

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE NOVAS TRANSPOSIÇÕES DE VAZÃO NO RIO PARAÍBA DO SUL

R5: MODELAGEM DE QUALIDADE DA ÁGUA

Preparado para:

AGEVAP

Setembro 2013

VERSÃO FINAL

PSR

Sumário

Sumário Executivo.....	6
1 Introdução.....	9
2 Metodologia.....	10
3 Dados Utilizados.....	12
4 Resultados	13
4.1 Modelagens dos cenários críticos de vazões	13
4.2 Parâmetros de qualidade da água.....	22
5 Conclusões	25
6 Referências	26

Lista de Figuras

Figura 1: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 38 m ³ /s simulado para 2010 sem transposição.....	7
Figura 2: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 31 m ³ /s simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior caso).	7
Figura 3: Detalhe da malha do modelo hidrodinâmico para o Rio Paraíba do Sul – Barra do Piraí.....	11
Figura 4: Vazão e concentração de fósforo no Rio Paraíba do Sul – São José dos Campos	13
Figura 5: Vazão e concentração de fósforo no Rio Paraíba do Sul – Barra do Piraí	14
Figura 6: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão média de 87 m ³ /s.....	15
Figura 7: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mensal mínima de 66 m ³ /s de setembro de 2004.....	16
Figura 8: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 38 m ³ /s simulado para 2010 sem transposição.....	16
Figura 9: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 31 m ³ /s simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior caso).	17
Figura 10: Velocidades para o trecho Barra do Piraí usando vazão média de 153 m ³ /s.....	18
Figura 11: Velocidades para o trecho Barra do Piraí usando vazão mensal mínima de 115 m ³ /s de dezembro de 2004.	18
Figura 12: Velocidades para o trecho Barra do Piraí usando vazão mínima histórica 75 m ³ /s simulado para 2010 sem transposição.....	19
Figura 13: Velocidades para o trecho Barra do Piraí usando vazão mínima histórica 51 m ³ /s simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior caso).....	19
Figura 14: Velocidades para o trecho Campos usando vazão média de 792 m ³ /s.....	20
Figura 15: Velocidades para o trecho Campos usando vazão mensal mínima de 273 m ³ /s de setembro de 2010.....	20
Figura 16: Velocidades para o trecho Campos usando vazão mínima histórica 178 m ³ /s simulado para 2010 sem transposição.	21
Figura 17: Velocidades para o trecho Campos usando vazão mínima histórica 165 m ³ /s simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior cenário).....	21
Figura 18: Oxigênio dissolvido ao longo do Rio Paraíba do Sul.....	22
Figura 19: Demanda bioquímica oxigênio ao longo do Rio Paraíba do Sul.....	23
Figura 20: Fósforo total ao longo do Rio Paraíba do Sul.....	23
Figura 21: Nitrato ao longo do Rio Paraíba do Sul.....	24
Figura 22: Coliformes termorresistentes ao longo do Rio Paraíba do Sul.....	24

Lista de Tabelas

Tabela 1: Vazões utilizadas para a modelagem de qualidade da água e hidrodinâmica nos trechos selecionados	6
Tabela 2: Vazões utilizadas para a modelagem de qualidade da água e hidrodinâmica nos trechos selecionados	12
Tabela 3: Nível trófico baseada na concentração de fósforo total.....	13

Lista de Siglas

AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

CEIVAP – Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro

CESAMA – Companhia de Saneamento e Pesquisa do Meio Ambiente (MG – JF)

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

COPPE – Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia (UFRJ)

DAE-MG Departamento de Água e Energia Elétrica de Minas Gerais

DAEE/SP – Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Light – Serviço de Eletricidade S/A.

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO EXECUTIVO

Com intuito de se obter insumos para analisar os impactos de novas transposições de vazão, a compilação dos dados de qualidade da água do Rio Paraíba do Sul e seus principais afluentes na região de interesse, foi realizada para dois propósitos distintos: a primeira onde os dados serão condições iniciais para um modelo de qualidade da água do rio e dos reservatórios, e a segunda como condição de contorno do mesmo modelo. Vale ressaltar que tendo em vista a possibilidade de erros no modelo, foi realizada também uma avaliação da consistência dos dados de qualidade da água para se eliminar eventuais inconsistências.

O quadro é grave quando se considera a qualidade da água nas situações mais críticas. No cenário atual, apresentado no primeiro relatório de avaliação da qualidade da água é evidenciado o problema para vazões de estiagem, sem as transposições. Em trechos de rio a jusante da UHE Funil, já foi verificada amostragens que apontam essa criticidade.

Dito isso, foram fornecidos dados que permitiram doze simulações hidrodinâmicas, ilustrando o efeito da diminuição da vazão no campo de velocidades do Rio Paraíba do Sul. As doze simulações são resultados dos três trechos selecionados como críticos do rio Paraíba do Sul juntamente com as quatro simulações para vazão:

- Vazão média de longo termo,
- Vazão média mensal mínima,
- Vazão mínima do histórico em 2010,
- Vazão mínima do histórico simulado para 2035 com implantação da Transposição de Vazão representada pela alternativa #10 (ou seja, a que retira a maior vazão do rio Paraíba do Sul, sendo esta de 15,5 m³/s).

Os trechos selecionados como críticos para o rio Paraíba do Sul são:

- São Paulo: Jacareí – São José dos Campos;
- Rio de Janeiro: Santa Cecília – Barra do Piraí; e
- Rio de Janeiro: Campos dos Goytacazes.

As vazões usadas para cada trecho se encontram na Tabela 1 abaixo.

Trecho	Vazão média de Longo Termo (QMLT) (m ³ /s)	Vazão média mensal mínima (m ³ /s)	Vazão mínima do histórico em 2010 (m ³ /s)	Vazão mínima 2035 com a alternativa alternativa 10 (m ³ /s)
Jacareí/ S.J. Campos, SP	87	66	38	31
Santa Cecília, B. Piraí, RJ	153	115	75	51
Campos, RJ	792	273	178	165

Tabela 1: Vazões utilizadas para a modelagem de qualidade da água e hidrodinâmica nos trechos selecionados

No caso de São José dos Campos, as Figura 1 e Figura 2 mostram as velocidades para vazão mínima simulada sem transposição em 2010 e com Transposição de Vazão sugerida pela alternativa #10 no cenário de 2035 (ou seja, para o pior cenário).

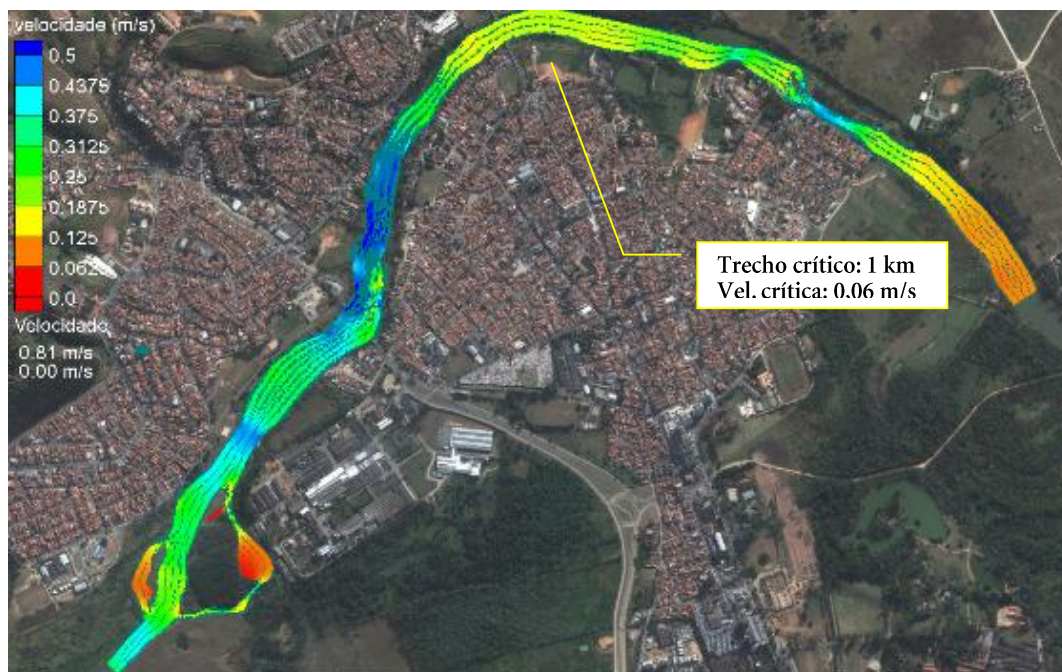


Figura 1: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 38 m³/s simulado para 2010 sem transposição.

