



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos

Leonardo Guedes Barbosa

**Avaliação e automatização de método de alocação de trechos de
amostragem para monitoramento ambiental de bacias hidrográficas.**

Rio de Janeiro

2020

Leonardo Guedes Barbosa

Avaliação e automatização de método de alocação de trechos de amostragem para monitoramento ambiental de bacias hidrográficas

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva

Coorientador: Prof. MSc. José Augusto Sapienza Ramos

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

B238

Barbosa, Leonardo Guedes.

Avaliação e automatização de método de alocação de trechos de amostragem para monitoramento ambiental de bacias hidrográficas / Leonardo Guedes Barbosa. – 2020.
54 f.: il.

Orientador: Francisco de Assis Dourado da Silva.

Coorientador: José Augusto Sapienza Ramos.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Bacias hidrográficas – Processamento de dados – Teses. 2. Bacias hidrográficas – Controle de qualidade – Teses. 3. Gestão ambiental – Teses. 4. Python (Linguagem de programação de computador) – Teses. I. Dourado, Francisco. II. Ramos, José Augusto Sapienza. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. IV. Título.

CDU 556.51:004.43

Bibliotecária responsável: Taciane Ferreira da Silva / CRB-7: 6337

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Leonardo Guedes Barbosa

Avaliação e automatização de método de alocação de trechos de amostragem para monitoramento ambiental de bacias hidrográficas

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Aprovada em 03 de dezembro de 2020

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva (Orientador)
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Friedrich Wilhelm Herms
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Prof. Dr. Maurrem Ramon Vieira
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

Rio de Janeiro

2020

DEDICATÓRIA

Dedico este estudo a minha tia, Vera Lúcia Barbosa, *In Memoriam*, por todo o apoio, carinho, incentivo e amor incondicional, pois sem eles este estudo e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfªÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

Agradeço também a minha família e amigos que estiveram comigo durante toda a caminhada. Um agradecimento especial a minha mãe, Ana Karla Guedes Barbosa, ao meu pai, Paulo Cezar Barbosa, minhas irmãs e minha companheira que me auxiliaram e me mantiveram firme até aqui. Sem vocês nada disso seria possível.

Qualidade de vida e água de qualidade andam juntas.

SAMAE ARARANGUÁ

RESUMO

BARBOSA, Leonardo Guedes. *Avaliação e automatização de método de alocação de trechos de amostragem para monitoramento ambiental de bacias hidrográficas*. 2020. 54 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), as redes de monitoramento têm como objetivo desenvolver ações que permitam o aprimoramento e a ampliação do monitoramento da quantidade e qualidade das águas, permitindo que as informações estejam disponíveis para toda população. Atualmente, é um desafio criar redes de amostragem de forma confiável e embasada tecnicamente, deste modo a métodos de alocação dos pontos de amostragem podem servir de diretriz para a criação de redes de monitoramento interligadas, aumentando o reconhecimento de potencialidades e fraquezas, bem como preparando a gestão para eventos extremos de excessos ou escassez. Isto posto, concebe-se como necessário um realinhamento da forma com que esses locais são identificados. Os métodos de alocação de pontos são formas de determinar trechos representativos da realidade da bacia, utilizando dados da rede hidrográfica. Este é o passo inicial no processo de criação de uma rede de monitoramento para quaisquer finalidades. Além disso e considerando que a divisão geopolítica do Brasil não guarda relação com as divisões de bacia, os programas de monitoramento de uma bacia hidrográfica no Brasil enfrentam muitas vezes desafios de diversas esferas públicas, intermunicipais ou até mesmo interestaduais, e, portanto, os programas de monitoramento em apenas uma destas esferas, muitas vezes, não contemplam as bacias hidrográficas de forma mais ampla e representam apenas os interesses do operador da rede, porque, até o momento, a definição dos pontos de amostragem das redes de monitoramento é baseada muitas vezes na percepção e no conhecimento prático dos profissionais que atuam nesta atividade, sem um método técnico bem definido, dificultando a interpretação dos dados como bacia hidrográfica. Então, a proposta deste estudo se baseia em auxiliar a criação de redes de monitoramento em uma bacia hidrográfica com fundamentação mais técnica e adequada aos usos, a fim de que ela seja trabalhada dentro de uma amostragem mais fidedigna às suas características como uma rede hídrica e, também, facilitar o meio para se chegar a esta condição, garantindo a tomada de decisão de forma mais assertiva, baseada em informações de qualidade e coerentes com a área. Esta dissertação tem como objetivos: avaliar por meio da matriz Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças os métodos de alocação de trechos de amostragem utilizados para criação de redes de monitoramento; automatizar o método selecionado utilizando a ferramenta Python; aplicar a ferramenta automatizada em uma área-piloto, a Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha. Vale ressaltar que, o cálculo não automatizado dos métodos disponíveis de alocação de pontos requer uma maior carga horária de técnicos, tornando os resultados mais suscetíveis a erros humanos. Nas condições hídricas na qual se encontra o mundo faz-se necessário a existência de uma ferramenta mais segura, eficaz, prática e democrática para que a gestão das águas se faça em concordância com as determinações do Plano Nacional de Recursos Hídricos: garantindo a quantidade, qualidade para os múltiplos usos, para esta e futuras gerações.

Palavras-chave: Monitoramento. Macrolocação. Python.

ABSTRACT

BARBOSA, Leonardo Guedes. *Evaluation and automation of method of allocating sampling sections for environmental monitoring of watersheds*. 2020. 54 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

According to the National Water Agency (ANA), the monitoring networks aim to develop actions that allow the improvement and expansion of water quality monitoring, allowing information to be available to the entire population. Currently, it is a challenge to create sampling networks in a reliable and technically based way, so the sampling point allocation methods can serve as a guideline for the creation of interconnected monitoring networks, increasing the recognition of potentials and weaknesses, as well as preparing management for extreme events of excess or scarcity. That said, a realignment of the way in which these sites are identified is necessary. Point allocation methods are ways of determining sections representative of the basin's reality, using data from the hydrographic network. This is the initial step in the process of creating a monitoring network for any purpose. In addition, and considering that the geopolitical division of Brazil is not related to the basin divisions, the monitoring programs of a hydrographic basin in Brazil often face challenges from different public, intermunicipal or even interstate spheres, and, therefore, monitoring programs in only one of these spheres often do not cover hydrographic basins more broadly and represent only the interests of the network operator, because, to date, the definition of sampling points for monitoring networks is often based on the perception and practical knowledge of professionals working in this activity, without a well-defined technical method. making it difficult to interpret the data as a watershed. Therefore, the proposal of this work is based on helping to create monitoring networks in a hydrographic basin with a more technical and adequate basis for the uses, so that it is worked within a sample more reliable to its characteristics as a water network, and, also, facilitate the means to reach this condition, guaranteeing a more assertive decision-making, based on quality information and consistent with the area. This dissertation aims to: evaluate, through the Strengths, Opportunities, Weaknesses and Threats matrix, the allocation methods of sampling stretches used to create monitoring networks; automate the selected method using the Python tool; apply the automated tool in a pilot area, the Piabanha River Basin. It is worth mentioning that the non-automated calculation of the available points allocation methods requires a greater workload of technicians, making the results more susceptible to human errors. In the water conditions in which the world is, it is necessary to have a safer, more effective, practical and democratic tool for water management to be carried out in accordance with the provisions of the National Water Resources Plan: guaranteeing the quantity, quality for multiple uses, for this and future generations.

Keywords: Monitoring. Macrolocation. Python.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Exemplo de ordenamento Shreve.....	18
Figura 2 –	Esquema de componentes do PNQA.....	19
Figura 3 –	Regiões da RNQA segundo as metas e a densidade do monitoramento nas regiões hidrográficas.....	21
Figura 4 –	Exemplo alocação de trechos – Método SHARP.....	23
Figura 5 –	Exemplo de ordenamento utilizando método Sanders (2003)	25
Figura 6 –	Exemplo de fluxo de drenagem	33
Figura 7 –	Análise método Sharp	34
Figura 8 –	Análise método Sharp adaptado por SANDERS	35
Figura 9 –	Análise método PNQA	35
Figura 10 –	Fluxo conceitual da ferramenta	38
Figura 11 –	Proposta de Design	42
Figura 12 –	Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro	44
Figura 13 –	Área de Atuação do Comitê Piabanha	45
Figura 14 –	Espacialização e coordenadas dos pontos monitorados	46
Figura 15 –	Comparativo Pontos monitorados e pontos Sharp	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
API	<i>Application Program Interface</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
RNQA	Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO.....	11
1	OBJETIVOS	13
1.1	Objetivos específicos.....	13
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1	Monitoramento Quali-quantitativo de Recursos Hídricos.....	14
2.2	Redes de monitoramento	15
2.3	Pontos de amostragem	16
2.4	Localização de Pontos de Amostragem	17
2.5	Hierarquização de bacias - Método Shreve	17
2.6	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA	18
2.7	Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água – RNQA	20
2.8	Método Sharp	21
2.9	Método Sharp adaptado por SANDERS	24
2.10	Método PNQA	25
3	MATERIAIS.....	28
3.1	Linguagem Python.....	28
3.2	Análise FOFA	30
3.3	Bases para a automatização do método	30
3.4	Hydroflow	31
3.5	Arquivos Shapefile (.shp)	31
3.6	Topologia e a direção de fluxos de um rio	32
4	RESULTADOS	34
4.1	Análise dos Métodos.....	34
4.2	O fluxo conceitual da ferramenta proposta	36
4.3	Produção do script – Método Sharp (1971)	37
4.4	Otimização do processamento do Script	42
4.5	Benefícios da Ferramenta	43
4.6	Aplicação na área-piloto - Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha.....	43
	CONCLUSÕES.....	50
	REFERÊNCIAS	52

INTRODUÇÃO

O estabelecimento de uma rede de monitoramento hídrico quali-quantitativo, é fundamental para garantir o equilíbrio entre o necessário para o desenvolvimento econômico e demográfico, e a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade que contemplem os diversos usos da água. Segundo o panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2012), essas redes têm como objetivo principal desenvolver ações que permitam o aprimoramento e a ampliação do monitoramento da qualidade das águas permitindo ainda acesso livre as informações geradas a toda a sociedade.

O monitoramento das águas é fator primordial para a adequada gestão dos recursos hídricos, permitindo a caracterização e a análise de tendências em bacias hidrográficas, sendo essencial para várias atividades de gestão.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2012) definiu monitoramento como sendo um conjunto de informações físicas, químicas ou biológicas do ecossistema em estudo que visam atender a um ou mais objetivos. Pode também ser considerado como um sistema contínuo e mais complexo, como os que são realizados em bacias hidrográficas, com pontos de observações, medições e avaliações com múltiplas finalidades.

A alocação de pontos é o passo inicial no processo de criação de rede de monitoramento, seja ela para qualquer finalidade, os processos de automatização destes métodos vem a torná-la mais ágil a realização dos procedimentos.

O emprego de metodologias específicas para alocar pontos de amostragem, auxilia na determinação dos trechos mais adequados a instalação destes pontos e assim subsidia a implantação de redes de monitoramento de forma mais representativa e imparcial.

Isso porque atualmente a criação de redes de monitoramento seguem muitas vezes, a alocação de trechos e pontos com base no conhecimento do operador da rede, e desempenham objetivos variados, enfraquecendo assim a leitura tendencial e representativa da bacia.

Sendo assim, o presente estudo justifica-se com base no anseio de ampliação do conhecimento referente aos recursos hídricos, e propõe uma análise e automatização do processo de alocação de pontos de amostragem. Esse tipo de ferramenta foi idealizado por Sharp (1971), e serviu de base para os modelos propostos Sanders (2003) e pelo Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas – PNQA (2009).

Os modelos a serem analisados nesse estudo são empregados na auxiliar na determinação dos pontos de impacto, estes são utilizados para avaliar as alterações em condições naturais. Existem também os pontos de referência e os pontos estratégicos - estes tais serão abordados no decorrer deste estudo - que são determinados pelo método de julgamento, ou seja, baseados no conhecimento do planejador sobre a área.

Frente ao sistema de gestão de recursos hídricos a razão de se criar essa ferramenta é apresentá-la como um mecanismo de apoio na criação de redes de monitoramento que auxiliem realmente a tomada de decisão frente aos demais instrumentos de gestão previstos em lei.

1. OBJETIVOS

O presente estudo visa avaliar métodos de macrolocação de trechos de amostragem e automatizar um destes métodos para monitoramento ambiental em bacias hidrográficas.

1.1. Objetivos específicos

- a) Avaliar por meio da matriz FOFA (Forças, Oportunidades, Fraquezas e Ameaças) os métodos de alocação de trechos de amostragem utilizados para criação de redes de monitoramento;
- b) Automatizar o método selecionado utilizando a ferramenta Python;
- c) Aplicar a ferramenta automatizada em uma área-piloto, a Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O monitoramento hídrico quali-quantitativo é essencial para uma gestão eficaz dos recursos hídricos, isso porque ele se faz primordial na avaliação e planejamento das atividades de gestão, tais como: estabelecer diretrizes outorga, cobrança e enquadramento dos cursos de água, além de fornecer subsídios para tomada de decisões em caso de conflitos.

