

# Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos

*Water quality assessment in watersheds with different anthropogenic impacts*

Marielle Medeiros de Souza<sup>1</sup>, Maria do Carmo Cauduro Gastaldini<sup>2</sup>

## RESUMO

A ocupação desordenada do solo sem os devidos tratamentos conservacionistas e as ações antrópicas indevidas provocam alterações na qualidade da água local e induzem a poluição dos recursos hídricos. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água em bacias hidrográficas do Rio Vacacaí-Mirim com uso e ocupação do solo distintos, no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Os parâmetros de qualidade da água foram analisados estatisticamente em períodos de tempo seco e avaliados segundo o coeficiente de correlação de Pearson. A bacia hidrográfica Alto da Colina, de menor área (2 km<sup>2</sup>), maior percentual de urbanização e maior número de habitantes apresentou piores resultados de degradação ambiental. Isto se deve à influência do efluente doméstico como fonte potencial de contaminação do sistema fluvial e também à contribuição elevada de matéria orgânica, agentes patogênicos e nutrientes. Os diferentes usos do solo provocaram alterações nas relações entre os parâmetros de qualidade da água analisados. Nas bacias onde predominam áreas agrícolas, a influência da turbidez e sólidos suspensos foi significativa devido à ocorrência de processos erosivos.

**Palavras-chave:** qualidade da água; uso do solo; atividade antrópica; degradação ambiental.

## ABSTRACT

The unbalanced use of soil without a proper conservationist treatment as well as the improper anthropogenic actions may cause alterations in the local water quality and can induce the pollution of water resources. This study aimed to evaluate the water quality in watersheds with distinct use and occupation of the soil of the Vacacaí-Mirim River in the municipality of Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brazil. Water quality parameters were statistically analyzed in periods of dry weather and assessed using the Pearson correlation coefficient. Alto da Colina watershed, with the smallest area (2 km<sup>2</sup>), presented the highest percentage of urbanization and the largest population; however, it showed the worst results regarding environmental degradation when compared to the other watersheds studied. This result is due to the influence of the domestic effluent as a potential source of contamination of the water system and due to the high contribution of organic matter, pathogenic agents, and nutrients. The different uses of soil have caused alterations in the relations between the water quality parameters analyzed. In watersheds where agricultural areas are predominant, the influence of turbidity and suspended solids was significant due to the occurrence of erosive processes.

**Keywords:** water quality; land use; anthropogenic activity; environmental degradation.

## INTRODUÇÃO

Qualquer um que caminhe nas margens de um rio com interferência da ação antrópica consegue ver os sinais da degradação ambiental. Segundo Rigotti e Pompêo (2011), a maioria dos rios nas cidades brasileiras estão substancialmente degradados.

O cenário não é distinto em Santa Maria, que possui uma população de 262.312 habitantes e é a quinta cidade mais populosa do Rio Grande do Sul, sendo que 95,1% vivem em área urbana (IBGE, 2010). A maioria dos arroios do município estão canalizados e os que ainda

restam possuem em suas margens residências, que lançam efluentes domésticos *in natura* para os corpos d'água. Além disso, diariamente são depositados resíduos sólidos comprometendo a qualidade das águas (CARVALHO JUNIOR, 2011).

A bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim é de grande importância para a cidade, pois possui sub-bacias de contribuição ao reservatório de abastecimento doméstico, responsável por 40% do abastecimento de água do município de Santa Maria, e recreação de contato primário, pois está situado nas suas margens um clube de lazer.

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) - Santa Maria (RS), Brasil. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSM - Santa Maria (RS), Brasil.

<sup>2</sup>Doutora em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP) - São Carlos (SP), Brasil. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSM - Santa Maria (RS), Brasil.

**Endereço para correspondência:** Marielle Medeiros de Souza - Rua João Batista da Cruz Jobim, 240, apto 102 - 97060-330 - Santa Maria (RS), Brasil - E-mail: mariellers@yahoo.com.br

**Recebido:** 27/06/13 - **Aceito:** 07/01/14 - **Reg. ABES:** 1097

O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade da água em sub-bacias do Rio Vacacaí-Mirim no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul, com diferentes usos e ocupação do solo. Foram avaliados os seguintes parâmetros: temperatura da água, pH, turbidez, condutividade, Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>), coliformes totais, *Escherichia coli*, sólidos totais, suspensos e dissolvidos, amônia, nitrito, nitrato e fosfato, cobre, níquel, chumbo e zinco em períodos sem a ocorrência de precipitação (período de tempo seco).

O comportamento da qualidade da água reflete as condições ambientais da bacia hidrográfica, sendo assim, conhecer as características de qualidade da água amplia o conhecimento ecológico do ecossistema e possibilita detectar alterações provenientes da atividade humana.

Para melhor caracterização da qualidade da água foi utilizada a correlação de Pearson (r) para analisar a relação entre os parâmetros de qualidade da água, a vazão e o período de tempo seco antecedente ao dia de coleta (número de dias).

## METODOLOGIA

O presente estudo tem como base a bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo

as áreas dos municípios de Itaara, Santa Maria, Restinga Seca, São João do Polêsine e Silveira Martins. A bacia está situada entre as coordenadas geográficas 53° 46' 30" a 53° 49' 29" de longitude oeste e 29° 36' 55" a 29° 39' 50" de latitude sul, abrangendo uma área total de 1.145,7 km<sup>2</sup>.

Foram selecionadas quatro estações fluviométricas em áreas de características distintas ao longo do Rio Vacacaí-Mirim: Rancho do Amaral (RA) e Menino Deus II (MDII), Menino Deus IV (MDIV), caracterizadas como rurais, e Alto da Colina (AC), com característica urbana. A Figura 1 ilustra a localização geográfica das bacias hidrográficas, bem como a localização dos pluviômetros para obtenção dos dados de precipitação pluviométrica e a localização das seções fluviométricas de monitoramento.

Os dados utilizados para análise nas bacias RA e AC foram obtidos do monitoramento realizado no período de março a setembro de 2008. As bacias MDII e MDIV, afluentes ao reservatório de abastecimento de água de Santa Maria, foram monitoradas no período de outubro de 2011 a julho de 2012.

Na Tabela 1 estão resumidas as características de uso do solo das bacias hidrográficas monitoradas, o ano de monitoramento das estações e a estimativa da população (cinco habitantes por residência). A bacia hidrográfica MDIV apresenta maior área (18,6 km<sup>2</sup>) em relação às demais. A bacia MDII possui maior percentual de mata nativa

