



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Uso do geoprocessamento para análise de parâmetros da qualidade da água: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba-MG

Lorena de Moura Joia Gomes¹, Samara Fernandes Vantil², Isabely Cristina Lourenço dos Santos³, Eliane Maria Vieira⁴

¹ Graduanda de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá- UNIFEI, Rua Irmã Ivone Drumond, 200, CEP 35903-087, Distrito Industrial II, Itabira, MG. lorena.joia@hotmail.com (autor correspondente). ² Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNIFEI. samaravantil@hotmail.com. ³ Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNIFEI. isacrys2010@hotmail.com. ⁴ Professora na UNIFEI. elianevieira@unifei.edu.br.

Artigo recebido em 14/01/2017 e aceito em 25/05/2017

RESUMO

O uso inadequado e a ocupação desordenada dos solos por atividades antrópicas têm ocasionado graves alterações ambientais. Dentre elas, destacam-se as modificações nos parâmetros químicos, físicos e biológicos dos recursos hídricos, acarretando no declínio das características quantitativas e qualitativas das águas. Nas bacias hidrográficas, alterações nos padrões de qualidade dos corpos d'água podem ser identificadas por meio do monitoramento da qualidade da água. Porém, frequentemente, apenas a análise pontual não permite uma visão ampla do comportamento dessas mudanças na bacia. Sendo assim, o presente trabalho visa explorar os campos do Geoprocessamento, por meio do *software* ArcGis 10.2.2, a fim de se obter mapas interpolados do tipo IDW englobando parâmetros de qualidade da água, abordados pela Resolução CONAMA nº 357/05, selecionados de acordo com as atividades econômicas preponderantes na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba (MG), objeto de estudo do artigo em questão. Por meio dos resultados obtidos, pode-se verificar que a bacia em análise sofre grandes perturbações em decorrência ao porte de atividades econômicas de elevado impacto ambiental, expondo temperatura, teor de ferro dissolvido, alcalinidade, teor de nitrato e nitrito e a demanda biológica de oxigênio (DBO) alterados de acordo com o município e sua prática predominante. Isso porque, suas principais atividades econômicas são a agricultura de subsistência, papel e celulose, siderurgia e a mineração de ferro. A fim de reverter este quadro, torna-se indispensável um rígido monitoramento e controle dos rejeitos lançados nos corpos hídricos dessa bacia.

Palavras-chave: geoprocessamento, enquadramento de corpos d'água, recursos hídricos.

Use of GIS for quality parameters water analysis: A case study in the hydrographic basin of Piracicaba-MG river

ABSTRACT

Improper use and the disorderly occupation of land by human activities have caused serious environmental changes. Among them there are the changes in chemical, physical and biological parameters of water resources, resulting in reduction of quantitative and qualitative characteristics these. The river basins, changes in the quality standards of water bodies can be identified by monitoring of water quality. But often only the specific analysis does not allow a comprehensive view of the behavior of these changes in the basin. Thus, this study aims to explore the fields of geoprocessing, through the ArcGis 10.2.2 software in order to obtain interpolated maps of the type IDW encompassing quality parameters of water, covered by CONAMA Resolution No. 357/05, selected according to the preponderant economic activities in the basin of Rio Piracicaba (MG), study area of the article in question. Through the results obtained, it can be seen that the basin in question suffer major disruption due to the size of economic activities of high environmental impact, exposing temperature, dissolved iron content, alkalinity, nitrate content and nitrite and biological oxygen demand (BOD) change according to the municipality and its predominant practice. This is because its main economic activities are subsistence agriculture, pulp and paper, steel and iron ore mining. In order to reverse this situation, it is essential to a strict monitoring and control of waste released into water bodies of the basin.

Keywords: GIS, placement of water bodies, water resources.

Introdução

Em virtude aos elevados índices de crescimento demográfico, recorrentes avanços referentes ao volume de indústrias e empreendimentos dependentes do uso da água, e a multiplicação de atividades de agricultura e pecuária não supervisionadas, a água presente nas bacias hidrográficas têm sofrido graves processos de degradação ao longo das últimas décadas, sendo utilizada de forma exorbitante e sem o gerenciamento devido. Dentre seus diversos usos, destaca-se seu aproveitamento para fins de abastecimento doméstico, industrial e na agricultura e pecuária.

Nesse sentido, de acordo com Merten e Minella (2002), o abastecimento doméstico pode causar poluição por fontes distintas, tais como efluentes constituídos essencialmente por contaminantes orgânicos, nutrientes e microrganismos, possivelmente patogênicos. No que se refere ao setor industrial, pode-se destacar a contaminação hídrica por efluentes industriais - caracterizados por conter as substâncias e elementos utilizados durante as atividades do empreendimento até seu produto final.

Segundo Giordano (2004), “as características dos efluentes industriais são inerentes à composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial. A concentração dos poluentes nos efluentes é função das perdas no processo ou pelo consumo de água”. Nesse seguimento, focaliza-se neste trabalho as indústrias de siderurgia, metalurgia e mineração.

A agricultura, por sua vez, quando irrigada, necessita de grande volume d'água para se sustentar e, devido a isso, normalmente situa-se próxima a rios e riachos. Exercendo intensivo uso do solo, esta prática faz uso, em grande parte dos casos, de produtos químicos e insumos no combate a doenças nas plantações, bem como a fim de aumentar a produção, acarretando frequentemente problemas ambientais e sociais.

De acordo com o Instituto Nacional de Câncer José de Alencar Gomes da Silva, INCA, o Brasil se tornou o maior consumidor mundial de agrotóxicos em 2009, utilizando mais de um milhão de toneladas de produtos químicos dessa natureza. Segundo o IBGE, somente em 2005 utilizou-se em média 3,2 quilogramas por hectare plantado.

Isto posto, torna-se evidente a degradação oriunda do deflúvio superficial, especialmente em consequência ao aumento da atividade primária das plantas e algas devido a carga de nitrogênio e

fósforo, resultante de agrotóxicos utilizados nas lavouras. Além da deterioração ambiental causada aos ecossistemas aquáticos, o elevado índice de nutrientes na água pode comprometer sua utilização, isso porque é capaz de gerar alterações no sabor e odor da água (Merten e Minella, 2002).

Além das possíveis contaminações relacionadas à utilização de insumos, o uso inadequado e o manejo indevido do solo, constatados na agropecuária intensiva, geram a substituição da cobertura vegetal natural de extensas áreas, modificando assim a taxa de infiltração de água no solo e permitindo perdas aceleradas de solo e água por meio do aumento do escoamento superficial, ocasionando processos de erosão e carreamento superficial (Panachuki, 2013).

Já na pecuária há elevada produção de resíduos sólidos que, segundo Carvalho, Schlittler e Tornisielo (2000), causam entrada adicional de materiais componentes do solo com matéria orgânica, inorgânica e compostos químicos nos corpos d'água.

Diante dessas circunstâncias, de acordo com Ferreira (2011), o gerenciamento dos recursos hídricos e a gestão das bacias hidrográficas conquistam enorme importância no cenário nacional, uma vez que planejar o uso das águas de forma adequada é crucial para a manutenção desse recurso indispensável às atividades econômicas, à saúde da população, à preservação dos habitats e à biodiversidade.

Dessa forma, visando analisar a deterioração ocasionada na água em consequência das atividades mencionadas, o presente trabalho busca, por meio de estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG, avaliar os principais parâmetros de qualidade da água relacionados às atividades econômicas predominantes nessa bacia e gerar mapas por meio do SIG (Sistema de Informação Geográfica) ArcGis 10.2.2, utilizando a ferramenta de interpolação IDW (*Inverse Distance Weighted*), que estima os valores pelo método inverso da distância, isto é, a média é ponderada pelo inverso da distância aos pontos, de forma que se torne possível localizar as áreas com os parâmetros acima do diagnosticado em arcabouço legal e realizar análises de suas possíveis causas e consequências. Nesse sentido, os parâmetros considerados serão: alcalinidade, DBO, ferro dissolvido, nitritos e nitratos e temperatura da água.

