

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DO RIO ATIBAIA COMO POSSÍVEL VIA DE NAVEGAÇÃO FLUVIAL.

Lucas Pereira da Silva; Stephanie Carolyn Moraes dos Santos¹
Me. Heitor Berger Campos²
Universidade São Francisco

lucas.pereira.silva@mail.usf.edu.br; stephanie.carolyn@mail.usf.edu.br

¹Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

²Professor Orientador, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

Resumo. A expansão dos centros urbanos, juntamente com a globalização e a falta de planejamento, trouxeram uma dependência da logística de transportes brasileiros para o modal rodoviário, ocasionando falhas como a superlotação de estradas, desvio de cargas e congestionamentos. Consequentemente à procura por novos meios de transporte vêm crescendo na atualidade, buscando métodos de melhor eficiência, seja ela econômica, financeira ou relacionada ao tempo e capacidade de carga, no qual o modal hidroviário se destaca. Seguindo essa linha de raciocínio, o presente artigo busca fornecer um estudo introdutório para a viabilidade do projeto de navegação fluvial e readequação do Rio Atibaia, sendo, o principal objetivo a apresentação de informações e conhecimentos pertinentes à navegação interior, que posteriormente possam ser usados para uma pesquisa mais aprofundada de implantação ou projeto executivo. Para tanto, a metodologia busca o levantamento das potencialidades hídricas da bacia, envolvendo procedimentos como conhecimentos relacionados à fluviomorfologia do rio, com auxílio do software AutoCAD na delimitação do corpo hídrico, clima da região, levantamento fotográfico e características socioeconômicas das cidades pertencentes ao traçado do rio.

Palavras-chave: Via navegável. Hidrovia. Intermodalidade. Modal hidroviário. Navegação Fluvial.

1. Introdução

Desde os primórdios o transporte é essencial para locomoção de cargas ou pessoas, sendo um dos principais fatores de desenvolvimento para civilização. Com o decorrer da expansão urbana e o aumento na demanda por melhores meios de locomoção iniciou-se um processo constante de melhorias nos principais meios utilizados, no qual, simultaneamente se destacam as malhas rodoviárias, na medida que o transporte ferroviário e hidroviário foram entrando em desuso. Todavia com o impacto da globalização, o uso excessivo das rodovias acarretou em uma falha logística que sobrecarrega o transporte brasileiro.

Com investimentos em transporte hidroviário, se abrem possibilidades de solucionar diversos problemas relacionados às imperfeições do modal rodoviário. No Brasil, país que possui como característica uma abundante e diversificada malha hidrográfica, apenas uma pequena parcela é utilizada como via navegável, deixando em segundo plano um meio de transporte com grande potencial. Entretanto novas propostas e estudos surgem a todo momento para viabilizar projetos de navegação, seja ela marítima, de cabotagem ou interior, expandindo e inovando a possibilidade de investimento no sistema de transportes brasileiro.

Dentro desse contexto, a navegação interior, consiste em hidrovias que atendem requisitos que possibilitem o trânsito de embarcações, muitas vezes concentrado dentro de rios

e canais. A região Bragantina, por se tratar de uma região em expansão, tem como característica o aumento na demanda do transporte rodoviário e a falta de investimentos no modal, tais adversidades remetem a uma situação crítica dentro do transporte regional.

São muitos os benefícios trazidos pelo transporte hidroviário, podendo destacar a grande capacidade de cargas que consequentemente afetam o custo de frete nas viagens, tornando o valor mais baixo comparados ao transporte rodoviário. Visando este cenário, o presente artigo tem por finalidade verificar, como proposta de análise, a possibilidade de alteração do Rio Atibaia como uma Via Navegável e consequentemente o crescimento da hidrovia como meio de transporte promissor para o sistema nacional.

2. Estudo de Caso

A bacia hidrográfica do Rio Atibaia, corta regiões de cidades metropolitanas, como Campinas e São Paulo e ainda do interior paulista, se estendendo em uma forte zona de comércio, centro urbanos e industriais, contrastando também com a preservação de espaços naturais e áreas densamente povoadas. Além de sua diversificação manufatureira, agrícola e agropecuária ao longo de seus 2.816,40 km² de extensão, a população no entorno e nas cidades na qual o corpo hídrico cruza tornam o Rio Atibaia objeto promissor para instalação de uma hidrovia, englobando fatores importantes como a possibilidade da multimodalidade em alguns trechos próximos à redes rodoviárias, como apresentado na Figura 1 ou mesmo a utilização como transporte de pessoas, evidenciando os altos preços do transporte por terra, além de capacidade de carga elevada, vencendo maiores distâncias.



Figura 1 – Trecho com ligação direta entre o Rio Atibaia e a rodovia Dom Pedro I. (Fonte: Google Earth 2021).

O levantamento de potencialidades do Rio Atibaia como hidrovia trazem também possibilidade futuras de benefícios para a Região e as cidades que fazem parte do trajeto da bacia hidrográfica. Dentro desses benefícios, podem ser analisados parâmetros como a influência no desenvolvimento econômico e na logística das empresas que fazem parte do trecho estudado, que envolvem indústrias do setor têxtil, metalúrgico, automotivo, papelero ou da fabricação de estruturas metálicas. O rio faz parte também de uma rede de usinas hidrelétricas, além de trechos voltados à prática esportiva e com hotelarias próximas, o que, com o uso de transporte hidroviário de pessoas, ocasionaria em um aumento do setor de turismo local para cidades do interior.

2.1 Descrição física do Rio Atibaia

Para que a delimitação manual da bacia hidrográfica correspondente ao Rio Atibaia pudesse ser realizada, alguns procedimentos anteriores à demarcação foram executados. O alinhamento das cartas topográficas, correspondentes aos municípios que o corpo hídrico percorre, através do lançamento de suas coordenadas reais para o software em CAD, possibilita a formação de um mosaico representando as fronteiras do Rio para cada cidade traçada, dados considerados primordiais para uma caracterização mais realista possível da bacia. Em relação ao traçado principal do rio (Talvegue) e, também de suma importância, seus afluentes a delimitação partiu do ponto de exutório encontrado dentro da cidade de Atibaia, no entanto para a presente pesquisa as demais cartas topográficas foram utilizadas: Bragança Paulista, Camanducaia, Extrema, Piracaia, Igaratá e Itaquaquecetuba. Inicialmente definindo o exutório da bacia, considerado o ponto mais baixo em relação ao Talvegue principal e posteriormente, com auxílio do software AutoCAD, definindo seu traçado principal e seus afluentes até localizar sua nascente, conforme Figura 2.

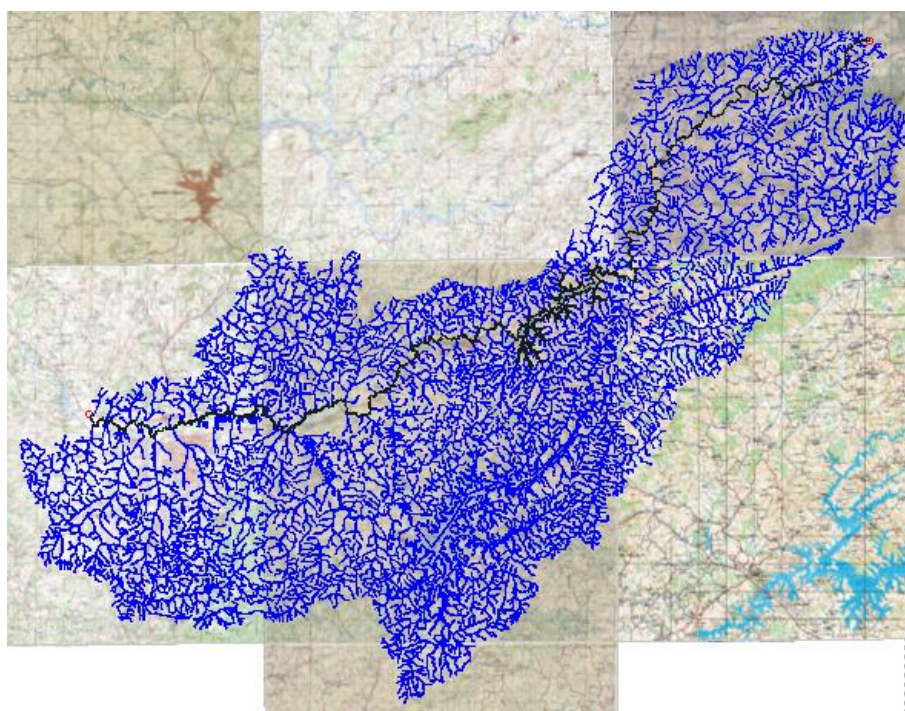


Figura 2 – Delimitação Rio Atibaia e seus afluentes (Fonte: Próprio autor, 2021).