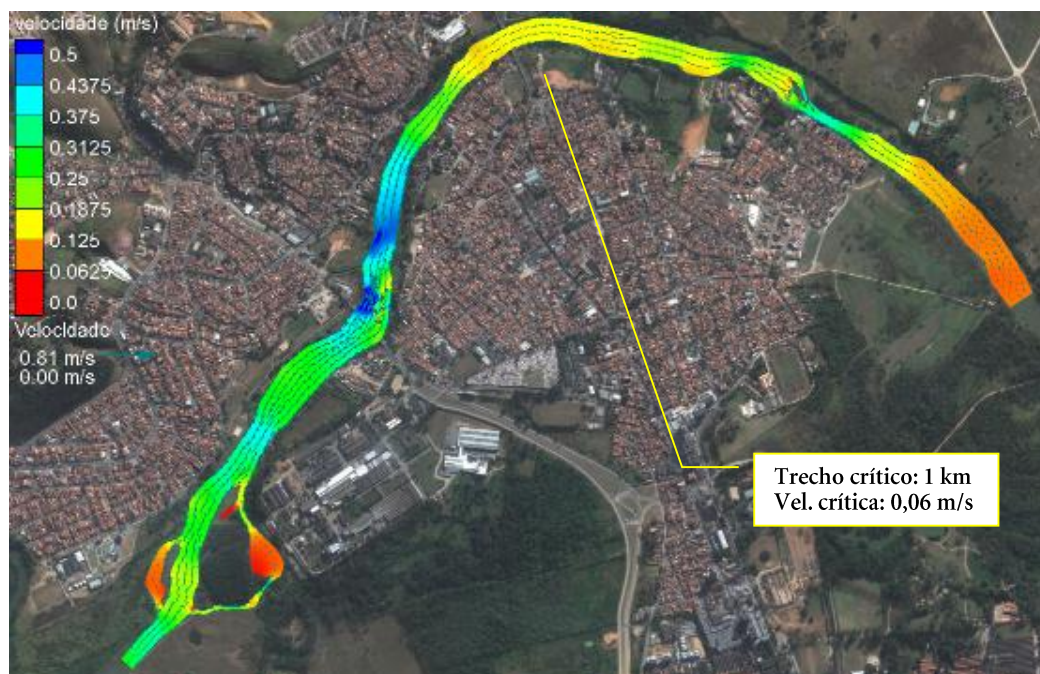


Figura 2: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 31 m³/s simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior caso).

Note que quanto menor a vazão há tendência de diminuir as velocidades, e que em alguns pontos de estagnação tais velocidades podem atingir valor críticos perto de zero. O impacto da transposição em si no campo de velocidades, deve ser medido pelas diferenças entre as Figura 1 e Figura 2, e tais impactos são relativamente pequenos, com redução entre 0 e 25% nas velocidades. Este trecho é o que sofre o maior impacto dentre os 3 simulados.

O modelo não detalha o suficiente as margens, mas certamente, podem ocorrer em pontos específicos velocidades ainda menores, o que pode levar a uma situação de boom de algas, em função das condições meteorológicas e de concentração de nutrientes existentes nesses trechos e que preocupam a AGEVAP.

Ressalta-se, entretanto, que as transposições teriam um impacto nas velocidades, mas eventuais problemas de eutrofização deverão ocorrer com ou sem transposição se a vazão chegar a valores iguais aos mínimos aqui simulados.

Sendo assim, os impactos na qualidade da água averiguados são relevantes para os casos de ocorrência de vazões mínimas em todos os trechos estudados, concluindo que:

- A ocorrência de vazões extremas baixas em todos os trechos estudados pode acarretar em situações desfavoráveis de qualidade da água, condições de eutrofização ou surgimento de algas;
- As condições encontradas para as vazões simuladas para os cenários com e sem a transposição de vazões mostram situações indesejáveis para qualidade da água;
- Para maior acurácia dos resultados e definição dos pontos mais críticos nessas localidades selecionadas como mais relevantes, é necessário investir em novos levantamentos de seções topobatimétricas e aferição de parâmetros de qualidade da água nesses trechos em situações de vazões baixas;
- A aprovação de novas transposições só deve piorar as condições de qualidade da água nesses trechos, onde apenas um investimento intenso em saneamento básico e tratamento de efluentes poderia reverter o quadro atual e o futuro.

1 INTRODUÇÃO

Este documento é a revisão do quinto produto previsto na Proposta Técnica do Ato Convocatório nº 18 publicado pela AGEVAP. Como indicado no Plano de Trabalho, o objetivo é descrever os resultados obtidos pela modelagem hidrodinâmica e análise do impacto na qualidade da água para os cenários alternativos de Novas Transposições de Vazões no rio.

Aqui são apresentados alguns aspectos de possíveis impactos da subtração de vazão do Rio Paraíba do sul na qualidade da sua água.

A preocupação essencial é a de que com menores vazões devido ao aumento dos usos consuntivos, haja um impacto na hidrodinâmica do rio de modo a diminuir suas velocidades, aumentar a retenção das águas em alguns locais e, conseqüentemente, possivelmente causar condições mais propícias ao desenvolvimento de algas, por exemplo.

As seções subsequentes estão organizadas da seguinte forma. Primeiramente mostra-se como a redução de vazão pode causar problema de qualidade da água, e o caso abordado é com relação ao aumento de potencial eutrófico/crescimento de algas. Depois é feita uma breve tentativa de diagnóstico da qualidade da água do rio Paraíba do Sul usando apenas alguns parâmetros. É mostrada a distribuição espacial de alguns parâmetros ao longo do rio e também a variação temporal juntamente com a vazão do rio em dois pontos. Finalmente são mostrados alguns resultados de simulações hidrodinâmicas para vazões médias, vazões mínimas históricas, e também para vazões hipotéticas com o pior caso de aumento consuntivo de acordo com resultados do presente projeto. Estas simulações revelam que, embora o Rio Paraíba apresente potenciais problemas de baixa velocidade em épocas de estiagem extrema, o aumento consuntivo e a conseqüente diminuição das vazões, mesmo para estas épocas, representará muito pouca variação nas velocidades do rio e, conseqüentemente, não poderá ser responsável por eventuais problemas de aumento significativo de eventos de crescimento de algas.

2 METODOLOGIA

O modelo hidrodinâmico usado neste estudo é o sistema de modelagem do TABS-MD/RMA-2¹. Este sistema é equivalente a muitos outros modelos existentes, já que usa métodos de elementos finitos e resolve as mesmas equações hidrodinâmicas (equações de Navier-Stokes/ Reynolds médias) que outros modelos.

As equações necessárias para calcular as quatro incógnitas da circulação hidrodinâmica, velocidade na direção x, velocidade na direção y, velocidade na direção z e elevação da superfície livre (u, v, w, ζ , respectivamente), se baseiam nas equações abaixo:

- A. Equação da quantidade de movimento, com aproximação hidrostática, na direção x

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \right) + 2\Phi \sin \theta v$$

- B. Equação da quantidade de movimento, com aproximação hidrostática, na direção y

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \right) + 2\Phi \sin \theta u$$

- C. Equação da continuidade (do volume):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- D. Equação da continuidade (do volume) integrada ao longo da vertical:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\zeta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h}^{\zeta} v dz = 0$$

Onde u, v e w são, respectivamente, as velocidades nas direções x, y e z, ρ_0 é uma densidade constante de referência, Φ é a velocidade angular de rotação da terra no sistema de coordenadas local e os termos com Φ são as forças de Coriolis, no qual θ é o ângulo de Latitude. ζ é a elevação da superfície livre, τ_{ij} são as tensões de cisalhamento e h é a profundidade.

Tais equações são integradas na vertical o que produz um modelo nas coordenadas horizontais e temporal, com incógnitas iguais às componentes das velocidades médias na vertical, na direção x e y, respectivamente, $U(x,y,t)$ e $V(x,y,t)$ e as elevações da superfície livre $z = \zeta(x,y,t)$, conforme as seguintes equações:

Equação da quantidade de movimento, para escoamento integrado na vertical, na direção x:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho_0 H} \left(\frac{\partial H \bar{\tau}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial H \bar{\tau}_{xy}}{\partial y} + (\tau_y^S - \tau_x^B) \right) + 2\Phi \sin \theta V$$

Equação da quantidade de movimento, para escoamento integrado na vertical, na direção y:

¹ Informações em http://smig.usgs.gov/cgi-bin/SMIC/browse_models.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho_0 H} \left(\frac{\partial H \bar{\tau}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial H \bar{\tau}_{yy}}{\partial y} + (\tau_y^S - \tau_x^B) \right) + 2\Phi \sin \theta U$$

onde H é a profundidade, τ_i^S e τ_i^B são as tensões de atrito na superfície (devido ao vento) e no fundo, respectivamente. O índice i representa a direção, por exemplo: i=1 componente x, i=2 componente y e i=3, a componente z.

Todas as tensões de Reynolds (τ_{ij}) são modeladas usando um modelo de fechamento de turbulência conhecido por k-ε.

As equações acima são discretizadas para pontos (nós) em uma malha de elementos finitos triangulares com seis nós cada. Entre os pontos de cada elemento, as incógnitas do problema são calculadas com um polinômio de segundo grau. Este é o método de elementos finitos.

De forma a exemplificar a discretização dos domínios modelados, elaborou-se a Figura 3 no ponto estudado de Barra do Pirai.



Figura 3: Detalhe da malha do modelo hidrodinâmico para o Rio Paraíba do Sul – Barra do Pirai.

3 DADOS UTILIZADOS

Os dados fornecidos permitiram doze simulações hidrodinâmicas, que ilustram o efeito da diminuição da vazão no campo de velocidades do Rio Paraíba do Sul. As doze simulações são resultados dos três trechos selecionados como críticos do rio Paraíba do Sul juntamente com as quatro simulações para vazão:

- Vazão média de longo termo,
- Vazão média mensal mínima,
- Vazão mínima do histórico em 2010,

Vazão mínima do histórico simulado para 2035 com implantação da Transposição de Vazão representada pela alternativa #10 (ou seja, a que retira a maior vazão do rio Paraíba do Sul, sendo esta de 15,5 m³/s).