Material e métodos

Apresentando uma área de drenagem de 5.706 Km², com população estimada em mais de 687.000 habitantes, a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - DO2, área de estudo do presente artigo, apresentada na Figura 1, expõe elevado crescimento demográfico desregrado, abrangendo

20 municípios mineiros com extensas áreas rurais praticantes da agropecuária. Localiza-se no estado de Minas Gerais e está incorporada à Bacia do Rio Doce, com nascente localizada no município de Ouro Preto – MG, e foz no Rio Doce (IGAM, 2012), possui como principal ocupação econômica a siderurgia, celulose e mineração de ferro.

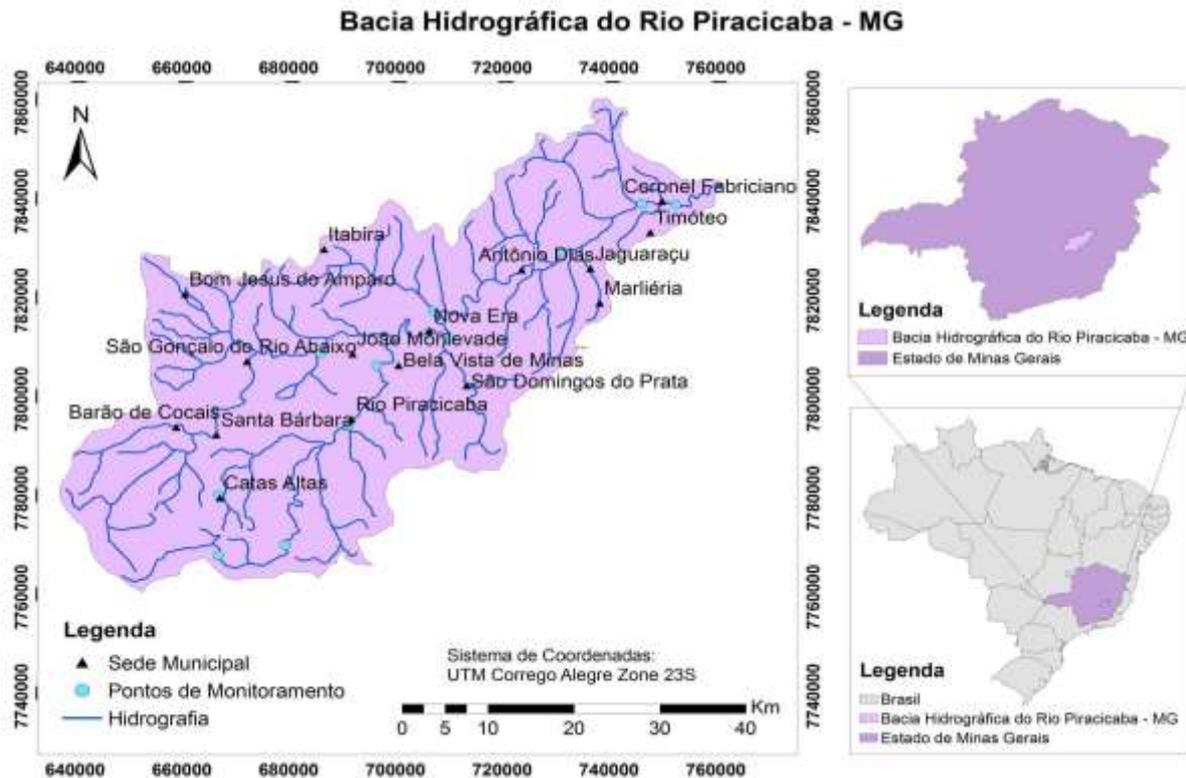


Figura 1. Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, MG.

Segundo IGAM (2012), o Índice de Qualidade das Águas na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, considerando a sua média anual de 2005, foi classificado como médio em 100% das estações de amostragem contidas nesta bacia.

Além de sua importância econômica, a bacia também apresenta elevada importância ambiental e social, visto que se encontra na área de influência do Parque Estadual do Rio Doce (IGAM, 2012). Isto posto, seu estudo e a efetuação de análises qualitativas e quantitativas de seus recursos hídricos torna-se de grande relevância.

Para a realização deste trabalho, empregou-se os dados de monitoramento da qualidade da água de 2016 da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-MG, disponível no site do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

Foram adquiridos do site da Agência Nacional das Águas – ANA, os vetores do limite da bacia estudada, dos rios e das sedes municipais.

Os Dados de Monitoramento do IGAM foram convertidos do formato excel para dBASE, a fim de serem importados ao programa computacional utilizado para o processamento do trabalho, ArcGis 10.2.2. Com isso, os pontos de monitoramento foram inseridos sobre o *shapefile* da bacia, juntamente com os *shapefiles* dos rios e sedes municipais, projetadas no sistema de coordenadas UTM: Datum Córrego Alegre, Zona 23S.

Como o objetivo do trabalho encontra-se na avaliação dos parâmetros de qualidade da água que interferem de forma negativa nos corpos hídricos da bacia do Rio Piracicaba, de acordo com as atividades econômicas locais, os parâmetros escolhidos para análise dos corpos d'água foram: teor de ferro dissolvido, alcalinidade, temperatura, nitrato e nitrito e a demanda bioquímica de oxigênio – DBO.

Para isso, selecionou-se manualmente os pontos de monitoramento no interior da bacia, e alguns em suas proximidades, exportando-os a

fim de empregar modelos matemáticos que estimem os valores em regiões que não possuem pontos de monitoramento, utilizando o método da interpolação para se obter uma visualização do comportamento destes parâmetros na bacia.

Dentre os modelos matemáticos implementados pelo SIG, empregou-se para a interpolação dos pontos de monitoramento o modelo IDW (*Inverse Distance Weighted*), que estima os valores pelo método inverso da distância, ou seja, o valor previsto é uma média dos valores da vizinhança.

Após interpolar os pontos, fez-se necessário realizar o recorte empregando o limite da bacia. Porém, como a bacia está no formato vetorial e o resultado da interpolação é gerado no formato matricial, levando em conta a impossibilidade de integrar os dois modelos de forma direta, executou-se a conversão do limite da bacia para o modelo matricial.

Com o limite da bacia e com a interpolação na mesma estrutura de dados, tornou-se possível realizar o recorte do mapa interpolado por meio de uma operação matemática de subtração entre os dois planos. Como os valores das células do limite da bacia é zero, subtrair ou somar os planos não altera os valores do mapa interpolado, e o resultado final possui os valores das células do mapa interpolado.

Este procedimento foi repetido para cada parâmetro escolhido, tendo como resultado final seis mapas interpolados.

Por fim, os *shapefiles* dos rios e das sedes municipais foram sobrepostos aos mapas interpolados, e realizadas as interpretações gráficas e análises dos parâmetros.

Resultados e discussão

Baseando-se no conhecimento das atividades econômicas predominantes na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-MG e seus impactos mais relevantes nos recursos hídricos, tornou-se possível a análise dos mapas elaborados visando identificar os danos ambientais existentes na região associados às atividades econômicas presentes, apresentados a seguir.

Análise da temperatura

De acordo com a CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2009), a temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Essas variáveis, quando alteradas, acarretam desequilíbrio no ecossistema aquático, visto que

os organismos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas.

“O aquecimento das águas dos rios pode ter origem em processos naturais, como os geotérmicos, variações sazonais da temperatura ambiente e da insolação, e da redução de vazão. Também advém de processos antrópicos diretos, como a descarga de efluentes com temperatura diferente do corpo receptor, pelo calor liberado na oxidação de carga poluente lançada; ou indiretamente, pelo represamento das águas e desmatamentos na área de drenagem.” (Percebon; Bittencourt; Filho, 2005)

Santos (2014) afirma que muitas atividades econômicas utilizam a água em seus processos de resfriamento, aquecimento, solubilização, limpeza e geração de energia (elétrica, térmica, química). Todos esses processos geram resíduos que, quando dispostos de forma inadequada, podem causar impactos na qualidade dos solos, aquíferos e rios. Em consequência disso, a NBR 9800/1987 condiciona e padroniza o lançamento desses efluentes residuais no corpo receptor após seu uso nos processos industriais.