Para tanto é necessário a realização da delimitação em relação ao perímetro da bacia hidrográfica, levando em consideração que toda a área da bacia hidrográfica é delimitada pelo divisor de águas, sejam eles, espigões ou divisores topográficos, que representam as fronteiras da bacia. Nesse processo também é possível encontrar as características fluviomorfológicas da bacia, diretamente ligadas ao formato do corpo hídrico em estudo, que conseqüentemente são conectadas ao tempo de concentração e o curso das vazões sobre a bacia.

É importante que a delimitação seja realizada através de traçados em *polylines* diferentes, para que posteriormente parâmetros como comprimento do talvegue principal, ou mesmo área da bacia possam ser facilmente encontrados. Outro fator a ser levado em consideração na caracterização da bacia é a localização dos picos topográficos perpendiculares a delimitação, não apenas para evidenciar o perímetro e a área do corpo hídrico, como também ajudar no processo de viabilidade de instalação de uma via navegável, identificando por exemplo a necessidade de obras de intervenções de um ponto do traçado a outro. Após a criação do mosaico e a delimitação do Rio conforme procedimentos citados anteriormente dados como:

Comprimento do Talvegue Principal, Área da Bacia e Perímetro da Bacia, puderam ser encontrados.

2.2 Classificação morfológica do Rio Atibaia

Para que seja classificado de forma morfológica os rios devem ser analisados através da sua classificação de curso d'água, onde existem três tipos de rios classificáveis: rios de alto curso, rios de médio curso (rios de planalto) e rios de baixo curso (rios de planície). Em razão disso, é possível afirmar que rios de baixo curso, ou também denominados rios de planície são os mais recomendáveis para a navegação fluvial, já que apresentam geometria mais larga e declividade baixa, no entanto, algumas análises físicas pertinentes ao Rio Atibaia devem ser realizadas a fim de determinar a classificação do tipo de corpo hídrico.

O estudo preliminar propõe que dados mais aprofundados relacionados ao calado do rio, assim como altura de lâmina d'água e variação de empecilhos ao longo do canal, sejam mais detalhados, tendo em vista uma avaliação de anteprojeto para execução, no entanto, observando alguns aspectos, como largura do rio, profundidade média e presença de obstáculos, o rio pode ser previamente classificado como de rio de planalto, em outras palavras, rio de médio curso, onde trechos rochosos e profundidade reduzida dificultam a passagem por navegação de barcos maiores, todavia é possível realizar uma navegação fluvial adequada através de algumas obras de melhorias e escolha adequada das embarcações tipo.

De acordo com Miguens (2001), após uma análise morfológica citada anteriormente, excluindo-se lagos e lagoas é possível dividir as vias navegáveis interiores como três principais classes: rios de corrente livres, rios canalizados e canais, variando de acordo com o nível de intervenções que o rio requer para que se adapte à uma hidrovia. A classificação da via navegável se torna pertinente após uma conclusão detalhada de todo trecho considerado, além da determinação das melhores obras de intervenção, posteriormente atendendo parâmetros como recursos disponíveis e tempo de execução.

2.1.2 Clima e Vegetação

Devido a amplitude de caracterização de uma bacia, para uma análise realmente satisfatória é necessário que diversos aspectos físicos da bacia sejam considerados, dentre eles, os dados climáticos, considerados de suma relevância para o projeto hidrológico, não apenas por determinar fatores como período de seca e estiagem, como também, no caso do estudo de viabilidade para uma via navegável, representar uma análise para possíveis impactos no clima característico da região com a instalação de uma hidrovia. É importante ressaltar, que mesmo em bacias menores, com tamanho reduzido, ainda sim pode haver variação de fatores climáticos, devido principalmente a altimetria, diferença de altura entre os pontos do curso d'água. Com o auxílio do mapa climático do Brasil, classificação climática de Koppen, conforme Figura 3, conhecimentos pertinentes à região de localização da bacia podem ser encontrados, sendo possível identificar uma variação média para o objeto de estudo, em sua maioria Cfa (clima mesotérmico sempre úmido e verões quentes) e Cwa (mesotérmico, chuvas de verão e verões quentes). É importante destacar que a análise climática referente à bacia deve ser aprofundada em estudos posteriores, levando em consideração a diversidade climática em cada trecho do Talvegue.

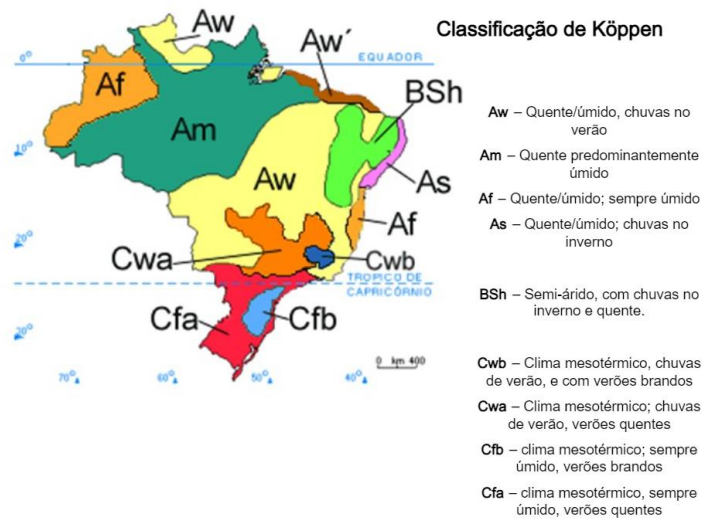


Figura 3 – Mapa classificação climática Köppen, com destaque para bacia Rio Atibaia. (Fonte: Mod, 2021).

A vegetação e o tipo de solo predominante na região são significativos não apenas para um estudo mais aprofundado em seus fatores climatológicos, como também representam boa parte da caracterização física da bacia, tendo em vista que através do tipo de solo e vegetação predominante que a viabilidade da instalação da hidrovia pode ser descartada, levando em consideração, por exemplo, o impacto ambiental causado na região, ou mesmo o tipo de maquinário utilizado para intervenções no solo e na calha fluvial. Para tanto, o mapa pedológico do Estado de São Paulo traz informações básicas com relação ao tipo de solo, como no caso de Atibaia, cidade na qual se encontra o ponto de exutório da bacia analisada, onde há predominância de três tipos de solos: Latossolos, Cambissolos e Argissolos, que para o presente estudo preliminar se fazem satisfatórios, porém para realização de um projeto executivo, tanto a vegetação, quanto o clima precisariam ser estudados afundo, identificando parâmetros como espécimes de vegetação e variação da fragilidade do solo de uma efluente para outra. Demanboro, Laurentis, Bettine (2013), afirmam que grande parte da bacia do Rio Atibaia é ocupada por Argissolos e Latossolos, conforme Figura 4, além de identificar a fragilidade dos solos presentes conforme Figura 5.

Tipo de solo	Área (km ²)	%
Latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa + argissolo vermelho-amarelo com textura argilosa	969,98	34,44
Argissolo vermelho-amarelo com textura média/argilosa e argilosa + cambissolo com textura argilosa e média	364,58	12,94
Argissolo vermelho-amarelo com textura média/argilosa e argilosa	280,96	9,98
Argissolo vermelho-amarelo com textura argilosa e média cascalhenta/argilosa	258,64	9,18
Latossolo vermelho com textura argilosa	255,39	9,07
Outros (inclui solo aluvial)	686,85	24,39

Figura 4 – Ocorrência dos principais solos por tipo na bacia. (Fonte: Demanboro, Laurentis, Bettine, 2013).