Os trechos selecionados como críticos para o rio Paraíba do Sul são:

- São Paulo: Jacareí – São José dos Campos;
- Rio de Janeiro: Santa Cecília – Barra do Piraí; e
- Rio de Janeiro: Campos dos Goytacazes.

As vazões usadas para cada trecho se encontram na Tabela 2 abaixo.

Trecho	Vazão média de Longo Termo (QMLT) (m ³ /s)	Vazão média mensal mínima (m ³ /s)	Vazão mínima do histórico em 2010 (m ³ /s)	Vazão mínima 2035 com a alternativa 10 (m ³ /s)
Jacareí/ S.J. Campos, SP	87	66	38	31
Santa Cecília, B. Piraí, RJ	153	115	75	51
Campos, RJ	792	273	178	165

Tabela 2: Vazões utilizadas para a modelagem de qualidade da água e hidrodinâmica nos trechos selecionados

4 RESULTADOS

4.1 Modelagens dos cenários críticos de vazões

Existe obviamente alguma correlação (positiva ou negativa) entre nível de vazão e concentração de fósforo. Porém, a relação não é facilmente detectada para rios. Por exemplo, quando um evento de chuva local carrega fósforo da rede de esgotos pluviais ou mesmo de fertilizantes agrícolas, a concentração de fósforo é inversa à da vazão existente no rio naquele ponto e naquele instante. Se um rio tem sua vazão reduzida, neste caso, a tendência é o aumento da concentração de fósforo, e vice versa, o que caracteriza uma correlação negativa. Por outro lado, o aumento do carreamento de fósforo pode ser acompanhado do aumento de vazão, e neste caso pode haver correlação positiva.

Sendo assim, em termos de classificação da eutrofização dos rios, a concentração de fósforo total pode ser usada conforme mostrado na Tabela 3 abaixo, adaptada da CETESB. Vale ressaltar que o nível máximo recomendado pela resolução CONAMA é 0,1 mg/l.

Condição do rio	Concentração de Fósforo (mg/l)
Oligotrófico	< 0,035
Mesotrófico	0,035 - 0,137
Eutrófico	> 0,137

Tabela 3: Nível trófico baseada na concentração de fósforo total.

Tanto a situação de correlação positiva quanto a de correlação negativa foram detectadas no Rio Paraíba do Sul, em particular em dois trechos escolhidos para o presente estudo: São José dos Campos e Barra do Piraí, como mostram as Figura 4 e Figura 5. Note que em várias situações dos 10 anos mostrados, o limite de 0,1 mg/l foi superado, e, particularmente em Barra do Piraí, uma boa parcela destes 10 anos mostrados, o rio se encontrou em estado eutrófico.

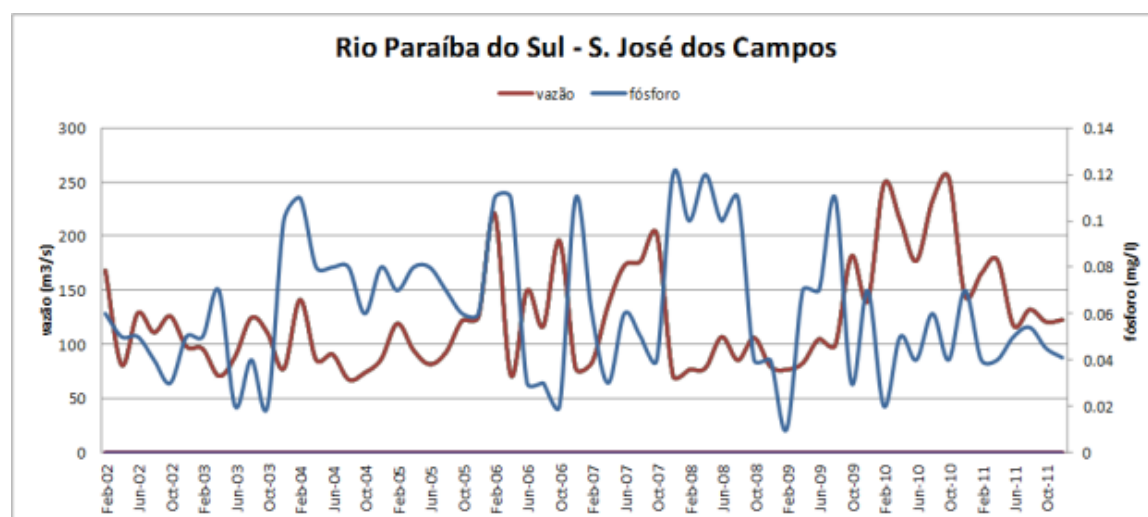


Figura 4: Vazão e concentração de fósforo no Rio Paraíba do Sul – São José dos Campos

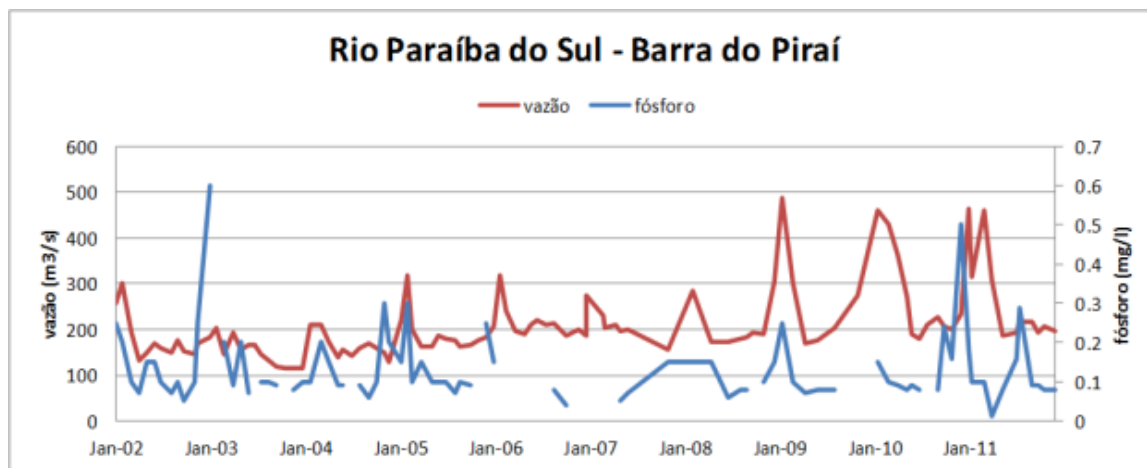


Figura 5: Vazão e concentração de fósforo no Rio Paraíba do Sul – Barra do Pirai

É importante ressaltar que a diminuição da vazão de um rio por meios não naturais (por exemplo, por captação de água) causa uma direta diminuição da sua capacidade de diluição das cargas de fósforo (que obviamente não se alteram) e um aumento da concentração de fósforo com imediato aumento do nível trófico. Por exemplo, em um rio com concentração original de fósforo de 0,1 mg/l (mesotrófico), mantendo-se as cargas de fósforo (esgotos, etc.), desprezando-se outros fatores, e diminuindo-se a sua vazão para a metade do seu valor original, levará a concentração de fósforo do nível mesotrófico para um nível eutrófico de aproximadamente 0,2 mg/l. Em épocas de baixa vazão, isto pode se tornar crítico, visto que normalmente a captação de água para abastecimento se mantém a mesmo e pode alterar consideravelmente a disponibilidade de água para diluição das cargas de fósforo (sem falar de outros poluentes).

Outro fator de alerta em condições de baixa vazão, é a redução das velocidades do rio inclusive com o aparecimento de bolsões com água quase parada perto das margens. Na maioria dos rios o crescimento de algas é muito menor que em reservatórios justamente porque o corpo d'água não fica suficientemente calmo para que o processo de fotossíntese ocorra com facilidade. Em condições de baixas velocidades, certos trechos do rio podem ter a sua capacidade de produção de algas aumentada.

Considere a seguinte estimativa: o inverso do coeficiente de crescimento de alga por consumo de fósforo (supondo $k_s=5 \text{ dia}^{-1}$; $k_{s,1}=5 \text{ horas}$) pode ser comparado com o tempo de percurso (ou residência) da água em trechos de água muito parada. O crescimento de algas tem maior chance de ocorrer em casos em que o tempo de residência da água é maior. Grosso modo, a taxa de crescimento de algas certamente irá ocorrer em locais onde há abundância de fósforo e onde a escala de “tempo de residência da água” é da ordem de $k_s^{-1} \cong 5 \text{ horas}$ ou mais.