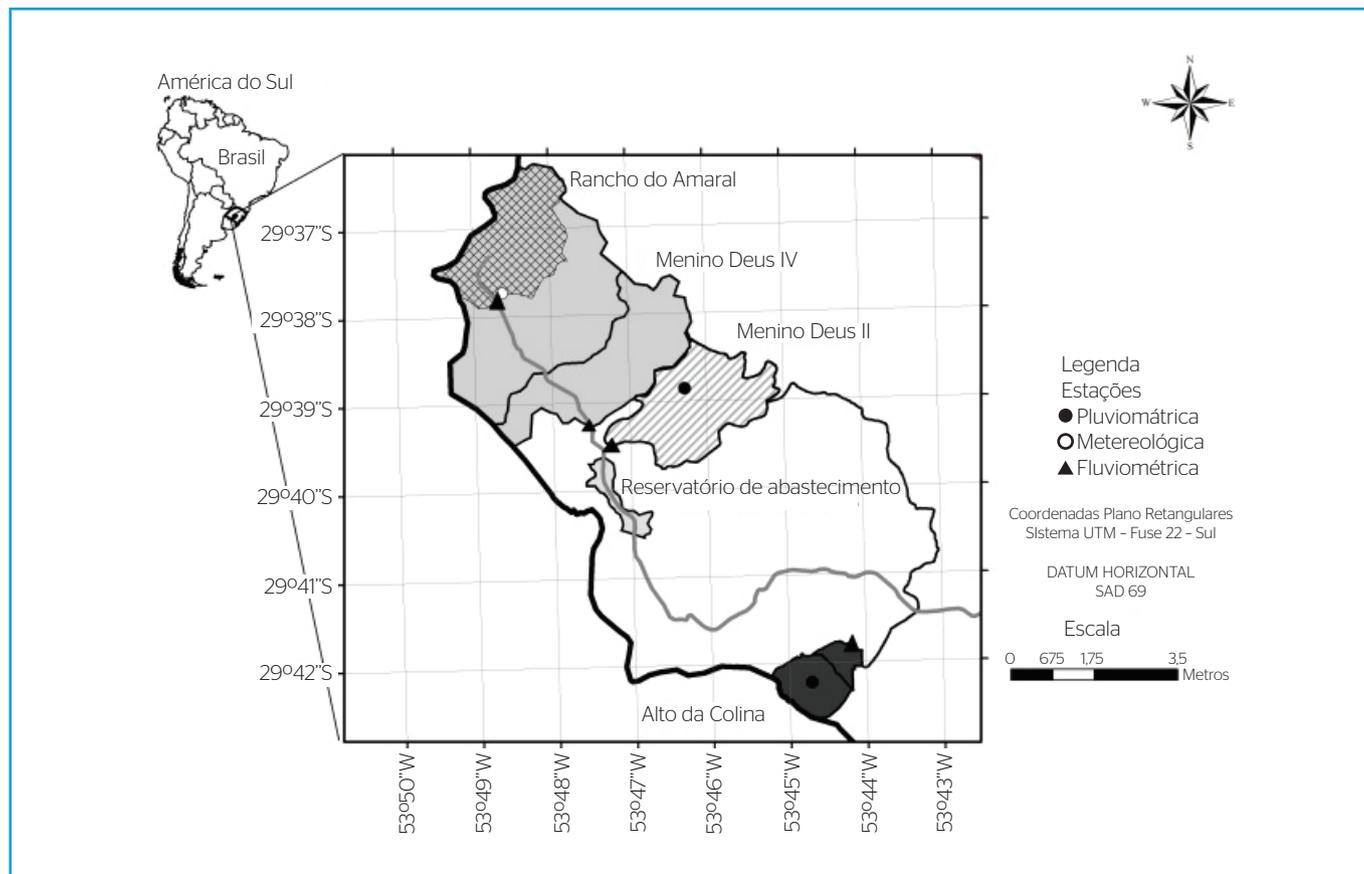


Figura 1 - Estações pluviométricas e fluviométrica de monitoramento na bacia hidrográfica Vacacaí-Mirim.

e a bacia AC, de menor área, porém com maior percentual de área impermeável, agricultura e número de habitantes.

Para realização do presente estudo, as seguintes etapas foram desenvolvidas:

- Coleta manual de amostras, realizada no centro da seção de amostragem em um ponto representativo da massa líquida, utilizando-se recipientes plásticos limpos, previamente identificados, com enxágue dos frascos três vezes com a mesma amostra, evitando-se aeração excessiva no momento da coleta. Nas bacias hidrográficas RA e AC foram realizadas 10 coletas e nas bacias hidrográficas MDII e MDIV foram realizadas 40 amostras em período seco;
- Análises dos parâmetros de qualidade da água foram realizadas segundo metodologias descritas no APHA (2005) (Tabela 2), em Laboratórios da Universidade Federal de Santa Maria.
- Análise estatística, utilizando o *software* SPSS Statistics 17.0, do coeficiente de variação e correlação de Pearson ( $r$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 a 5 ilustram os *boxplots* construídos a partir dos dados obtidos nas análises dos parâmetros de qualidade da água; observou-se a grande variabilidade dos parâmetros em função dos usos do solo de cada bacia estudada.

A bacia RA, com predomínio de 55,8% de mata nativa, possui baixo grau de degradação ambiental.

Coliformes totais e *Escherichia coli* obtiveram os menores valores na área mais preservada (RA) e obtiveram os maiores valores para a bacia hidrográfica AC (com influência da urbanização).

Os menores valores de condutividade elétrica foram encontrados na bacia hidrográfica RA, de área mais preservada. Sardinha *et al.* (2008) compararam a qualidade da água superficial do Rio Ribeirão do Meio, São Paulo, em pontos na nascente do rio, encontrando valores baixos de condutividade (média  $22 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), e após a cidade de Leme, valores elevados de condutividade (média  $200 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), comprovando

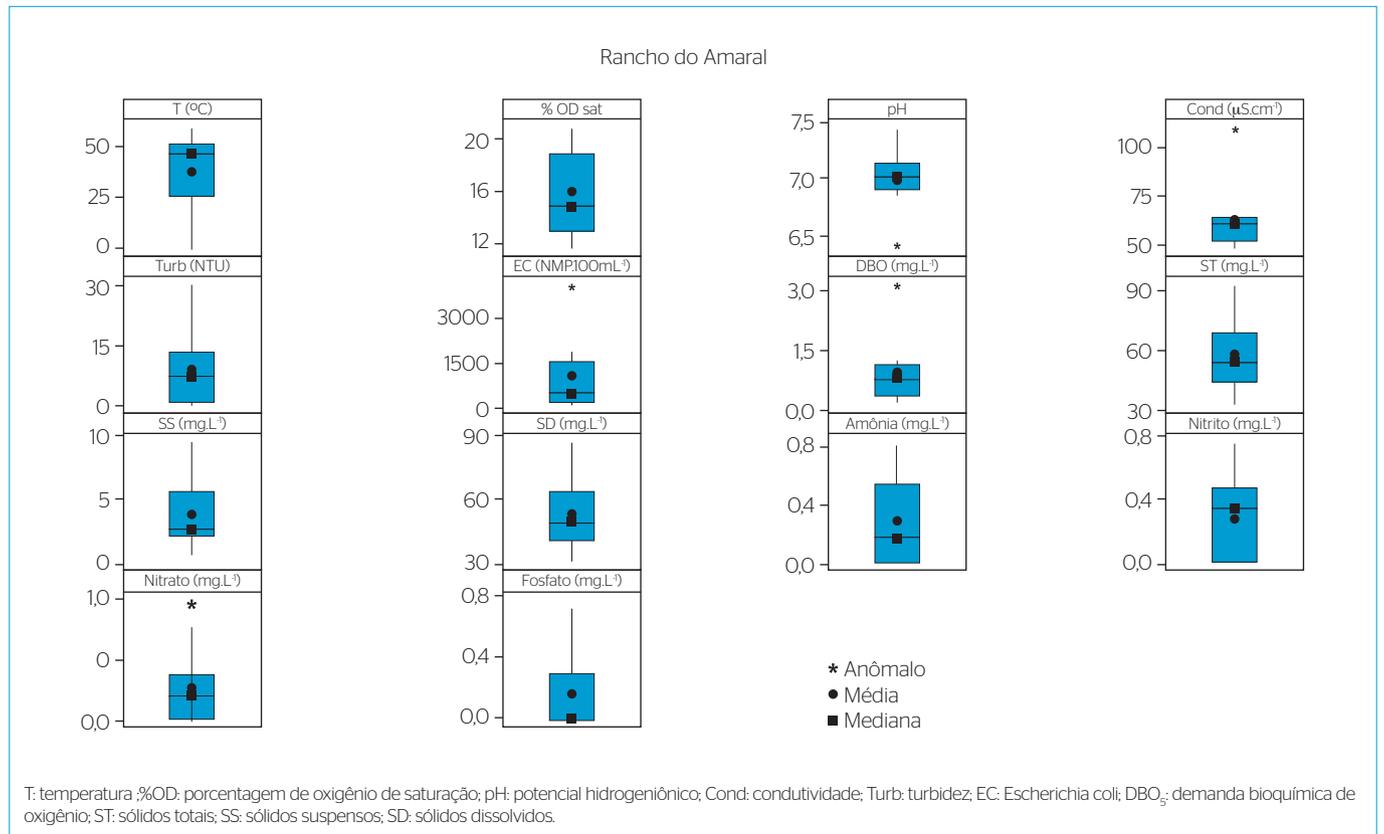
**Tabela 1 - Características físicas e estimativas populacional das bacias hidrográficas nos anos de monitoramento.**