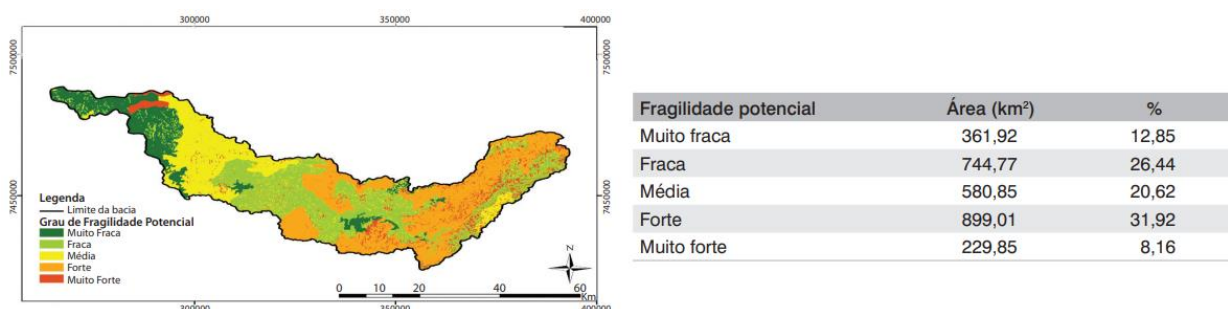


Figura 5 – Fragilidade potencial na bacia do Rio Atibaia. (Fonte: Demanboro, Laurentis, Bettine, 2013).

2.2 Vazões e Precipitações

Tendo em vista que a Bacia Hidrográfica delimitada é de grande extensão, há possíveis variações de precipitação ao longo do corpo hídrico, no entanto, para o presente estudo preliminar, apenas um posto de medição foi considerado para fins de representação média de precipitação. No caso de um estudo de um anteprojeto ou projeto executivo o estudo deve ser realizado com mais postos de medição e uma possível correção anual para identificar a homogeneidade dos fatores na representação de parâmetros mais detalhados, evitando possíveis falhas de execução. No decorrer da bacia hidrográfica, seis postos de medição podem ser identificados, conforme mostrado na Figura 6, no entanto, o posto 3E-063 localizado na cidade de Atibaia evidencia dados fluviométricos relacionados ao trecho de navegação fluvial em pesquisa.

Código da Estação	Nome	Latitude	Longitude	Período de Dados
3D-003	DESEMBARGADOR FURTADO	22° 46'10"	46°59'22"	1960 à 2019
3D-006	BAIRRO DA PONTE	22°58'59"	46°49'46"	1929 à 2020
3D-007	CAPTACAO - VALINHOS	22°55'42"	46°56'21"	1999 à 2020
3E-063	ATIBAIA	23°06'22"	46°33'23"	2002 à 2020
4D-009	ACIMA DE PAULINIA	22°44'38"	47°07'47"	1947 à 2020
4D-033	CAPTACAO - SUMARE	22°45'45"	47°10'34"	2008 à 2019

Figura 6 – Postos de Medição Fluviométricos Bacia Hidrográfica Rio Atibaia (Fonte: Próprio Autor, 2021).

O posto 3E-063 será objeto de análise para a identificação de parâmetros como métodos que relacionem as vazões de referência da bacia, no caso da pesquisa abordado através do Q7,10, utilizando principalmente dados fornecidos pelo DAEE em medições realizadas diariamente.

Em relação aos dados pluviométricos, a captação de informações também é realizada com o auxílio de dados fornecidos pelo DAEE, identificando períodos de seca e estiagem, assim como precipitações máximas, mínimas e médias no decorrer da bacia hidrográfica. Levando em consideração que o estudo de pré análise sobre a instalação da hidrovia está sendo feito em um trecho pertencente ao município de Atibaia, os postos de medição de chuva foram ponderados dentro dessa delimitação, conforme Figura 7.

Código da Estação	Nome	Latitude	Longitude	Período de Dados
E3-074	ATIBAIA	23°09'38"	46°32'44"	1960 à 2019
E3-075	ATIBAIA	23°07'00"	46°33'00"	1940 à 1972
E3-230	RIO ACIMA	23°13'00"	46°40'00"	1970 à 1996
E3-247	RIBEIRAO	23°03'00"	46°39'00"	1972 à 1999

Figura 7 – Postos de Medição Pluviométricos Bacia Hidrográfica Rio Atibaia (Fonte: Próprio Autor, 2021).

O presente estudo preliminar busca trazer dados que podem mostrar pontos positivos para continuidade da pesquisa, ou parâmetros que já descartem a possibilidade de hidrovia, dessa forma, para uma análise básica sobre o contexto de precipitações o posto de coleta de dados com o maior período de dados vai ser examinado, E3-074, no entanto para um estudo de anteprojeto seria necessário a verificação do posto mais adequado de acordo com o Método Thiessen.

2.3 Estudos Topomorfológicos

Para que o estudo de viabilidade se torne correspondente a realidade é necessária também uma análise prévia da morfologia do rio, identificando informações pertinentes à calha do rio, seus sedimentos, além de distribuições qualitativas relacionadas com a topografia do terreno. Alguns desses elementos podem ser encontrados com auxílio de softwares profissionais correspondentes à área de hidrologia, como *ArcGIS*, *QGIS*, *Surfer 8*, dentre outros, que, com juntamente com o fornecimento de dados detalhados, em sua maioria coletados em campo, propiciam um estudo preliminar com relação à parte topomorfológica da bacia hidrográfica, no entanto, para o presente trabalho tais informações se tornam inviáveis para coleta imediata, desse modo, algumas referências ficam em destaque para um anteprojeto de execução ou mesmo de viabilidade, com investimentos direcionados para área.

A altimetria fluvial é um exemplo claro sobre a importância de um estudo mais aprofundado que deve ser realizado a fim de comprovar a real efetividade do rio como via navegável, Silva (2013), afirma que as seções de cada ponto, além da verificação de níveis e curva de remanso, podem ser encontradas com a ajuda de equipamentos como limnógrafos ou limnômetros, responsáveis pela determinação do nível de água, já a determinação e caracterização de calha fluvial do rio são identificadas através de equipamentos como sonda hidrográfica, usualmente recorrentes durante a batimetria de calha do rio, procedimento no qual são identificados os tipos de sedimentos, diretamente relacionados à necessidade de obras de intervenção para hidrovias, ou cotas de nível, largura superficial, lâmina d'água e velocidade, que são primordiais para análise de tipo de barco ou tipo de navegação. O rio utilizado como objeto de estudo, em sua maioria, apresenta águas com a coloração amarronzada, trazendo indícios de assoreamentos frequentes e sedimentação ao longo de sua calha.

2.4 Trecho Navegável na Bacia Determinada

Um dos pontos mais importantes para o presente trabalho é a determinação do trecho navegável dentro da Bacia do Rio Atibaia. Para a escolha do trecho navegável, foi considerado critérios relevantes como a proximidade com as rodovias, abrindo campo para instalação de um porto intermodal, ou seja, a carga pode ser transportada em uma determinada localidade através do rio e chegando ao porto, a mesma pode ser transferida para um outro meio de transporte realizar a entrega no destino final através da rodovia. Outros parâmetros analisados foram o percurso do rio, sendo que o trecho escolhido está situado após a represa Rio da Cachoeira que por conta do grande desnível para acessá-la, iria precisar de grandes obras para tornar o trecho navegável, já o outro fator é que dentro da bacia existem locais onde não possui zonas urbanas no entorno, sendo trechos predominantes de matas e zonas rurais.

É necessário também ter um breve conhecimento socioeconômico das cidades localizadas neste trecho determinado que inicia no município de Piracaia e finaliza no município de Atibaia. Conforme dados do IBGE, a cidade de Piracaia possui uma população estimada de 27.617 pessoas, um PIB per capita de R\$17.540,72 e um IDHM de 0,739, o município possui uma área territorial de 385,568 km² e está localizado na região imediata de Bragança Paulista. Já a cidade de Atibaia possui uma população estimada de 145.378 pessoas, possuindo um PIB per capita de R\$50.498,62 e um IDHM de 0,765, a sua área territorial está em 478,521 km² e também está localizada na região imediata de Bragança Paulista.