Contudo, os impactos nos corpos hídricos em consequência do despejo indevido dos rejeitos e da má fiscalização, provocam a degradação do meio. Dentre os parâmetros básicos da emissão de efluente líquido industrial, a temperatura é um dos padrões em questão na bacia estudada, estando associada às atividades econômicas predominantes da região: setores siderúrgico e de papel e celulose.

De acordo com a CETESB, a temperatura dos recursos hídricos em graus elevados acarreta na mortandade dos animais aquáticos, ocasionado pela queda na concentração de oxigênio nos corpos d'água. Pode-se verificar na Figura 2, a variação do oxigênio dissolvido em relação a alteração da temperatura, visto que, quanto maior a temperatura, menor é a concentração do oxigênio dissolvido no meio aquático, e vice-versa.

Um dos focos de emissão de efluentes em altas temperaturas são as usinas siderúrgicas, devido a utilização dos recursos hídricos em muitos processos, sendo o principal na forma de arrefecimento.

De acordo com o mapa intitulado por Temperatura da água na Bacia do Rio Piracicaba – MG (Figura 3), pode-se identificar maiores temperaturas das águas na região central e no nordeste da bacia, conhecida como Região Metropolitana do Vale do Aço, com valores variando entre 24,86 °C a 28,05 °C. Isso indica que o aumento da temperatura nos corpos d'água pode ter influência das siderúrgicas, pois nessas

regiões encontram-se um maior número de indústrias desse setor, estando presente nos

municípios de João Monlevade, Timóteo e Ipatinga.

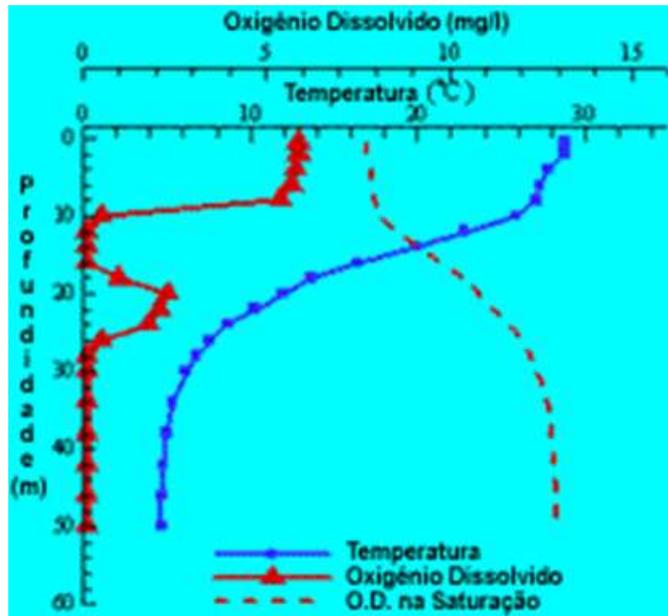


Figura 2. Relação da temperatura com o oxigênio dissolvido em ambiente aquático. Fonte: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

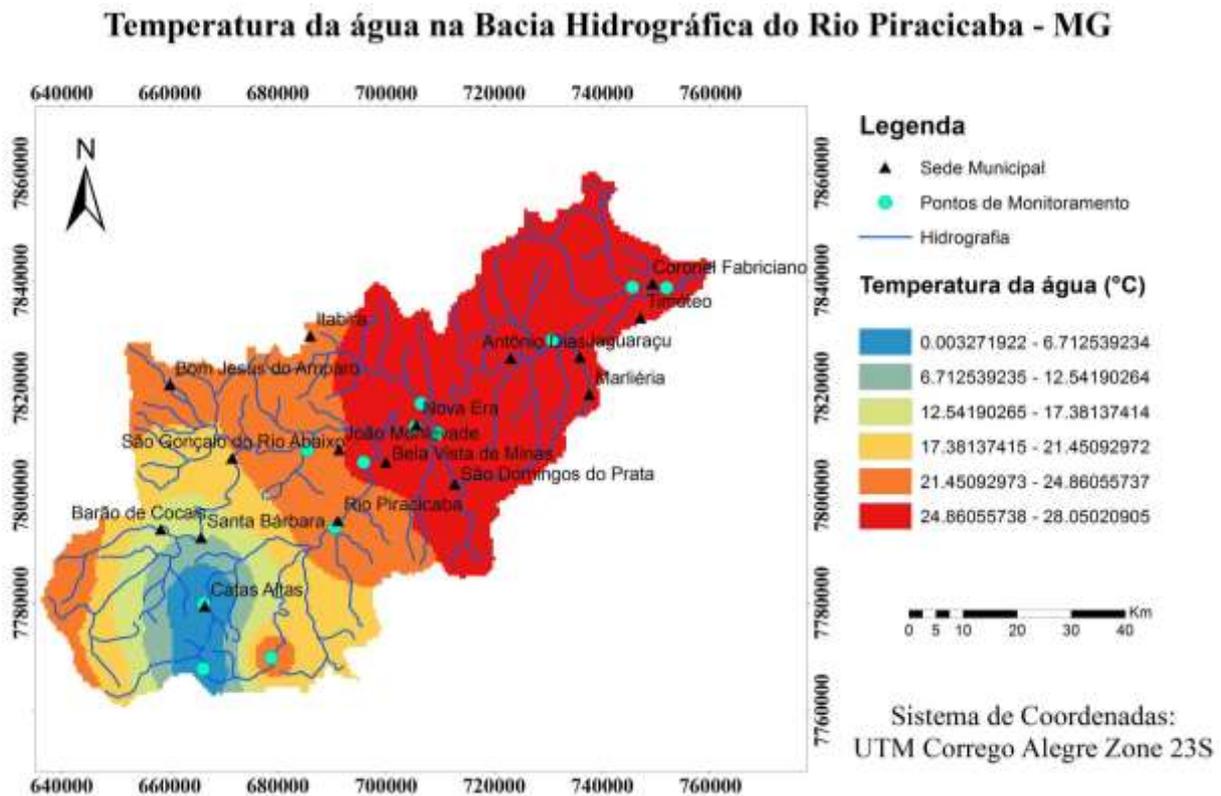


Figura 3. Temperatura da água na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG.

Entretanto, outros setores industriais também afetam a temperatura da água, como o setor de papel e celulose. As indústrias nesse âmbito também se localizam predominantemente na Região Metropolitana do Vale do Aço, onde há maior poluição térmica dos recursos hídricos.

Conforme a NBR 9800/1987, o critério de lançamento de águas de efluente líquido industrial tem o limite máximo de temperatura sendo até 40°C. Tal limite não foi ultrapassado na bacia, contudo o mapa apresentado na Figura 3 demonstra de forma clara que há um aumento da temperatura nas regiões que apresentam concentração de indústrias siderúrgicas e de papel e celulose.

Análise da concentração de ferro dissolvido

Localizando-se no Centro-Sul de Minas Gerais e contemplando uma área de aproximadamente 7000 Km², grande parte do Quadrilátero Ferrífero (QF) está inserida na área de estudo. O QF pode ser considerado a província mineral mais importante do país, dispondo de um conjunto de serras caracterizadas pela elevada ocorrência de formações ferríferas e minério de ferro (Quadrilátero ferrífero-Centro de estudos Avançados, 2009).

Sua malha hidrográfica constitui-se por duas importantes bacias: Bacia do Rio São Francisco e Bacia do Rio Doce, representadas pelas bacias do Rio das Velhas e do Rio Paraopeba e pela Bacia do Rio Piracicaba, respectivamente (Silva, 2007).

A extração do minério de ferro é atividade de grande relevância à maior parte dos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-MG, sendo a mineração uma de suas principais atividades econômicas.