Com suas limitações de recursos os estados brasileiros têm utilizado diversas abordagens de implementação de seus programas de monitoramento da qualidade das águas. Atualmente a principal fonte de informação sobre esse assunto é proveniente dos órgãos gestores de recursos hídricos e dos órgãos gestores de meio ambiente estaduais, tendo o governo federal como consolidador dessas informações através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH.

Por este fator que muitas vezes a definição do desenho das redes estaduais de monitoramento, de uma forma geral, é baseada no conhecimento e percepção dos técnicos que atuam na área. Outro fator muito importante a ser considerado é a divisão geopolítica do Brasil que não corresponde a relação da divisão das bacias hidrográficas, se tornando assim um desafio a aplicação da bacia como unidade territorial (conforme definido pela Lei Federal nº 9.433/97) de planejamento interestadual, visto que, muitas vezes os programas estaduais não contemplam as bacias hidrográficas em sua totalidade.

Em linhas gerais, podemos identificar a falta de procedimentos padronizados de coleta e análise das informações geradas no monitoramento, bem como, a falta de métodos de alocação de trechos padronizados como sendo obstáculos para representar a bacia hidrográfica de forma adequada.

2.1. Monitoramento Quali-quantitativo de Recursos Hídricos

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2012) entende o monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídrico como sendo uma ação ou um conjunto de ações que visam compreender a dinâmica das águas e exibir a condição atual de quantidade e qualidade deste recurso, podendo variar conforme o objetivo de cada rede de monitoramento.

A execução de projetos de monitoramento hídrico tem como base o que determina a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9433/97) que tem como um de seus objetivos garantir o acesso a água em qualidade e quantidade para toda a sociedade, além disso, como ressalta Finotti *et al.* (2009), vai de encontro ao previsto na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei Federal nº 6938/81) que destaca a necessidade deste tipo de monitoramento, que pode vir a servir a várias finalidades. Dessa forma, antes da definição da rede de monitoramento é preciso ter clareza dos objetivos deste monitoramento, para que se execute o melhor projeto, com menores custos dentro da realidade proposta.

Com a finalidade de interpretar o processo dinâmico de uma bacia hidrográfica, uma rede de monitoramento de qualidade da água quando bem projetada permite identificar problemas de qualidade da água e também estabelecer valores de referência para as análises de tendência de curto e longo prazo. (KARAMOUZ, M., SZIDAROVSKY, F., & ZAHRAIE, B., 2003). Magalhães (2000), afirma que o sucesso de um sistema de gestão das águas está intimamente ligado a um adequado monitoramento, já que permite a obtenção do arcabouço de informações necessárias, permite também um acompanhamento das medidas efetivadas, a atualização da base de dados e fornece um melhor direcionamento as decisões.

A localização de pontos de amostragem segundo Sanders *et al.* (2003), é um o fator crítico nos projetos de redes de monitoramento, uma vez que se as amostras coletadas não forem representativas os demais fatores como: a frequência de amostragem, o modo de interpretação dos dados e a apresentação tornam-se irrelevantes. Cada ponto definido deve representar adequadamente a finalidade do monitoramento naquela região. Em geral, a representatividade da informação obtida com a rede de monitoramento está relacionada com os aspectos e com o espaço temporal do fenômeno observado. Contudo, não se pode localizar ainda um mecanismo capaz de medir de forma clara e eficaz a representatividade da informação obtida, porém o responsável pelo projeto pode tomar certas precauções para que o resultado obtido se torne uma descrição fidedigna da realidade, ou seja, do comportamento do fenômeno observado (SOARES, 2001).

2.2. Redes de Monitoramento

Para a criação e implantação de redes de monitoramento efetivas deve-se ter uma definição precisa do objetivo do monitoramento, deve-se escolher os tipos de pontos

respeitando sempre as definições, bem como deve-se determinar a localização dos trechos com base em métodos confiáveis (ANA, 2013).

Somando estas considerações se prevê que a rede de monitoramento vá atender plenamente a finalidade do monitoramento e a localização dos pontos em seus diversos tipos, estes representarão a bacia hidrográfica como um todo através do conhecimento de determinados trechos da mesma.

A localização dos trechos em bacias hidrográficas, deve representar a melhor relação entre o objetivo do monitoramento e o custo benefício da realização do mesmo, buscando sempre a conformidade entre trechos de amostragem e a representatividade da bacia.

2.3. Pontos de amostragem

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2009) para atender aos objetivos específicos de um monitoramento é necessário alocar três tipos de pontos: pontos de referência, pontos de impacto e pontos estratégicos sendo que cada um deles apresenta objetivos distintos.

a) Pontos de Referência

Tem como objetivo:

- Ser referencial quanto ao estado “natural” do corpo d’água e estabelecer parâmetros característicos em para avaliação do efeito das atividades na bacia;

b) Pontos de Impacto

Tem como objetivos:

- Monitorar desconformidades em relação ao enquadramento;
- Monitorar as alterações nas condições “naturais” e possíveis causas;
- Monitorar o impacto das ações de gestão e despoluição;
- Apontar novas ações necessárias ao controle da poluição;

Os pontos de impacto representam a maioria dos pontos da rede. E podem ser determinados com métodos de alocação de pontos.

c) Pontos Estratégicos

Tem como objetivos:

- Monitorar as cargas poluentes em pontos de entrega nos rios em que ocorre mudança de dominialidade;
- Monitorar as cargas poluentes em pontos nos rios localizados nos exutórios dos principais afluentes de rios federais;
- Monitorar as cargas nos rios em locais próximos a grandes projetos de captação (transposição, irrigação, etc).

2.4. Localização de Pontos de Amostragem

A seleção de pontos de amostragem é uma das etapas mais importantes no projeto de criação de redes de monitoramento. Pontos bem localizados elevam a representatividade do monitoramento do corpo hídrico.

É importante ressaltar que os fatores que podem afetar a localização de uma estação de monitoramento da qualidade da água são diferentes para os recursos hídricos subterrâneos e superficiais (KARAMOUZ, M., SZIDAROVSKY, F., & ZAHRAIE, B., 2003). O presente estudo faz referência ao monitoramento dos recursos hídricos superficiais.

Na determinação da rede de monitoramento de cursos hídricos superficiais os objetivos da rede influenciam diretamente na localização dos pontos de amostragem. Sanders *et al.* (2003), definiu três níveis de critérios de projeto para a localização dos pontos de amostragem:

- a) Macrolocalização- seleção dos trechos do rio que serão amostrados;
- b) Microlocalização - seleção da localização do ponto dentro do trecho apontado no nível I;
- c) Localização representativa – trata-se dos pontos que são estratégicos para os objetivos da rede de monitoramento.

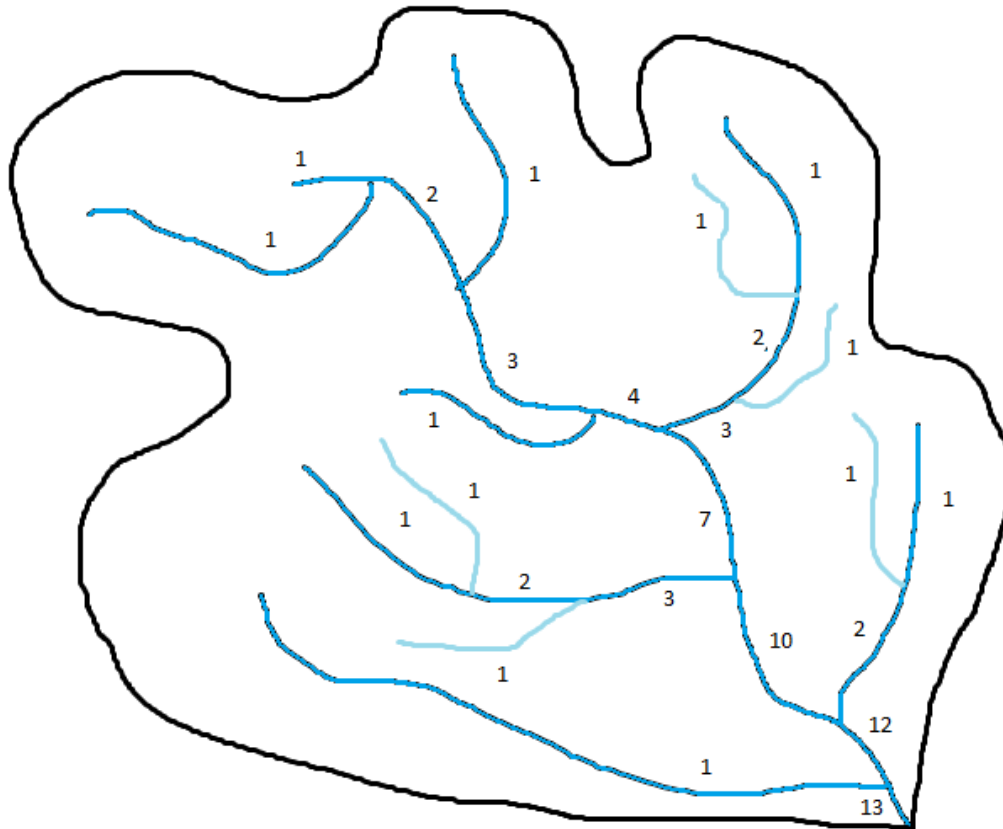
2.5. Hierarquização de bacias - Método Shreve

O primeiro passo para alocar trechos de amostragem em uma bacia hidrográfica é levar em conta sua magnitude. Shreve (1966) propôs um método para a determinação da magnitude baseado seguinte pressuposto : “Quando quaisquer dois elementos internos ou externos se

juntam, possuindo magnitudes M1 e M2, o elemento interno resultante terá ordem de magnitude $(M1 + M2)$ ” (PARÁ, 2011). O procedimento de adição das magnitudes deve ser realizado até que se chegue ao exutório da bacia hidrográfica.

A figura 01 exemplifica o procedimento de ordenamento conforme metodologia proposta por Shreve (1966):

Figura 1 - Exemplo de ordenamento Shreve



Fonte: Autor, 2020.

2.6. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas - PNQA

O Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA) foi criado em 2008, com a finalidade de gerar informações a sociedade quanto a qualidade das águas superficiais brasileiras e também subsidiar a tomada de decisão e auxiliar a definição de políticas públicas voltadas a gestão sustentável dos recursos hídricos (ANA, 2009).

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2009), os objetivos da PNQA são: eliminar as lacunas geográficas e temporais no monitoramento de qualidade de

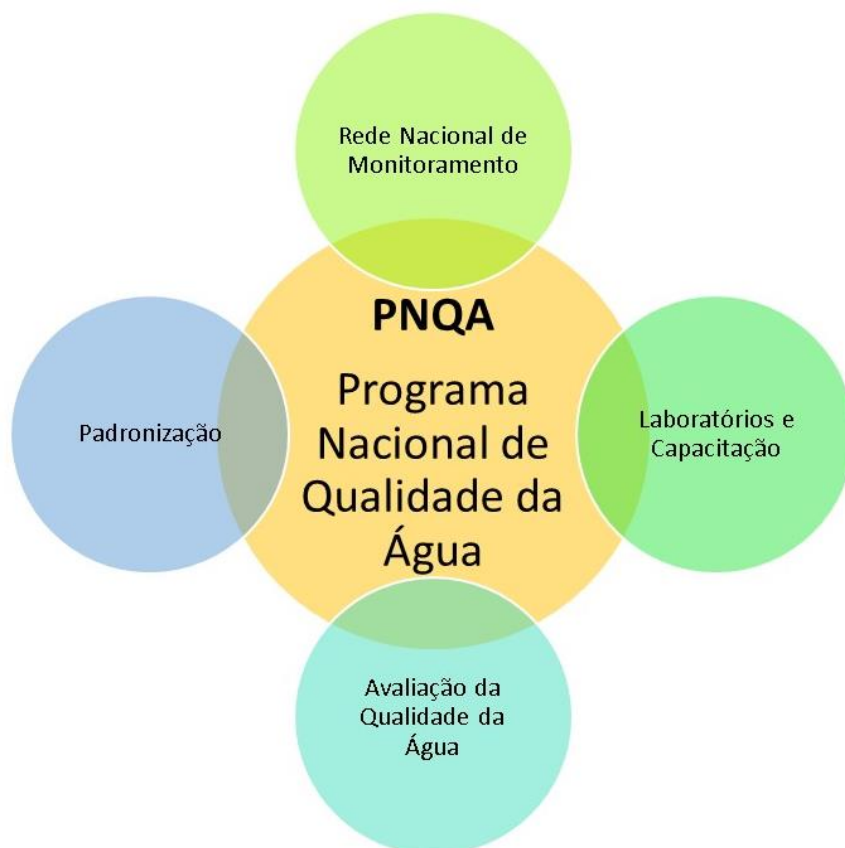
água; tornar as informações de qualidade de água comparáveis em âmbito nacional; aumentar a confiabilidade das informações de qualidade de água; avaliar, divulgar e disponibilizar à sociedade as informações de qualidade de água.

No âmbito do PNQA os procedimentos de alocação dos pontos de amostragem são uma forma de padronização e aumento da confiabilidade dos dados. Com base nisso o programa sugere algumas metodologias para determinação dos pontos de amostragem, são elas: o método Sharp (1971), Sharp modificado por Sanders (2003) e/ou o uso do método PNQA proposto por Vieira *et al.* (2014). Tais métodos serão abordados de forma mais detalhada nos itens 2.8, 2.9 e 2.10.