3 Metodologia

Com a grande malha hidrográfica no território brasileiro, as hidrovias se tornam um modal promissor para a rede de transportes do país, evidenciando tanto o potencial natural do Brasil, como suas aplicações em projetos de desenvolvimento relacionados à mobilidade

urbana. Todavia, são várias as questões que impedem o avanço desse tipo de transporte, partindo de princípios políticos, de desenvolvimento econômico, além da ausência de estudos relacionados com a área, que levam, por exemplo, a necessidade de obras de intervenção no processo de readequação do canal para via navegável.

Na região de Bragança Paulista, cujo desenvolvimento encontra-se em expansão, se tratando de uma zona próxima a grandes centros metropolitanos do país como São Paulo e Campinas, o transporte é, em sua maior parte, concentrado nas redes rodoviárias, podendo citar a BR-381 Rodovia Fernão Dias e a SP-065 Rodovia Dom Pedro I.

Surge então uma proposta de análise para a viabilidade de tornar o Rio Atibaia, presente na região, uma possível hidrovia utilizada para transportar cargas ou pessoas. Como características deste modal, destacam-se o baixo custo, baixo impacto ao meio-ambiente, potencial para realizar longas viagens, comporta cargas pesadas e de grande quantidade, com isso os custos logísticos e a dependência do transporte rodoviário é reduzido.

A fim de iniciar a análise preliminar da via navegável é importante destacar que existem inúmeros parâmetros relevantes à navegação fluvial, no entanto alguns destes dados são adquiridos através de levantamentos feitos em campo e utilizando as ferramentas profissionais, tais informações devem ser captadas por especialistas, em anteprojetos ou mesmo projetos executivos, que conseqüentemente geram um custo financeiro. Já outros parâmetros são manipulados através de dados fornecidos por instituições e agências parceiras do governo de forma gratuita.

3.1 Características Físicas da Bacia

As características físicas são importantes para auxiliar nos parâmetros iniciais da pesquisa, são elas que demonstram os aspectos relacionados à indicadores internos e externos da bacia. Para Machado (2017), este conceito é referente aos seguintes itens: área de drenagem, forma da bacia, rede de drenagem, características do relevo da bacia, características geológicas e características agroclimáticas.

- **Área de drenagem:** é a área plana da bacia, utilizado como elemento básico para calcular outras características.
- **Forma da bacia:** está associado com o formato da bacia onde geralmente é redondo ou alongado, cada forma de bacia possui um comportamento hidrológico, diretamente relacionado com o tempo de concentração da bacia e como as vazões transcorrem ao longo do corpo hídrico.
- **Rede de drenagem:** são canais de escoamento relacionados entre si e dão forma a bacia hídrica. Os canais possuem uma hierarquia onde a primeira ordem corresponde a nascente, a segunda ordem é formada por dois rios de primeira ordem e a terceira ordem é o encontro de dois rios de segunda ordem.
- **Características do relevo da bacia:** o relevo influencia tanto nos fatores meteorológicos quanto nos hidrológicos, sendo que a declividade da bacia está ligada com a velocidade de escoamento e a altitude se relaciona com a precipitação, temperatura e evaporação.
- **Características geológicas:** está inteiramente ligado ao solo da bacia, sendo importante para índices de armazenamento, escoamento e suscetibilidade de erosão.
- **Características agroclimáticas:** diz respeito ao clima, precipitação e a vegetação do local.

3.2 Características Hidrográficas da Bacia

Para que o rio torne-se uma opção para hidrovia, alguns métodos de avaliação hidrográficas devem ser considerados, tendo como princípio a preservação da originalidade do canal e ainda atender os requisitos básicos para navegação interior. É importante encontrar alguns conceitos relacionados a hidrologia como: fluviomorfologia, que está associada aos

sedimentos que comumente são encontrados na calha fluvial podendo formar obstáculos que impedem a navegação; rendimento hidrológico, levando em consideração que uma bacia recebe água através de precipitações e que também a perde por conta da evaporação, infiltração e escoamento subterrâneo; vazões mínimas para navegação, parâmetro essencial para que a calha navegável assegure uma vazão capaz de manter uma profundidade maior ou igual à mínima para que os calados das navegações mantenham distância segura do fundo natural e, caso tal profundidade não possa ser mantida naturalmente, medidas estruturais artificiais poderão ser utilizadas através de obras de melhoramento e intervenção pluvial; coeficiente de perenidade, parâmetro ligado à estabilidade da variação de vazão em um rio, onde quanto mais estável for o coeficiente, menos o rio sofrerá com estiagem ou com a cheia.

3.3 Índices Pluviométricos

Os registros de chuvas mais antigos possíveis se fazem de suma importância para uma análise pluviométrica, pois este histórico auxilia na descoberta dos períodos mais recorrentes de chuvas e os períodos de seca. O regime de chuvas está totalmente interligado com o clima da região, juntos, ambos são importantes já que a água precipitada abastece o lençol freático e consequentemente alimenta a bacia hidrográfica. Segundo Stein (2017), as chuvas possuem diferentes intensidades e volumes de acordo com a região e como o Brasil é um país de grande extensão territorial, o seu clima varia de acordo com a região situada. Com um estudo mais aprofundado consequentemente encontrará os anos de maior recorrência de chuva e os anos mais secos, também verá qual a frequência que ocorre estes eventos. Tais dados são encontrados na maioria das vezes através do site do DAEE onde a fiscalização de barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos é realizada, exceto para fins de aproveitamento hidroelétrico, localizadas em cursos de água de domínio do Estado de São Paulo.

3.4 Parâmetros Econômicos e de Transporte

Atualmente no Brasil, a imensa maioria de políticas públicas e investimentos são aplicadas ao modal rodoviário, no entanto a situação do país ainda é agravante principalmente em relação à falta de infraestrutura nos mais diversos modais, como o hidroviário. Ribeiro e Ferreira (2002) em uma análise do panorama atual dos transportes no país afirmam que o Brasil tem uma subordinação no transporte terrestre através das rodovias, que pode ser explicado com a estatização dos portos, ferrovias e dutos, o que implica em um déficit nos transportes e consequentemente na economia da nação.

O transporte hidráulico, por se tratar de um meio que suporta grande quantidade de carga e que pode ser utilizado para longas distâncias, possui um custo menor relacionado ao frete. Segundo a CNT (2019) os custos de frete hidroviário pode ser 40% do custo rodoviário e 70% do custo de frete do modal ferroviário tratando-se de uma embarcação lotada. É importante salientar que as hidrovias possuem o menor custo no quesito tonelada-quilômetro comparada aos outros meios de transporte.

4 Resultados e Discussão

Visando o estudo inicial acerca do tema, vale ressaltar que não foi possível obter valores para todos os parâmetros que devem ser analisados, já que muitos deles exigem um período elevado de estudo e análises de pesquisa, além de um valor financeiro relevante. Como trata-se de um estudo preliminar, as informações básicas foram identificadas como prioritárias.

4.1 Caracterização Física da Bacia

Com a bacia delimitada, utilizando as cartas cartográficas e com o auxílio do *software AutoCAD*, é possível então, extrair dados à cerca da caracterização física do trecho escolhido do Rio Atibaia. A seguir estão os resultados relacionados ao tópico.

- **Perímetro da Bacia:** Conforme Figura 8, foi possível extrair o perímetro, que corresponde à linha vermelha, através dos picos topográficos no entorno da bacia encontrados nos mapas cartográficos. $P= 240,47$ km.

