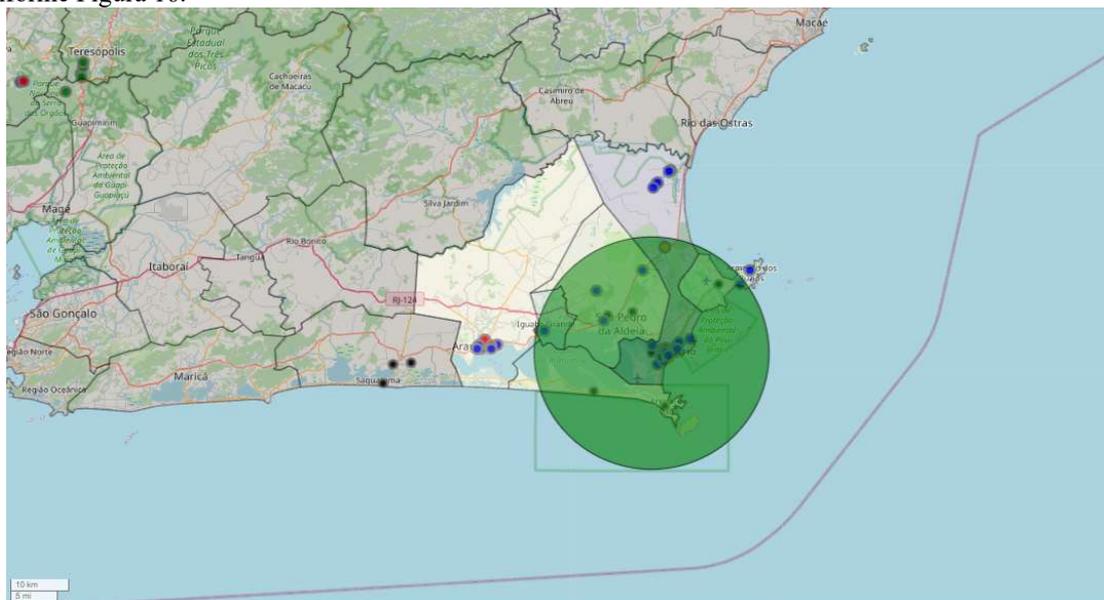


Figura 16: SIG demonstrando a abrangência de potenciais pontos de demanda de água de reuso a partir da ETE Praia do Siqueira, considerando o raio de 20 km. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A partir da realização de procedimento simétrico, foi executado o mapa/imagem referente ao cenário com raio de 50 km a partir da ETE Cabo Frio/Praia do Siqueira, o qual é apresentado na Figura 17.