É possível assim, observar trechos de rios onde há baixa velocidade e se estimar quanto tempo a água fica “parada” naquele trecho. Nos gráficos mostrados mais adiante, é indicada a velocidade necessária estimada por este método para que este crescimento de alga ocorra na parte mais lenta – e portanto mais crítica – do trecho simulado. Conforme dito anteriormente, os dados fornecidos permitiram doze simulações hidrodinâmicas, que ilustram o efeito da dimi-

nuição da vazão no campo de velocidades do Rio Paraíba do Sul. As doze simulações são resultados dos três trechos selecionados como críticos do rio Paraíba do Sul juntamente com as quatro simulações para vazão:

- Vazão média de longo termo,
- Vazão média mensal mínima,
- Vazão mínima do histórico em 2010,
- Vazão mínima do histórico simulado para 2035 com implantação da Transposição de Vazão representada pela alternativa 10 (ou seja, a que retira a maior vazão do rio Paraíba do Sul, sendo esta de 15,5 m³/s).

No que consiste à hidrodinâmica, as dimensões de profundidade foram interpoladas e extrapoladas a partir dos levantamentos das seções transversais existentes para o rio Paraíba do Sul. No caso foram usadas três seções em cada trecho modelado.

No caso de São José dos Campos, as Figura 6 e Figura 7 mostram as velocidades para a vazão média e mínima (mensal), e as Figura 8 e Figura 9 mostram as velocidades para vazão mínima simulada sem transposição em 2010 e com Transposição de Vazão sugerida pela alternativa #10 no cenário de 2035 (ou seja, para o pior cenário e menor vazão a jusante das transposições). Note que quanto menor a vazão há tendência de diminuir as velocidades, e que em alguns pontos de estagnação tais velocidades podem atingir valor críticos perto de zero. O impacto da transposição em si no campo de velocidades, deve ser medido pelas diferenças entre as Figura 8 e Figura 9, e tais impactos são relativamente pequenos, com redução entre 0 e 25% nas velocidades. Este trecho é o que sofre o maior impacto dentre os três simulados.

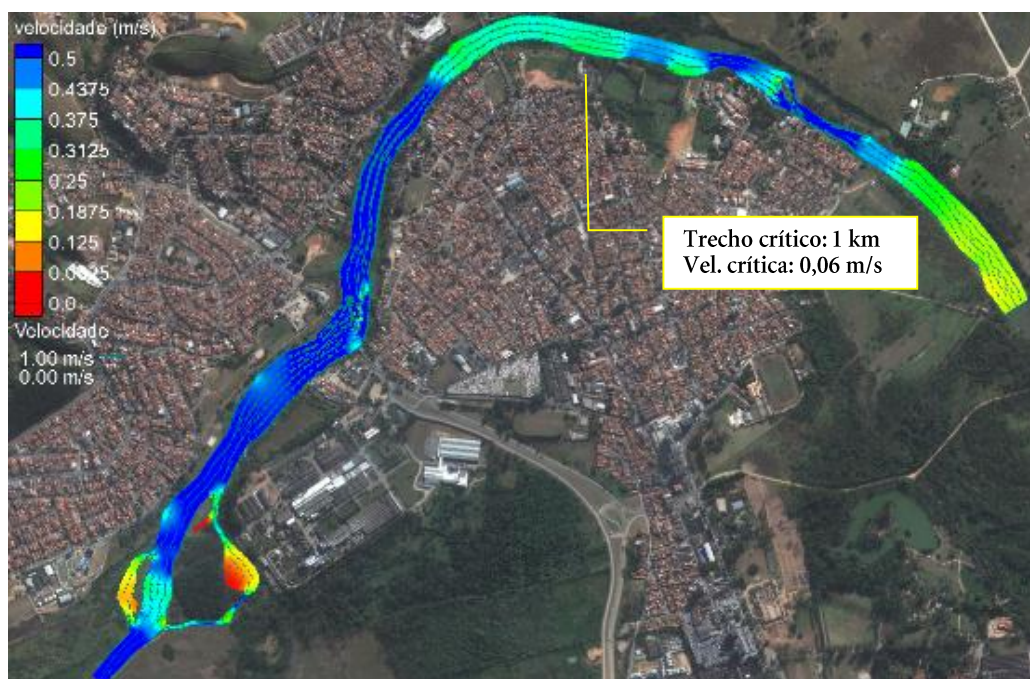


Figura 6: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão média de 87 m³/s.

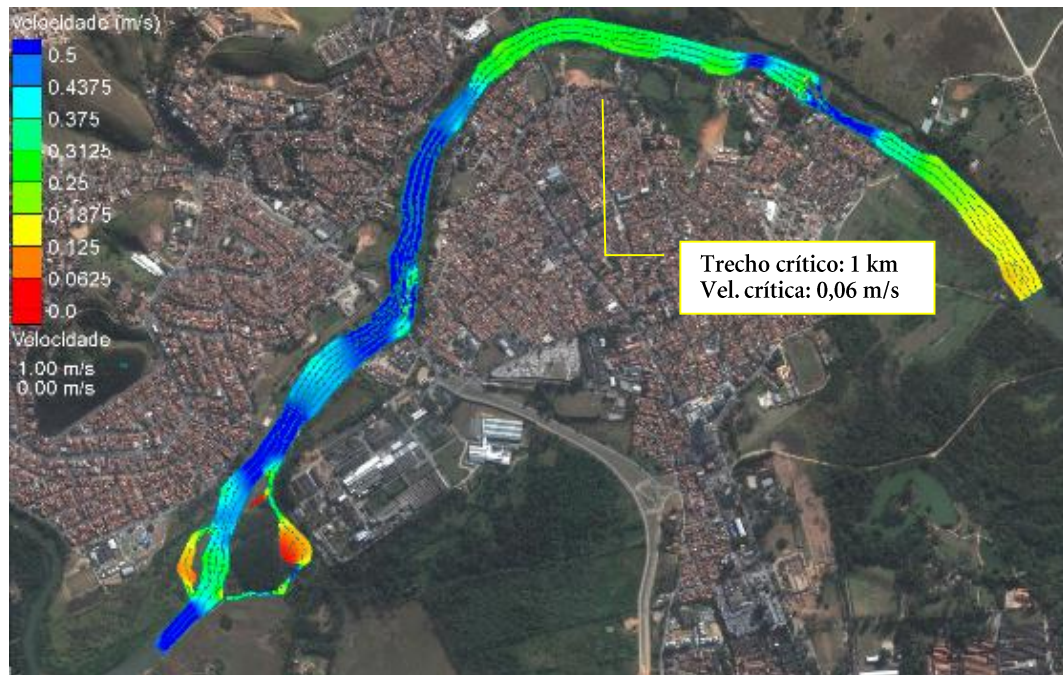


Figura 7: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mensal mínima de 66 m³/s de setembro de 2004.

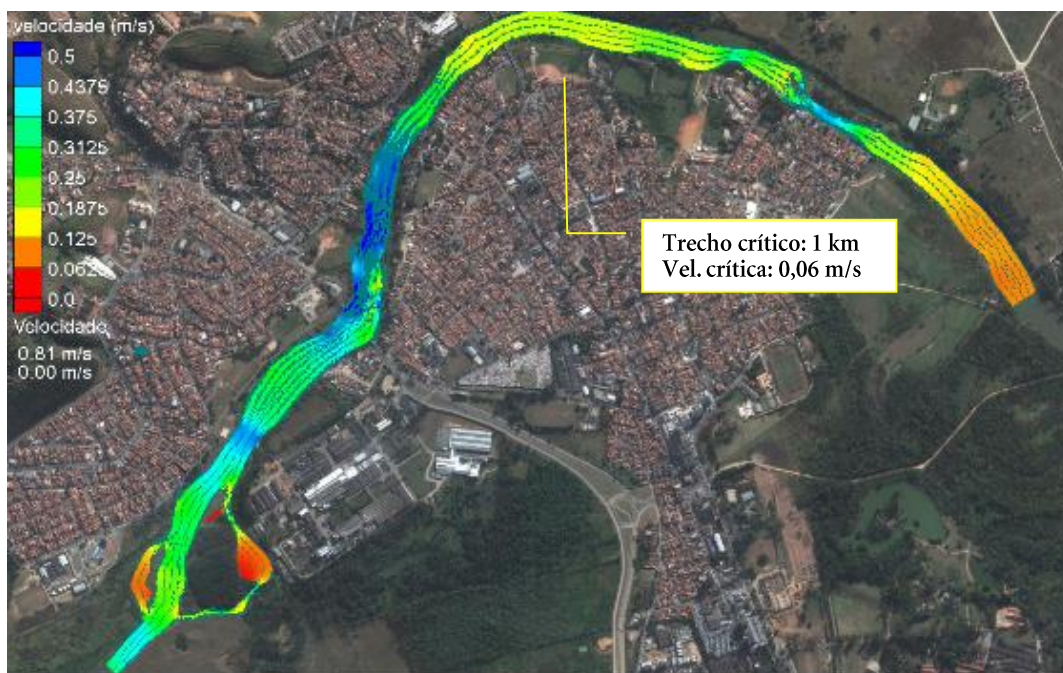


Figura 8: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica 38 m³/s simulado para 2010 sem transposição.