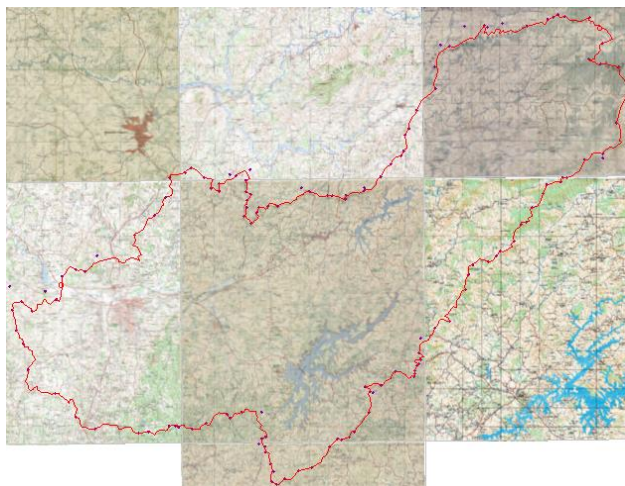


Figura 8 – Perímetro da Bacia Hidrográfica Rio Atibaia delimitado por AutoCAD. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

- **Área de drenagem:** Hachurada em vermelho, a área foi demarcada através da ligação dos picos topográficos (círculos roxos) que delimitam a bacia conforme Figura 9. $A= 1.354,08$ km².

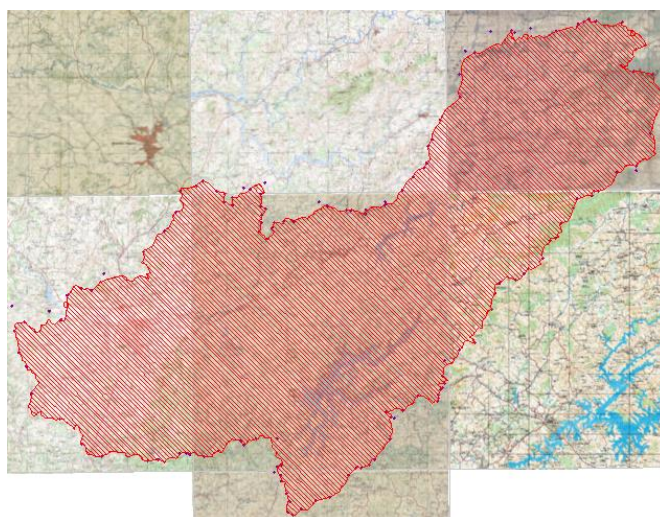


Figura 9 – Área da Bacia Hidrográfica Rio Atibaia delimitada por AutoCAD. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

- **Extensão do Talvegue:** Caracterizado como o rio principal e de maior extensão dentro da bacia, o talvegue está identificado na figura 10 pela linha preta. Ele inicia na nascente e percorre toda a bacia até chegar ao exutório determinado. $L= 153,33$ km.

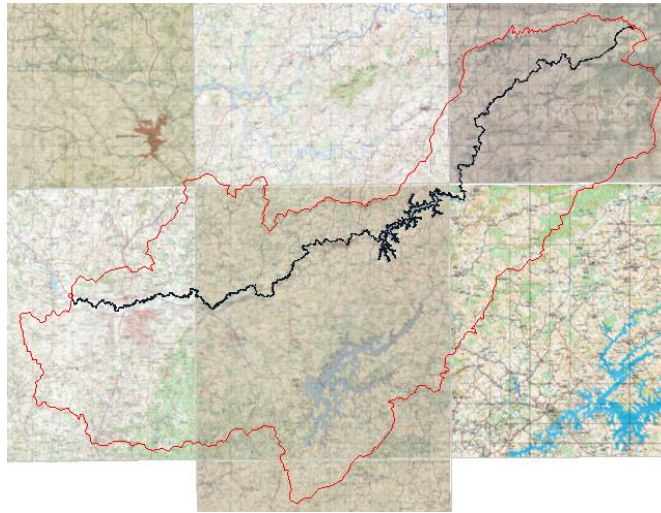


Figura 10 – Área da Bacia Hidrográfica Rio Atibaia delimitada por AutoCAD. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

- **Localização da Nascente e do Exutório:** Com uma altitude próxima de 1520 metros, a nascente do Rio Atibaia, demarcada com um círculo na cor *cian* representado na Figura 11, encontra-se na região da Serra da Mantiqueira e está localizada próxima ao distrito de Monte Verde na cidade de Camanducaia, Minas Gerais. Já o exutório, representado na Figura 12 também pelo círculo na cor *cian*, está a uma altitude próxima de 750 metros e fica próximo à rodovia SP – 065 Dom Pedro 1, no bairro da Usina que pertence ao município de Atibaia, São Paulo.

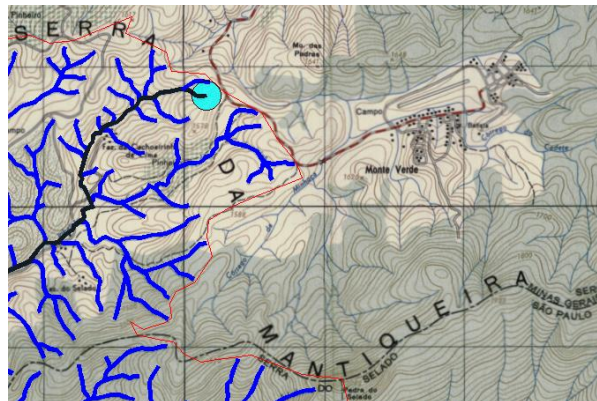


Figura 11 – Nascente Rio Atibaia identificada no AutoCAD. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

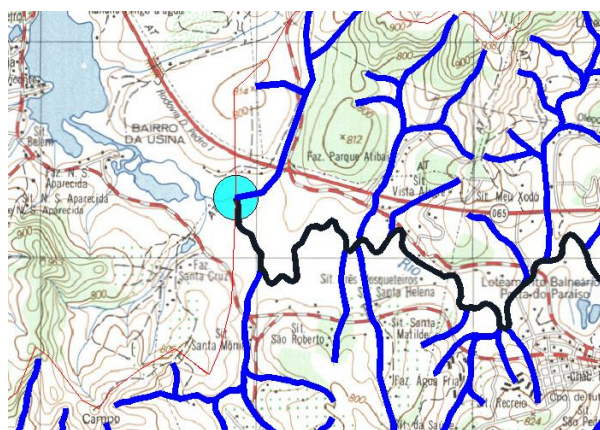


Figura 12 – Ponto de Exutório Rio Atibaia escolhido para presente pesquisa. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

- **Municípios:** Conforme figura 13, o perímetro do Rio Atibaia passa pelas cidades de Camanducaia, Extrema, Joanópolis, Piracaia, Bragança Paulista, Atibaia, Bom Jesus dos Perdões e Nazaré Paulista, Já o talvegue inicia na nascente localizada no município de Camanducaia e ainda passa pelas municípios de Joanópolis, Piracaia e Atibaia, onde está localizado o exutório.

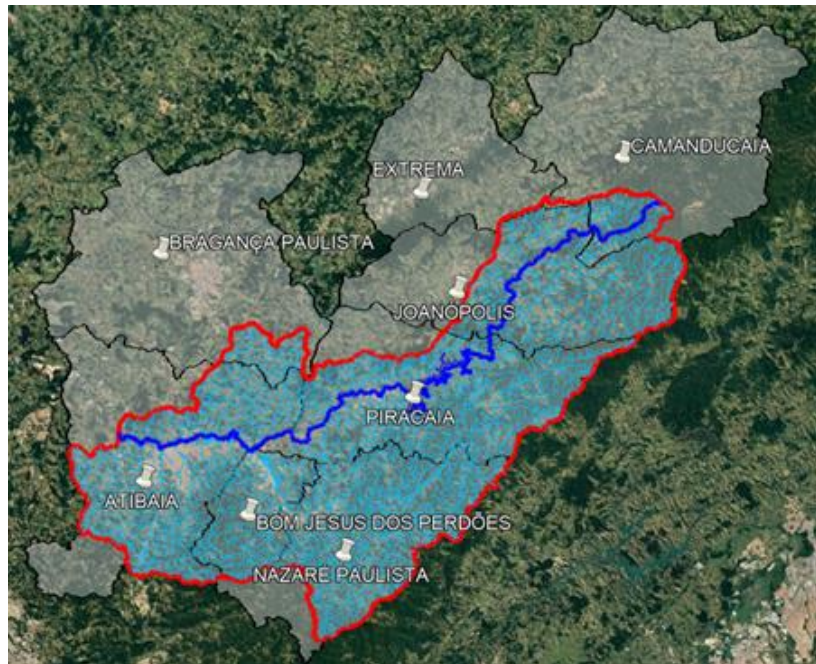


Figura 13 – Delimitação da bacia em relação aos municípios. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