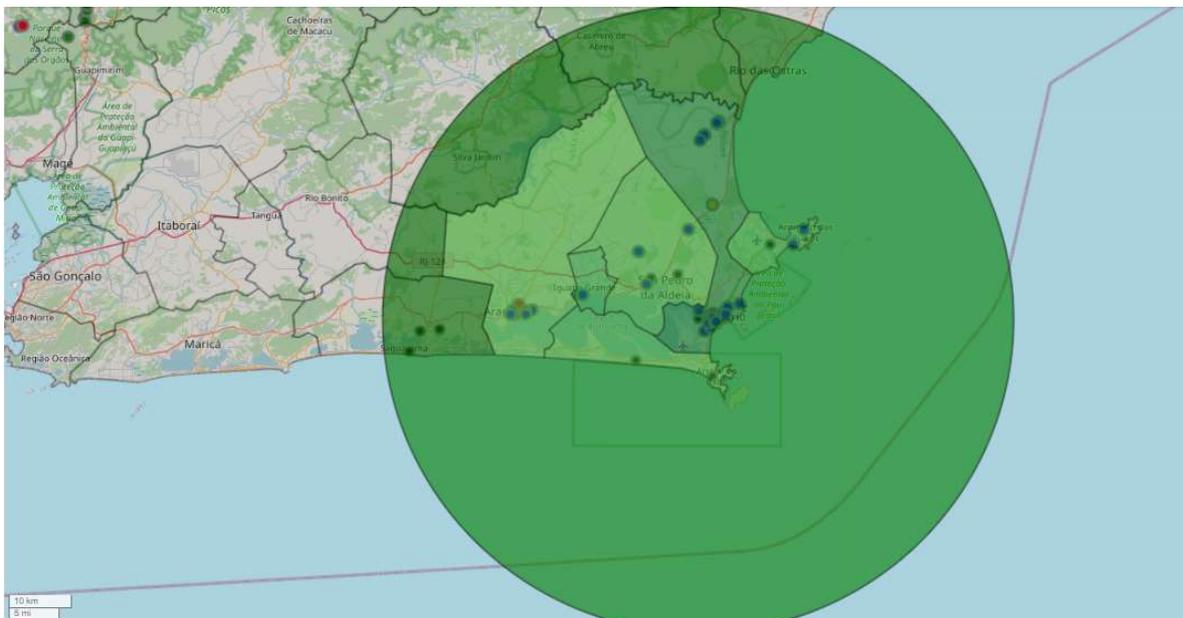


Figura 17: SIG demonstrando a abrangência de potenciais pontos de demanda de água de reuso a partir da ETE Praia do Siqueira, considerando o raio de 50 km. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Mapas de Calor para a ETE Praia do Siqueira - Vazão

As Figuras 18, 19 e 20 apresentam graficamente a implementação de um dos requisitos fundamentais para análise da capacidade das ETEs regionais no atendimento das demandas de água de potenciais consumidores de água para reuso elencados.

Para tal, foram realizadas análises de expressividade das outorgas mapeadas nos raios de abrangência no entorno de cada ETE, adotando-se a ETE Praia do Siqueira, situada no município de Cabo Frio/RJ, por ser a de maior vazão e maior impacto ambiental em termos de descarte de efluentes no contexto da RH VI.

Os cálculos de expressividade consideram a razão entre a vazão demandada pelo ponto de outorga e o somatório de vazões demandadas por todas as indústrias na região de análise, em conformidade com OLIVEIRA et al. (2022).

Nesse contexto, o mapa de calor para a ETE Praia do Siqueira num raio de 10km é apresentado na Figura 18, a seguir.

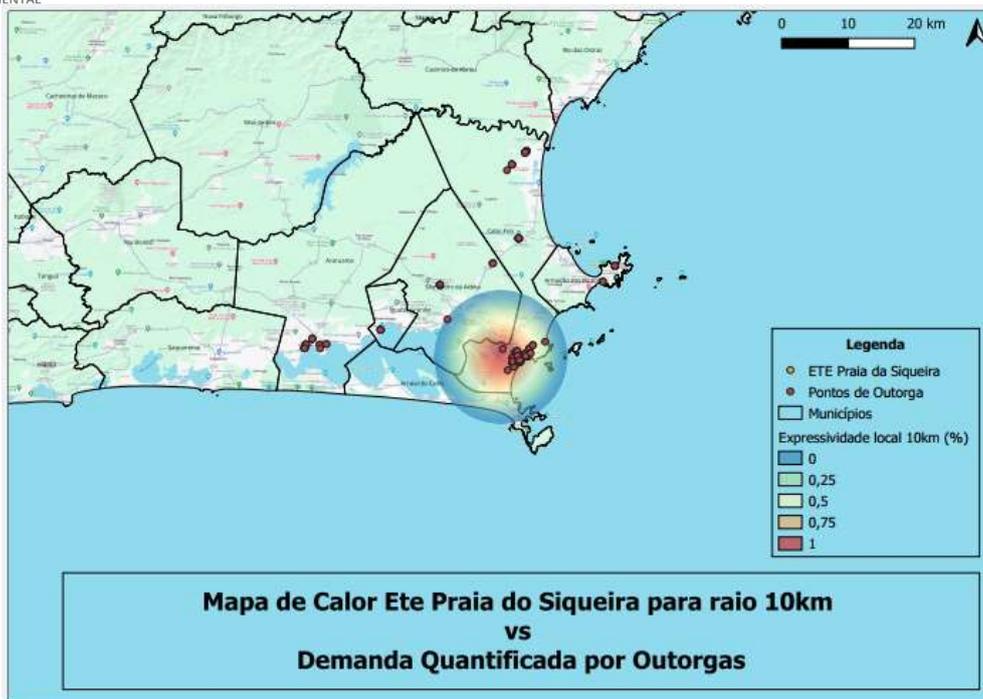


Figura 18: Mapa de Calor das outorgas de captação situadas a 10 Km da ETE Praia do Siqueira. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Nesse mesmo procedimento, o Mapa de Calor para a ETE Praia do Siqueira, para o raio de 20km, é apresentado na Figura 19, a seguir.