Bacia hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	Mata nativa (%)	Campo (%)	Agricultura (%)	Impermeável (%)	Estimativa populacional (habitantes)
Rancho do Amaral	4,5	55,8	39,6	3,6	-	190
Menino Deus IV	18,6	56,6	37,3	5,3	0,3	910
Menino Deus II	5,2	63,8	24,4	8,5	3,2	440
Alto da Colina	2,0	17,3	14,8	50	17,4	1800

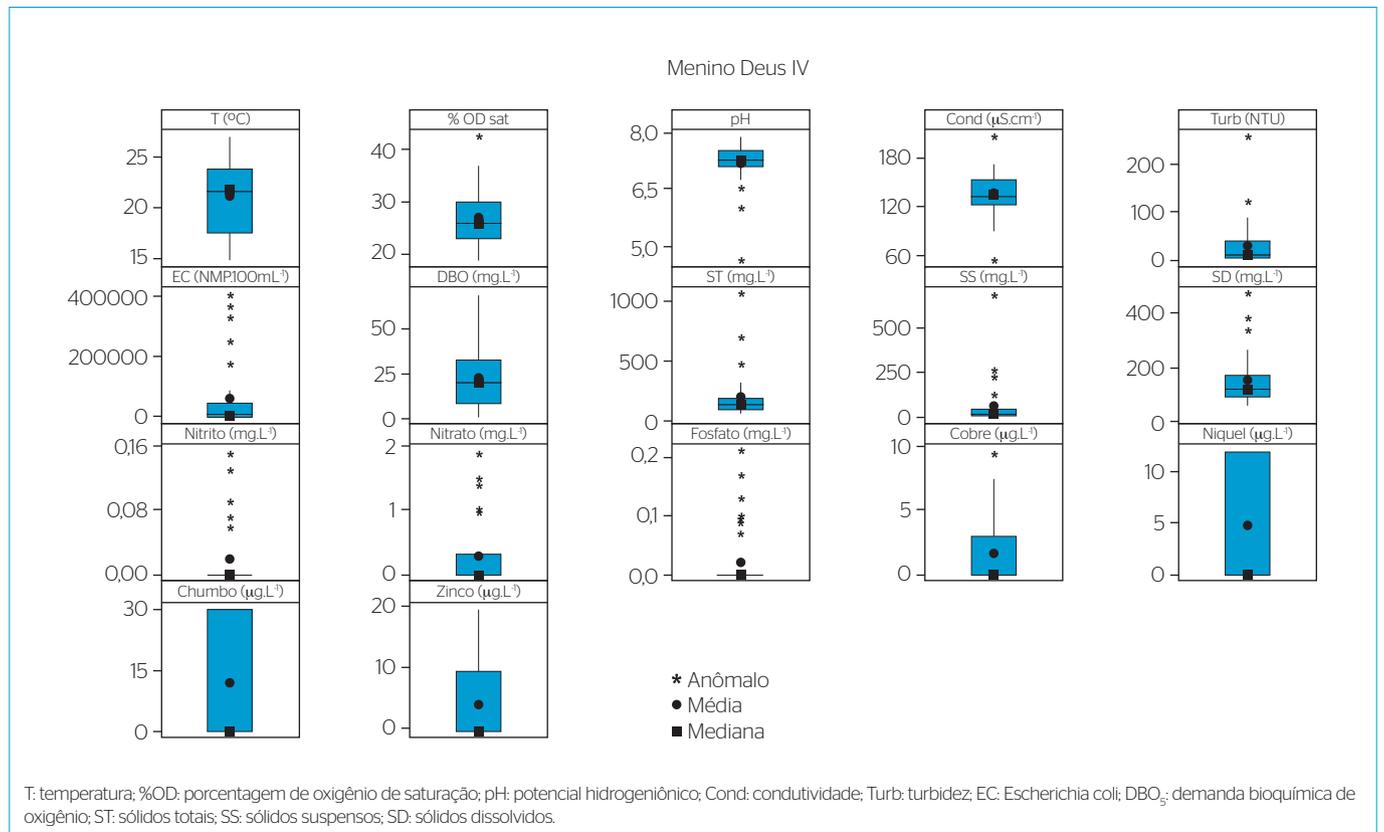
**Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água, metodologia analítica e limite de detecção.**

Parâmetros de qualidade da água	Metodologia analítica	Limite de detecção
Temperatura da água	Termometria	0,1°C
Turbidez	Nefelométrico	0,1 UNT
pH	Potenciométrico	0,1
Condutividade elétrica	Potenciométrico	0,1 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
Oxigênio dissolvido	Oxímetro	0,1 mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos totais	Gravimétrico	0,1 mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos	Gravimétrico	0,1 mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos dissolvidos	Gravimétrico	0,1 mg.L <sup>-1</sup>
DBO <sub>5</sub>	Winckler	0,1 mg.L <sup>-1</sup>
Coliformes totais, E. coli	Ideex-colilert	1 NMP/100 mL <sup>-1</sup>
cobre, níquel	ICP - MS	0,1 $\mu\text{L}^{-1}$
zinco, chumbo	ICP - OES	0,1 $\mu\text{L}^{-1}$
amônia, nitrito, nitrato, fosfato	Cromatografia iônica	0,1 mg.L <sup>-1</sup>

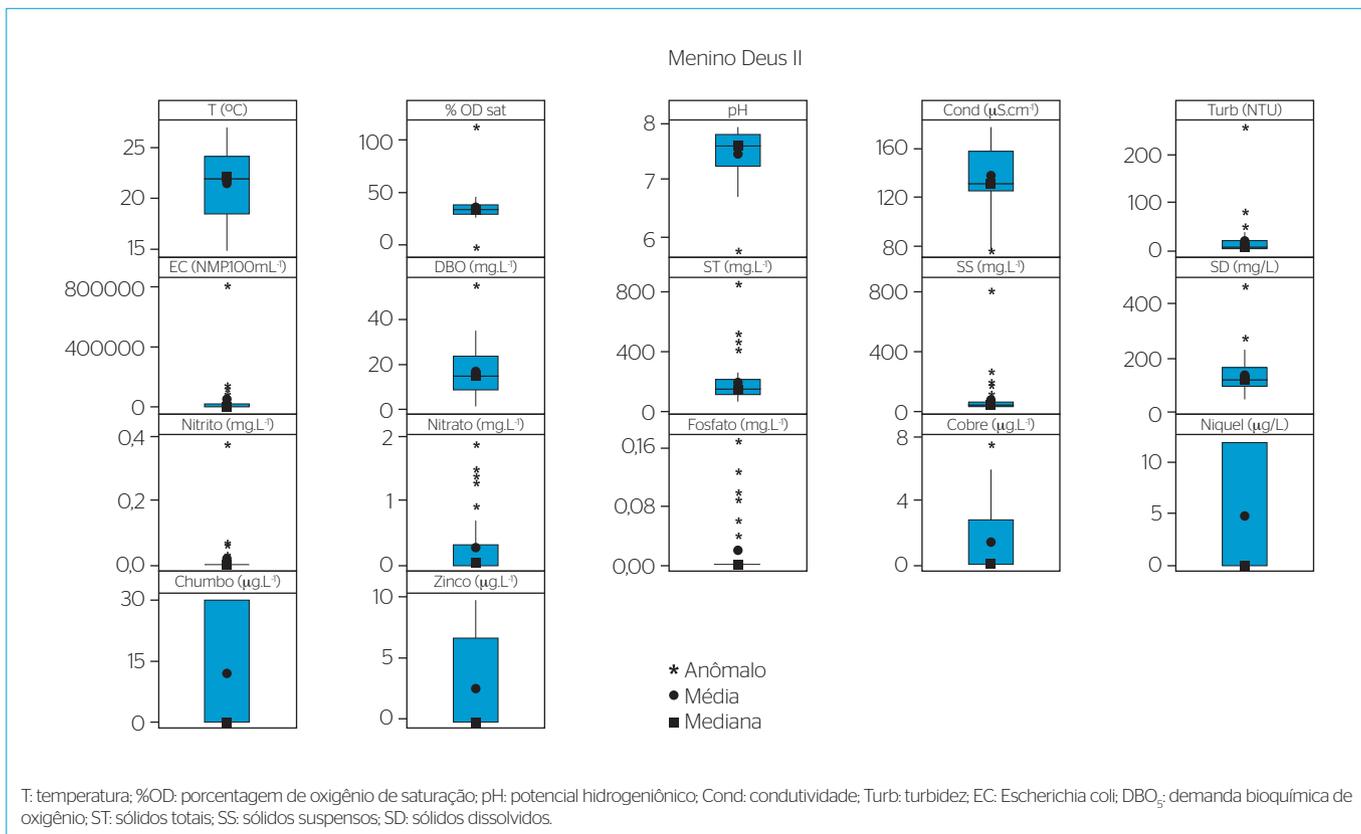
DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; ICP - MS: plasma indutivamente acoplado -espectrometria de massa; ICP - OES: plasma indutivamente acoplado - espectrometria de emissão atômica.