- **Fator de Compacidade:** Sendo a relação entre o perímetro com a área da bacia, o fator de compacidade é calculado pela fórmula a seguir. Como o valor encontrado é maior que 1,50 a bacia não está sujeita a enchentes.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad Kc = 0,28 \frac{240,47}{\sqrt{1354,08}} \quad Kc = 1,83$$

- **Fator de Forma:** É encontrado utilizando os valores da área da bacia e do comprimento do talvegue conforme fórmula. Esse índice de perenidade, quanto menor for seu valor, mais comprida é a bacia. Já que o valor encontrado foi menor que 0,50 a bacia não está sujeita a enchentes.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad Kf = \frac{1354,08}{153,33^2} \quad Kf = 0,057$$

- **Índice de Circularidade:** O índice de circularidade permite concluir sobre a forma da bacia se aproximar a um quadrado, sendo que, valores próximos de 1,00 indica bacias mais sujeitas a enchentes e pouco perenes. A fórmula está representada a seguir e como o valor encontrado não está próximo de 1,00 então a bacia não está sujeita a enchentes.

$$Ic = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad Ic = 12,57 \frac{1354,08}{240,47^2} \quad Ic = 0,294$$

4.2 Precipitações mínimas, médias e máximas.

Alguns dos parâmetros de suma importância para a determinação de fatores básicos que devem ser considerados na instalação de uma hidrovia são os relativos à hidrologia e precipitações. Através de dados fornecidos pelo DAEE, o posto pluviométrico E3-074 foi analisado em suas medições mensais em um período de 59 anos, 1960 à 2019, com a finalidade de identificar algumas das chuvas no período histórico, exemplificadas na Figura 14 como precipitações mínimas, médias e máximas.

Chuva mensal (mm) - Posto Pluviométrico E3-074												
Período de 1960 à 2019	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
pp mín	61,7	23	33,5	13,2	4,5	0,2	0,2	0,3	2,6	40,7	57,4	108,7
pp méd	282,7	211,8	178,3	86,3	79,6	68,6	54,1	43,2	85,7	135,4	164,7	229,2
pp máx	547,8	498,9	496,9	222,4	331,6	287	175,1	144,5	284,7	279,7	339,1	388,9

Figura 14 – Precipitações mensais Rio Atibaia, Posto Pluviométrico E3-074. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

Através da tabela é possível destacar as chuvas mais intensas, assim como os períodos de maior seca durante o intervalo de tempo analisado, facultando a execução do gráfico relativo ao Ano Hidrológico previsto para bacia hidrográfica em estudo.

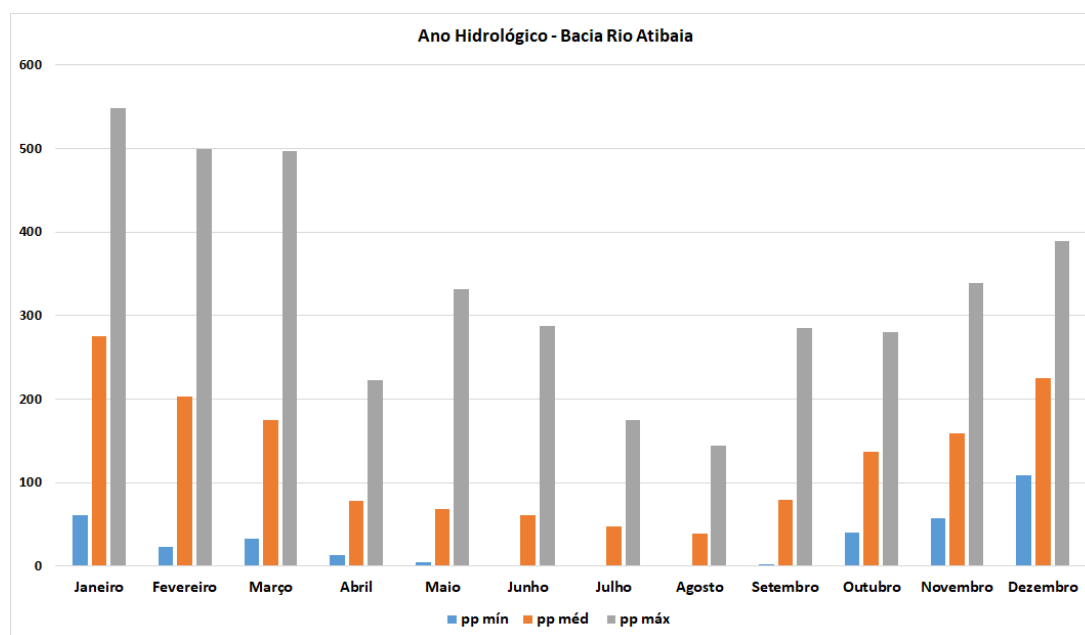


Figura 15 – Precipitações mensais Rio Atibaia, Posto Pluviométrico E3-074. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

Através da plotagem do gráfico relativo ao ano hidrológico da Bacia Rio Atibaia é possível determinar os períodos secos e os períodos úmidos. Para estudos respectivos à navegação fluvial é interessante interpretar as precipitações ao longo do ano, tendo em vista que as mesmas podem ocasionar o aumento do nível do corpo hídrico, conforme a análise do gráfico demonstrado na Figura 15, durante os meses de Outubro à Março, estação úmida, já durante o período de Abril à Setembro, estação seca, diminuindo o nível da calha fluvial, restringindo à escolhas de embarcações tipo que se adequem ao trecho, ou mesmo a necessidade de uma obra de melhoramento.

4.3 Vazões de Referência, Q7,10.

Tendo em vista que a vazão é um dos parâmetros essenciais para a determinação, tanto da viabilidade do rio como via navegável, como a escolha de embarcações tipo, ou intervenções para adequação do corpo hídrico. Através do posto de medição 3E-063, foi possível identificar as medições diárias de vazões no período histórico de 2002 a 2020. A fim de encontrar as vazões de referências, utilizadas para o gerenciamento dos recursos hídricos, assim como a avaliação de disponibilidade hídrica de uma determinada bacia hidrográfica.

O método Q7, 10 representa a vazão mínima, obtida através de uma média móvel de 7 dias para um tempo de retorno de 10 anos. Utiliza-se a distribuição de Gumbel para valores mínimos ou simplesmente distribuição de mínimos.

$$\mu = \beta - 0,5772 * \alpha \quad \sigma = \frac{\alpha * \pi}{\sqrt{6}} \quad Q_{7,TR} = \beta + \alpha * (\ln(-\ln(1 - \frac{1}{TR})))$$

μ : Média

σ : Desvio Padrão

α e β : Parâmetros da Série Histórica

TR: Tempo de Retorno

Através da Figura 16 é possível observar a vazão mínima de referência $Q = 2,58 \text{ m}^3/\text{s}$, utilizada para determinar a embarcação tipo a ser utilizada na hidrovia.

ANO	MÉDIA MOVEL MÍNIMA
2002	3,99
2003	3,91
2004	4,35
2005	5,96
2006	4,67
2007	3,61
2008	4,24
2009	6,40
2010	5,71
2011	5,14
2012	5,17
2013	4,71
2014	2,34
2015	1,68
2016	2,31
2017	3,03
2018	4,18
2019	5,51
2020	6,73

μ	4,40
σ	1,40
β	5,03
α	1,09

Q7,10 =	2,58	m³/s
----------------	-------------	------------------------

Figura 16 – Vazões de Referência método Q7,10. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

4.4 Declividade da Bacia

Com relação ao estudo das declividades na bacia hidrográfica é importante destacar que o mesmo deve ser realizado por métodos mais aprofundados com auxílio de softwares computacionais, além de verificação de dados em campo. Para o presente estudo de caso não foram encontradas informações relativas a declividade do trecho em análise, sendo assim, é necessário a realização do cálculo tendo em vista que a declividade é responsável por determinar a velocidade do escoamento superficial, além de influenciar diretamente na erosão do solo e consequentemente na escolha de obras de melhoramento e intervenção.