Os municípios pertencentes ao QF, e cujas sedes municipais localizam-se na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba são: Barão de Cocais, Catas Altas, Itabira, João Monlevade, Rio Piracicaba, Santa Bárbara e São Gonçalo do Rio Abaixo.

Embora seja atividade de destaque na região, a mineração pode ocasionar diversos impactos ambientais. Dentre eles, ressalta-se neste estudo, a degradação dos recursos hídricos por ferro dissolvido e, para melhor análise no contexto da Bacia do Rio Piracicaba, elaborou-se um mapa com a Concentração de Ferro Dissolvido na Bacia do Rio Piracicaba – MG, apresentada na Figura 4.

Concentração de ferro dissolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - MG

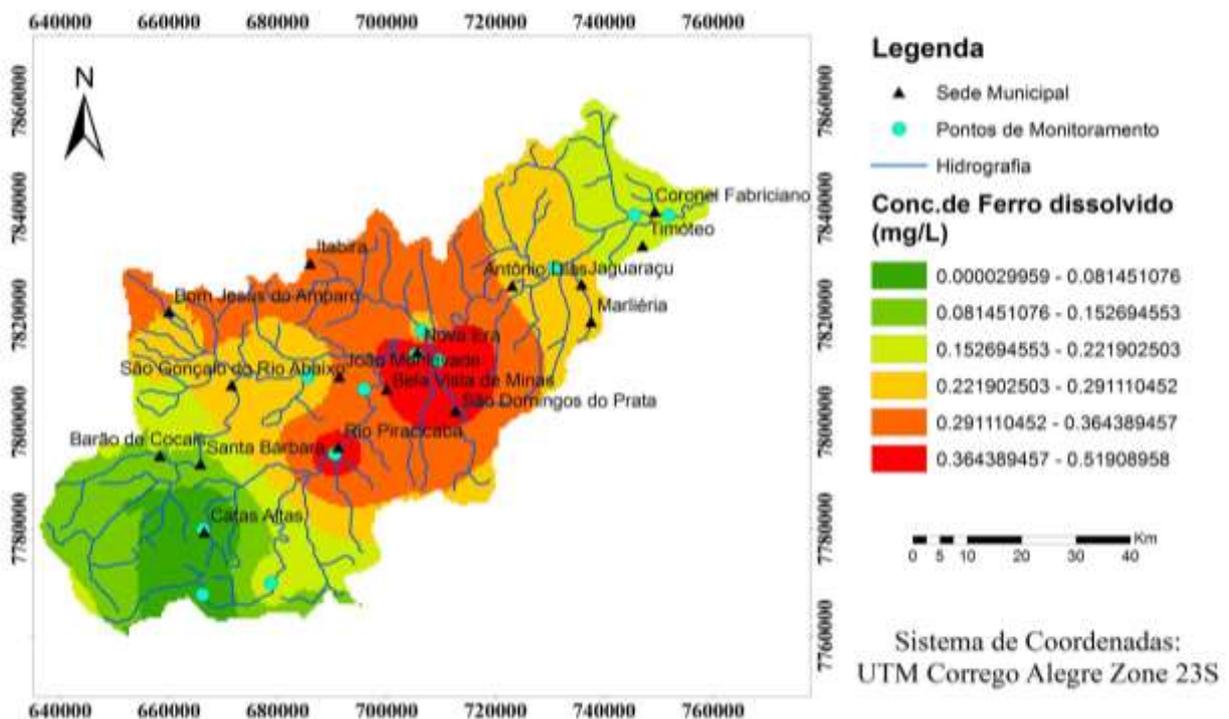


Figura 4. Concentração de ferro dissolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG.

Analisando o mapa referente ao parâmetro em questão, pode-se observar que os municípios à montante da área com maior concentração de ferro dissolvido fazem parte do quadrilátero ferrífero, possuindo intensa atividade de extração de minério de ferro. Concluindo-se, portanto, que Catas Altas, Barão de Cocais, São Gonçalo, João Monlevade, Rio Piracicaba e Itabira contribuem para o aumento de ferro dissolvido na bacia. Além disso, pode-se notar que essa concentração é crescente da nascente até os municípios de João Monlevade, São Domingos do Prata e Rio Piracicaba, locais com as maiores concentrações calculadas.

As concentrações encontradas ultrapassam o limite estabelecido para as classes 1 e 2 de águas doces, segundo a Resolução CONAMA 357/05, visto que possuem concentração de ferro dissolvido maior que 0,3mg/L, em algumas regiões pertencentes os municípios de Nova Era, Rio Piracicaba, Bela Vista de Minas e São Domingos do Prata.

Análise da alcalinidade

Os efluentes gerados por atividades industriais são compostos por inúmeras substâncias prejudiciais ao meio ambiente. Dessa forma, com o aumento das atividades industriais ao longo dos anos, deve-se realizar, de acordo com Ferreira, A. P. R. e Ferreira O. M. (2006) a fiscalização e o monitoramento dos sistemas de tratamento acompanhando as características físicas, químicas e biológicas para que os impactos sejam minimizados.

Diante disso, um dos parâmetros químicos de grande relevância e que deve ser avaliado é a alcalinidade que, além de estar presente nos rejeitos industriais, é importante, segundo Piveli (2001), nos processos unitários utilizados em estações de tratamento de águas para abastecimento e residuárias.

A principal fonte de alcalinidade de hidróxidos em águas naturais decorre da descarga

de efluentes industriais, onde se empregam bases fortes, como soda cáustica e cal hidratada (Piveli, 2001). Além disso, a alcalinidade nos recursos hídricos também pode ser alterada devido ao uso de fertilizantes nas atividades agrícolas, que abrangem extensas áreas da bacia estudada.

Por outro lado, o setor siderúrgico produz efluente alcalino nos seus procedimentos industriais. Além das etapas de produção, segundo França (2012), outro importante ponto de consumo de água e de geração de efluentes líquidos é representado pelas operações de decapagem e limpeza de laminados.

Além das atividades agrícolas e siderúrgicas, pode-se destacar um grande volume de efluente alcalino produzido pelas indústrias de papel e celulose, como na etapa de branqueamento da polpa da celulose. Segundo Neto (2014):

“A origem dos efluentes está associada praticamente como todo o processo produtivo, pois em quase todas as etapas se utiliza água. No início do processamento as toras são limpas com jatos de água visando a remoção de sólidos como terra, cascas entre outros, na sequência durante a produção da polpa a mesma é enxaguada e elimina pequenos sólidos com fração orgânica biodegradável, soda cáustica e sulfito de sódio. Na última etapa tem-se o branqueamento, onde há liberação de material orgânica e uma grande fração de sólidos em suspensão.”

Dessa forma, a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba encontra-se vulnerável, pois nesta região, segundo IGAM (2010):

“A economia é baseada em três atividades interligadas, a mineração, o reflorestamento com eucaliptos e siderurgia. Os recursos naturais sempre foram elementos chaves no processo de desenvolvimento da região, onde está o maior complexo siderúrgico da América Latina e um dos mais importantes pólos da economia mineira”.

Assim, para a análise deste parâmetro foi espacializado o teor de alcalinidade para toda a bacia, como apresentado na Figura 5.