Figura 19: Mapa de Calor das outorgas de captação situadas a 20 Km da ETE Praia do Siqueira. Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

E, concluindo-se, o Mapa de Calor da ETE Praia do Siqueira para o raio de 50km, é apresentado na Figura 20, a seguir.

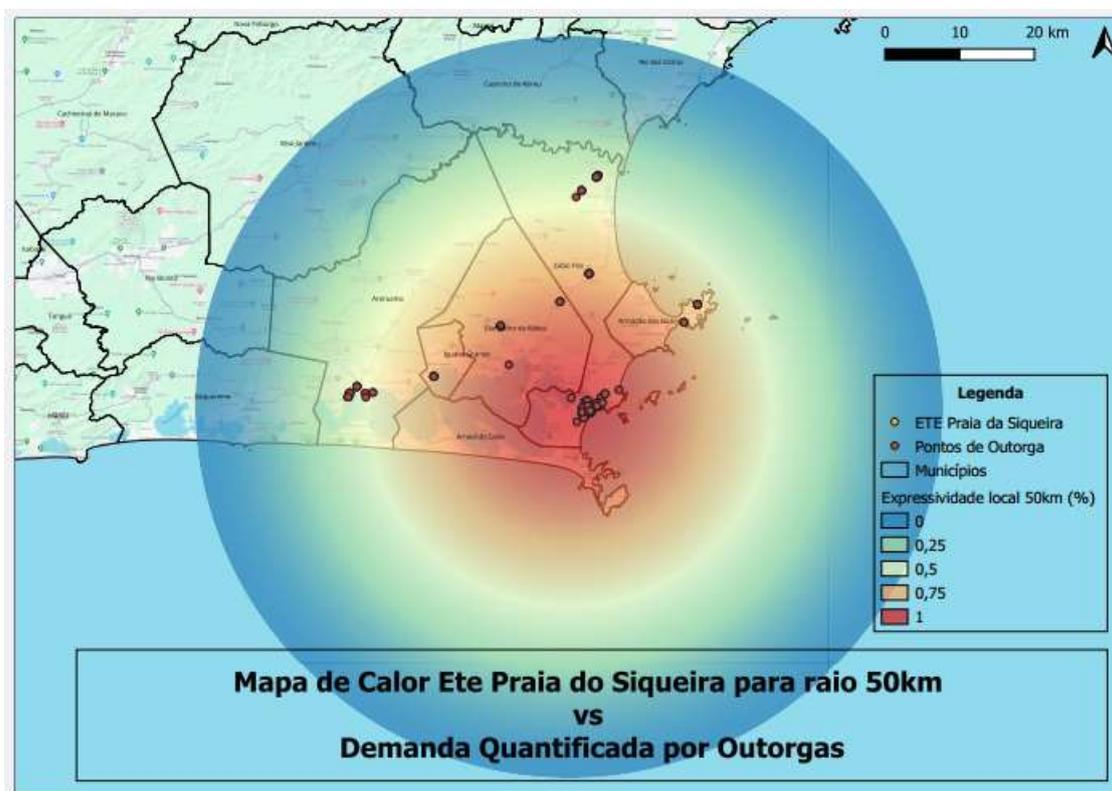


Figura 20: Mapa de Calor das outorgas de captação situadas a 50 Km da ETE Praia do Siqueira.
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

DISCUSSÃO

Pelo desenvolvimento do SIG com base no nas potenciais demandas industriais (outorgas de uso de água) e potenciais ofertas (ETEs), para raios de 10 km, 20 km e 50 km, e em termos de expressividade nos Mapas de Calor é possível estabelecer diversas correlações e analisar estratégias e alternativas de abastecimento e gestão de recursos hídricos de forma mais sistêmica e integrada.