Dessa forma, as características da rede de drenagem da bacia hidrográfica em estudo devem ser imprescindíveis na realização de um anteprojeto, projeto executivo ou continuação da pesquisa em estudos posteriores, já que, na ocasião do estudo de caso, tanto a falta de informações, quanto o período de tempo reduzido da pesquisa impossibilitaram a execução de parâmetros relacionados à declividade média do canal.

4.5 Trecho Determinado Para Via Navegável

A hidrovia, ao qual foi determinada através de fatores abordados anteriormente, se inicia na cidade de Piracaia às margens da SP-036 Rodovia José Augusto Freire a qual possui uma ligação próxima com a SP-063 Rodovia Romildo Prado. Possuindo uma extensão de 50 km, a via navegável finaliza na cidade de Atibaia às margens da BR-381 Rodovia Fernão Dias e próximo ao trevo que liga a BR-381 a SP-065 Rodovia Dom Pedro I. Essa proximidade com tais rodovias é extremamente importante para que o trajeto tenha possibilidade de intermodalidade.

Com relação ao trecho navegável é possível identificar, previamente algumas obras de melhoria necessárias ao longo de sua extensão, levando em consideração também pontos de atracamento e manobras para as embarcações, além disso, todos os Terminais Fluviais foram alocados de maneira que mantivessem sua intermodalidade com a rede rodoviária da região, posicionados em pontos estratégicos para que a execução dos portos não interfira nas áreas residenciais e industriais. Em contrapartida, caso a zona de navegação tenha a possibilidade de extensão para outras cidades, a avaliação de uma possível obra de transposição de nível, como uma eclusa, deve ser levada em consideração. Partindo assim do princípio da montagem de um layout base para a hidrovia, todos os elementos citados podem ser observados na Figura 17.

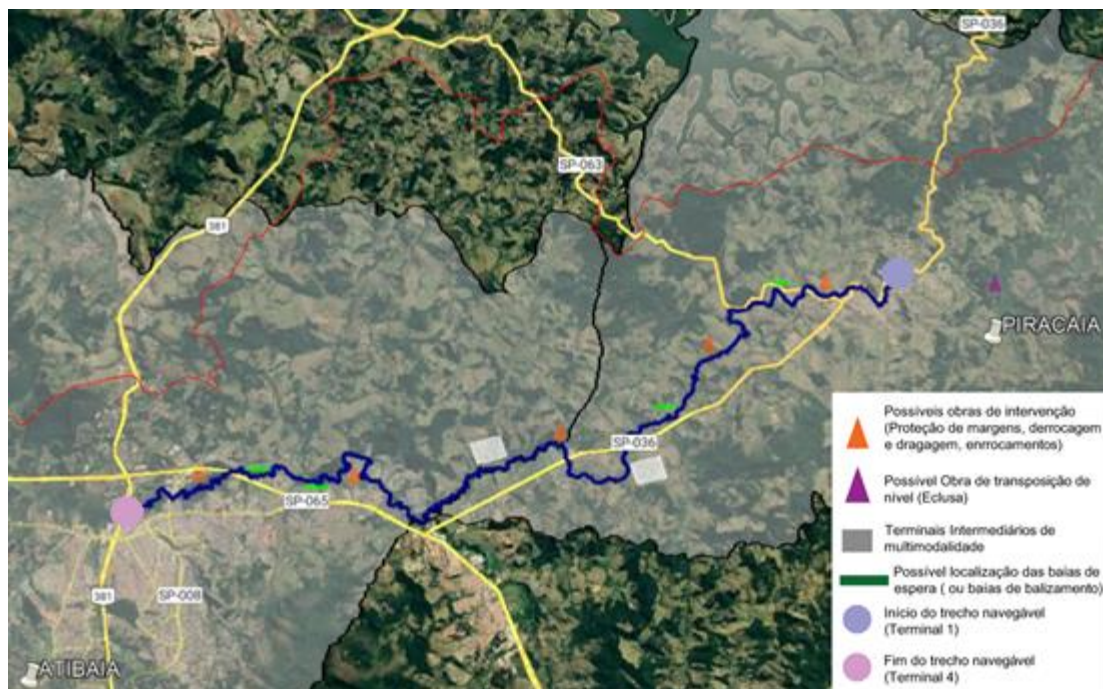


Figura 17 – Delimitação do trecho navegável. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

4.6 Possíveis Obras de Intervenção

As técnicas e intervenções utilizadas em rios são essenciais para que o canal seja de fato navegável, tendo em vista que todo percurso potencial à se tornar uma hidrovia precisa de uma

obra de melhoramento, proteção ou mesmo restauração, já que seu trajeto natural dificilmente é regular, de acordo com Santana e Tachibana apud Almeida e Brighetti (2004).

4.6.1 Obstáculos rochosos

Como citado anteriormente o Rio Atibaia, classificado como Rio de médio curso (Rio de Planalto), é caracterizado por calado mais estreito e trechos com lâmina d'água baixa, além de formações rochosas, dessa forma é possível concluir que para o rio tornar-se navegável a correção de tais fatores devem ser realizadas através de obras de derrocagem e desmonte de sedimentos maiores a serem avaliadas de acordo com o tamanho dos sedimentos e afloramentos rochosos (Figura 18), além de provável dragagem, variando de porte e função também da conformidade com fatores econômicos e investimentos disponíveis para projetos futuros.



Figura 18 – Trecho rochoso encontrado no Rio Atibaia, no município de Atibaia (23°06'11''S 46°32'32''W) (Fonte: Adaptada Google Earth, 2021).

4.6.2 Ilhas Fluviais

Outro empecilho encontrado ao longo do trajeto em estudo são as Ilhas Fluviais, representadas na Figura 19, que por sua vez impedem o trânsito livre de embarcações de porte maior, além de aumentarem a dificuldade de manobras devido ao raio de sua curvatura e, em sua maioria, representam partes de biomas e vegetações naturais pertencentes à região, dessa forma, a remoção das ilhas se torna uma obra de alto valor, além de dificuldade elevada, levando em consideração o porte dos equipamentos necessários, no entanto uma análise mais aprofundada referente aos sedimentos enraizados na calha fluvial do trecho de ilhas pode representar alternativas de intervenções mais econômicas, ou mesmo a possibilidade do desvio da hidrovia.



Figura 19 – Ilha Fluvial Rio Atibaia (23° 06' 12''S 46°32'42''W). (Fonte: Adaptada Google Earth, 2021).

4.6.3 Pontes existentes no trecho navegável

Outro obstáculo que deve ser levado em consideração na análise preliminar da hidrovía é a existência, ao longo do trecho navegável, de 15 pontes, conforme Figura 20, que por sua vez acabam prejudicando a navegação, tendo em vista que a ponte limita a altura da embarcação tipo como também a largura do canal fluvial, além do uso de uma distância do canal de navegação em relação aos pilares das pontes evitando possíveis acidentes com embarcações de porte maior, é necessário também a previsão de um conjunto de sinalizações maiores para os trechos com pontes, preservando a segurança. Algumas alternativas como readequação das pontes para movediças ou mesmo em casos extremos o desvio da calha, considerando que pesquisas pertinentes à altura e tipos de intervenções que podem ser realizadas para resolução do problema devem ser realizadas em campo, na execução de um anteprojeto ou projeto executivo.