Alcalinidade na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - MG

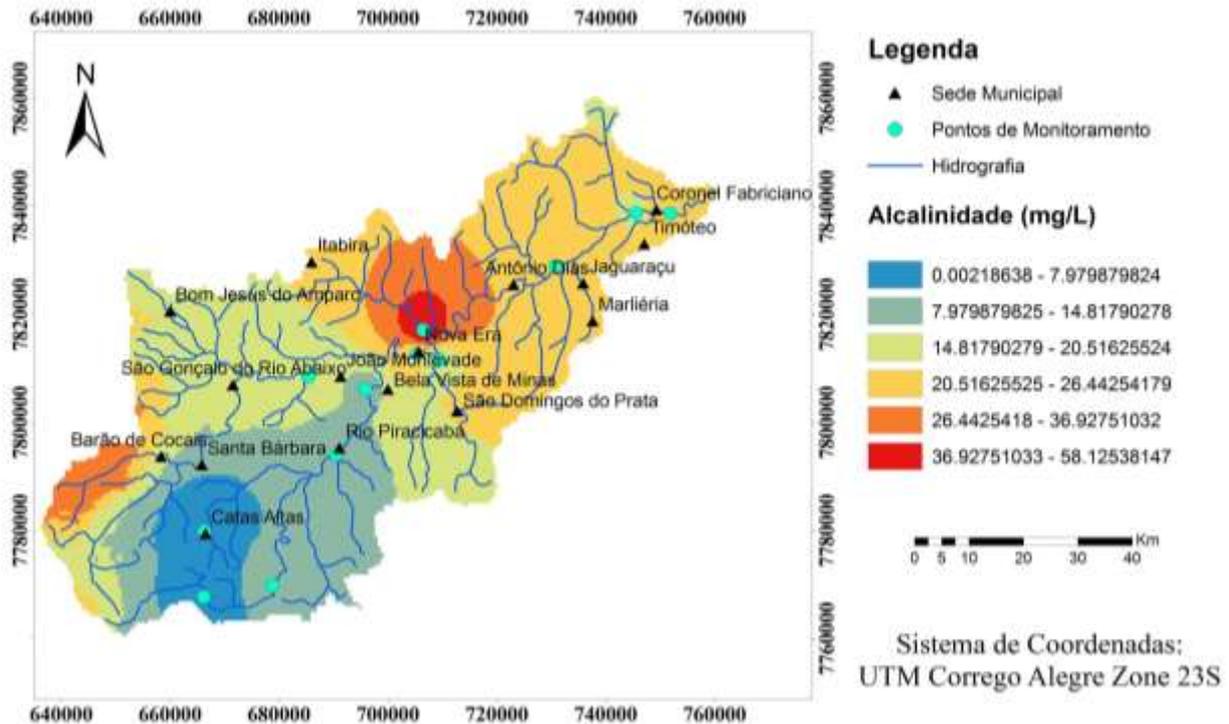


Figura 5. Alcalinidade na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG.

Portanto, há várias atividades econômicas que produzem efluentes alcalinos em seus procedimentos industriais. Contudo, como pode se observar na Figura 5, no município de Nova Era e em seu entorno, se encontra um maior teor alcalino. Isso pode ser explicado devido à intensa concentração de atividades industriais de diversos setores nesta região.

A alcalinidade está relacionada com a dureza das águas, e é normalmente expressa como número de miligramas por litro (mg/L) de carbonato de cálcio (CaCO₃) (Abdalla et al., 2010). De acordo com a Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 – Ministério da Saúde, a dureza total das águas que é permitida para consumo humano é de até 500 mg/L. A Tabela 01, expressa os valores da concentração de CaCO₃, em mg/L, para classificação de dureza das águas. Com isso, de acordo com o Ministério da Saúde, apenas as águas classificadas com a dureza branda, que é permitida para o consumo humano.

Tabela 1. Classificação da dureza da água

DUREZA	CONCENTRAÇÃO DE CaCO ₃ (mg/L)
Mole ou Branda	< 50
Dureza Moderada	50 - 150
Dura	150 - 300
Muito Dura	> 300

Fonte: Adaptado de Costa e Fonsêca (2016)

Desta forma, valores médios de alcalinidade se espalham em quase todo mapa, entre 0,00 a 58,12 mg/L, se apresentando em grande parte, dentro do limite de carbonato de cálcio permitido para consumo humano. Como ressaltado anteriormente, na região de Nova Era e suas proximidades, se encontram com um maior teor alcalino, com 8,12 mg/L acima do permitido para o consumo humano, de acordo com o Ministério da Saúde.

Análise de Nitrito e Nitrato

A agricultura e a pecuária intensiva são atividades econômicas de grande relevância em algumas cidades pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - MG. Esses empreendimentos, além de alimentar a economia e promover um grande desenvolvimento local, estão diretamente relacionados à contaminação dos corpos d'água da bacia.

O nitrogênio é um elemento fundamental para a vida na terra, pois compõe os aminoácidos, que por sua vez constituem as proteínas (Kindlein, 2010). A maior parte do nitrogênio está presente na atmosfera na forma de N₂. Devido aos processos naturais e às atividades antrópicas, esse elemento pode ficar exposto na água em suas diferentes composições, como na forma de nitrito

e nitrato, que são substâncias imprescindíveis ao ecossistema aquático. Porém, a alteração dos elementos na natureza pode gerar graves perturbações e modificações na qualidade da água, além de instigar impactos ambientais que atingem o ecossistema natural.

Conforme a Resolução CONAMA 357/05, os valores máximos permitidos para a concentração de nitrato e nitrito em águas doces é de 10,0 mg/L N e 1,0 mg/L N respectivamente. Pontalti (2011) afirma que a alta concentração desses compostos nos corpos d'água pode ser prejudicial à saúde humana, podendo causar câncer em adultos e a má formação congênita de recém-nascidos.

De acordo com Silva e Brotto (2014), o esgoto humano depositado em sistemas sépticos, o cultivo do solo e a aplicação de

fertilizantes com nitrogênio e esterco animal em plantações, são as principais fontes de nitrato nos corpos d'água.

O nitrito é outro composto derivado do nitrogênio, e está presente em águas superficiais. A formação desse composto está relacionada com a decomposição da matéria orgânica ou poluição industrial. Segundo Kindlein (2010), a presença de nitrito indica a ocorrência de processos biológicos ativos influenciados pela poluição orgânica, cujos estes, são causados pelo lançamento de esgotos nos corpos d'água.

Sendo assim, para avaliar o comportamento destes parâmetros na bacia foram elaborados os mapas presentes nas Figuras 6 e 7, apresentando respectivamente as concentrações de Nitrato e Nitrito nos corpos d'água.

Teor de Nitrato na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - MG

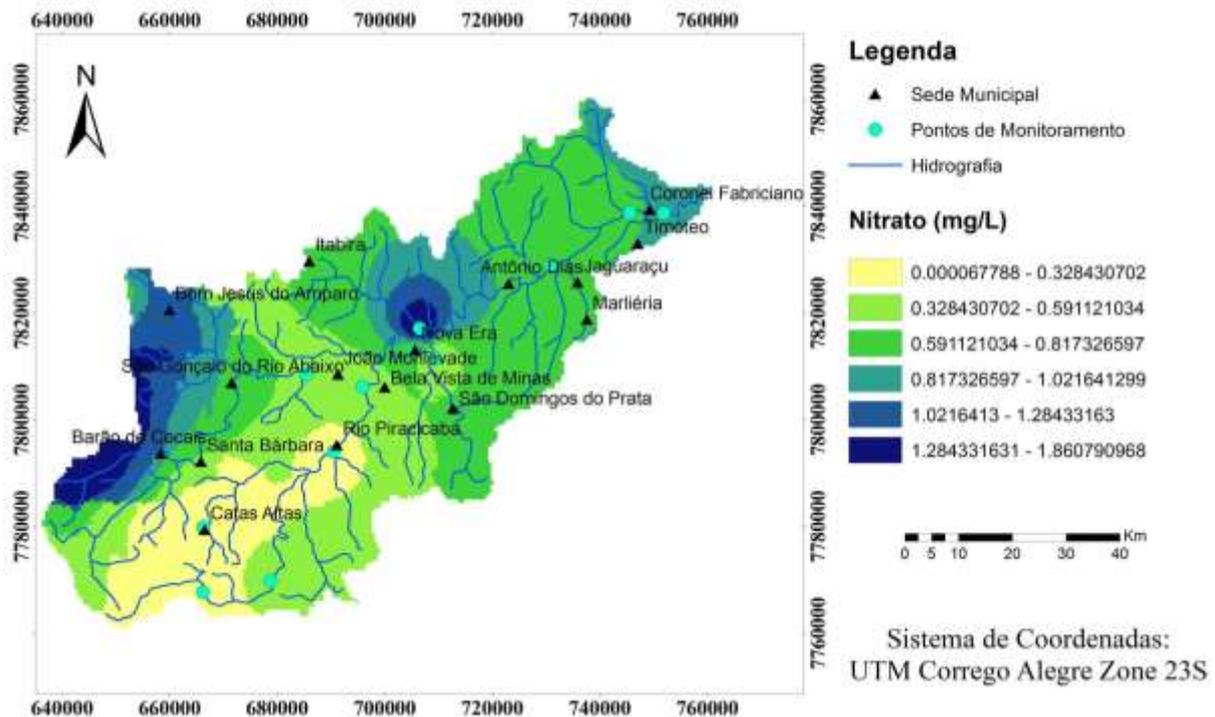


Figura 6. Teor de Nitrato na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG.