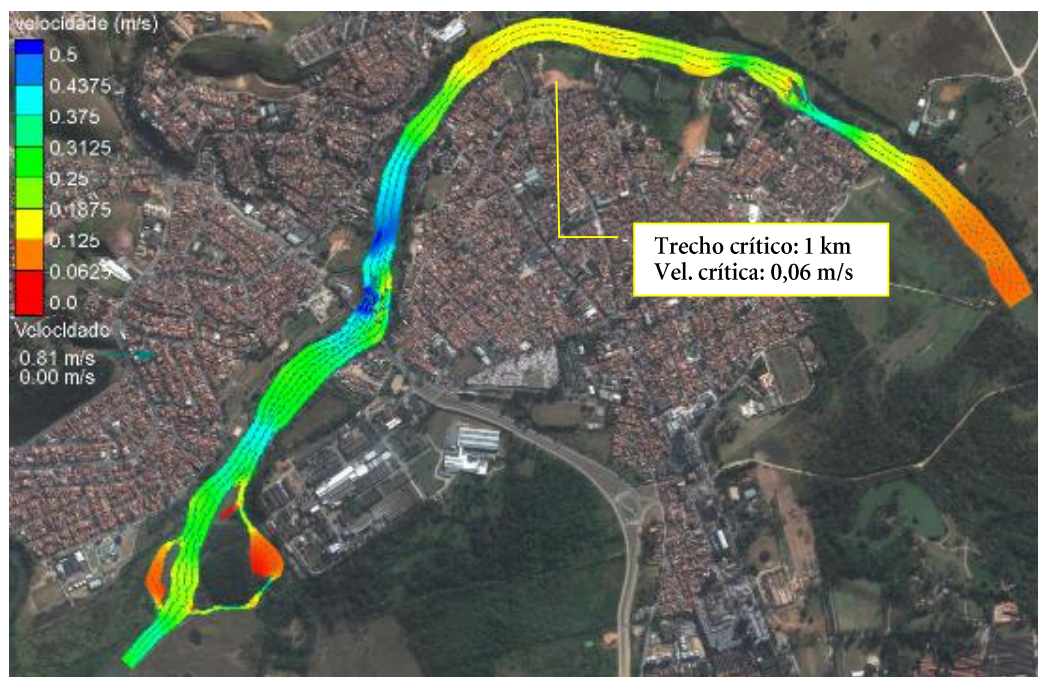


Figura 9: Velocidades para o trecho São José dos Campos usando vazão mínima histórica $31 \text{ m}^3/\text{s}$ simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior caso).

Os resultados mostrados nas Figura 10 a Figura 17 representam cenários similares para os outros trechos (Barra do Piraí e Campos). Nestes dois casos o impacto da transposição nas velocidades é bem menor que na região paulista.

Em todos os trechos, para vazões baixas, note que há subtrechos relativamente longos (de 1 a 3 km) com velocidades bastante baixas (chegando a ser menor que $0,1 \text{ m/s}$), para os quais o tempo de percurso é bastante longo (2-4 h). O modelo não detalha o suficiente as margens, mas certamente, podem ocorrer em pontos específicos velocidades ainda menores, o que pode levar a uma situação de boom de algas, em função das condições meteorológicas e de concentração de nutrientes existentes nesses trechos e que preocupam a AGEVAP.

Ressalta-se, entretanto, que as transposições teriam um impacto nas velocidades, mas eventuais problemas de eutrofização deverão ocorrer com ou sem transposição se a vazão chegar a valores iguais aos mínimos aqui simulados.

A chance de problemas de eutrofização aumentam com o aumento de alguns parâmetros importantes: carga de fósforo e nitrogênio, profundidade do corpo d'água, radiação solar, temperatura, e velocidade do escoamento (tempo de residência ou retenção). Assim, caracterizar potencial de eutrofização apenas com a velocidade pode ser temerário. Entretanto fez-se aqui um esforço nesse sentido. Foi identificado em cada simulação o trecho mais próximo de regime lântico e o seu comprimento (tentando evitar trechos contíguos à fronteira modelada, pois as condições de fronteira do modelo introduz erros). Foi então suposta uma taxa de crescimento de alga de 5 dia^{-1} (esse é um valor relativamente alto, portanto estamos a favor da segurança). Então, a velocidade crítica estimada foi aquela para a qual haveria tempo para formação de algas ao longo desse comprimento. Em cada caso essa velocidade está indicada. Percebe-se que, em

todos os três trechos estudados, apenas no caso de vazão baixíssima o valor da velocidade começa a se aproximar do crítico. Em nenhum dos casos há velocidades tão baixas em épocas de vazões com valores usuais.

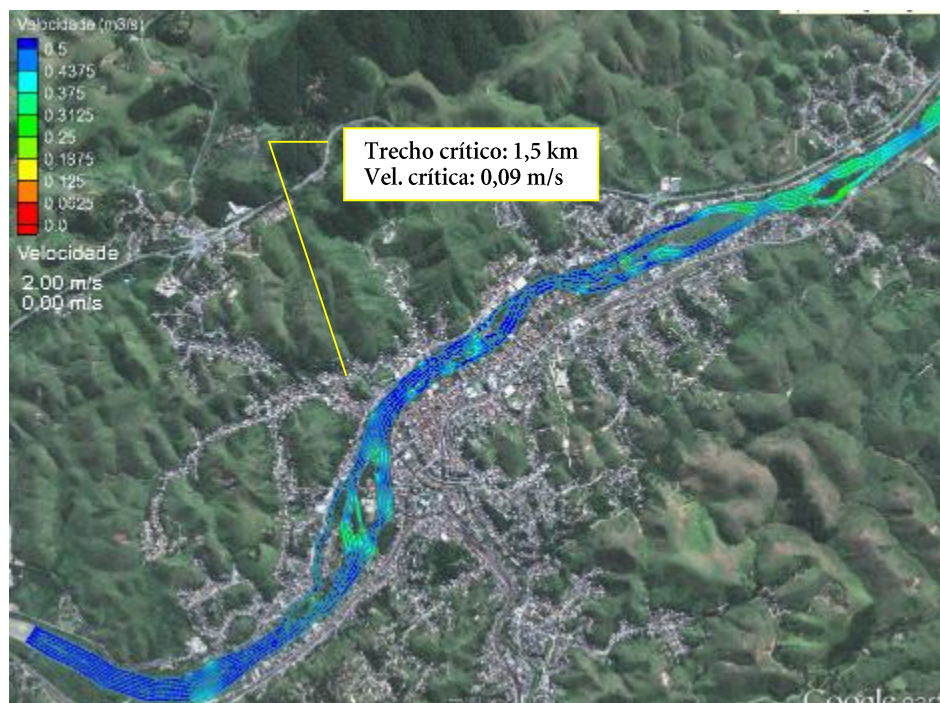


Figura 10: Velocidades para o trecho Barra do Pirai usando vazão média de $153 \text{ m}^3/\text{s}$.

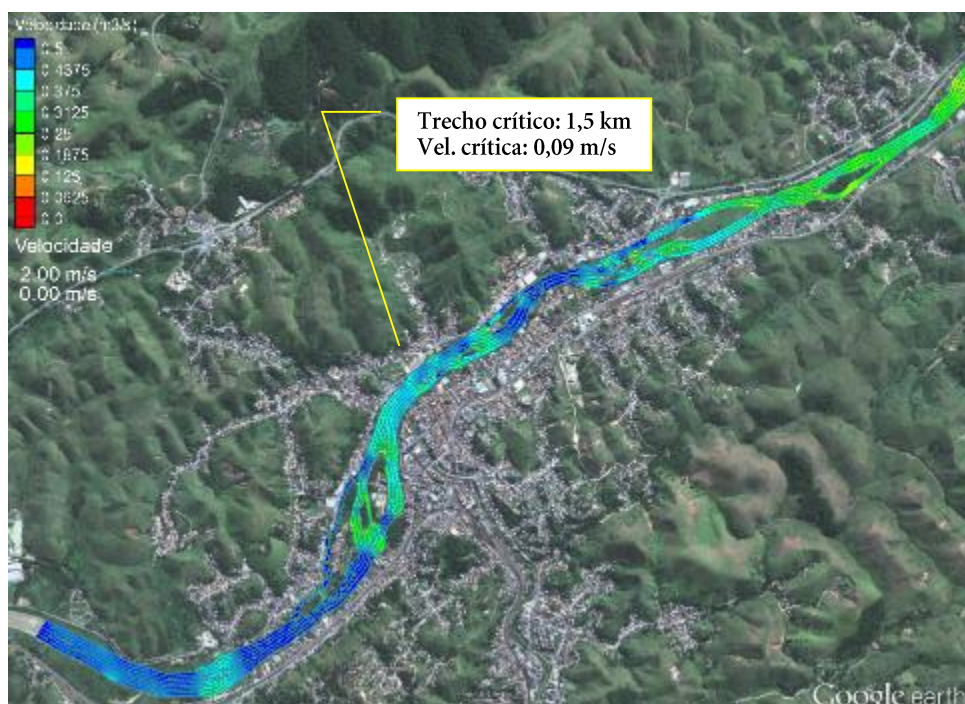


Figura 11: Velocidades para o trecho Barra do Pirai usando vazão mensal mínima de $115 \text{ m}^3/\text{s}$ de dezembro de 2004.