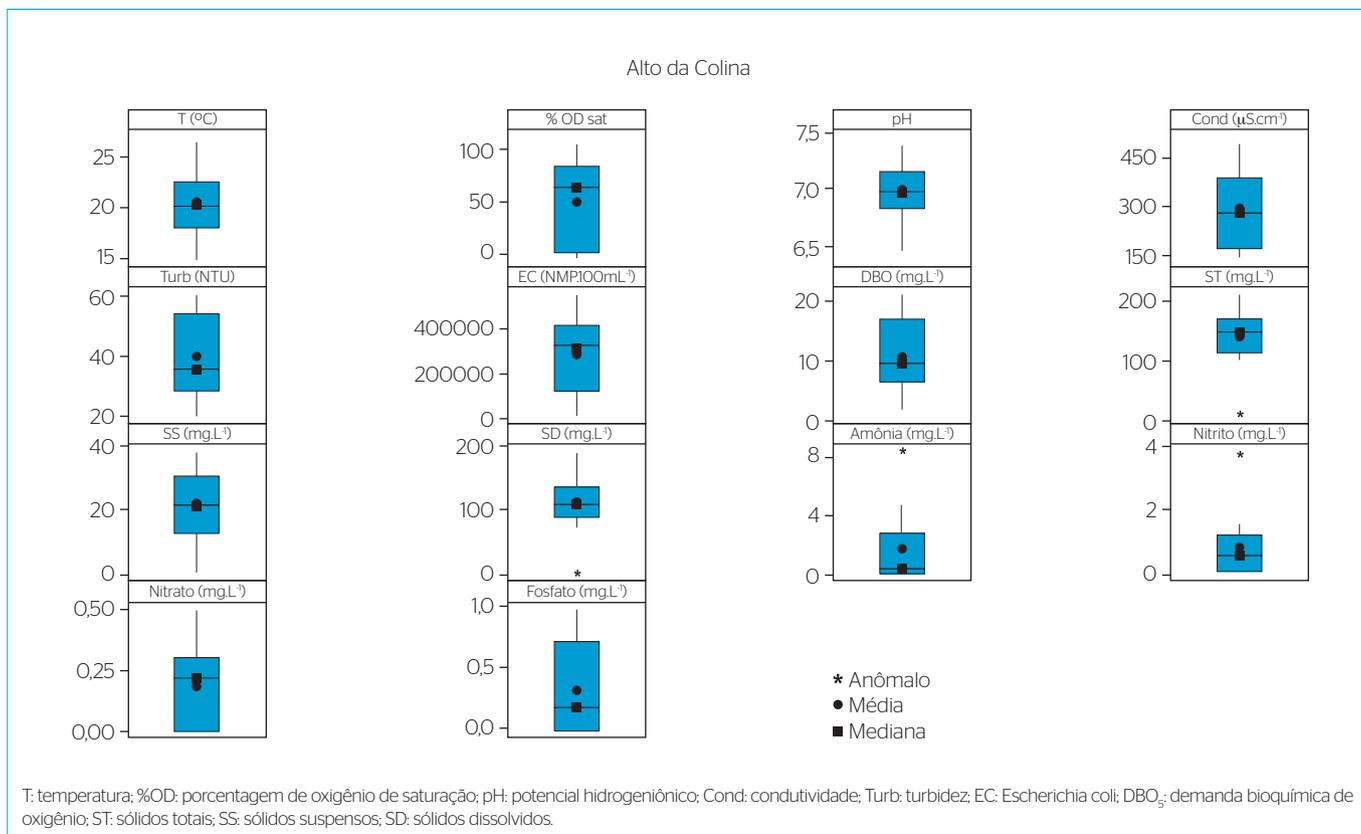
**Figura 2 - Boxplots dos parâmetros de qualidade da água analisados na bacia hidrográfica Rancho do Amaral coletados no período de 11/04/2008 a 12/09/2008.**



**Figura 3 - Boxplots dos parâmetros de qualidade da água analisados na bacia hidrográfica Menino Deus IV coletados no período de 03/11/2011 a 27/06/2012.**



**Figura 4 - Boxplots dos parâmetros de qualidade da água analisados na bacia hidrográfica Menino Deus II coletados no período de 03/11/2011 a 27/06/2012.**



**Figura 5 - Boxplots dos parâmetros de qualidade da água analisados na bacia hidrográfica Alto da Colina coletados no período de 11/04/2008 a 12/09/2008.**

a influência antropogênica, de efluente doméstico, pois o município não possui sistema de tratamento de esgoto.

Em relação aos sólidos totais, as maiores produções de sedimentos foram observadas nas bacias de características rurais devido às práticas agrícolas caracterizadas pelo plantio próximo ao leito do rio e pela devastação da mata nativa, práticas que aumentam o poder de erosão e perda de solo. As bacias hidrográficas MDII e MDIV foram as de maiores áreas.

As bacias hidrográficas MDII e MDIV apresentaram maiores concentrações de  $\text{DBO}_5$ . As principais fontes de matéria orgânica são a agropecuária e o efluente doméstico sem tratamento, ambas existentes nas bacias.

A bacia Menino Deus IV apresenta contribuição de esgoto doméstico lançado indevidamente, resíduos sólidos ao longo do curso d'água e contribuição da agricultura comprometendo a qualidade do rio.

Observou-se que das 40 amostras coletadas, 35 delas apresentaram odor forte e espuma sobrenadante, como também coloração mais escura característica da poluição do recurso hídrico.

As concentrações médias em tempo seco de  $\text{DBO}_5$  e sólidos totais foram de  $22 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $200 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente, para bacia MIV. Valores próximos foram encontrados por Luo *et al.* (2009) analisando área urbanizada na cidade de Shenzhen, na China; a justificativa dessa contribuição elevada provém de lançamento de esgoto *in natura*.

A  $\text{DBO}_5$  na bacia AC teve média de  $12 \text{ mg.L}^{-1}$ , variando de 3 a  $23 \text{ mg.L}^{-1}$ . Em anos anteriores, Paz (2004) e Brites e Gastaldini (2007) encontraram a concentração média de  $14 \text{ mg.L}^{-1}$  em tempo seco.