O estudo de caso apresentado para a ETE Praia do Siqueira, por exemplo, que demonstrou sua potencialidade para utilização como fonte de água para reuso, que pode ser estendido a outras ETEs em operação na Região Hidrográfica Lagos São João.

A ETE Ponte dos Leites, situada no Município de Araruama possui vazão nominal de 126 L/s (Figura 4), e dispõe de elevado potencial de abastecimento de água para reuso com fins não potáveis no atendimento de demandas no seu entorno.

Por situar-se em posição geográfica diametralmente oposta à ETE Praia do Siqueira, no contexto da Região Hidrográfica Lagos São João, pode proporcionar o atendimento a pontos de outorga de captação distintos dos pontos atendidos pela ETE Praia do Siqueira.

A partir da análise da Figura 15, é possível notar que para o menor raio de abrangência, de 10 km, a mancha representativa de expressividade das outorgas de captação/potenciais demandas de água de reuso, fica limitada



essencialmente ao Município de Cabo Frio. Para o raio de 20 km (Figura 16), a mancha de expressividade passa a englobar também os municípios de São Pedro da Aldeia e Arraial do Cabo.

Para o raio de 50 km (Figura 17), a área correspondente foi ainda mais abrangente e compreendeu outros municípios da Região Hidrográfica Lagos São João, sendo os que estiveram em áreas de maior expressividade em termos de demanda não potável foram: Cabo Frio, Armação dos Búzios, São Pedro da Aldeia, Arraial do Cabo, e Iguaba Grande, além de ser possível detectar alguma demanda potencial também no Município de Araruama.

Os percentuais das classes de expressividade das demandas diminuíram com o aumento do raio de abrangência no entorno da ETE, demonstrando uma demanda mais bem distribuída entre as indústrias analisadas na área de interesse. Por exemplo, para o raio de 5km, a última classe de expressividade varia de 50 a 100%, enquanto que, para o raio de 20 km, a última classe varia de 20 a 45%.

Com isso, nota-se que o aumento do raio da ETE representa uma diminuição na expressividade isolada de um potencial consumidor de água de reuso, pois aumenta a quantidade de indústrias no somatório das vazões demandadas.

De qualquer forma, considerando-se particularidades locais favoráveis como a relativa proximidade geográfica dos municípios da região em um contexto geral, e das alternativas de potenciais ofertas (ETEs) e demandas (outorgas de uso de água), em particular, os resultados da análise demonstram a potencialidade do emprego de SIG como ferramenta para contribuir na elaboração de políticas e intervenções para aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos, aumentando a resiliência do sistema de abastecimento de água.

O reuso pode reduzir pressões sobre mananciais/sistemas de abastecimento, postergando a necessidade de sua expansão, e aumentando a segurança hídrica (OBRACZKA et al. 2019).

No caso da RH VI, trata-se da única fonte alternativa viável, já que outras - como o aproveitamento de água de chuva - são inviáveis tendo em vista o regime hidrológico regional, com índices pluviométricos muito reduzidos, comparáveis a região do NE brasileiro.

CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou demonstrar subsidiar o desenvolvimento e aplicação de iniciativas que possam otimizar a utilização de recursos disponíveis a nível local, reduzindo-se a necessidade de buscar novas fontes de abastecimento e potencializando a política de reutilização de materiais que seriam descartados.

Como apoio técnico para planejamento e busca de soluções, o desenvolvimento de um Sistema de informações Geográficas com ênfase em aplicações nas áreas de saneamento e meio ambiente de uma maneira geral e no presente caso de uma forma mais específica, abordando a vertente da gestão de recursos hídricos e aumento da segurança hídrica pelo emprego de água de reuso, pode proporcionar uma análise mais integrada e a otimização de ações e esforços.

No contexto socioeconômico e ambiental da Região Hidrográfica Lagos São João, constatam-se dois problemas crônicos a serem equacionados, que afetam a qualidade de vida da população, por estarem diretamente conectados a fortes impactos na cadeia turística e, conseqüentemente na economia regional: a) a insegurança hídrica e b) os impactos ambientais decorrentes do descarte de efluentes tratados de ETEs em rios e corpos hídricos com vazão e/ou capacidade de renovação reduzida.