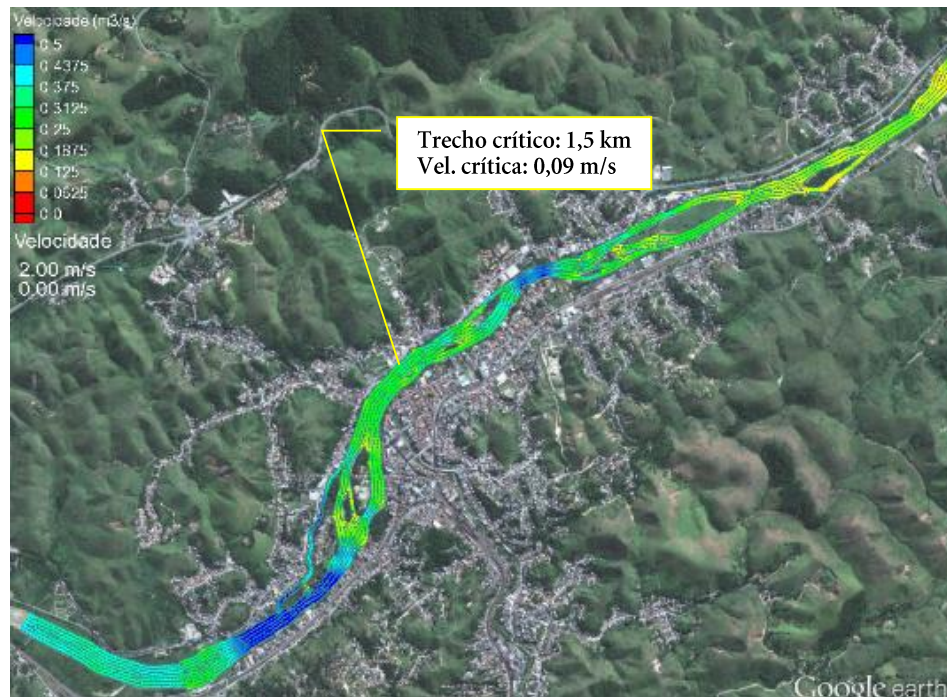


Figura 12: Velocidades para o trecho Barra do Pirai usando vazão mínima histórica $75 \text{ m}^3/\text{s}$ simulado para 2010 sem transposição.

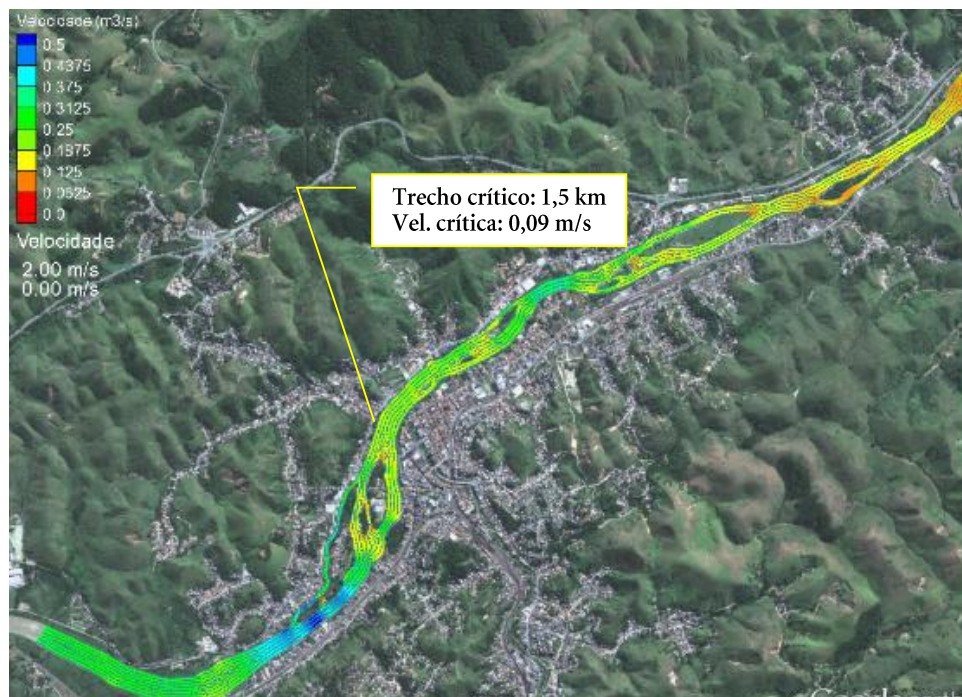


Figura 13: Velocidades para o trecho Barra do Pirai usando vazão mínima histórica $51 \text{ m}^3/\text{s}$ simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior caso).

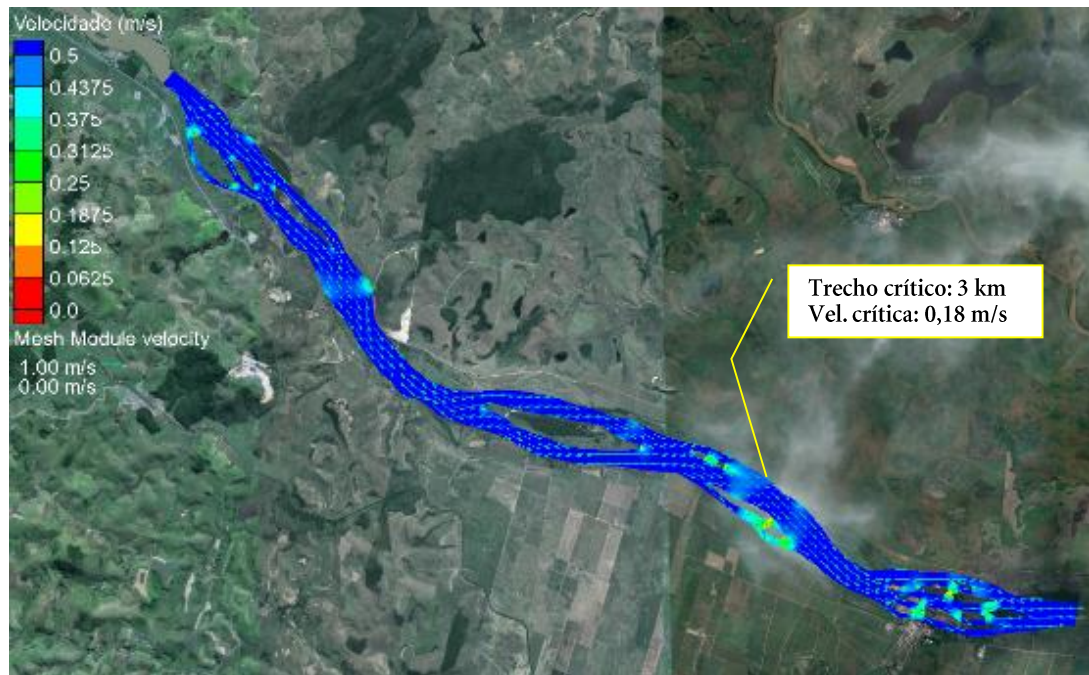


Figura 14: Velocidades para o trecho Campos usando vazão média de 792 m³/s.

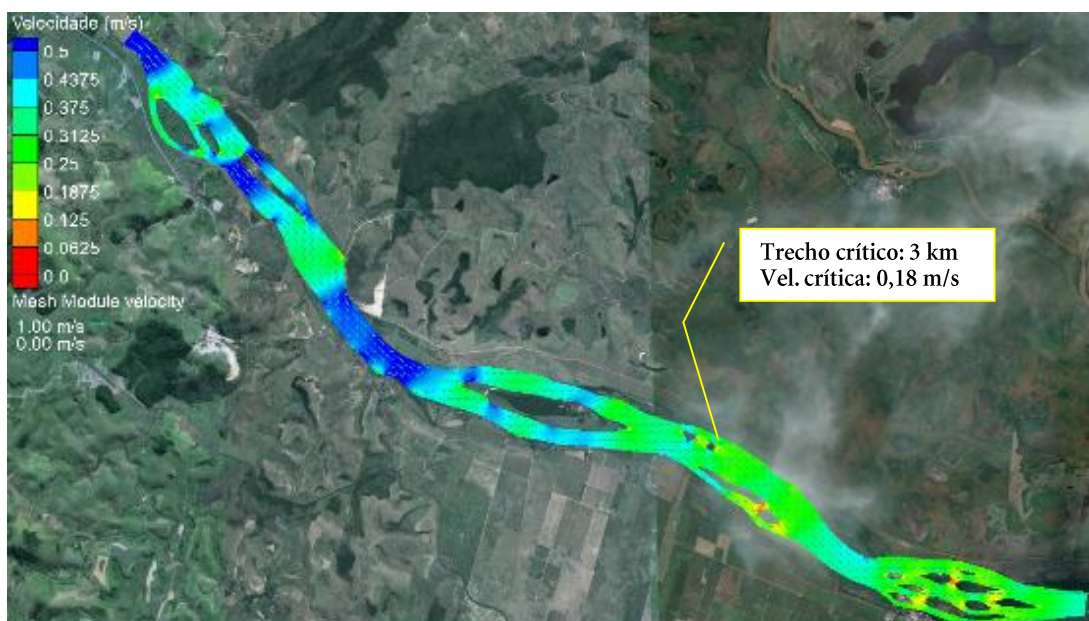


Figura 15: Velocidades para o trecho Campos usando vazão mensal mínima de 273 m³/s de setembro de 2010.