Conforme definido no PNQA a ANA coordena o programa e executa as atividades em escala nacional, podem aderir ao programa os órgãos estaduais de meio ambiente e de gestão de recursos hídricos para atuarem como executores das atividades regionais; universidades e instituições de pesquisa; e demais entidades interessadas.

O funcionamento do PNQA segue a formatação em componentes conforme a figura 2.

Figura 2 - Esquema de componentes do PNQA



Fonte: Autor, 2020.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2009) estes componentes tem as seguintes estratégias de atuação:

Componente A: Rede Nacional de Monitoramento

- Implementar, ampliar e otimizar a distribuição geográfica da rede de monitoramento da qualidade de água;
- Tornar adequadas as frequências de monitoramento;
- Garantir a sustentabilidade financeira do sistema de monitoramento.

Componente B: Padronização

- Acordar parâmetros mínimos de qualidade de água a serem monitorados por todas as Unidades da Federação;
- Padronizar, entre as Unidades da Federação, os procedimentos de coleta, preservação e análise das amostras de qualidade de água.

Componente C: Laboratórios e Capacitação

- Ampliar o controle de qualidade dos laboratórios envolvidos em análises de qualidade de água;
- Capacitar pessoas envolvidas com o monitoramento e análise de qualidade de águas.

Componente D: Avaliação da Qualidade da Água

- Criar e manter um banco de dados nacional e um portal na internet para divulgação das informações de qualidade de água;
- Avaliar sistematicamente a qualidade das águas superficiais brasileiras.

2.7. Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade da Água – RNQA

A Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais – RNQA foi criada através da Resolução ANA nº 903/2013 para fortalecer o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas e para auxiliar no alcance de seus objetivos. O artigo 1º desta mesma resolução destaca as finalidades desta rede nacional:

- I - analisar a tendência de evolução da qualidade das águas superficiais;*
- II - avaliar se a qualidade atual das águas atende os usos estabelecidos pelo enquadramento dos corpos d'água superficiais;*
- III - identificar áreas críticas com relação à poluição hídrica;*
- IV - aferir a efetividade da gestão sobre as ações de recuperação da qualidade das águas superficiais; e*
- V - apoiar as ações de planejamento, outorga, licenciamento e fiscalização.*

A RNQA é está sob coordenação da ANA e opera em parceria com as Unidades da Federação e com finalidade de formar uma rede integrada. Além disso a mesma traz critérios pré-definidos e padronizados, de forma a eliminar as lacunas geográficas e temporais do monitoramento de qualidade das águas superficiais no país por meio da harmonização e padronização de densidade e frequência mínimas de monitoramento qualitativo.

Para formulação desta rede integrada, foram estabelecidas metas regionalizadas que se referem à densidade mínima de pontos por km², à frequência mínima de amostragem dos

parâmetros por ponto de monitoramento, e aos parâmetros mínimos analisados por ponto e também em função das características hídricas e de qualidade da água das diferentes regiões do País. Por este fato que no Brasil a metodologia de monitoramento foi subdividida em regiões, obedecendo os critérios mínimos de densidade de pontos por km², conforme figura 3.

Figura 3 - Regiões da RNQA segundo as metas e a densidade do monitoramento nas regiões hidrográficas.



Fonte: ANA, 2012.

Com relação à frequência de monitoramento, a meta da RNQA estabelece que, no mínimo, sejam realizadas coletas semestrais na região 1 e trimestrais no restante do País.

2.8. Método Sharp

O método Sharp (SHARP, 1971) é um modelo de determinação de trechos de amostragem conhecido como método Sharp para a alocação de pontos que utiliza como base os tributários da bacia e o centro de massa. Ou seja, se parte de uma avaliação dos tributários e da

determinação da magnitude da bacia para definir o centro de massa. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2009), defini o centro de massa como sendo:

"O elemento que divide a rede de drenagem aproximadamente ao meio, no que diz respeito ao número de contribuintes, é chamado de centro de massa, de gravidade, baricentro, ou centroide da rede de drenagem."

O método Sharp propõe uma sistemática que determina a localização dos pontos de amostragem em uma bacia baseado no número de tributários, tal informação é determinada através do ordenamento Shreve.

A magnitude do centro de massa da rede drenagem, MC, pode ser calculada segundo a Equação (SHARP, 1971):

$$Mc = \left(\frac{M_0 + 1}{2} \right) \quad (1)$$

Onde:

Mc: Centro de Massa

M₀: Magnitude do Exutório

Para cada uma destas partes, de jusante e de montante em relação do primeiro centro de massa, pode ser aplicada o mesmo procedimento encontrando o segundo centro de massa e assim sucessivamente até que se chegue aos contribuintes externos de ordem um, cobrindo-se assim toda a rede de drenagem.

Segundo o Vieira *et al.* (2014):

Para a determinação dos segundos centros de massa do devem-se aplicar a seguinte expressão:

$$M_{C2m} = \left[\frac{M_C}{2} \right]_{(trecho\ de\ montante)} \quad (2)$$

$$M_{C2j} = M_C + M_{C2m} \quad (trecho\ de\ jusante) \quad (3)$$

Para a determinação dos demais centros de massa aplicamos a mesma expressão, que pode ser generalizada da seguinte forma:

$$M_{CNm} = \left[\frac{M_{N(m-1)}}{2} \right]_{(trecho\ de\ montante)} \quad (4)$$

$$M_{CNj} = M_{CN(m-1)} + M_{CNm} \quad (trecho\ de\ jusante) \quad (5)$$

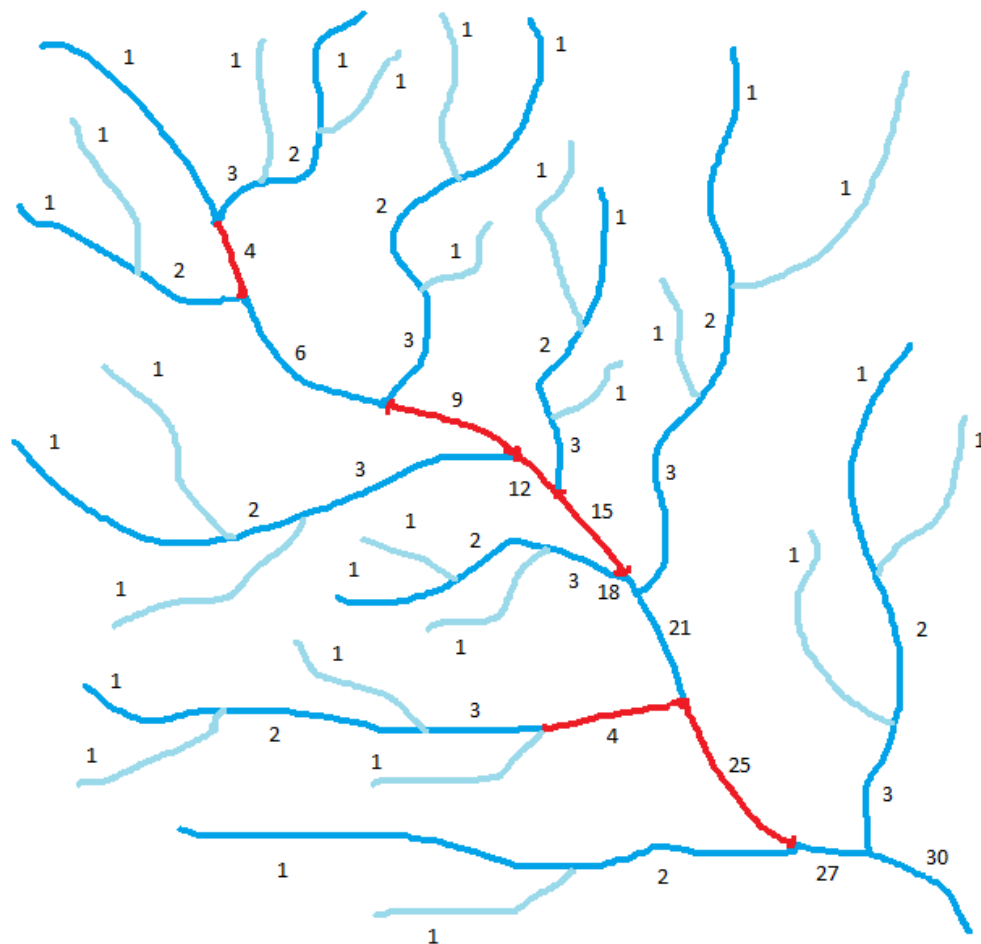
O trecho do rio designado pela primeira divisão, primeiro centro de massa, da rede de drenagem recebe a classificação de primeiro nível hierárquico. A divisão da rede de drenagem em quartos define o segundo nível hierárquico, e assim por diante.

É importante notar que o elemento M_i , cuja magnitude será especificada em cada hierarquia, pode não existir, daí a necessidade da escolha do elemento de magnitude mais próxima.

Para encontrar o tributário em que se encontra a fonte de poluição, Sharp propôs que as amostras fossem tomadas segundo o nível hierárquico, iniciando-se pela amostragem no primeiro nível hierárquico, até que a fonte de poluente seja encontrada.

Aplicando o método ao exemplo de ordenamento presente na Figura 01, até a localização dos trechos no terceiro nível hierárquico encontramos os trechos em vermelho na Figura 04.

Figura 4 - Exemplo alocação de trechos – Método SHARP



Fonte: Autor, 2020.

2.9. Método Sharp adaptado por SANDERS

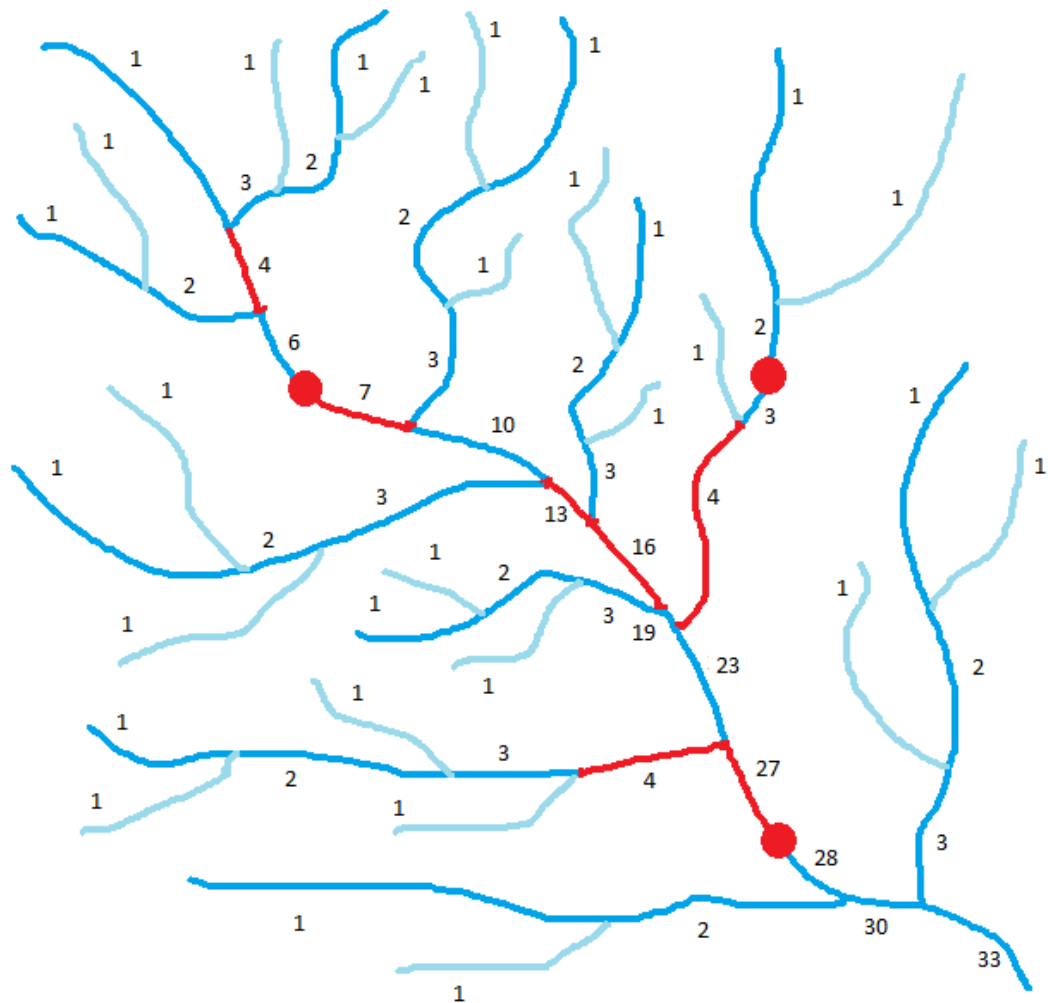
O método Sharp adaptado por Sanders (SANDERS, 2003) propõe uma modificação no procedimento de Sharp, utiliza as mesmas premissas anteriormente determinadas porém considera fontes pontuais de poluição como contribuintes.