O aporte de fósforo nos recursos hídricos tem como principal agente o uso urbano, seguido pelo uso agrícola do solo, segundo Sharpley e Rekolainen (1997) e Rekolainen *et al.* (1997). Neste estudo ficou evidente a influência da concentração de fosfato na deterioração da qualidade da água, sendo o uso urbano o principal agente causador, pois a bacia AC apresentou as maiores concentrações do elemento em relação às demais bacias hidrográficas.

A Tabela 3 relaciona as médias dos parâmetros de qualidade da água com as características físicas das bacias hidrográficas deste estudo. Observa-se que os parâmetros coliformes totais, *Escherichia coli* e nitrato são mais elevados nas bacias hidrográficas em que há maior número de habitantes e percentual de impermeabilização. A presença de nitrogênio indica a poluição orgânica no curso d'água, sendo que as bacias hidrográficas não possuem tratamento de efluente.

Além disso, o uso do solo influenciou de maneira significativa os parâmetros de qualidade da água. Em áreas consideradas com maior percentual de agricultura os parâmetros turbidez, sólidos totais, suspensos e dissolvidos são mais elevados. Esse uso do solo pode ser considerado como o de maior potencial de erosão.

A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357 de 2005 indica os limites de vários parâmetros para o enquadramento de corpos hídricos. Segundo esta resolução a seção RA classifica-se na Classe II. Nas bacias hidrográficas MDIV, MDII e Alto da Colina, os parâmetros analisados estão dentro da Classe III, com exceção de OD,  $\text{DBO}_5$ , coliformes totais e *Escherichia coli*, e fosfato para a bacia AC.

A variabilidade dos dados, tirando a ordem de influência das grandezas, é expressa pelo coeficiente de variabilidade. A Figura 6 ilustra o coeficiente de variação (CV), que é importante na avaliação da variabilidade do comportamento dos parâmetros e entre bacias.

Os parâmetros coliformes totais e *Escherichia coli* possuem maior coeficiente de variação, indicando a grande variação de bactérias nas amostras analisadas. Isto pode ser explicado pela variabilidade temporal das coletas em tempo seco, relacionadas ao período manhã/tarde e ciclo de entrada de poluentes, principalmente efluente doméstico. Esta variabilidade foi observada por outros pesquisadores como Sanders, Yuan e Pichford (2013).

Em relação ao oxigênio dissolvido, a bacia AC apresentou percentagem de saturação média de 58,6%, a menor em relação às demais bacias. Apresentou influência direta dos eventos de precipitação devido à diluição do volume de água inserido no sistema fluvial. Essa baixa concentração inviabiliza a sobrevivência de componentes da biota aquática (como peixes e macroinvertebrados), tanto nessa área quanto em locais com características similares.

O pH em todas as amostras analisadas manteve-se alcalino durante o período de estudo, Lima (2001) cita que o pH na grande maioria dos cursos d'água varia entre 6 e 8, sendo isso revertido após alguns períodos chuvosos e de intensa precipitação.

As Tabelas 4 a 7 contêm os dados da análise estatística do coeficiente de Pearson dos parâmetros de qualidade da água das bacias hidrográficas estudadas. As bacias foram monitoradas em períodos de tempo diferentes, conduzindo a um distinto número de amostras por bacia. No entanto, o método estatístico foi aplicado independentemente em cada bacia hidrográfica, utilizando os parâmetros médios, e posteriormente as bacias foram comparadas. Análise semelhante foi apresentada por Zhang *et al.* (2012).

*Escherichia coli* e coliformes totais tiveram a seguinte correlação de Pearson:  $AC > RA > MDIV = MDII$ . Sanders, Yuan e Pichford (2013) analisaram a correlação de *Escherichia coli* e coliformes totais em uma bacia hidrográfica no Arizona e essa correlação foi altamente variável ao longo córrego e geralmente aumentou com a vazão e os eventos de precipitação.

Selvakumar e Borst (2006) encontraram correlação significativa entre esses parâmetros analisando a bacia hidrográfica do Rio Navesink com diferentes usos do solo e densidade populacional variável. Segundo Hathaway *et al.* (2010) essas relações podem ser

**Tabela 3 - Média dos parâmetros de qualidade da água e características físicas das bacias hidrográficas em período sem precipitação.**

Parâmetros de qualidade da água e características físicas das bacias hidrográficas	Rancho do Amaral (10 coletas)	Menino Deus IV (40 coletas)	Menino Deus II (40 coletas)	Alto da Colina (10 coletas)
Temperatura (°C)	16	21	19	18
Saturação de oxigênio dissolvido (%)	49	27	35	48
pH	7	7	7	7
Condutividade ( $\mu\text{Scm}^{-1}$ )	55	136	123	216
Turbidez (NTU)	10	27	20	44
Coliformes totais (NMP/100 mL <sup>-1</sup> )	3,1E+03	2,4E+04	8,1E+03	5,8E+05
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 mL <sup>-1</sup> )	4,5E+02	6,2E+03	3,2E+03	1,4E+05
Demanda bioquímica de oxigênio (mg.L <sup>-1</sup> )	1	23	15	12
Sólidos totais (mg.L <sup>-1</sup> )	53,6	200,2	171,9	161,6
Sólidos suspensos (mg.L <sup>-1</sup> )	4,2	49,6	45,6	25,0
Sólidos dissolvidos (mg.L <sup>-1</sup> )	49,5	150,6	126,3	136,5
Amônia (mg.L <sup>-1</sup> )	0,43	-	-	2,7
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,53	0,09	0,7	1,4
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,41	0,75	0,1	0,4
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,38	0,12	0,1	0,7
Cobre ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	-	3,9	3,6	-
Níquel ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	-	12	12	-
Zinco ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	-	30	30	-
Chumbo ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	-	11	9,1	-
<b>Habitantes/km<sup>2</sup></b>	<b>42</b>	<b>49</b>	<b>84,6</b>	<b>900</b>
<b>Área impermeável (%)</b>	<b>-</b>	<b>0,3</b>	<b>3,2</b>	<b>17,4</b>
<b>Agricultura (%)</b>	<b>3,6</b>	<b>5,3</b>	<b>8,5</b>	<b>50</b>

T: temperatura; OD: concentração oxigênio dissolvido de saturação; Cond: condutividade; Turb: turbidez; CT: coliformes totais; DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; ST: sólidos totais; SS: sólidos suspensos; SD: sólidos dissolvidos.

variáveis entre bacias devido à sazonalidade e são importantes na determinação de valores máximos de *Escherichia coli*, as chamadas *Total Maximum Daily Loads* (TMDL).

Forte relação foi encontrada entre sólidos suspensos e turbidez nas bacias com características rurais (MDII>RA>MDIV). Durante o levantamento de campo pode-se observar que nestas bacias as ruas de terra situavam-se próximas ao leito do rio, como também se verificou a presença de sulcos de erosão, especialmente em ruas onde os terrenos possuíam maior declividade, sendo uma fonte potencial de sedimentos ao curso d'água.

Em relação à carga orgânica, somente a DBO<sub>5</sub> teve correlação com *Escherichia coli* na bacia hidrográfica AC, isto pode ser explicado devido à área urbana possuir maior carga de efluente doméstico lançado no rio sem tratamento.

Na bacia AC, *Escherichia coli* se correlacionou com a DBO<sub>5</sub> ( $r=0,80$ ) e a amônia ( $r=0,87$ ). Como esta bacia recebe despejos domésticos sem tratamento, estes elevam a concentração de DBO<sub>5</sub> e amônia.

Na bacia hidrográfica RA a vazão se correlacionou com a turbidez ( $r=0,91$ ) e com sólidos suspensos ( $r=0,91$ ). Na bacia hidrográfica AC a vazão se correlacionou com a percentagem da concentração de oxigênio dissolvido ( $r=0,73$ ). Em relação ao período de tempo seco antecedente, não houve correlação significativa com os parâmetros de qualidade da água analisados nas bacias hidrográficas deste estudo.