Por meio do mapa elaborado contendo os teores de nitrato, exposto na Figura 6, percebe-se que as maiores concentrações de nitrato na bacia se encontram nas cidades de Nova Era, Barão de Cocais, Bom Jesus do Amparo, Coronel Fabriciano e Timóteo. Esse comportamento pode ser explicado devido ao fato de que estas regiões apresentam como principais atividades

econômicas a agricultura, a pecuária intensiva e o agronegócio (PNME, 2013), que são algumas das principais fontes de nitrato nas águas. No âmbito agrícola, a lixiviação de terras de cultivo para os rios e riachos eleva a concentração de nitrato nos cursos d'água, uma vez que o nitrogênio está presente em fertilizantes e pesticidas.

Teor de Nitrito na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - MG

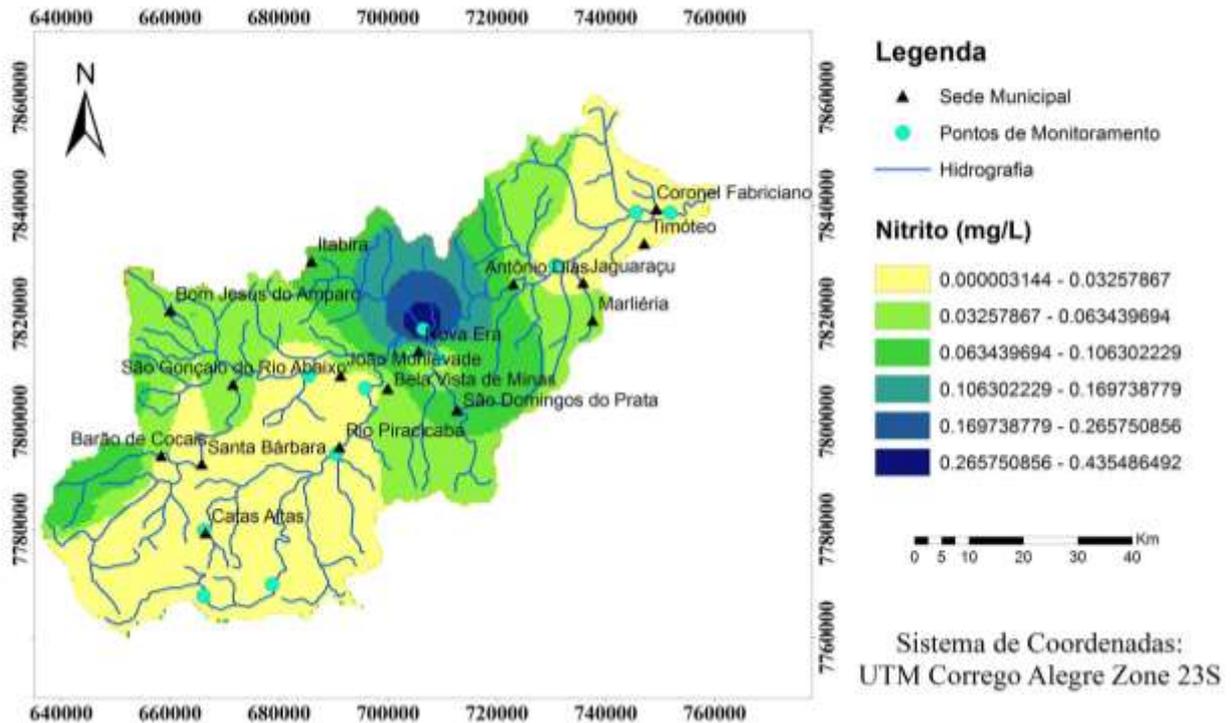


Figura 7. Teor de Nitrito na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - MG.

O nitrito por sua vez, se faz presente em pequena escala nas cidades incorporadas à Bacia, como pode ser observado na Figura 7.

Segundo Kindlein (2010), o nitrito normalmente é encontrado em pequenas quantidades nas águas superficiais e subterrâneas, pois ele é instável na presença de oxigênio, ocorrendo como uma forma intermediária durante o ciclo do nitrogênio. Fato esse que explica o comportamento analisado no mapa.

Como pode-se observar na Figura 7, a cidade de Nova Era apresenta uma grande concentração do composto nitrito. Cerca de 88% de sua população está presente na zona urbana da cidade (IBGE, 2016), totalizando em aproximadamente 15.420 habitantes. Essa intensa densidade demográfica pode acarretar em falhas nas redes de esgoto, o que facilita a drenagem de águas residuais para rios e lagos, indicando a possibilidade da formação de nitrito (Silva e Broto, 2014).

Análise DBO

A carga poluidora presente em esgotos domésticos é composta, fundamentalmente, por material orgânico, cujo principal elemento é o carbono. Essa matéria pode ser quantificada pelo Carbono Orgânico Total (COT) ou, indiretamente, por meio da Demanda Bioquímica de Oxigênio

(DBO), que é definida como a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação bioquímica (Embrapa, 2011).

Com o elevado crescimento demográfico e a insuficiência, ou ausência, de saneamento básico em determinadas regiões, a DBO tem se elevado nas bacias hidrográficas, gerando desconforto e diminuição da qualidade de vida para a população, e conduzindo a flora e fauna aquáticas à situação de risco.

Isso porque, de acordo com Kamiyama (1988), a existência de matéria orgânica na água em níveis elevados propicia a proliferação de bactérias e microrganismos, caracterizados por se alimentar dessa matéria, além de consumir o oxigênio dissolvido na água. Devido a deficiência de oxigênio, os animais e plantas aquáticos podem desaparecer e, se a condição for mantida, a água apresentará cor escura, exalando cheiro desagradável.

Além do esgoto doméstico lançado diretamente nos corpos d'água pode-se citar também o aumento da DBO devido ao uso dos recursos hídricos na criação bovina e em matadouros, conforme apresentado em estudo sobre a pecuária bovina de corte no Pará, realizado por Pereira (2012), onde pode-se constatar que a quantificação dos volumes de água usadas nessas duas atividades possibilitou

demonstrar o aumento de poluentes ambientais nas águas, caracterizada pela DBO acima dos padrões permitidos.

Assim, para a análise do comportamento deste parâmetro na bacia foi gerado o mapa apresentado na Figura 8.