Este método utiliza o procedimento do método Sharp (1971) para a localização de estações, contudo considerando cada descarga individual de poluente identificada na rede de drenagem como sendo um elemento externo de ordem um, e aplica o ordenamento Shreve (1966) conforme a Figura 4. Com esta modificação e utilizando-se as equações do método Sharp (1971), os centros de massa da rede de drenagem são deslocados em direção aos trechos cuja bacia contribuinte tem o maior número de descargas pontuais.

Esta metodologia é bastante utilizada para fins de determinação de pontos de amostragem, contudo apresenta a limitação tratar todas as descargas pontuais da mesma forma, independente da carga poluente lançada.

O método Sanders (2003) aplica a mesma fórmula determinada no método original (Equação 1 a 5), aplicando a nova magnitude encontrada levando em conta os pontos de lançamento. Aplicando o método no exemplo da figura 01, encontramos o resultado na Figura 05, onde os trechos em vermelho são os resultados até o terceiro nível hierárquico.

Figura 5 - Exemplo de ordenamento utilizando método Sanders (2003)



Fonte: Autor, 2020.

2.10. Método PNQA

O método PNQA, proposto por Vieira *et al.* (2014), utiliza o mesmo princípio matemático do método de Sharp (1971) e Sanders (2003) considerando a magnitude da bacia, bem como a vazão do exutório da bacia. Ele utiliza a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de recorrência) ou Q_{95} (vazões são maiores ou iguais a ela durante 95% do tempo) e a divide-a pela magnitude da bacia onde encontramos ao final a vazão de cada curso de ordem um (ANA, 2009).

Neste método é possível também a marcação dos pontos de descarga pontual e adicionar a vazão necessária para diluição, com isso é possível encontrar uma nova vazão do exutório, utilizar o cálculo determinado por Sharp (1971) e encontrar os trechos de amostragem.

Esta proposta de metodologia é baseada nas fórmulas apresentadas por Sharp (1971) e necessita do conhecimento da hidrologia da rede de drenagem, especialmente da curva de permanência de vazões, assim como das atividades antrópicas desenvolvidas na bacia ou região hidrográfica.

Preliminarmente deve-se identificar a magnitude do exutório, conforme a determinação do ordenamento Shreve (1966), ou seja, o número de elementos externos, e determinada a disponibilidade hídrica – D, através da $Q_{7,10}$ ou Q_{95} no exutório da bacia.

Encontrada a magnitude do exutório e os dados de disponibilidade hídrica determina-se uma contribuição de vazão associada a cada elemento de ordem 1, podemos encontra-la através da fórmula:

$$O(M_1) = \left(\frac{D}{M_0} \right) \quad (6)$$

Onde:

$O(M_1)$: Magnitude elemento de ordem 1;

D: Disponibilidade hídrica no exutório;

M_0 : Magnitude do Exutório

Nesta metodologia considera-se os pontos de lançamento na bacia, tais como, sedes municipais e outros pelos quais se consegue determinar a vazão necessária para diluição da matéria orgânica (DBO_5) não tratada, levando em conta o limite da classe na qual o trecho de rio está enquadrado.

No caso das vazões de diluição das sedes municipais sugere-se que seja utiliza as informações geradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de população dos municípios associadas à produção per capita de carga de DBO_5 estimada na ABNT NBR N° 7229.

Neste método é feita uma estimativa considerando toda a população concentrada nos municípios e/ou distritos, ou seja, a carga gerada por parte de esgotos não tratados nestas localidades que drenam para o curso hídrico mais próximo. Neste tipo de metodologia não é considerada a capacidade de autodepuração da matéria orgânica.

Similar a metodologia de Sharp e Sanders, quando quaisquer dois elementos internos ou externos se juntam, possuindo uma ordem $O(M_1)$ e $O(M_2)$, o elemento interno resultante terá uma ordem igual a:

$$(O(M_1) + O(M_2)) \quad (7)$$

Segundo o Vieira *et al.* (2014):

A ordem – O_0 – do exutório é equivalente à soma da disponibilidade hídrica da bacia ou região hidrográfica com o somatório das demandas municipais para diluição dos efluentes (DBO5) não tratados.

A “ordem” do primeiro centro de massa é obtida pela expressão análoga à de Sanders:

$$O_C = \left(\frac{O_0 + 1}{2} \right) \quad (8)$$

No trecho de rio com esta ordem, ou com ordem de valor próximo a este, teoricamente passa metade da vazão ponderada pela carga orgânica não tratada.

A ordem dos segundos centros de massa é calculada a partir da ordem do primeiro centro de massa aplicando-se as seguintes expressões:

$$O_{C2m} = \left[\frac{O_C}{2} \right] \text{ (trecho de montante)} \quad (9)$$

$$O_{C2j} = O_C + O_{C2m} \text{ (trecho de jusante)} \quad (10)$$

Para a determinação da ordem dos demais centros de massa aplicamos as mesmas expressões, que podem ser generalizadas da seguinte forma:

$$O_{CNm} = \left[\frac{O_{N(m-1)}}{2} \right] \text{ (trecho de montante)} \quad (11)$$

$$O_{CNj} = O_{CN(m-1)} + O_{CNm} \text{ (trecho de jusante)} \quad (12)$$

Em cada centro de massa é definido um ponto de monitoramento. Nesta etapa é conveniente que se tenha ideia dos acessos disponíveis (estradas, pontes) para definição precisa do ponto de monitoramento.

Neste método os trechos são determinados com base na distribuição das vazões e considerando as vazões de diluição os trechos de amostragem são direcionados para a proximo aos pontos de lançamento.

3. MATERIAIS

O presente estudo tem natureza aplicada, com objetivo exploratório e abordagem dos dados qualitativa. Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, foi necessário inicialmente a realização de um levantamento quando aos métodos aplicados para a definição de trechos de amostragem para monitoramento de recursos hídricos superficiais. Sendo assim o referencial teórico tomou como base principalmente os estudos de autores como Sharp (1971), Sherve (1945) - avalia o ordenamento dos cursos d'água, determinando níveis hierárquicos - e também adaptações do modelo criado por Sharp (1971), como o realizado por Sanders e PNQA.

Em um segundo momento foram traçados os métodos usuais e os passíveis de automatização por linguagem de programação Python ou similar. Sendo elencados os seguintes métodos:

- a) Método Sharp;
- b) Método Sharp adaptado por Sanders;
- c) Método PNQA.

A escolha do melhor método a ser automatizado partiu de uma análise com auxílio da matriz FOFA e análise do fluxo conceitual da ferramenta.

A partir desta escolha a plataforma do QGIS serviu de base para abrigar a ferramenta, visto que se trata de programa livre e de uso consolidado dentre os técnicos da área. Para tal o programa possui API (Application Program Interface) com linguagem Python, permitindo assim a montagem da lógica e script de programação para automatização.

Conforme os métodos elencados e passíveis de automatização foi definido a realização da automatização do método Sharp pois ele é a base para a realização dos demais métodos.

3.1. Linguagem Python

O Python é uma linguagem criada por Guido van Rossum em 1991 e tem como foco os seguintes objetivos (PyScience-Brasil, 2019):

- baixo uso de caracteres especiais, o que torna a linguagem muito parecida com pseudo-código executável;
- o uso de indentação para marcar blocos;

- quase nenhum uso de palavras-chave voltadas à compilação;
- coletor de lixo para gerenciar automaticamente o uso da memória;
- dentre outros.

A linguagem Python pode ser utilizada para produção de diversos programas, dos mais simples aos mais complexos, devido a linguagem utilizar técnicas de orientação à objetos, com isso garantindo segurança e muitas vezes o reaproveitamento de código, premissas primordiais no desenvolvimento de qualquer aplicação moderna.

A linguagem também possui inúmeras capacidades de meta-programação: técnicas simples para alterar o comportamento da linguagem, permitindo a criação de linguagens de domínio específico.

Python tem uma biblioteca pública de scripts muito grande, oferecendo uma ampla gama de recursos, desde acesso a bancos de dados a interfaces gráficas com o usuário e também existem muitas ferramentas para lidar com dados científicos.

Uma de suas principais características é que a linguagem Python é livre e multiplataforma, isso significa que os programas escritos em uma plataforma serão, no geral, interoperáveis à maioria das plataformas existentes. Nesse sentido a linguagem torna-se um tanto quanto mais direta e ordenada sendo ideal para aplicações científicas.

A primeira razão para tal, e provavelmente a principal, é que a linguagem Python é clara e simples, onde é fácil criar algoritmos de vários níveis e assim converter o raciocínio em um algoritmo. Um ponto diferencial da linguagem é que tarefas de alocação de memória, gerenciamento de recursos, por exemplo, muitas vezes são feitas automaticamente de maneira muito eficiente, permitindo ao pesquisador se concentrar exclusivamente com o problema que esta sendo estudado.

Neste estudo a escolha da linguagem Python se deu por conta de sua vasta aplicabilidade e também por conta da linguagem ser compatível com o QGIS, que por sua vasta usabilidade e se tratar de um programa livre o QGIS foi escolhido a plataforma onde o plugin aqui proposto será operado. Além disso, o QGIS tem API (Interface de Programação de Aplicativos) para Python e assim permitindo agregar as funcionalidades do QGIS para entrada/saída de dados, processamentos e visualizações.

3.2. Análise FOFA

Para avaliação dos métodos de alocação de trechos de amostragem foi utilizado a matriz FOFA. Segundo Sebrae (2019) esta matriz elenca as forças, oportunidades, fraquezas e ameaças no para aplicação de projetos futuros.

Para construção das matrizes de foram utilizados os seguintes conceitos norteadores:

- a) **Forças:** Visa elencar os pontos positivos, focado em vantagens frente a outras opções;
- b) **Oportunidades:** Visa apontar pontos pelos quais o metodo pode se destacar frente a outras opções.
- c) **Fraquezas:** Visa elencar os pontos negativos, focado em conhecer as desvantagens frente a outras opções;
- d) **Ameaças:** Visa elencar pontos que podem comprometer o uso do método.

A análise FOFA é muito utilizada para a identificação das melhores estratégias, voltadas a captar percepções do macroambiente, auxiliando também no direcionamento do tomador de decisões no que tange às diretrizes e métodos a serem seguidos (CEFET JR, 2019).

Considerando o exposto, a análise FOFA deve ser desenvolvida para cada produto, serviço ou método. Temos que estudar os fatores internos e externos, bem como características para desenvolver seus objetivos e até melhores estratégias de uso, bem como cenários mais aplicáveis.

No presente estudo foi utilizada a análise FOFA para a avaliação das realidades onde melhor é aplicado cada método.

3.3 Bases para a automatização do método

Para a automatização do método foram avaliadas a executabilidade de cada um dos métodos acima propostos em ambiente GIS na linguagem Python. Além disso, foi estabelecido também um escopo para execução da ferramenta:

- a) Ferramenta de linguagem fácil e prática;
- b) Possibilidade de democratizar o acesso a informações;

- c) Facilidade de aplicação do preconizado no PNQA;
- d) Tornar mais representativa a escolha dos pontos de amostragem em redes de monitoramento;
- e) Auxiliar no fortalecimento dos instrumentos de gestão de recursos hídricos.

3.4 Hydroflow

O Hydroflow é um programa livre de ordenamento de bacias hidrográficas, que determina automaticamente os fluxos e hierarquiza as bacias hidrográficas, bem como determina a direção fluxos e analisa a topologia desde que a bacia respeite alguns critérios técnicos do programa. Este programa é disponibilizado de forma gratuita no site do Núcleo de Geotecnologias da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

O ordenamento trabalhado neste programa é baseado nos Métodos Horton-Strahler (ou apenas Strahler) e Shreve. Para seu funcionamento adequado temos como entrada a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica em linhas, e um exutório para cada bacia não interconectada. No caso do exutório há possibilidade de informa-lo de duas formas: (a) diretamente por um ponto vetorial; ou (b) indiretamente fornecendo o limite de cada bacia hidrográfica disjunta, uma vez que o exutório pode ser determinado pelo ponto onde a drenagem toca o respectivo limite da bacia (LABGIS UERJ, 2020).

No presente estudo o ordenamento dos trechos de drenagem é baseado no Método Shreve, sendo assim o primeiro passo para a automatização da ferramenta foi a comunicação com o Hydroflow para ordenamento dos trechos. Vale destacar também que o programa Hydroflow realiza com grande facilidade a leitura de arquivos no formato ShapeFile.

3.5 Arquivos Shapefile (.shp)

O Shapefile é um arquivo digital que representa uma forma, feição ou elemento gráfico, (um polígono, ponto ou linha) que contém uma referência espacial (coordenadas geográficas) de qualquer que seja o elemento (SEMACE, 2011). Além de representar geometrias o Shapefile relaciona atributos dessas formas e feições, de forma a relacionar características da mesma.

Vale resaltar que o Shapefile é um formato com acesso aberto porém, seu proprietário é a ESRI (ESRI, 1998).

A Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (2011) define Shapefile como sendo “um conjunto de vários arquivos”, onde “três arquivos individuais são obrigatórios para armazenar os dados do núcleo que compreende um shapefile.”. Estes arquivos são “.shp”, o arquivo “.shx” e o arquivo “.dbf”.