Nas bacias MDII e MDIV, onde foi realizado monitoramento dos metais cobre, níquel, chumbo e zinco, houve correlação significativa entre eles ( $r>0,8$ ), não havendo com os outros parâmetros analisados.

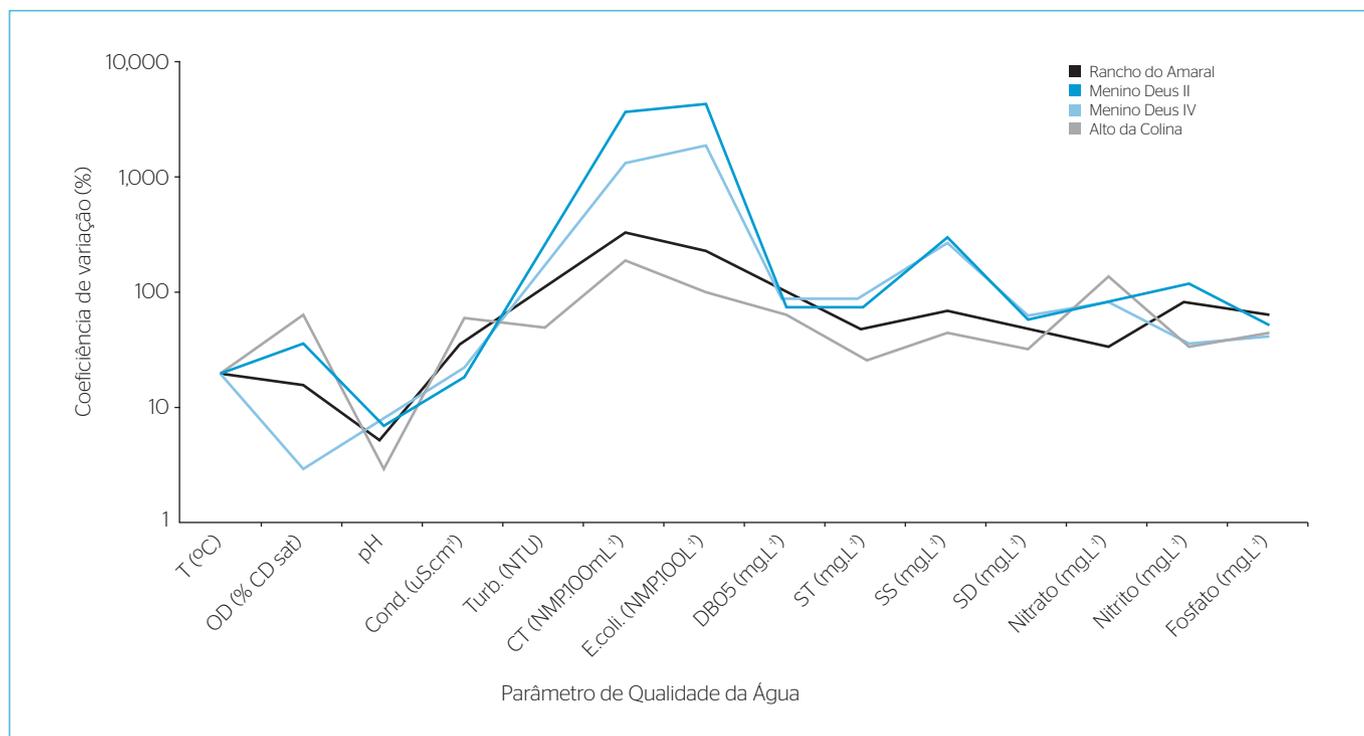


Figura 6 - Coeficiente de variação (---) para os parâmetros de qualidade da água nas bacias hidrográficas do rio Vacacaí-Mirim.

Tabela 4 - Coeficiente de correlação de Pearson (r) para os parâmetros de qualidade da água na bacia hidrográfica Rancho do Amaral, analisando 10 amostras coletadas no período de 11/04/2008 a 12/09/2008.

Correlação	Q (m³.s⁻¹)	PTSA (dia)	T (°C)	%OD sat	pH	Cond. (µScm³)	Turb. (NTU)	CT NMP/100mL³	E.coli NMP/100mL³	DBO5 (mg.L³)	ST (mg.L³)	SS (mg.L³)	SD (mg.L³)	Amonia (mg.L³)	Nitrato (mg.L³)	Nitrito (mg.L³)	Fosfato (mg.L³)
Q (m³.s⁻¹)	1,00																
PTSA (dia)	-0,60	1,00															
T (°C)	0,41	-0,06	1,00														
%OD sat	-0,48	0,32	-0,77	1,00													
pH	0,42	0,10	0,58	-0,35	1,00												
Cond. (µScm³)	-0,11	0,12	0,09	-0,04	-0,08	1,00											
Turb. (NTU)	0,91	-0,45	0,54	-0,48	0,36	0,03	1,00										
CT (NMP/100mL³)	-0,03	-0,44	-0,61	0,21	-0,76	-0,10	-0,15	1,00									
E.coli (NMP/100mL³)	0,22	-0,66	-0,42	0,07	-0,57	-0,11	0,06	0,94	1,00								
DBO5 (mg.L³)	0,52	-0,51	-0,07	0,02	0,21	-0,18	0,21	0,23	0,48	1,00							
ST (mg.L³)	0,53	-0,45	0,26	-0,38	-0,01	-0,12	0,48	0,15	0,20	-0,07	1,00						
SS (mg.L³)	0,91	-0,63	0,23	-0,18	0,31	-0,15	0,89	0,04	0,28	0,51	0,40	1,00					
SD (mg.L³)	0,45	-0,40	0,24	-0,38	-0,05	-0,11	0,40	0,15	0,17	-0,13	0,99	0,30	1,00				
Amonia (mg.L³)	0,54	-0,20	0,64	-0,77	0,67	0,14	0,41	-0,28	-0,11	0,22	0,35	0,23	0,34	1,00			
Nitrato (mg.L³)	0,30	-0,08	0,75	-0,89	0,28	0,07	0,32	-0,31	-0,20	0,03	0,10	-0,01	0,11	0,60	1,00		
Nitrito (mg.L³)	-0,10	0,08	0,55	-0,67	0,10	-0,16	-0,12	-0,28	-0,26	-0,09	-0,10	-0,37	-0,06	0,30	0,87	1,00	
Fosfato (mg.L³)	0,03	-0,40	0,33	-0,32	0,17	0,18	-0,13	-0,23	-0,06	0,36	-0,01	-0,08	-0,01	0,23	0,37	0,46	1,00

Q: vazão; PTSA: precipitação tempo seco antecedente; T: temperatura; %OD: porcentagem de oxigênio de saturação; pH: potencial hidrogeniônico; Cond.: condutividade; Turb.: turbidez; CT: coliformes totais; DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; ST: sólidos totais; SS: sólidos suspensos; SD: sólidos dissolvidos.

**Tabela 5** – Coeficiente de correlação de Pearson (r) para os parâmetros de qualidade da água na bacia hidrográfica Menino Deus IV, analisando 40 amostras coletadas no período de 03/11/2011 a 27/06/2012.