Demanda Bioquímica de Oxigênio na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba - MG

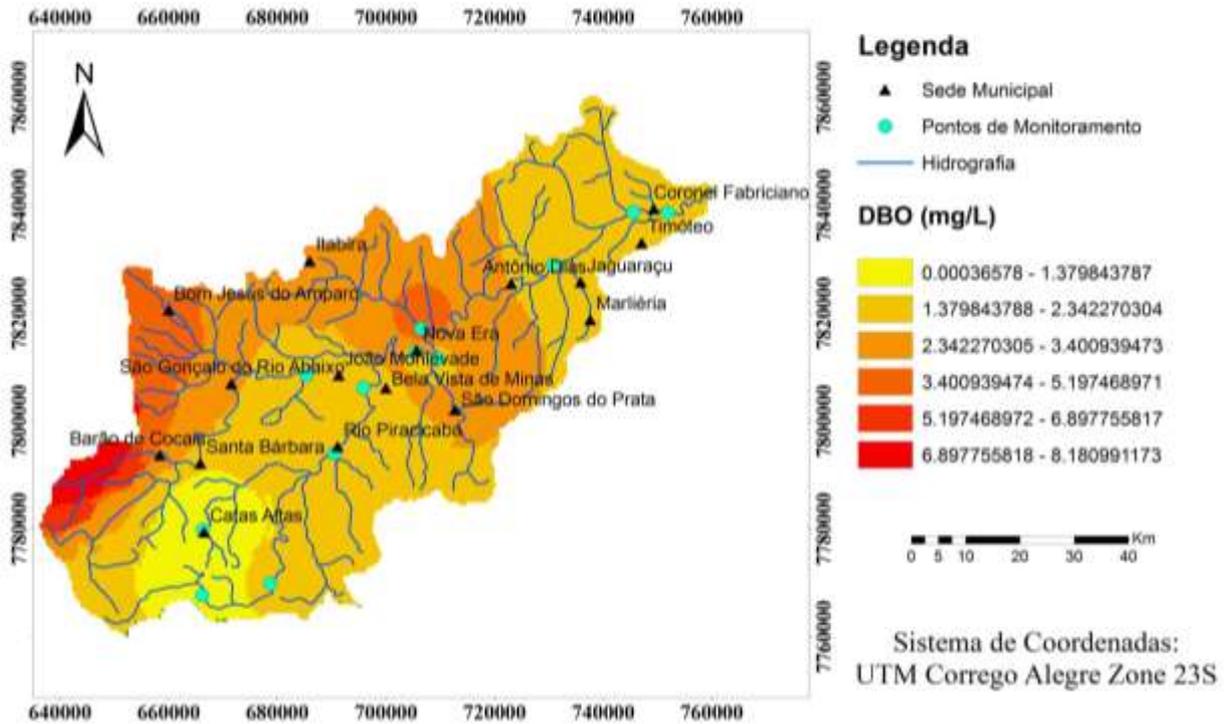


Figura 8. Demanda Bioquímica de Oxigênio na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG. Fonte: Autoras deste artigo.

Nesse sentido, analisando os níveis de DBO presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG por meio do mapa elaborado para este parâmetro, pode-se constatar que seus níveis estão acima do previsto pela resolução CONAMA 357/2005 em aproximadamente 37,5% das sedes municipais presentes na bacia, sendo Barão de Cocais, Bom Jesus do Amparo, São Gonçalo do Rio Abaixo, Itabira, Nova Era e São Domingos do Prata os municípios que possuem DBO mais elevada, entre 3,4 a 8,18 mg/L. Tal resolução estabelece para a classe 1 de águas doces, o máximo de 5mg/L. Já para a classe 3 de águas doces, todos os municípios se enquadram, visto que a mesma resolução apresenta a condição de 10 mg/L.

Outro parâmetro que está diretamente relacionado com a DBO é o IESM (Índice de Avaliação do Esgotamento Sanitário Municipal). De acordo com a FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente), os três indicadores que compõem o cálculo do IESM, utilizado para avaliar e estimar a situação do esgotamento sanitário em Minas Gerais, são: o percentual de coleta, percentual de tratamento e Regularização

Ambiental. Classificando-se em bom, médio, ruim e alarmante, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2. Faixas de Classificação do IESM

IESM	Classificação
$75 \leq x \leq 100$	Bom
$50 \leq x \leq 75$	Médio
$35 \leq x \leq 50$	Ruim
$0 \leq x \leq 35$	Alarmante

Fonte: FEAM, Minas trata Esgoto relatório 2015 (Adaptado).

Nesse sentido, segundo a FEAM, o município de Barão de Cocais apresentou IESM de 33.32, Bom Jesus do Amparo 98.26, São Gonçalo do Rio Abaixo 40.00, Itabira 71.90, Nova Era 38.30 e São Domingos do Prata apresentou um valor de 37.62.

Desse modo, nota-se que os municípios com a DBO mais elevada são os que possuem as piores classificações do IESM, demonstrando que a falta de tratamento adequado do esgoto sanitário nestes municípios tem impactado diretamente a qualidade da água nesta bacia.

Também foram levantadas informações sobre a criação bovina destes municípios para correlacionar ao aumento da DBO nestas regiões. Para tanto foi pesquisado junto ao IBGE estas informações.

Neste trabalho optou-se em analisar conjuntamente a criação de Bubalinos, Equinos, Azinos e Muares com a criação de Bovinos, visto que, embora não sejam os mesmos sistemas de

criação, também apresentaria impacto na DBO, quando expressivos.

Assim, foram levantadas o número de cabeças para cada município no ano de 2006 (retirado do Senso agropecuário destes municípios para o referido ano (IBGE, 2016)) e trabalhado no gráfico apresentado na Figura 9.

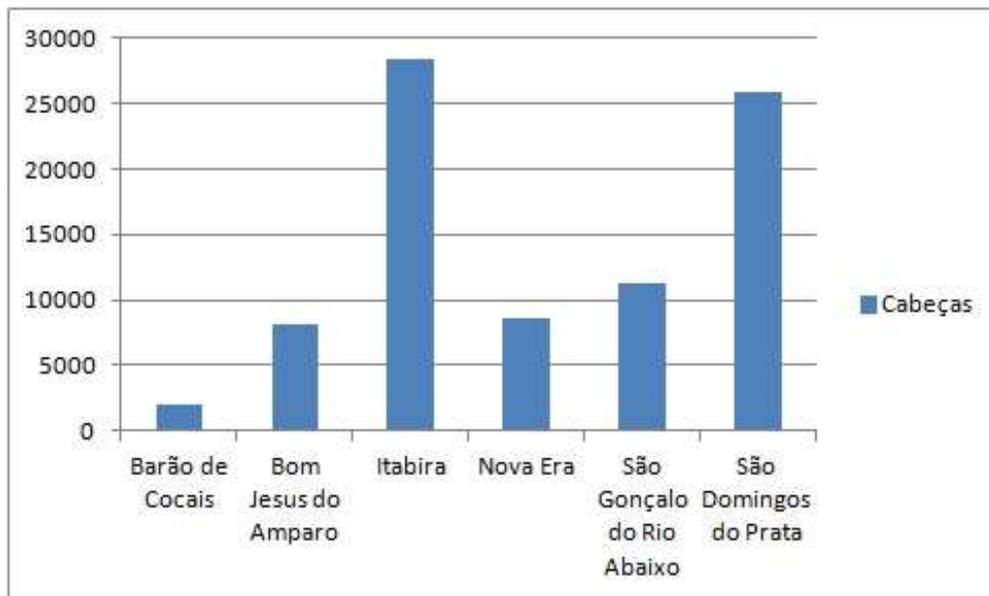


Figura 9. Criação de Bovinos, Bubalinos, Equinos, Azinos e Muares nos municípios.

Observando o gráfico da Figura 9, pode-se constatar que os municípios que apresentam um número maior de cabeças são os municípios de Itabira e São Domingos do Prata, embora estes também estejam em regiões com maiores concentrações de DBO, não é possível afirmar que seja apenas este o fator que esteja contribuindo para este aumento, visto que a cidade de Barão de Cocais apresenta a menor criação e a maior concentração de DBO.

Porém, quando se analisa o IESM e a criação ao mesmo tempo, percebe-se que para o município de Itabira, que apresenta o melhor IESM há a maior presença de Bovinos, Bubalinos, Equinos, Azinos e Muares, portanto isto pode indicar ser a criação destes o maior fator relacionado ao aumento da DBO. Já para o município de São Domingos do Prata os dois fatores aparentam estar contribuindo para o teor de DBO, por apresentar a segunda maior criação e um baixo IESM.