Segundo a Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (2011):

Os arquivos do formato shape (.shp) tiveram origem, desenvolvimento e regulamentação feitos pela ESRI (Environmental Systems Research Institute) e foram introduzidos com o ArcView GIS (versão 2) no início da década de 1990, porém, com especificação livre para a interoperabilidade de dados entre ele e outros softwares. Atualmente existe a possibilidade de leitura e escrita de arquivos do formato shapefile usando uma variedade de programas livres e não livres, dentre os mais conhecidos podemos destacar o AutoCAD MAP, GPS TrackMaker, SPRING, GVSIG, dentre outros.

Nesse estudo, para a realização da automatização, os arquivos Shapefile são os formatos de entrada de dados, para hidrografia e limite da bacia ou ponto do exutório.

Vale destacar que não só a existência do arquivo Shapefile é suficiente para a plena execução do modelo automatizado, a escala da base de dados é de extrema importância, pois ela vai estar diretamente ligada ao detalhamento do dado.

3.6 Topologia e a direção de fluxos de um rio

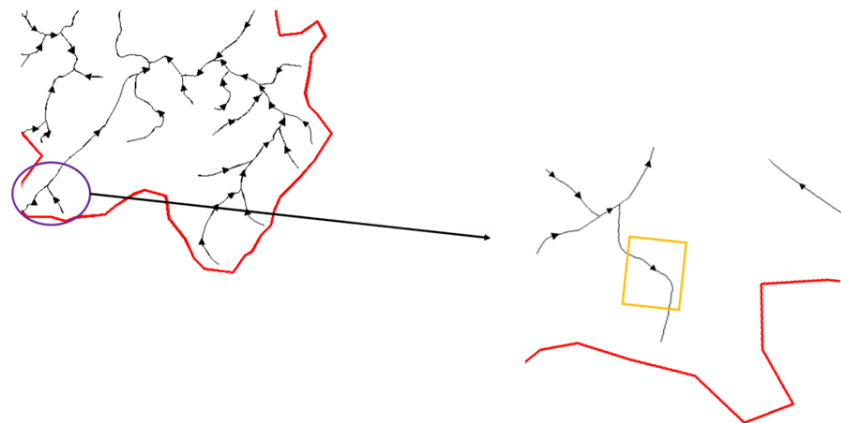
Os dados topológicos gerenciam relações espaciais representando objetos em um espaço (pontos, linhas e polígonos), bem como, relações topológicas - nós, faces e arestas (GREENLEE, 1987). Por isso a topologia é definida como sendo o “ramo da matemática que estuda certas propriedades das figuras geométricas.” (DICIO, 2020). Ela é muito utilizada para garantir a qualidade dos dados e das relações espaciais visando auxiliar na compilação e consistência dos dados, além disso também é empregada para analisar relações espaciais em diversas situações e para modelar a geometria de uma série de classes de recursos de forma integrada. Alguns autores denominam essa técnica como integração vertical de classes de recursos (JENSON & DOMINGUE, 1988).

Com base nas definições acima, podemos entender que a topologia é um fator primordial para a uma geometria espacial consagrada corretamente. Ela está interligada com as relações de

sentido de fluxo e também com a identificação dos nós de uma rede hidrográfica. Neste estudo a topologia é utilizada neste sentido, a fim de identificar os nós da rede hidrográfica .

Identificar a topologia de forma correta faz se necessária para o entendimento da direção de fluxos dos cursos (linhas) de uma rede de drenagem, entendendo o sentido de um nó ao outro na rede de drenagem. A figura 06 abaixo demonstra o sentido do fluxo , bem como um exemplo de erro na topologia a ser corrigido.

Figura 6 - Exemplo de fluxo de drenagem



Fonte: Autor, 2020.

Como apresentado na Figura 6, a seta representa o sentido do fluxo, sendo que ela deve estar indicando do nó a montante para o nó a jusante. Caso contrário o sentido deve ser corrigido para maior consistência da rede de drenagem.

Vale ressaltar que para uma correta manipulação e tratamento dos dados da bacia hidrográfica e para funcionamento correto e eficaz da ferramenta proposta neste estudo é imprescindível a correta topologia da rede hidrográfica e o correto sentido de fluxo de todos os trechos de drenagem.

4. RESULTADOS

4.1. Análise dos Métodos

A análise dos métodos de macrolocação compreendeu a avaliação de melhores cenários para aplicação de cada um dos métodos.

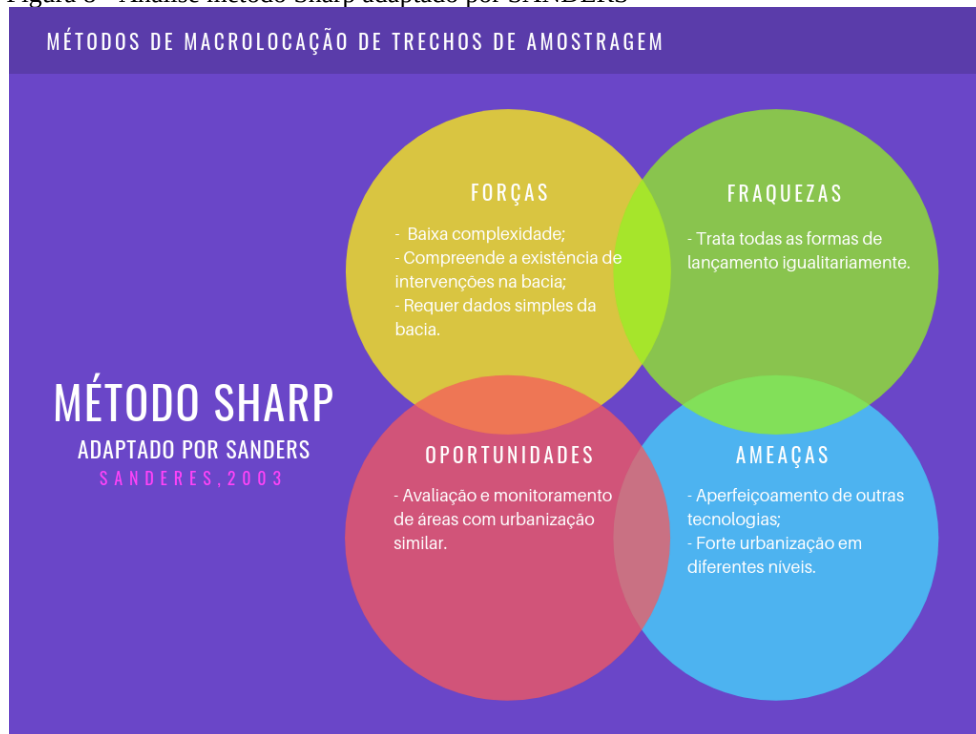
O resultado das análises representa a visão do autor com base na matriz FOFA para análise. Os resultados podem ser observados nas figuras 7 a 9.

Figura 7 - Análise método Sharp



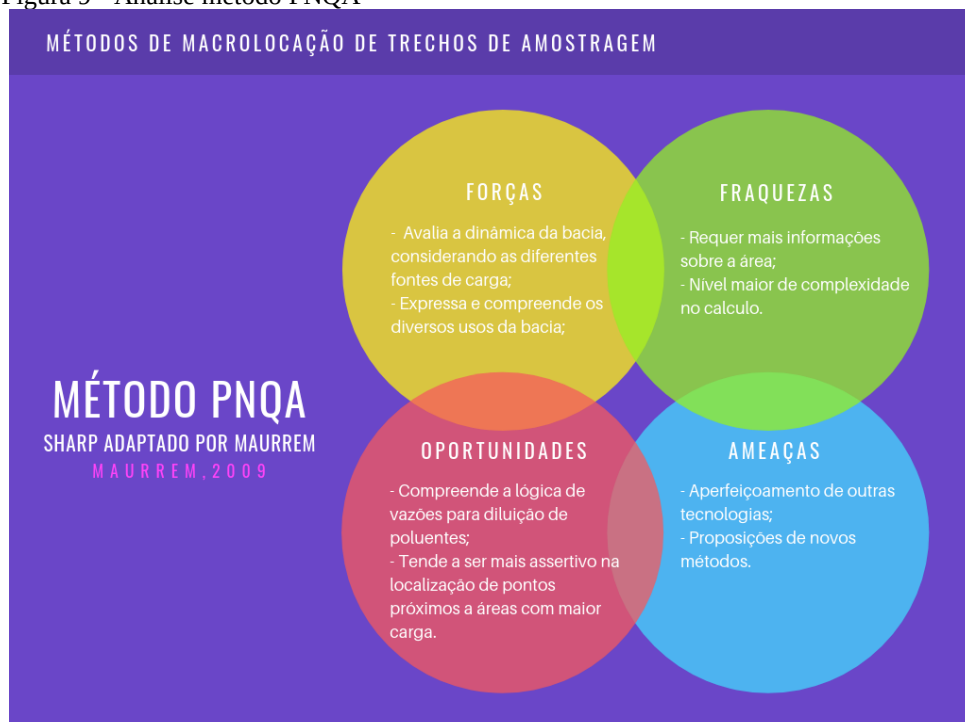
Fonte: Autor, 2020.

Figura 8 - Análise método Sharp adaptado por SANDERS



Fonte: Autor, 2020.

Figura 9 - Análise método PNQA



Fonte: Autor, 2020.

A partir do levantamento de forças, fraquezas, oportunidades e ameaças de cada método de macrolocação de trechos de amostragem é possível relacionar também as realidades regionais para melhor aplicação de cada técnica de alocação de pontos conforme Tabela 01.

Tabela 1 - Relação dos métodos de macrolocação

Método	Realidade melhor aplicada	Tipo de análise
SHARP	Áreas com pouca urbanização	Tendencial
SANDERS	Áreas com pontos bem determinados de urbanização com impactos similares	Verificação de impactos
VIEIRA - PNQA	Áreas com urbanização diversa e impactos diferentes	Verificação de impactos

Fonte: Autor, 2020.

Podemos inferir então que bacias hidrográficas e regiões com pouca ou nenhuma intervenção humana ou para uma verificação mais tendencial da bacia, que o método Sharp seria o mais indicado. No caso de regiões com intervenções humanas com características semelhantes em população e vocação industrial, pode-se indicar o uso do método Sanders (2003), devido a tratar todas as intervenções da mesma forma. Já no caso regiões ou bacias com diversas singularidades o método PNQA é o mais indicado, pois trata as singularidades de forma individualizada com ponderação diferenciada entre elas.

A partir destas análise o presente estudo propõe a automatização do Método Sharp, com vistas que ele é indicado para análises tendenciais para a gestão dos recursos hídricos de forma ampla, pois leva em conta as características do ordenamento natural da bacia. Vale destacar que a escolha do Método Sharp também se dá devido aos cálculos realizados em todos os métodos são semelhantes ao proposto por Sharp, realizando modificações no ordenamento realizado anteriormente.

4.2. O fluxo conceitual da ferramenta proposta

Para a ferramenta proposta foi concebido o seguinte fluxo conceitual, conforme Figura 9. Esse fluxo abrangue os métodos Sharp (1971), Sanders (2003) e PNQA. Porém a ferramenta proposta no presente estudo compreende apenas o Método Sharp, porém este fluxo conceitual foi construído podendo servir de base para a automatização dos demais métodos.

Vale destacar que a metodologia de cálculo é muito similar em ambos os métodos, há maiores alterações nas entradas de dados, porém a etapa “CALCULO” do script criado pode ser facilmente adaptado para os demais métodos citados nesse estudo.