Correlação	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	PTSA (dia)	T (°C)	%OD sat	pH	Cond. (µS.cm <sup>-1</sup> )	Turb. (NTU)	CT (NMP/100mL <sup>-1</sup> )	E.coli (NMP/100mL <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SS (mg.L <sup>-1</sup> )	SD (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	Cobre (mg.L <sup>-1</sup> )	Níquel (mg.L <sup>-1</sup> )	Chumbo (mg/L)	Zinco (mg.L <sup>-1</sup> )	
Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	1,00																				
PTSA (dia)	-0,29	1,00																			
T (°C)	-0,37	0,02	1,00																		
%OD sat	0,18	0,15	-0,69	1,00																	
pH	-0,11	0,04	0,18	0,01	1,00																
Cond. (µS.cm <sup>-1</sup> )	-0,14	0,38	0,19	-0,09	0,20	1,00															
Turb. (NTU)	-0,07	-0,16	0,19	-0,07	-0,30	-0,51	1,00														
CT (NMP/100mL <sup>-1</sup> )	0,35	-0,16	0,43	0,24	-0,13	-0,25	0,21	1,00													
E.coli (NMP/100mL <sup>-1</sup> )	0,25	-0,03	-0,40	0,36	-0,11	-0,20	0,17	0,87	1,00												
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,45	-0,32	-0,64	0,44	-0,19	-0,39	0,09	0,48	0,36	1,00											
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	0,35	-0,18	-0,25	0,21	-0,24	-0,44	0,69	0,41	0,36	0,47	1,00										
SS (mg.L <sup>-1</sup> )	0,15	-0,22	-0,05	0,07	-0,23	-0,46	0,86	0,36	0,32	0,36	0,92	1,00									
SD (mg.L <sup>-1</sup> )	0,53	-0,08	-0,45	0,33	-0,02	-0,30	0,31	0,37	0,33	0,52	0,86	0,60	1,00								
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,63	-0,24	0,05	-0,21	0,03	0,10	0,05	0,11	0,08	-0,05	0,22	0,13	0,29	1,00							
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,10	-0,36	0,09	-0,12	-0,09	0,34	0,38	0,24	0,16	0,20	0,28	0,31	0,17	0,10	1,00						
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,26	-0,30	-0,12	-0,03	-0,10	-0,37	0,40	0,42	0,32	0,32	0,47	0,46	0,38	0,12	0,79	1,00					
Cobre (mg.L <sup>-1</sup> )	0,12	-0,31	0,07	-0,31	0,06	-0,19	0,20	0,29	0,23	0,05	0,15	0,15	0,11	0,40	0,72	0,56	1				
Níquel (mg.L <sup>-1</sup> )	0,22	0,35	0,20	0,35	0,00	-0,20	0,36	0,24	0,12	0,07	0,29	0,30	0,20	0,61	0,72	0,52	0,84	1,00			
Chumbo (mg.L <sup>-1</sup> )	0,22	-0,36	0,20	-0,35	0,00	-0,20	0,36	0,24	0,12	0,07	0,29	0,30	0,20	0,61	0,72	0,52	0,84	1,00	1,00		
Zinco (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,10	-0,31	0,19	-0,35	0,06	-0,12	0,29	0,26	0,12	0,09	0,19	0,24	0,07	0,27	0,74	0,56	0,83	0,85	0,87	1,00	

Q: vazão; PTSA: precipitação tempo seco antecedente; T: temperatura; %OD: porcentagem de oxigênio de saturação; pH: potencial hidrogeniônico; Cond.: condutividade; Turb.: turbidez; CT: coliformes totais; DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; ST: sólidos totais; SS: sólidos suspensos; SD: sólidos dissolvidos.

Estes metais são oriundos de fontes antropogênicas, no caso, atividades agrícolas, e são os mais encontrados e analisados em bacias hidrográficas sujeitas a ações antrópicas.

## CONCLUSÃO

Foi avaliada a qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes áreas, cobertura vegetal, uso agrícola e urbano na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim, localizadas no município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. As variações dos parâmetros analisados auxiliam no entendimento da interferência dos usos do solo na qualidade da água. A bacia hidrográfica com maior influência antrópica, AC,

apresentou maiores valores dos parâmetros indicadores de poluição; contrariamente ao observado na bacia hidrográfica RA, com menor grau de degradação ambiental.

As concentrações de sólidos totais, suspensos e turbidez foram maiores nas bacias com características rurais, devido às práticas agrícolas. Baixas concentrações de OD, e elevadas condutividade e concentrações de DBO<sub>5</sub>, fosfato, nitrato e *Escherichia coli* foram observadas nas bacias hidrográficas com maior número de habitantes e percentual de impermeabilização. Esta conclusão evidencia a influência do efluente doméstico como fonte potencial de contaminação do sistema fluvial, devido à contribuição elevada de matéria orgânica, agentes patógenos e nutrientes.

**Tabela 6** – Coeficiente de correlação de Pearson (r) para os parâmetros de qualidade da água na bacia hidrográfica Menino Deus II, analisando 40 amostras coletadas no período de 03/11/2011 a 27/06/2012.

Correlação	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	PTSA (dia)	T (°C)	%OD sat	pH	Cond. (µS.cm <sup>-1</sup> )	Turb. (NTU)	CT (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	E.coli (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SS (mg.L <sup>-1</sup> )	SD (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	Cobre (mg.L <sup>-1</sup> )	Níquel (mg.L <sup>-1</sup> )	Chumbo (mg.L <sup>-1</sup> )	Zinco (mg.L <sup>-1</sup> )	
Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	1,00																				
PTSA (dia)	-0,26	1,00																			
T (°C)	-0,53	0,11	1,00																		
%OD sat	0,43	-0,01	-0,49	1,00																	
pH	-0,13	0,34	0,20	-0,05	1,00																
Cond. (µS.cm <sup>-1</sup> )	-0,45	0,51	0,29	0,02	0,50	1,00															
Turb. (NTU)	0,02	-0,13	0,12	-0,09	-0,30	-0,47	1,00														
CT (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	-0,04	-0,16	-0,01	-0,02	-0,37	-0,42	0,89	1,00													
E.coli (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	-0,05	-0,15	0,01	0,00	-0,32	-0,42	0,91	0,99	1,00												
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,21	-0,37	-0,15	0,12	-0,28	-0,45	0,60	0,60	0,60	1,00											
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	0,08	0,00	-0,04	0,15	-0,44	-0,25	0,80	0,77	0,76	0,58	1,00										
SS (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,09	0,05	0,18	-0,02	-0,21	-0,27	0,91	0,87	0,89	0,60	0,84	1,00									
SD (mg.L <sup>-1</sup> )	0,29	-0,08	-0,38	0,30	-0,47	0,02	-0,02	-0,02	-0,07	0,01	0,45	-0,10	1,00								
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,06	-0,18	0,02	-0,02	-0,03	-0,11	-0,03	0,06	0,04	0,01	0,04	-0,05	0,01	1,00							
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,08	-0,33	0,05	0,02	-0,53	-0,33	0,30	0,30	0,30	0,28	0,33	0,20	0,28	-0,02	1,00						
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,05	-0,33	-0,02	0,01	-0,51	-0,32	0,50	0,47	0,47	0,40	0,52	0,41	0,28	-0,06	0,90	1,00					
Cobre (mg.L <sup>-1</sup> )	0,07	-0,36	0,28	-0,04	-0,28	-0,39	0,45	0,44	0,43	0,41	0,36	0,39	0,03	0,26	0,71	0,61	1				
Níquel (mg.L <sup>-1</sup> )	0,11	-0,36	0,23	-0,03	-0,27	-0,28	0,30	0,28	0,26	0,26	0,25	0,20	0,13	0,39	0,70	0,62	0,89	1,00			
Chumbo (mg.L <sup>-1</sup> )	0,11	-0,36	0,23	-0,03	-0,27	-0,28	0,30	0,28	0,26	0,26	0,25	0,20	0,13	0,39	0,69	0,62	0,89	1,00	1,00		
Zinco (mg.L <sup>-1</sup> )	0,12	-0,38	0,19	-0,03	0,37	0,30	0,37	0,30	0,30	0,30	0,35	0,26	0,21	0,18	0,79	0,77	0,84	0,93	0,93	1,00	

Q: vazão; PTSA: precipitação tempo seco antecedente; T: temperatura; %OD: porcentagem de oxigênio de saturação; pH: potencial hidrogeniônico; Cond.: condutividade; Turb.: turbidez; CT: coliformes totais; E.coli: Escherichia coli; DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; ST: sólidos totais; SS: sólidos suspensos; SD: sólidos dissolvidos.