Conclusões

Por meio da realização do trabalho em questão, pode-se concluir que há grande necessidade em se realizar uma fiscalização mais adequada e eficiente em relação à degradação dos corpos d'água na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba-MG, visto que as atividades econômicas presentes nesta são agentes de grande impacto ambiental.

Alem das atividades econômicas (incluindo indústrias e a criação de Bovinos, Bubalinos, Equinos, Azinos e Muares), o tratamento do esgoto se mostrou um ponto crítico nesta bacia, sendo coresponsável pela alteração dos parâmetros de qualidade da água nesta.

Com a espacialização dos parâmetros e visualização de regiões de maiores concentrações permitiu detectar áreas onde o policiamento frequente dos parâmetros deveriam ser intensificados. Este poderia ser realizado por meio das estações de monitoramento da qualidade da água, bem como a instalação de estações à jusante de indústrias e agentes poluidores, a fim de potencializar o controle e supervisão dos efluentes

lançados conforme os padrões estabelecidos por lei.

Devido à grande extensão territorial da bacia, o emprego da metodologia adotada neste trabalho com a utilização do sensoriamento remoto e do geoprocessamento faz-se de extrema utilidade, uma vez que possibilita a visualização de forma abrangente do comportamento de cada parâmetro na bacia e pode auxiliar no controle da qualidade dos corpos d'água de forma não subjetiva, ágil e precisa.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Federal de Itajubá, *campus* Itabira, por nos fornecer os equipamentos e *softwares* necessários para a execução dessa pesquisa.

Referências

- Abdalla, K.V.P. et al., 2010. Avaliação da dureza e das concentrações de cálcio e magnésio em águas subterrâneas da zona urbana e rural do município de Rosário – MA. *Revista Águas Subterrâneas* [online]. Disponível: <https://aguas.subterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22915>. Acesso: 25 jun. 2016.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987. NBR 9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2016. Disponível: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acesso: 25 jun. 2016.
- Carvalho, A. R., Schlittler, F. H. M., Tornisielo, V. L., 2000. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Química Nova* [online] 28. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n5/3051.pdf>. Acesso: 24 maio 2016.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2016. Oxigênio Dissolvido. Disponível: <http://mortandadedepeixes.cetesb.sp.gov.br/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio-dissolvido/>. Acesso: 25 jun. 2016.
- CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2016. Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Disponível: <http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>. Acesso: 25 jun. 2016.
- CONAMA. Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2005. Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005.
- Costa, M. J. S., Fonseca, J. A. S., 2016. Avaliação da dureza de águas, proveniente de poços tubulares da cidade de São João Do Rio Do Peixe – PB, para uso como fonte alternativa. Disponível: http://www.abq.org.br/sinequi/trabalhos_detalhes,8662.html. Acesso: 25 jun. 2016.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2011. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. Colombo.
- FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2015. Minas Trata Esgoto. Belo Horizonte.
- Ferreira, A. P. R., Ferreira, O. M., 2006. Tratamento de efluentes de uma base de armazenamento de combustíveis: estudo da eficiência. Disponível: http://ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/tratamento_de_efluentes_de_uma_base_de_armazenamento_de_combustiveis_-_estudo_da_eficiencia.pdf. Acesso: 26 jun. 2016.
- Ferreira, I. L., 2011. Geoprocessamento na gestão de Recursos Hídricos: a análise espacial na proposta de enquadramento dos corpos de água. Monografia (Especialização). Belo Horizonte, UFMG.
- França, A. L. F., 2012. Minimização do consumo de água e da geração de efluentes líquidos em siderurgia. Disponível: <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/minimizacao-do-consumo-de-agua-em-siderurgia.pdf>. Acesso: 25 jun. 2016.
- Giordano, G., 2016. Tratamento e controle de efluentes industriais. Disponível: https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwikt96uzv3UAhUCKpAKHar2DOEQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F24138517%2F1421219182%2Fname%2FApostila%2B%2BTratamento%2Bde%2Befluentes%2Bindustriais.pdf&usq=AFQjCNFXT_GbIwyi4PaqtiJLVPO8EYj9Ew. Acesso: 02 mai. 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Censo demográfico 2010: sinopse. Rio de Janeiro.
- IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2009. CBH Piracicaba lança site com informações ambientais. Disponível: <http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/845-cbh-piracicaba-lanca-site-com-informacoes-ambientais>. Acesso: 27 jun. 2016.

- IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2012. Conheça a Bacia - DO2. Disponível: <http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-doce/do2-cbh-do-rio-piracicaba/1208-conheca-a-bacia-do2>. Acesso: 27 jun. 2016.
- INCA. Instituto Nacional de Câncer José de Alencar Gomes da Silva, 2009. Brasil lidera o ranking de consumo de agrotóxicos. Rio de Janeiro.
- Kamiyama, H., 1988. A complexidade do DBO. Revista DAE [online] 48. Disponível: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_152_n_60.pdf. Acesso: 3 maio 2016.
- Kindlein, C. P., 2010. Determinação do teor de nitratos e nitritos na água de abastecimento do Município de Nova Santa Rita. Disponível: http://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/tcc/graduacao/quimica_bacharelado/2010/cpkindlein.pdf. Acesso: 27 jun. 2016.
- Merten, H. G., Minella, P. J., 2002. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Revista agroecologia [online] 3. Disponível: http://taquari.emater.tche.br/docs/agroeco/revista/ano3_n4/artigo2.pdf. Acesso: 10 maio 2016.
- MS. Ministério da Saúde, 2011. Portaria Nº 2914, de 12 de dezembro.
- Neto, H. M., 2014. Tratamento de efluentes na indústria de papel e celulose. Revista técnica de tratamento de água e afluentes (TAE). Disponível: <http://www.revistatae.com.br/noticiaInt.asp?id=7197>. Acesso: 27 jun. 2016.
- Panachuki, E., 2003. Infiltração de água no solo e erosão hídrica, sob chuva simulada, em sistema de integração agricultura-pecuária. Dissertação (Mestrado). Dourados, UFMS.
- Percebon, C. M., Bittencourt, A. V. L., Filho, E. F. da R., 2005. Diagnóstico da Temperatura das Águas dos Principais Rios de Blumenau, SC. Boletim Paranaense de Geociências [online] 56. Disponível: <http://revistas.ufpr.br/geociencias/article/viewFile/4904/3737>. Acesso: 22 ago. 2016.
- Pereira, S. L., 2012. Pecuária bovina de corte no estado do Pará: água, impactos ambientais e sustentabilidade ambiental. Dissertação (Mestrado). Belém, UFPA.
- Piveli, R. P., 2001. Curso “qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos”. Aula 6 características químicas das águas: ph, acidez, alcalinidade e dureza. Disponível: <http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb360/Fasciculo%206%20%20Alcalinidade%20e%20Acidez.pdf>. Acesso: 24 jun. 2016.
- Pontalti, G. C., 2011. Nitritos e nitratos: venenos ou nutrientes? Disponível: http://www.ufrgs.br/lacvet/restrito/pdf/gabriel_nitratos.pdf. Acesso: 27 jun. 2016.
- PMNE. Prefeitura Municipal de Nova, 2013. História. Nova Era.
- Quadrilátero Ferrífero, Centro de Estudos Avançados. Estudos Geoambientais. Disponível: http://www.qfe2050.ufop.br/?pg=pa_estudos_geoambientais. Acesso: 01 maio 2016.
- Santos, A. B., 2014. Reuso de efluentes no processo industrial de siderurgia. Dissertação (Mestrado). Guaratinguetá, UNESP.
- Silva, L. C. M., Brotto, M. E., 2014. Nitrato em água: ocorrência e consequências. Escola Superior de Química, São Paulo.
- Silva, R. F., 2007. A paisagem do Quadrilátero Ferrífero – MG: Potencial para uso turístico da sua geologia e geomorfologia. Tese (Mestrado). Belo Horizonte, UFMG.
- UFRRJ. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Temperatura da água. Disponível: <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/tem.htm>. Acesso: 25 ago. 2016.