4.3. Produção do script – Método Sharp (1971)

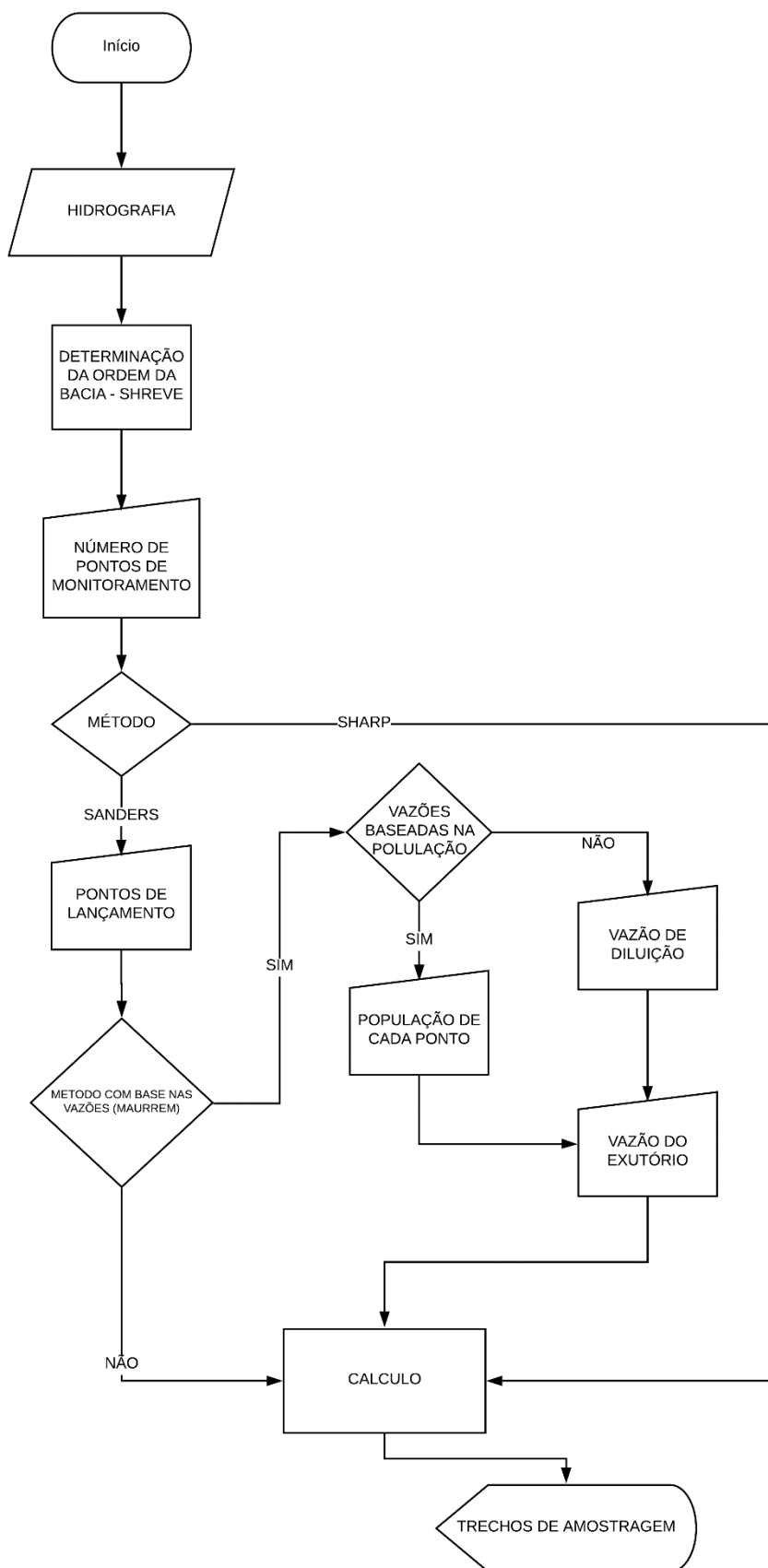
Para a produção do script, utilizando as premissas previstas foram realizados estudos aprofundados da linguagem Python e sua relação com o aplicativo QGIS.

O script produzido compreende o método Sharp, os algoritmos produzidos compreendem a etapa de “CALCULO” expressa no fluxo abaixo como mostra a Figura 10.

Considerando as fórmulas apresentadas para o cálculo do método Sharp, o desafio para a implantação do método Sharp inicia-se com a comunicação com o programa “Hydroflow”, tal programa visa a determinação do ordenamento da bacia, previsto no fluxo (figura 10).

Além da comunicação com o “Hydroflow”, outro desafio é criar um algoritmo de busca eficiente, não somente funcional. Um algoritmo de busca eficiente visa agilizar o processo de processamento e permitir que o usuário possua uma resposta mais rápida do cálculo.

Figura 10 - Fluxo conceitual da ferramenta



Construção do Script proposto.

ETAPA CHAMA HIDROFLOW

O código abaixo chama o Hydroflow, versão de terminal e lê os arquivos no formato ShapeFile (SHP) de hidrografia e limite da bacia.

```
import subprocess
subprocess.run(XXX)                – Entradas do Hydroflow (Shape hidrografia e delimitação da bacia)
```

CRIA DICIONÁRIO COM ID E ORDEM DE CADA CURSO DA HIDROGRAFIA, COM BASE NOS ARQUIVOS GERADOS PELO HIDROFLOW

```
import qgis.core
from qgis.core import QgsVectorLayer
vlayer = QgsVectorLayer(XXX)        – Leitura do Shape de Classe gerado pelo hydroflow
dic_ID_Ordem = {}                   – cria dicionário de ID X Ordem
features = vlayer.getFeatures()     – lê a tabela de atributos
for feature in features:
    chave = int(feature.id())        – atribui como chave o elemento presente no ID
    valor = int(feature['Shreve'])   – atribui valor o elemento presente no Shreve
    dic_ID_Ordem[chave] = valor      – atribui lista de Ids e acrescenta relação entre ID e Shreve
```

CRIA TOPOLOGIA PARA BUSCA, COM BASE NO ARQUIVO GERADO NO HIDROFLOW

```
arquivo = open(XXXX)                – abre arquivo gerado pelo Hydroflow
arquivo.readline()                  – faz a leitura das linhas
topologia = {}                      – cria dicionário de topologia
linha = arquivo.readline()          – faz leitura por linha
exutorio = None                     – atribui valor inexistente ao exutório
for linha in arquivo:
    par = linha[:-1].split(';')     – corta os dados presentes em cada linha
    chave = int(par[0])
    valor = int(par[-1])
    if (exutorio == None):
        exutorio = chave            – atribui valor ao exutório
    if chave not in topologia:
        topologia[chave] = []       – atribui lista de chaves (IDs)
        topologia[chave].append(valor) – atribui IDs conectados ao ID Chave
```

O CÁLCULO SHARP

```

Qt_trechos = int(input('Quantos...
... trechos deverão ser monitorados? '))
l_sharp = []
Ma = dic_ID_Ordem.values(exutorio)
while True:
    T = ((Ma + 1)/2)
    l_sharp.append(T)
    if len(l_sharp) == Qt_trechos:
        break
    else:
        T2 = ((T + 1) / 2)
        l_sharp.append(T2)
        if len(l_sharp) == Qt_trechos:
            break
        else:
            T3 = T + T2
            l_sharp.append(T3)
            Ma = T2
            if len(l_sharp) == Qt_trechos:
                break
l_sharp.sort(reverse=True)

```

- usuário deverá entrar com a informação de quantos trechos irá monitorar
- cria a lista de resultados
- extrai a ordem do exutório no dicionário ID X Ordem
- realiza calculo
- inseri resultado no lista
- verifica de a quantidade de resultados bate com a quantidade de trechos solicitada pelo usuário
- paralisa o processo caso o número de resultados for semelhante ao número de trechos
- senão continua o cálculo
- realiza o cálculo
- inseri resultado na lista
- verifica quantidade de trechos
- paralisa o processo caso o número de resultados for semelhante ao número de trechos
- senão continua o cálculo
- realiza o cálculo
- inseri resultado na lista
- atualiza valor de T2
- verifica quantidade de trechos
- paralisa o processo caso o número de resultados for semelhante ao número de trechos
- coloca a lista de resultados em ordem decrescente.

ALGORITMO DE BUSCA EM ÁRVORE

(melhor resultado para cada valor em l_sharp – Resultado Parcial)

```

l_idno_menor = [exutorio]*len(l_sharp)
def buscar(idno, l_sharp, l_idno_menor,...
...pos_sharp_atual, dic_ID_Ordem,...
...topologia):
    dif = abs(dic_ID_Ordem[idno]...
    ... - l_sharp[pos_sharp_atual])
    menor_dif = abs(dic_ID_Ordem...
    ...[l_idno_menor[pos_sharp_atual]]...
    ... - l_sharp[pos_sharp_atual])
    if (dif < menor_dif):
        l_idno_menor[pos_sharp_atual] = idno
    if dic_ID_Ordem[idno] <= l_sharp...
    ...[pos_sharp_atual]:
        pos_sharp_atual += 1

```

- cria lista de inicio das buscas
- atribui valor absoluto para a diferença entre o ID de partida e sharp
- atribui valor absoluto para a menor diferença entre o ID de partida e sharp
- se a diferença for menor que a menor diferença atribuida
- atualiza o ID de partida
- consulta se o valor de ordem do ID bate com o valor buscado
- caso positivo parte para o próximo valor de busca

```

    if pos_sharp_atual == len(l_sharp):
        return
    buscar(idno, l_sharp, l_idno_menor, ...
    ...pos_sharp_atual, dic_ID_Ordem, ...
    ...topologia)
    elif dic_ID_Ordem[idno] >= ...
    ...l_sharp[pos_sharp_atual]:
        for idno_filho in topologia[idno]:
            buscar(idno_filho, l_sharp, ...
            ...l_idno_menor, pos_sharp_atual, ...
            ...dic_ID_Ordem, topologia)
        If abs(dic_ID_Ordem[l_idno_menor...
        ...[pos_sharp_atual]] - l_sharp...
        ...[pos_sharp_atual]) < abs...
        ...(dic_ID_Ordem[l_idno_menor...
        ...[pos_sharp_atual]] - l_sharp...
        ...[pos_sharp_atual]):
            l_idno_menor[pos_sharp_atual]...
            ...=l_idno_menor[pos_sharp_atual]
        return

```

– realiza novamente a busca partindo do ID filho

– verifica se o valor da ordem do ID buscado é maior ou igual ao valor de sharp

– caso negativo entra em nova busca

– nova busca

– verifica se o valor encontrado é tem a menor diferença em relação ao valor de SHARP

– caso positivo o valor se atualiza no l_idno_menor

ALGORITMO DE BUSCA EM ÁRVORE

(identifica os Ids iguais aos resultados encontrados na primeira busca – Resultado Final)

```

magnitudes = []
resultado_final = {}
for idno in l_idno_menor:
    magnitudes.append(dic_ID_Ordem[idno])
    resultado_final[dic_ID_Ordem[idno]] = []
def buscar_ids_iguais(idno, magnitudes, ...
... pos_atual, dic_ID_Ordem, topologia, ...
...resultado_final):
    if pos_atual == len(magnitudes):
    if dic_ID_Ordem[idno] == ...
    ...magnitudes[pos_atual]:
        resultado_final[magnitudes...
        ...[pos_atual]].append(idno)
        if dic_ID_Ordem[idno]...
        ... <= magnitudes[pos_atual]:
            buscar_ids_iguais(idno, magnitudes, ...
            ... pos_atual+1, dic_ID_Ordem, topologia, ...
            ...resultado_final)
        else:
            for idno_filho in topologia[idno]:
                buscar_ids_iguais(idno_filho, ...
                ...magnitudes, pos_atual, dic_ID_Ordem, ...
                ... topologia, resultado_final)

```

– Cria dicionário de magnitudes

– Cria lista do resultado final

– Organiza o dicionário de magnitudes com ID e Ordem dos resultados parciais da primeira busca

– Cria a função de busca de ids iguais

– Verifica se toda a lista de busca foi varrida para a busca

– Verifica se a ordem do nó é igual a ordem buscada

– Caso positivo, inclui valor em resultado final

– Verifica se a ordem do nó é menor ou igual a ordem buscada

– Caso positivo realiza nova busca

– Caso negativo ele busca em cada galho da árvore

```

l_result_final=[]                                – Cria lista de resultado final
where = "
for id in resultado_final:
    for i in resultado_final[id]:
        l_result_final.append(i)
        where+=' or id='+str(i)                – Cria string com o resultado relacionando cada id com a ordem

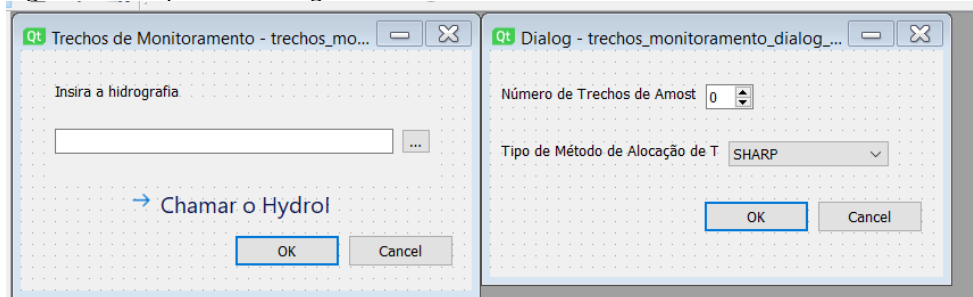
```

O Código completo pode ser acessado através do site:
<https://github.com/leonardguedes/MonitorPoint.git>.

Além o algoritmo é necessário criar uma interface gráfica de interação da ferramenta com o usuário. Para a realização dessa atividade o QGIS possui um elemento denominado de QT Designer para criação de interface gráfica para Plugins do QGIS.

As propostas de Design da ferramenta podem ser consultadas na figura 11.

Figura 11 - Proposta de Design



Fonte: Autor, 2020.

4.4. Otimização do processamento do Script

Durante todo o processo de automatização, sendo a produção do Script e algoritmo foi considerado sempre soluções de otimização de processamento de forma a diminuir a exigência da máquina na realização da tarefa de determinação dos trechos de amostragem. Sendo assim, o algoritmo tem como foco em utilizar da forma mais racional possível os recursos computacionais, otimizando o tempo de processamento e o deixando mais escalável conforme o tamanho da rede de drenagem aumenta. Caso isso não fosse considerado na construção da ferramenta, conforme a quantidade de drenagens da bacia hidrográfica entrada crescesse, o tempo de processamento do algoritmo aumentaria mais rapidamente, chegando ao ponto do tempo de processamento ser impraticável.

Como pode ser observado no código criado o algoritmo de busca em árvore binária, onde o algoritmo utiliza a técnica de recursão na programação, tal técnica utiliza a recursividade que se trata da definição de uma sub-rotina (função ou método) que pode invocar a si mesma (CORMEN, 2012). E assim, otimiza a busca dos trechos a serem monitorados e assim reduz consideravelmente o número de processamentos fazendo com que a ferramenta seja mais eficiente e com tempo baixo de processamento e menor exigência da máquina.