Dentre os parâmetros de qualidade da água analisados, coliformes totais e *Escherichia coli* foram os que mostraram maior coeficiente de variação, indicando grande variabilidade destes parâmetros, devido principalmente à contribuição de efluentes domésticos.

A análise estatística utilizando o coeficiente de Pearson dos parâmetros de qualidade da água das bacias hidrográficas estudadas mostra forte correlação entre sólidos suspensos e turbidez nas bacias hidrográficas com características rurais; na bacia hidrográfica urbana observou-se forte correlação entre *Escherichia coli*, DBO<sub>5</sub> e amônia, devido ao lançamento de esgotos domésticos *in natura*.

A correlação da vazão com os parâmetros de qualidade da água apresentou comportamento diferente nas bacias. Na bacia mais preservada a vazão correlacionou-se com a turbidez e com sólidos suspensos. Na mais degradada a vazão correlacionou-se com a porcentagem da concentração de oxigênio dissolvido.

Nas bacias hidrográficas onde foi realizado monitoramento dos metais cobre, níquel, chumbo e zinco houve correlação significativa entre eles. Estes metais são oriundos de fontes antropogênicas e são os mais encontrados e analisados em bacias hidrográficas sujeitas a ações antrópicas.

**Tabela 7** – Coeficiente de correlação de Pearson (r) para os parâmetros de qualidade da água na bacia hidrográfica Alto da Colina, analisando 10 amostras coletadas no período de 11/04/2008 a 12/09/2008.

Correlação	Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	PTSA (dia)	T (°C)	%OD sat	pH	Cond. (µS.cm <sup>-1</sup> )	Turb. (NTU)	CT (NMP100mL <sup>-1</sup> )	E.coli (NMP100mL <sup>-1</sup> )	DBO5 (mg.L <sup>-1</sup> )	ST (mg.L <sup>-1</sup> )	SS (mg.L <sup>-1</sup> )	SD (mg.L <sup>-1</sup> )	Amonia (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	
Q (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	1,00																	
PTSA (dia)	0,41	1,00																
T (°C)	-0,35	0,24	1,00															
%OD sat	0,73	-0,01	-0,75	1,00														
pH	-0,57	-0,14	0,51	-0,74	1,00													
Cond. (µS.cm <sup>-1</sup> )	0,73	0,06	-0,80	0,95	0,70	1,00												
Turb. (NTU)	0,59	-0,09	-0,31	-0,77	-0,57	-0,71	1,00											
CT (NMP100mL <sup>-1</sup> )	-0,57	0,12	0,55	-0,65	0,38	0,76	0,72	1,00										
E.coli (NMP100mL <sup>-1</sup> )	-0,72	0,07	0,38	-0,74	0,41	0,74	-0,78	0,62	1,00									
DBO5 (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,63	-0,14	0,57	-0,85	0,49	0,79	0,58	0,47	0,80	1,00								
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,39	-0,02	0,71	-0,50	0,53	0,60	0,05	0,27	0,26	0,46	1,00							
SS (mg.L <sup>-1</sup> )	0,12	-0,07	-0,08	0,51	-0,19	-0,36	0,58	-0,30	-0,45	-0,18	0,09	1,00						
SD (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,41	0,14	0,73	-0,61	0,57	0,68	-0,09	0,34	0,37	0,50	0,97	-0,15	1,00					
Amonia (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,58	-0,02	0,31	-0,93	0,70	0,97	-0,83	0,49	0,87	0,92	0,13	-0,56	0,35	1,00				
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,29	-0,27	-0,54	0,36	-0,01	-0,34	0,04	0,09	0,12	-0,41	0,10	0,23	0,03	-0,36	1,00			
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,38	-0,18	0,47	-0,02	0,01	0,07	0,22	-0,41	-0,13	0,27	0,35	0,59	0,22	0,11	-0,28	1,00		
Fosfato (mg.L <sup>-1</sup> )	-0,20	-0,50	-0,06	-0,43	0,32	0,49	-0,39	0,52	0,07	0,67	-0,08	0,15	-0,14	0,37	-0,65	0,30	1,00	

Q: vazão; PTSA: precipitação tempo seco antecedente; T: temperatura; %OD: porcentagem de oxigênio de saturação; pH: potencial hidrogeniônico; Cond.: condutividade; Turb.: turbidez; CT: coliformes totais; DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; ST: sólidos totais; SS: sólidos suspensos; SD: sólidos dissolvidos.

## REFERÊNCIAS

- BRITES, A.P.Z. & GASTALDINI, M.C.C. (2007) Avaliação da carga poluente no sistema de drenagem de duas bacias hidrográficas urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 4, p. 211-221.
- CARVALHO JUNIOR, L.A. (2011) Secretário de Proteção Ambiental. Palestra no dia mundial da água. Prefeitura Municipal de Santa Maria-SMPA, Santa Maria, 22 de março de 2011.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). (2005) Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 18 de março. p. 58-63.
- HATHAWAY, J.M.; HUNT, W.F.; ASCE, M.; SIMMONS, O.D. (2010) Statistical evaluation of factors affecting indicator bacteria in urban storm - water runoff. *Journal of Environmental Engineering*, v. 136, p. 1360-1368.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2010) *Censos Demográficos*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default\\_censo\\_2000.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm)>. Acesso em: 11 abr. 2013.
- LIMA, E.B.N.R. (2001) *Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na bacia do Rio Cuiabá*. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- LUO, H.; LUO, L.; HUANG, G.; LIU, P.; LI, J.; HU, S.; WANG, F.; XU, R.; HUANG, X. (2009) Total pollution effect of urban surface runoff. *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, p. 1186-1193.
- PAZ, M.F. (2004) *Estudo comparativo da carga de lavagem em bacias urbana e rural*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

RIGOTTI, J.A.; POMPÉO, C.A. (2011) Assessment of urban stream condition: case study. *In: 12th International Conference on Urban Drainage. Anais...* Porto Alegre: ABRH/IWA.

REKOLAINEN, S.; KHOLM, P.E.; ULEN, B.; GUSTAFSON, A. (1997) Phosphorus losses from agriculture to the surface water in the nordic countries *In: TUNNEY, H.; CARTON, O.T.; BROOKES, P.C.; JOHNSTON, A.E. (Ed.) Phosphorus loss from soil to water.* CAB International, New York, EUA, p. 77-93.

SANDERS, E.C.; YUAN, Y.; PITCHFORD, A. (2013) Fecal Coliform and *E.coli* concentrations in effluent-dominated streams of the upper Santa Cruz watershed. *Water*, v. 5, p. 243-261.

SARDINHA, D.S.; CONCEIÇÃO, F.T.; SOUZA, A.D.G.; SILVEIRA, A.; JULIO, M.; GONÇALVES, J.C.S.I. (2008) Avaliação da qualidade da água e

autodepuração do Ribeirão do Meio, Leme (SP). *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 3, p. 329-338.

SHARPLEY, A.N.; REKOLAINEN, S. (1997) Phosphorus in agriculture and its environmental implications. *In: TUNNEY, H.; CARTON, O.T.; BROOKES, P.C.; JOHNSTON, A.E. (Ed.) Phosphorus loss from soil to water.* CAB International, New York, EUA, p. 1-53.

SELVAKUMAR, A.; BORST, M. (2006) Variation of microorganism concentrations in urban stormwater runoff with land use and seasons. *Journal of Water and Health*, v. 4, n. 1, p. 109-125.

ZHANG, W.S.; WANG, X.Y.; LI, X.X.; REN, W.P.; LI, J. H. (2012) Diffuse export of nutrients under different land uses in the irrigation area of lower Beiyunhe River (China). *In: The 18th Biennial Conference of International Society for Ecological Modelling.* Procedia Environmental Sciences 13, p. 1363-1372.