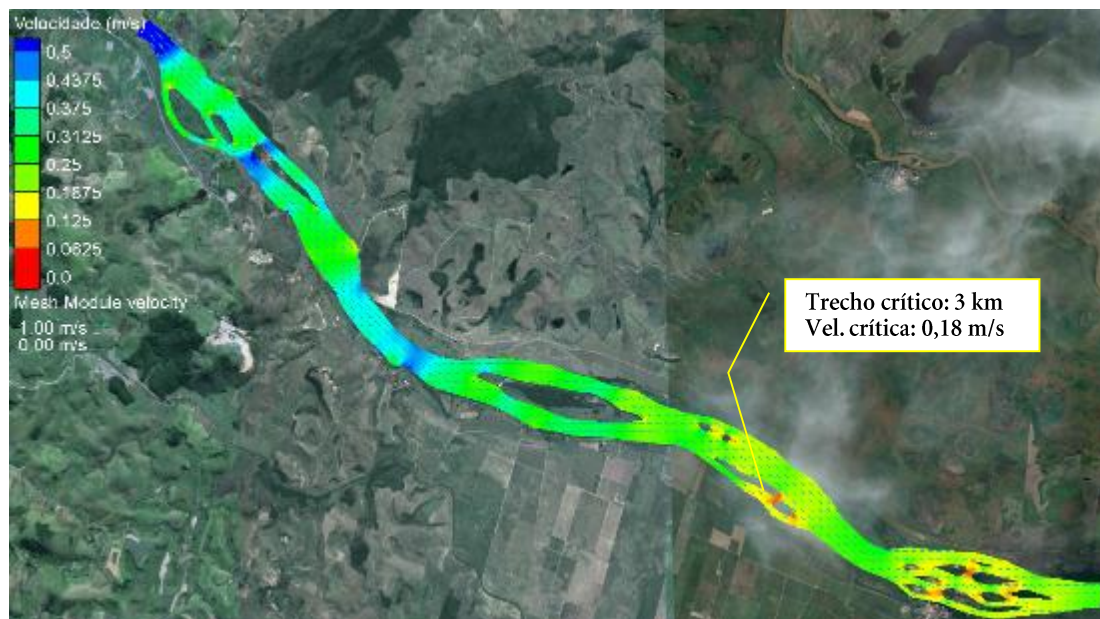


Figura 16: Velocidades para o trecho Campos usando vazão mínima histórica 178 m³/s simulado para 2010 sem transposição.

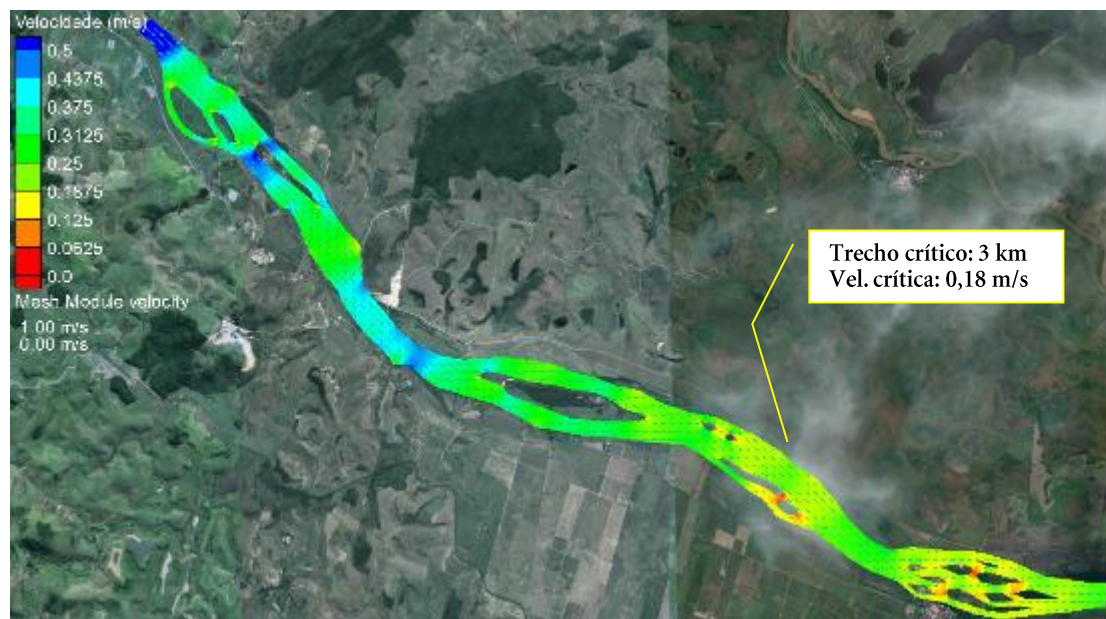


Figura 17: Velocidades para o trecho Campos usando vazão mínima histórica 165 m³/s simulado para 2035 com transposição, alternativa 10 (pior cenário).

4.2 Parâmetros de qualidade da água

As Figura 18 a Figura 22 mostram a concentração de vários parâmetros de qualidade e sua variação espacial ao longo do rio. Procurou-se utilizar os valores medidos mais recentemente, apenas de 2011 (dados mais recentes disponíveis), para que se pudesse ter um panorama recente da evolução ao longo do rio. Todos os parâmetros são mostrados na média e também os dados crus para se ter uma ideia do desvio em torno da média. O primeiro ponto do gráfico médio é sempre o limite CONAMA.

Note uma pequena tendência de melhoria do par OD/DBO ao longo do rio, e, curiosamente, também uma piora das concentrações de nitrato, fósforo, e coliformes à medida que o rio ganha volume. Com exceção dos coliformes, cujas concentrações são extremamente altas, certamente devido a altas cargas orgânicas urbanas (provavelmente na sua maioria de esgotos), o rio parece ser razoavelmente capaz de manter um mínimo de qualidade. No caso da melhoria de OD/DBO, certamente isso se deve a uma boa capacidade de auto depuração. Não parece haver problema crônico de superfertilização/eutrofização.

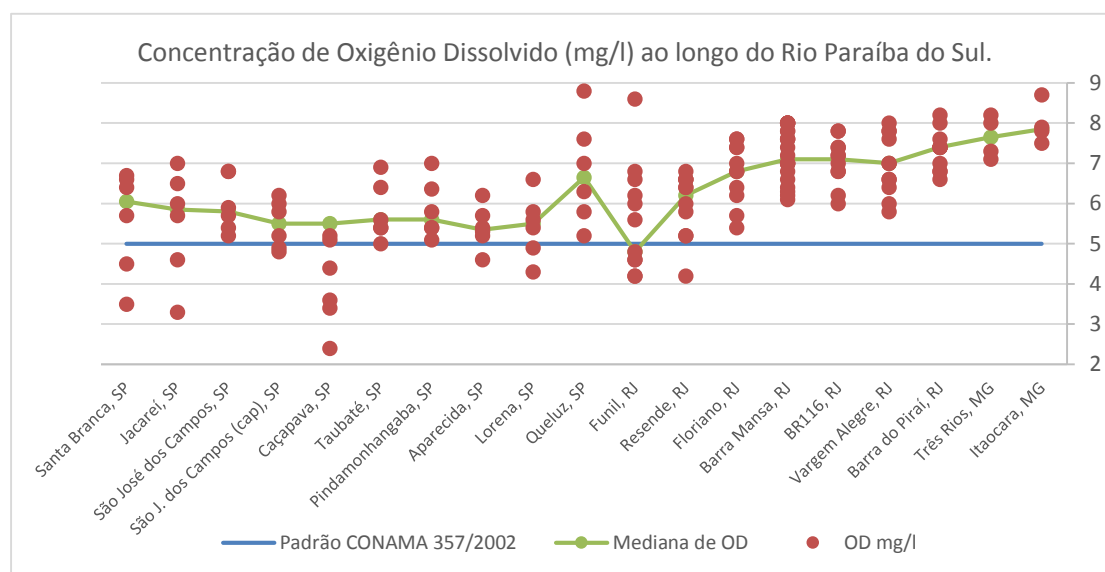


Figura 18: Oxigênio dissolvido ao longo do Rio Paraíba do Sul.

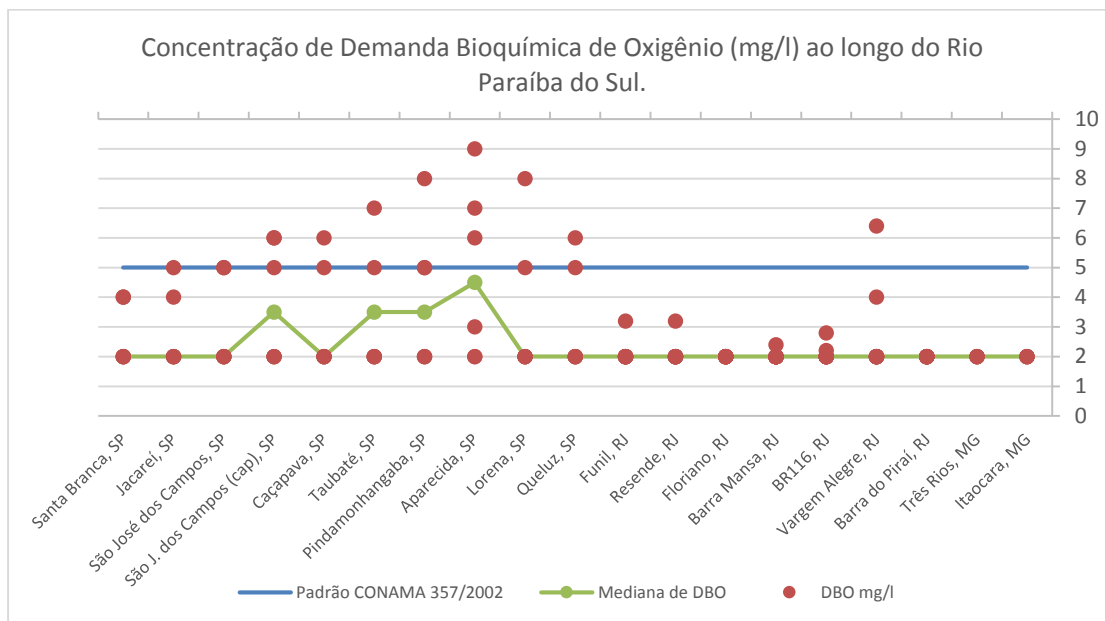


Figura 19: Demanda bioquímica oxigênio ao longo do Rio Paraíba do Sul.