Considerando a eficiência do mecanismo de busca, o script se mostra adequado para os diversos tamanhos de bacia hidrográfica.

4.5. Benefícios da Ferramenta

Após todo processo de automatização e com base nos métodos e ferramentas selecionados para este fim podemos destacar diversos benefícios do desenvolvimento deste estudo, dentre eles:

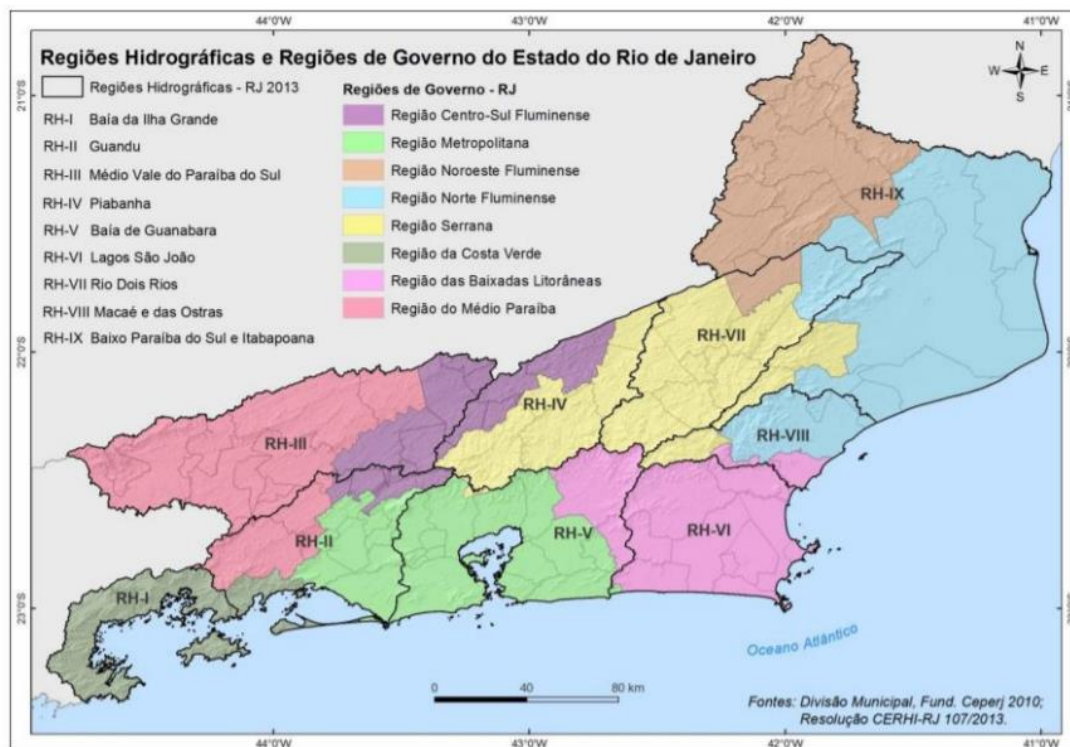
- a) Facilidade: O mecanismo proposto tem linguagem e interface fácil e intuitiva, com funcionalidades diretas e práticas;
- b) Confiabilidade: O processo automatizado reduz a ocorrência de erros de cálculo e otimiza a criação de redes com maior representação;
- c) Padronização: A automatização de método de alocação de trechos de amostragem auxilia na padronização da rede de monitoramento;
- d) Recursos Humanos: O processo automatizado reduz a exigência de recursos humanos para a realização do procedimento de alocação de pontos de monitoramento.

4.6. Aplicação na área-piloto - Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha

A Região Hidrográfica IV – Piabanha, está situada ao longo da região serrana do Rio de Janeiro e foi definida pela Resolução nº 107/2013 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (CERHI-RJ), conforme exposto na figura 12.

A Região Hidrográfica IV – Piabanha corresponde também a área de atuação do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Piabanha e das Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto (Comitê Piabanha).

Figura 12 - Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro



Fonte: PERHI-RJ, 2014.

O Comitê Piabanha teve sua criação aprovada em 13 de novembro de 2003 pelo CERHI-RJ sendo reconhecido e qualificado pelo Decreto Estadual nº 38.235, de 14 de setembro de 2005, cuja redação foi alterada pelo Decreto Estadual nº 45.461/2015. Com sede no município de Petrópolis/RJ e possui área de atuação conforme a figura 12 e 13. O Comitê é um órgão colegiado integrante do Sistema Estadual de Gerenciamento e Recursos Hídricos – SEGRHI, nos termos da Lei Estadual nº 3.239/1999.

Figura 13 - Área de Atuação do Comitê Piabanha

ÁREA DE ABRANGÊNCIA DA REGIÃO
HIDROGRÁFICA PIABANHA



Fonte: Relatório de Situação Comitê Piabanha, 2017.

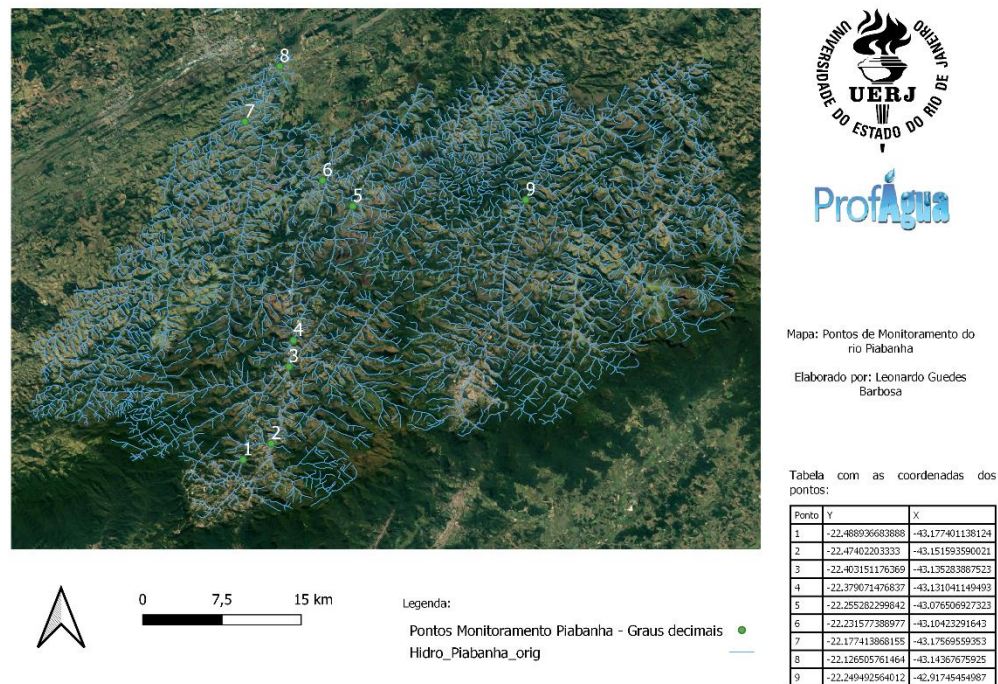
Segundo o Comitê Piabanha (2020) o comitê tem como objetivo,

promover a gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos da Região Hidrográfica IV do Estado do Rio de Janeiro que compreende a região constituída pela totalidade das bacias hidrográficas dos cursos d'água afluentes do Rio Piabanha que drenam os municípios de Petrópolis, Teresópolis, Areal, Três Rios, São José do Vale do Rio Preto, Paty do Alferes, Paraíba do Sul, acrescida das áreas das bacias hidrográficas dos afluentes do Rio Paraíba do Sul, pela margem direita, que drenam os municípios de Sumidouro, Sapucaia e Carmo, situados na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.

Para exemplificar a funcionalidade do método já automatizado foi realizado um estudo de caso da bacia do rio Piabanha (Região Hidrográfica IV – Piabanha). O estudo se deu porque o mesmo possui, dentre suas ações em desenvolvimento, uma rede de monitoramento bastante estruturada (Monitoramento dos Recursos Hídricos da RH-IV).

Segundo o Comitê Piabanha (2020), a bacia do Piabanha possui hoje os pontos monitorados conforme a figura 14.

Figura 14 - Espacialização e coordenadas dos pontos monitorados



Fonte: Autor, 2020.

A metodologia para determinação destes pontos, está evidenciada a nas reuniões do Comitê de Bacias do rio Piabanha, onde foram debatidas as questões relativas a determinação dos pontos a serem monitorados. Segue abaixo a lista com as atas das reuniões onde foram tratados esse assunto:

- Ata da 58ª R. do Diretório Colegiado, disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/reunioes/2017/diretorio/ata-58.pdf> ;
- Ata da 61ª R. do Diretório Colegiad, disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/reunioes/2018/diretorio/ata-61.pdf>;
- Ata da 62ª R. do Diretório Colegiado, disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/reunioes/2018/diretorio/ata-62.pdf>;
- Ata da 63ª R. do Diretório Colegiado, disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/reunioes/2018/diretorio/ata-63.pdf>;
- Ata da 64ª R. do Diretório Colegiado, disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/reunioes/2018/diretorio/ata-64.pdf>;
- Ata da 11ª Extraordinária R. do Diretório Colegiado, disponível em: <http://comitepiabanha.org.br/reunioes/2018/diretorio/ata-11-2018.pdf>

Conforme as informações descritas nas atas das reuniões pode-se constatar que a escolha dos pontos foi realizada seguindo algumas diretrizes da PNQA, porém refletindo o

conhecimento e interesses do comitê, sendo no caso voltado a priorização dos trechos a serem monitorados.

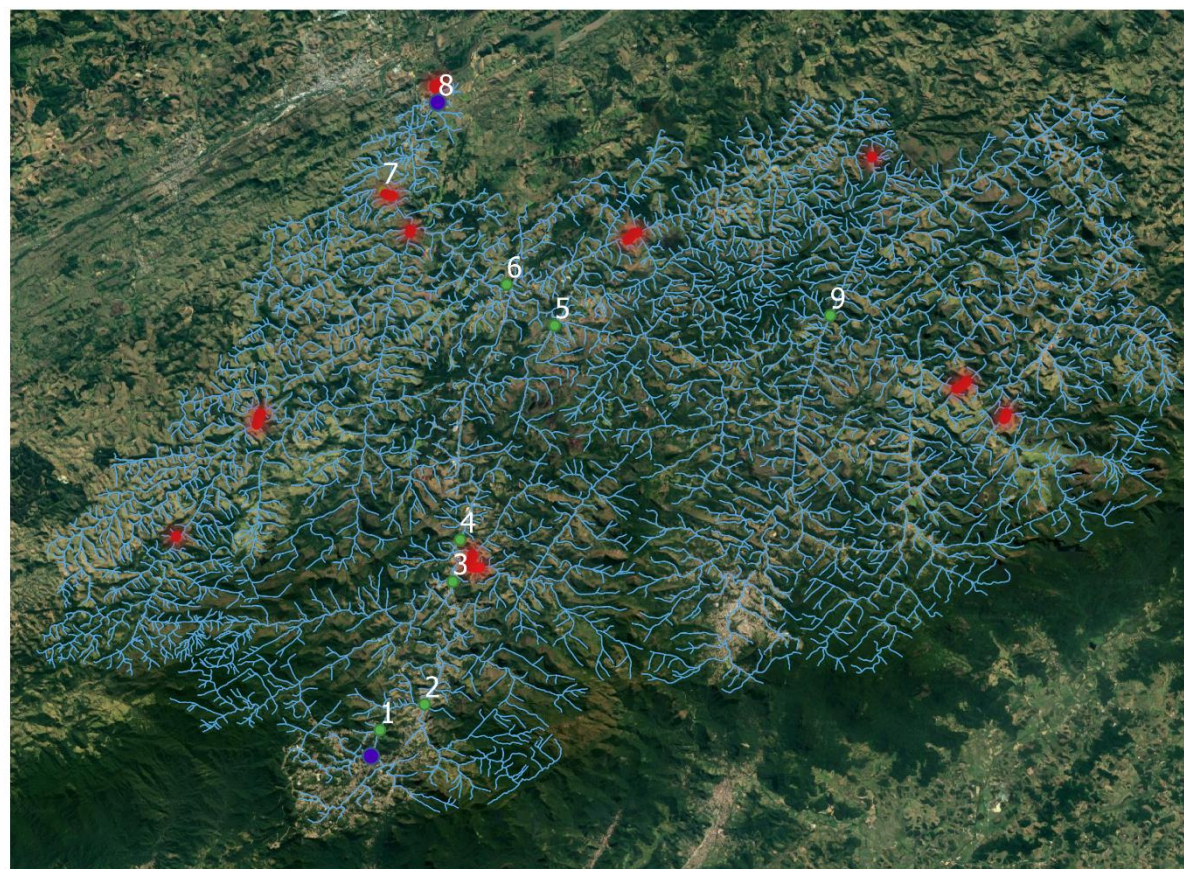
Outro ponto importante a ser destacado é o fato de que a determinação destes pontos estão focadas muitas vezes em avaliações de impactos antrópicos e não estão intimamente ligadas a avaliações tendênciais e representativas das interrelações existentes na bacia.