Considerando essa realidade que envolve problemas de escassez hídrica por um lado e degradação ambiental por outro, viabilizar a prática de utilização da água para reuso, com fins não potáveis torna-se ainda mais atraente.

Cabe destacar que diferentemente de fontes alternativas que dependem de fatores cada mais imprevisíveis - como é o caso de águas de chuva - o reuso de efluentes a partir de ETEs se consolida a partir de vazões bem



mais constantes, concentradas em pontos estratégicos junto aos centros consumidores, o que pode reduzir as distâncias e despesas com o transporte da água, seja por caminhões pipa, seja por meio de tubulações.

Através do desenvolvimento de um SIG para avaliar a potencialidade do emprego de água de reuso na RH VI gerou-se uma ferramenta capaz de subsidiar ações de política ambiental-urbanística e de saneamento básico para melhoria da segurança hídrica, destacando-se sua pertinência em momento oportuno atual, qual seja, a quarta revisão quinzenal do contrato de concessão da concessionária regional de água e esgoto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura Municipal de Armação dos Búzios (PMAB) e ao Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ) e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio em termos de atividades de pesquisa e na fundamentação de informações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Ministério do Desenvolvimento. Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos 2019: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: <http://snirh.ana.gov.br/>.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Ministério do Desenvolvimento Regional. Atlas Esgotos: despoluição das bacias hidrográficas. Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>.
3. BILA, D. M.; SANTOS, A. S.; OHNUMA JR., A. A. Evaluation of Potential Routes for Wastewater Reuse Management in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. In: IWA International Conference on Water Reclamation and Water Reuse, 11., 2017. Anais [...]. Long Beach, CA: IWA, 2017.
4. Consórcio Intermunicipal Lagos São João (2024)
5. FARIAS A. A. OBRACZKA M. SILVA JR L. C. S. DA OHNUMA A.A. JR DE OLIVEIRA K. e MURICY B. C. Avaliação Quantitativa do Potencial de Reuso Industrial a Partir dos Efluentes de Quatro Estações de Tratamento de Esgoto na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil Revista S&G Volume 16, Número 2, pp. 196-213, 2021. DOI: 10.20985/1980-5160. 2021. v16n2.1727
6. FARIAS, A.A de, 2020. Análise do potencial de reuso de água para fins não potáveis a partir do efluente tratado de Estações de Tratamento de Esgotos na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.
7. Lana, Luiara Castro de, 2023. Desenvolvimento de um protótipo de SIG para aplicação de água de reuso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.
8. OLIVEIRA, M. C. S.; SOUZA, N. F.; RIBEIRO, G. S. B. S.; ROMANO, L. S. E.; NUNES, D. M.; LANA, L. C.; SANTOS, A. S. P.; OBRACZKA, M.; BADOLATO, I. S.; ANTOUN



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



NETTO, S. O.; SILVA, S. M. L.; OLIVEIRA, V. B. Panorama Geral das oportunidades de reuso para fins industriais no Estado do Rio de Janeiro a partir dos efluentes de estações de tratamento de esgotos. 1. ed. Rio de Janeiro: INEA, v. 1. 102p, 2022.

9. Obraczka, M.; Campos, A. M. S.; Silva, D. R. et al. (2017), “Estado da Arte e Perspectivas de Reuso de Efluente de Tratamento Secundário de Esgotos Sanitários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro”, Congresso ABES, FENASAN.

10. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (2014)

11. RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria do Estado do Ambiente e Sustentabilidade. Panorama geral das oportunidades de reuso para fins industriais no Estado do Rio de Janeiro a partir dos efluentes de estações de tratamento de esgotos. Rio de Janeiro: SEAS: UERJ, 2022. 102 p.

12. SANTOS, K. M. S.; OLIVEIRA, M. F. DE; ALBUQUERQUE, T. M. A. Reuso de água como alternativa de gestão de oferta. In: Encontro De Recursos Hídricos, 12., 2019, Sergipe. Água para Todos: Não Deixar Ninguém para Trás. Sergipe: ABRHIDRO, 2019. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=4775>>. Acesso em: 5 de maio de 2023.

13. SANTOS A. S. P., VIEIRA J. M. P. Reuso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), v. 8, n. 1, p. 50-68 –ISSN:2317-563X50, 2020.