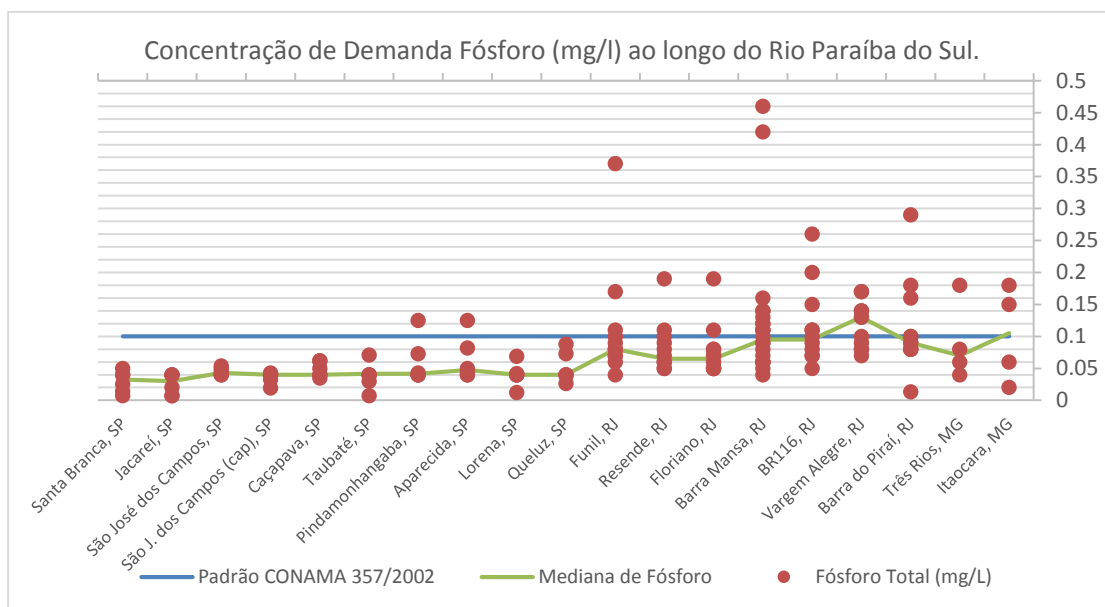


Figura 20: Fósforo total ao longo do Rio Paraíba do Sul.

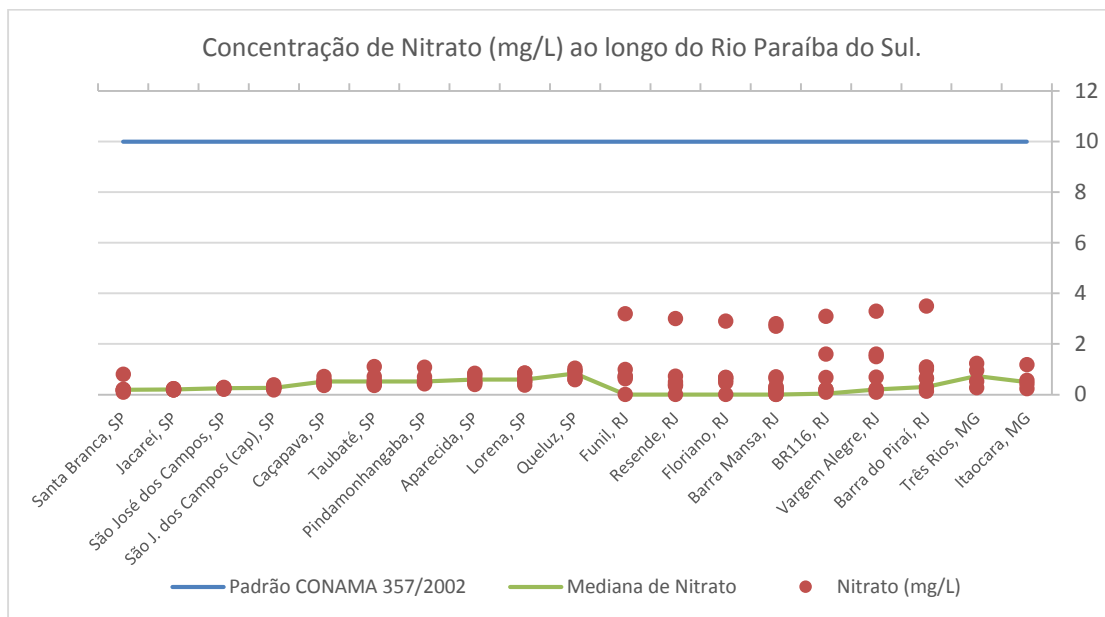


Figura 21: Nitrato ao longo do Rio Paraíba do Sul.

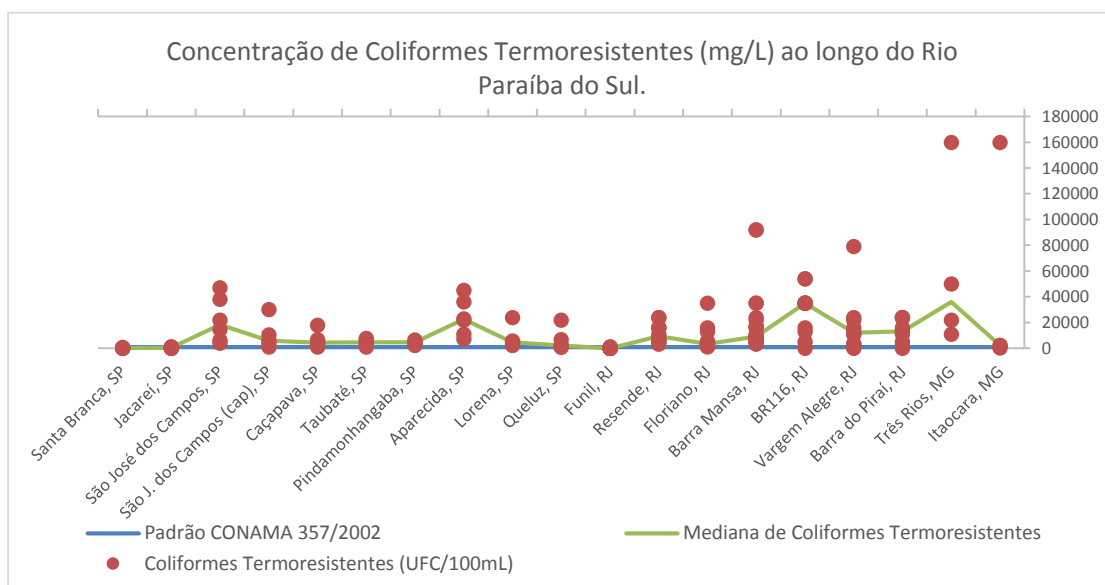


Figura 22: Coliformes termorresistentes ao longo do Rio Paraíba do Sul.

5 CONCLUSÕES

Os impactos na qualidade da água averiguados são relevantes para os casos de ocorrência de vazões mínimas em todos os trechos estudados. Após a avaliação podemos tecer as seguintes conclusões.

- A ocorrência de vazões extremas baixas em todos os trechos estudados pode acarretar em situações desfavoráveis de qualidade da água, condições de eutrofização ou surgimento de algas;
- As condições encontradas para as vazões simuladas para os cenários com e sem a transposição de vazões mostram situações indesejáveis para qualidade da água;
- Para maior acuracidade dos resultados e definição dos pontos mais críticos nessas localidades selecionadas como mais relevantes, é necessário investir em novos levantamentos de seções topobatimétricas e aferição de parâmetros de qualidade da água nesses trechos em situações de vazões baixas;
- A aprovação de novas transposições só deve piorar as condições de qualidade da água nesses trechos, onde apenas um investimento intenso em saneamento básico e tratamento de efluentes poderia reverter o quadro atual e o futuro.

6 REFERÊNCIAS

RMA2 WES Version 4.5 - US Army, Engineer Research and Development Center. Sept 09, 2009.

Donnell, B.P., 1997. Users Guide to RMA2 WES Version 4.3.

INEA, 2010, Avaliação Ambiental Do Rio Paraíba Do Sul - Trecho Funil - Santa Cecília - Relatório Técnico.

ENGECCORPS, 2011. Relatório de serviços de campo dos levantamentos topobatimétricos - rio Paraíba do Sul.