Vale ressaltar que na região foi identificado dois pontos da RNQA na bacia hidrográfica, tais pontos foram alocados com base nos conhecimentos aplicados também nesse estudo, porém em uma rede hidrográfica com escala de menor detalhe.

No caso da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha é extremamente complexo realizar a análise de todos os trechos representativos de uma bacia deste nível, sendo necessário um expressivo uso de recursos humanos para a realização do processo não automatizado. Além disso fica evidente na disposição dos trechos e pontos monitorados a sua presença prioritariamente na calha do rio principal, dificultando muitas vezes a análise de relação entre o rio principal e seus afluentes.

Aplicando o cálculo do método Sharp na bacia do Rio Piabanha em seu diversos níveis hierarquicos, considerando 10 pontos de amostragem e com base a hidrografia em escala 1:25.000 foi possível elaborar o mapa abaixo (Figura 15) comparando os pontos do Comitê Piabanha, pontos da RNQA e trechos representativos do método Sharp.

Figura 15 - Comparativo Pontos monitorados e pontos Sharp



0 7,5 15 km



Legenda:

RNQA 2014 Piabanha

Trechos SHARP

Pontos Monitoramento Piabanha - Graus decimais

Hidro_Piabanha_orig



Mapa: Pontos de Monitoramento do rio Piabanha

Elaborado por: Leonardo Guedes Barbosa

Tabela com as coordenadas dos pontos:

Ponto	Y	X
1	-22.488936683888	-43.177401138124
2	-22.474022033333	-43.151593590021
3	-22.403151176369	-43.135283887523
4	-22.379071476837	-43.131041149493
5	-22.255282299842	-43.076506927323
6	-22.231577388977	-43.10423291643
7	-22.177413868155	-43.17569559353
8	-22.126505761464	-43.14367675925
9	-22.249492564012	-42.91745454987

Fonte: Autor, 2020.

Ao sobrepor neste mesmo mapa os pontos escolhidos pelos membros do comitê, com vistas ao enquadramento de trechos de interesse do Comitê Piabanha e os monitorados no âmbito da RNQA com os resultados do Método Sharp, podemos verificar que os pontos 3, 7 e 8 foram pontos ficaram bem próximos aos trechos indicados pelo método Sharp, se mostrando pontos aptos a não só para o objetivo de enquadramento, mas também estratégicos para análises tendências a bacia.

Um destaque para o ponto 8, pois ele se mostrou interessante nas três bases estudadas, no caso do segundo ponto da RNQA na bacia, ele se mostrou próximo ao ponto 1 do levantamento do Comitê.

Tal ponto está bem próximo a nascente, demonstra que os trechos do RNQA embora com base numa rede menos detalhada os calculos foram até um maior nível hierarquico.

No âmbito do processamento de dados o algoritmo se comportou da forma esperada e com grande agilidade, utilizando, neste exemplo um tempo de menos de 30 segundos de processamento.

A partir destas considerações foi verificado que neste caso o método Sharp foi capaz de indicar de maneira rápida e eficiente os pontos de impacto, com vistas as características hidrográficas da rede, porém é sempre válido elencar pontos estratégicos que, neste caso, trata-se dos pontos estabelecidos pelos membros do Comitê.

CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo analisar e automatizar o processo de alocação de pontos de amostragem para monitoramento de recursos hídricos.

Considerando os materiais e a metodologia propostos e os que agiliza e aprimora de forma significativa o processo de determinação de trechos de amostragem, conforme o método Sharp, pode-se considerar que o objetivo principal deste estudo foi alcançado.

Vale destacar também que o uso de um programa livre processo de automatização torna-se um ponto forte deste estudo visto que traz uma certa popularização a ferramenta e a aplicação do método. A popularização dos métodos de alocação de trechos de amostragem traz ao sistema de gestão de recursos hídricos o preconizado pelo Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas de forma a fortalecer uma caracterização da bacia hidrográfica mais representativa e mais próxima a realidade da bacia.

Além disso, vale ressaltar que frente aos eventos hidrológicos críticos monitorar as tendências é essencial para uma gestão de riscos e minimizar possíveis desastres decorrentes de tais eventos. Sendo esta uma ferramenta essencial para monitoramentos de cunho tendencial, além disso, a ferramenta contribui para a retirada de incertezas no processo de escolha de pontos de monitoramentos e assim minimizar conflitos de interesses que envolvem a escolha de pontos de monitoramento, em especial no monitoramento qualitativo.

Vale ressaltar que a ferramenta proposta tratou não só apenas em realizar a tarefa (cálculo) do método, mas também foi despendido esforços em trazer um algoritmo aprimorado e rápido, suportando processamentos de bacias nos mais diversos tamanhos. Avaliar os comandos de programação e torná-los mais eficientes também contribuiu para aumentar a confiabilidade do algoritmo.

Além dos objetivos propostos o estudo elencou a existência de diversos métodos de alocação de trechos de amostragem, e realizou a automatização de um dos métodos existentes, porém através das análises realizadas foi identificada a viabilidade de automatização dos demais métodos. Com base nessa afirmação o estudo indica como próximos passos a automatização dos métodos Sharp adaptado por Sanders e método PNQA.

Durante a elaboração deste estudo foram identificadas algumas falhas na topologia das bases de dados disponíveis nos órgãos oficiais, onde foi requerida a consistência delas, visando a correção da topologia e sentido dos fluxos para a eficácia do projeto. Recomenda-se estudos

futuros voltados a automatização dos processos de correção de fluxos e consistência de topologias.

No estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha sugere-se ainda que em uma futura revisão destes pontos a fim de monitoramento contínuo e com objetivos também tendenciais, seja levado em consideração os pontos apresentados na figura 14, além dos pontos estratégicos já sugeridos pelo Comitê.

REFERÊNCIAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil. Brasília: ANA, 2012. 264 p.

_____. Programa Nacional de Avaliação da Qualidade da Água (PNQA). Brasília: ANA, 2009. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PUBLICACOES/Workshop%20Aguas%20Urbanas/S2P3_Maurrem.pdf> Acesso em 17 de dez. de 2018.

_____. Resolução nº 903, de 22 de julho de 2013. Cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais - RNQA e estabelece suas diretrizes. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2013/903-2013.pdf>> Acesso em: 14 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm> Acesso em: 15 out. 2018.

_____. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso em: 15 out. 2018.

CEFET JR. Portal CEFET JR – 4 dicas para criar uma Análise SWOT. Disponível em: <<https://cefetjr.com/4-dicas-para-criar-uma-analise-swot/>> Acesso em 16 de dez. de 2019.

CERHI-RJ. Resolução nº 107, de 22 de maio de 2013. APROVA NOVA DEFINIÇÃO DAS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO E REVOGA A RESOLUÇÃO CERHI Nº 18 DE 08 DE NOVEMBRO DE 2006. Rio de Janeiro - RJ, 2013. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/02/Res_CERHI-RJ_107_2013.pdf> Acesso em: 08 nov. de 2020.

COMITE PIABANHA. Portal do Comitê Piabanha – O Comitê. 2020. Disponível em: <<http://www.comitepiabanha.org.br/ocomite.php>> Acesso em 08 de mar. de 2020.

_____. Relatório de Situação – 2017. 2017. Disponível em: <<http://comitepiabanha.org.br/downloads/relatorio-de-situacao-2017.pdf>> Acesso em 08 de mar. de 2020.

CORMEN, Thomas H. et al. Introduction to Algorithms. 3. ed. São Paulo: Elsevier Editora, 2012. 926 p.

DICIO. Dicionário Online de Português – Topologia. Disponível em: <
<https://www.dicio.com.br/topologia/#:~:text=Significado%20de%20Topologia,certas%20propriedades%20das%20figuras%20geom%C3%A9tricas.&text=A%20topologia%20n%C3%A3o%20faz%20distin%C3%A7%C3%A3o,de%20deforma%C3%A7%C3%B5es%2C%20uma%20na%20outra.>> Acesso em 08 de mar. De 2020.

ESRI. ESRI Shapefile Technical Description. New York – EUA, 1998. Disponível em:
 <<https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>> Acesso em 08 de nov. de 2020.

FINOTTI, A. R.; FINKLER, R.; SILVA, M. D.; CEMIN, G. Monitoramento de recursos hídricos em áreas urbanas. Caxias do Sul, RS: Educs, 2009.

GREENLEE, D. D. "Raster and Vector Processing for Scanned Linework." Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 53 (10): 1383–1387, 1987.

JENSON, S. K., DOMINGUE J. O. "Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis." Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988.

KARAMOUZ, M., SZIDAROVSKY, F., & ZAHRAIE, B. Water Resources System Analysis: conflicts analysis. Boca Raton, Florida-USA. 2003. 608p.

LABGIS UERJ. Portal LabGIS UERJ – Hydroflow. Disponível em: <
<https://www.labgis.uerj.br/hydroflow/>> Acesso em 08 de nov. de 2020.

MAGALHÃES, A.P. Junior. A situação do monitoramento das águas no Brasil – instituições e iniciativas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Porto Alegre, v.5, n 3, p. 113-135, 2000.

PARÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE DIRETORIA DE RECURSOS HÍDRICOS - DIREH GERÊNCIA DE MONITORAMENTO, ENQUADRAMENTO E FISCALIZAÇÃO - GEMEF. Manual de alocação de pontos de amostragem para o Monitoramento da Qualidade da Água, baseada no método de Maurrem Ramon-ANA. Disponível em: <<http://seirh.semas.pa.gov.br/index.php/biblioteca/infotecnicas/64-manual-de-monitoramento-gemef-ana/file.html>> Acesso em 06 de jun. de 2018.

PERHI-RJ. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2014. Disponível em:
 <<http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdgz/~edisp/inea0083953.pdf>> Acesso em 08 de mar. de 2020.

PyScience-Brasil. Portal PyScience – Python: O que é? Por que usar?. Disponível em:
 <<http://pyscience-brasil.wikidot.com/python:python-oq-e-pq>> Acesso em 16 de dez. de 2019.

RIO DE JANEIRO. Decreto Estadual nº 38.235, de 14 de setembro de 2005. INSTITUI O COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIABANHA E SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PAQUEQUER E PRETO, NO ÂMBITO DO SISTEMA ESTADUAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. Rio de Janeiro – RJ,

2005. Disponível em:

<http://www.comitepiabanha.org.br/downloads/decreto_38235_piabanha.pdf> Acesso em 08 de mar. de 2020.

_____. Decreto Estadual nº 45.461, de 25 de novembro de 2015. DÁ NOVA REDAÇÃO AO DECRETO Nº 38.235, DE 14 DE SETEMBRO DE 2005, QUE INSTITUIU O COMITÊ DE BACIA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO PIABANHA E SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PAQUEQUER E PRETO, NO ÂMBITO DO SISTEMA ESTADUAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS. Rio de Janeiro – RJ, 2015. Disponível em: <<http://comitepiabanha.org.br/downloads/decreto-45461.pdf>> Acesso em 08 de mar. de 2020.

_____. Lei Estadual nº 3.239, de 02 de agosto de 1999. INSTITUI A POLÍTICA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS; CRIA O SISTEMA ESTADUAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS; REGULAMENTA A CONSTITUIÇÃO ESTADUAL, EM SEU ARTIGO 261, PARÁGRAFO 1º, INCISO VII; E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. Rio de Janeiro – RJ, 1999. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/43fd110fc03f0e6c032567c30072625b>> Acesso em 08 de mar. de 2020.

SANDERS, T.G.; WARD, R.C.; LOFTIS, J.C.; STEELE, T.D., ADRIAN, D.D.; YEYJEVICH, V. Design of Networks for Monitoring Water Quality. Water Resources Publications. 328 pag. 5 ed. 2003.

SEBRAE. Portal Sebrae – Matriz F.O.F.A.. Disponível em:

<<https://m.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/use-a-matriz-fofa-para-corrigir-deficiencias-e-melhorar-a-empresa,9cd2798be83ea410VgnVCM2000003c74010aRCRD>> Acesso em 16 de dez. de 2019.

SEMACE. Shape – Definições e Conversão. 2011. Disponível em:

<<https://www.semace.ce.gov.br/2011/06/27/shape-definicoes-e-conversao/>> Acesso em 08 de mar. de 2020.

SHARP, W. E. A topologically optimum water-sampling plan for rives and streams. Water Resources Research. V.7, n.6, p. 1641-1646. 1971.

SHREVE, R.L.. Statistical law of stream numbers. 1966. Journal of Geology 74, pg 17–37.

SOARES, P. F. Projeto e avaliação de desempenho de redes de monitoramento de qualidade de água utilizando o conceito de entropia. Tese de doutoramento – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, USP, São Paulo. 211p. 2001.

VIEIRA, M. R.; GENERINO, A. M.; SILVEIRA, R. B. O. Método de alocação de pontos para monitoramento da qualidade de águas superficiais utilizado na RNQA. Anais do Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, 2014. Disponível em:

<<https://docplayer.com.br/3597687-Xii-simposio-de-recursos-hidricos-do-nordeste-metodo-de-alocacao-de-pontos-para-monitoramento-da-qualidade-de-aguas-superficiais-utilizado-na-rnqa.html>> Acesso em 16 dez. de 2019.