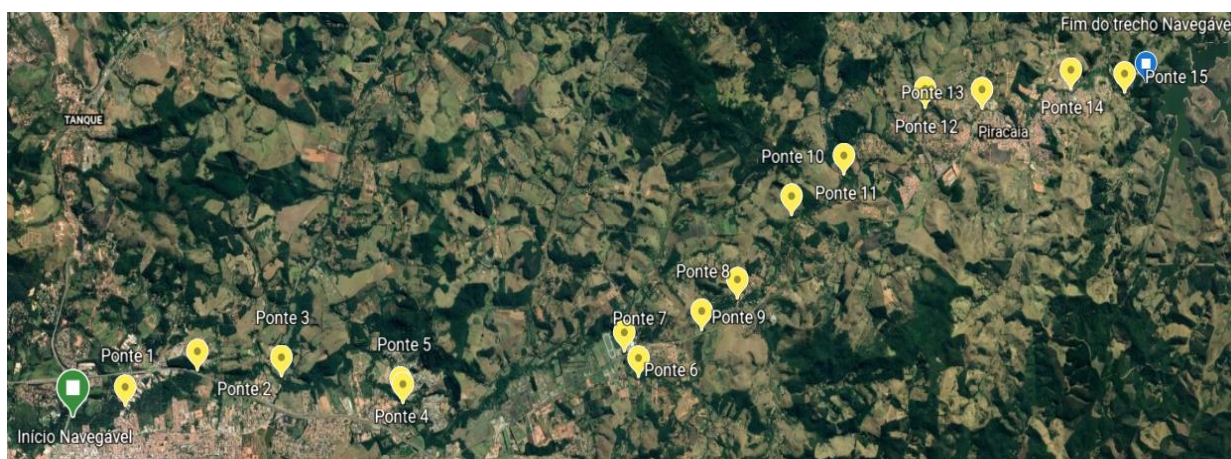


Figura 20 –Localização das pontes no trecho navegável em estudo. (Fonte: Adaptada Google Earth, 2021).

4.6.4 Transposição de desníveis

O trecho em análise ainda conta com uma represa à montante de seu percurso, possibilitando a extensão do trecho para demais cidades, desde que obras de transposição de desníveis sejam implementadas a fim de vencer a altura da lâmina d'água, sendo necessária a instalação de eclusas, conforme Figura 21, principalmente nas passagens do rio que se relacionem com represas e redes de abastecimentos hídricos.

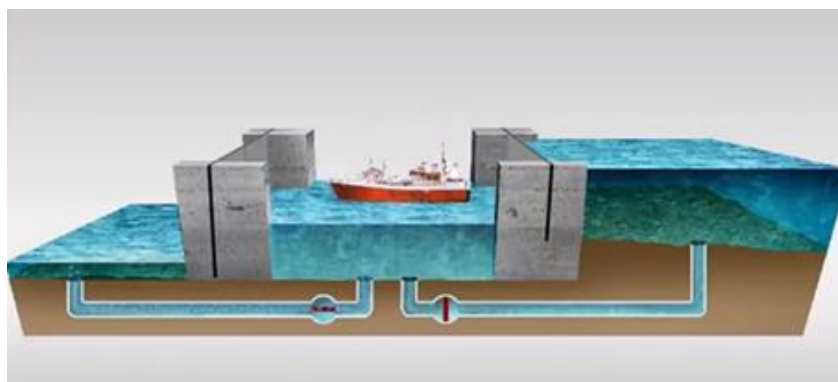


Figura 21 – Exemplo de transposição por eclusa. (Fonte: Engenharia em dia, 2017).

Conclusão

Uma via navegável exige um conhecimento amplo em vários quesitos dentro da Hidrologia, contendo diversos parâmetros e caracterizações pertinentes ao assunto. Tendo em vista que o processo de estudo de viabilidade não se trata de algo simples, demandando tempo consideravelmente extenso de estudos preliminares, além de, em alguns casos a utilização de recursos econômicos para análises mais complexas. É imprescindível para início de projetos ou mesmo anteprojetos que o profissional de hidráulica obtenha o máximo de informações para a então análise executiva.

Com o estudo preliminar apresentado, foi possível coletar dados consideráveis à cerca da bacia hidrográfica do Rio Atibaia. Todos os conceitos apresentados foram adquiridos através do breve conhecimento assimilado no decorrer da jornada acadêmica e com o aprofundamento no tema com auxílio principalmente de artigos e livros.

Fato é que a hidrovía se faz útil para discussões atuais, sendo apresentada como um meio de transporte capaz de conduzir grandes cargas, além de atuar como um meio auxiliar ao modal rodoviário, atualmente saturado, levando em consideração a dependência do país neste tipo de transporte. A ideia de utilizar a intermodalidade é algo relevante que deve ser levado em conta pois tal tipo, busca absorver as principais qualidades de cada modal para que trabalhem juntos.

O corpo hídrico do Rio Atibaia oferece resultados convincentes, abrindo portas para estudos posteriores, a fim de seguir adiante com a proposta de readequação em uma via navegável. O possível trecho no qual foi determinado como hidrovía mostrou-se útil para ligar as cidade de Piracaia e Atibaia por meio do rio, principalmente pelo fato de estar próximo a rodovias importantes nacionalmente, sendo o caso da Rodovia BR-381 Fernão Dias e a Rodovia SP-065 Dom Pedro I, abrindo possibilidade de uma intermodalidade entre o modal rodoviário e hidrovíário, além do desenvolvimento socioeconômico promissor para região.

Para tanto é necessário considerar previamente a execução de obras de intervenção e melhoramento, a fim de corrigir empecilhos encontrados ao longo do estudo preliminar sobre o calado do rio, como o uso de proteção para as margens, que apresentam regiões de desassoreamento, além de limpeza e derrocagem de calha fluvial e a utilização de dragas em fragmentos acidentados com possível declividade elevada. Além disso é necessário destacar que, como estudo preliminar, alguns parâmetros essenciais para viabilidade da via não foram estudados a fundo, dentre eles o cálculo de declividade, a batimetria de calha fluvial e análises sedimentares, são essenciais para levantamentos reais do estudo de caso e se tornam primordiais para uma pesquisa posterior.

Por fim, vale considerar que o presente estudo inicial é extremamente importante para despertar discussões em que no futuro poderão tornar possível a execução do projeto executivo de uma hidrovía, sendo este, o primeiro passo para uma obra de atribuição nacional, com capacidade não apenas de melhorar a qualidade de vida dos habitantes da região, como também levar o crescimento e desenvolvimento socioeconômico para todo país.

Referências Bibliográficas

- BRIGHETTI, G. **Estabilização e proteção de margens: notas de aula**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- CAMPOS, H.B. Notas de Aula – GR02454BP – **Recursos Hídricos e Gestão de Bacias** – Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco. Bragança Paulista, 2019.
- CARVALHO, A; LEPSCH, J. B; VALADARES, C.L. **Levantamento Pedológico semidetalhado do município de Atibaia, SP**. Bragantia, Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo. Campinas, 1975.
- CNT – Confederação Nacional do Transporte. **Aspectos gerais da navegação interior no Brasil**. Cadernos Hidroviários CNT, volume 1 – Brasília: CNT, 2019.
- DEMANBORO, A.C, LAURENTIS, G.L, BETTINE, S.C. Cenários ambientais na bacia do rio Atibaia. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Campinas - SP, v. 18, n. 1, p. 27-37, jan./mar. 2013.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades. Atibaia, SP**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/atibaia/panorama>. Acesso em 15 nov. 2021
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades. Piracaia, SP**. Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/piracaia/panorama>. Acesso em 15 nov. 2021
- MACHADO, Vanessa.de. S. **Princípios de Climatologia e Hidrologia**. 1 ed. Porto Alegre: SAGAH, 2017.
- MIGUENS, A. P. **Navegação a Ciência e a Arte. Vol I**. Navegação costeira estimada e em águas restritas. Rio de Janeiro: DHN, 2001.
- NASCENTES são esperança para o Rio Atibaia, em Campinas (SP). **G1**, 22 mar. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/campinas-regiao/terra-da-gente/noticia/nascentes-sao-esperanca-para-o-rio-atibaia-em-campinas-sp.ghtml>. Acesso em 11 nov. 2021.
- RIBEIRO, Priscila; FERREIRA, Karine. **Logística e transportes: uma discussão sobre modais de transporte e o panorama brasileiro**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba, PR, out, 2002.
- SANTANA, Walter Aloisio. TACHIBANA. Toshi-ichi. Caracterização dos elementos de um projeto hidroviário, vantagens, aspectos e impactos ambientais para a proposição de metodologias técnico-ambientais para o desenvolvimento do transporte comercial de cargas nas hidrovias brasileiras. **ENGEVISTA**, São Paulo - SP, v. 6, n. 3, p. 75-85, dez. 2004.
- SILVA, A. N. R. **Portos e Vias Navegáveis: notas de aula**. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Transportes, São Paulo, 2013.
- STEIN, Ronei Tiago. **Manejo de bacias hidrográficas**. Porto Alegre: SAGAH, 2017