

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

GUSTAVO FORASTIERE SIMONELI

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DA QUALIDADE DE ÁGUA AO LONGO DE UM
TRECHO DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA – PARANÁ**

PONTA GROSSA

2018

GUSTAVO FORASTIERE SIMONELI

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DA QUALIDADE DE ÁGUA AO LONGO DE UM
TRECHO DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA – PARANÁ**

Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre na Universidade Estadual
de Ponta Grossa, Mestrado em Engenharia
Sanitária e Ambiental, Área de Recursos
Hídricos e Meio Ambiente.

Orientadora:

Prof. Dra. Maria Magdalena Ribas Döll

Co-orientadora:

Dra. Mariele Katherine Jungles

PONTA GROSSA

2018

Ficha Catalográfica
Elaborada pelo Setor de Tratamento da Informação BICEN/UEPG

Simoneli, Gustavo Forastiere
S594 Avaliação temporal da qualidade de água
 ao longo de um trecho do arroio da Ronda
 em Ponta Grossa - Paraná/ Gustavo
 Forastiere Simoneli. Ponta Grossa, 2018.
 102f.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia
 Sanitária e Ambiental - Área de
 Concentração: Saneamento Ambiental e
 Recursos Hídricos), Universidade Estadual
 de Ponta Grossa.

 Orientadora: Profª Drª Maria Magadalena
 Ribas Döll.

 Coorientadora: Profª Drª Mariele
 Katherine Jungles.

 1.Arroio da Ronda. 2.Índices de
 qualidade de água. 3.Água superficial.
 4.Poluição de água. I.Döll, Maria
 Magadalena Ribas. II. Jungles, Mariele
 Katherine. III. Universidade Estadual de
 Ponta Grossa. Mestrado em Engenharia
 Sanitária e Ambiental. IV. T.

CDD: 628.162



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA
GROSSA



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: **“AVALIAÇÃO TEMPORAL DA QUALIDADE DE ÁGUA AO LONGO DE UM TRECHO DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA - PARANÁ”**

Nome: **GUSTAVO FORASTIERE SIMONELI**

Orientadora: **Professora Dra. Maria Magdalena Ribas Döll**

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Professora Dra. Maria Magdalena Ribas Döll
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Professor Dr. Luiz Carlos Godoy
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Professor Dr. Davi Gasparini Fernandes Cunha
Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Ponta Grossa, 12 de abril de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sempre me iluminar e me guiar por todo o caminho percorrido até aqui.

Agradeço a minha orientadora Maria Magdalena Ribas Döll, uma exímia profissional além de um exemplo de ser humano, pela orientação em todas as etapas do mestrado, bem como pelo conhecimento compartilhado e os momentos de conversa, incentivo e apoio durante estes dois anos.

A Mariele Jungles por ter aceitado a coorientação deste projeto e me auxiliado em diversos momentos.

A minha família por todo o incentivo desde o início quando tudo ainda era uma ideia sobre o que trilhar a partir da graduação. Minha mãe, Fátima Simoneli, por sempre me dar apoio e me manter firme nos momentos em que pensava fraquejar. Ao meu pai, Jorge Simoneli, pelo exemplo de perseverança e determinação que sempre me passou.

Aos meus amigos de longa data Elder Kuhnen, Lucas Lacerda, Bruno Alves, Ivanara Nazari, e José Pierri por estarem presentes nos melhores e piores momentos dessa jornada, em que cada um contribuiu de forma ímpar.

Agradeço aos amigos que fiz em Ponta Grossa que me auxiliaram de alguma forma no projeto e na minha estadia em Ponta Grossa, em especial a Danielle Amaral, Cícero Guerellus, Rafaela Barbosa, Mayra Donato, Tatiane Boverotti e Elias Pereira.

A todos os grandes mestres que tive o prazer de conhecer no programa, por todos os ensinamentos seja em sala de aula ou em qualquer outro lugar que sempre atenderam com muita dedicação e atenção, dividindo seu conhecimento durante este período.

Aos professores Marcos Szeliga, Ligia Cassol e Ana Barana por contribuírem diretamente com o desenvolvimento desta pesquisa.

A CAPES pela disponibilização de bolsas durante o período do mestrado.

A todos os funcionários da Universidade Estadual de Ponta Grossa, que sempre me atenderam muito bem. Em especial ao pessoal do Laboratório

de Recursos Hídricos e no laboratório da Microbiologia da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

RESUMO

No arroio da Ronda, localizado em Ponta Grossa – Paraná verificam-se atividades antrópicas, como ocupações urbanas próximas as margens, ausência de vegetação, solo impermeabilizado, resíduos de construção civil, uma estação de tratamento de esgoto, dentre outras que podem influenciar nas características naturais da água. E durante o período monitorado observaram-se despejos de efluentes por galerias pluviais e por ligações clandestinas no corpo hídrico que se iniciaram em março de 2017. Portanto, esta pesquisa teve como objetivo verificar a qualidade de água do corpo hídrico durante o período de outubro de 2016 a setembro de 2017 a partir do uso combinado de análises dos parâmetros de qualidade de água, de índices de qualidade de água e de observações de campo das áreas adjacentes. Foram definidos seis pontos de amostragem que apresentassem as diferentes características ao longo do percurso do corpo hídrico. Foi utilizado o IQA da Companhia Ambiental de São Paulo, o IQA criado pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) e o *Complex Pollution Index*. Os resultados indicaram que *E. coli* e P-total apresentaram concentrações acima do permitido pela CONAMA nº 357 para rios de água doce de classe 2 e 3, ambas classes do arroio, durante os meses da primavera e verão. No outono, observaram-se outros parâmetros em desconformidade, sendo eles *E. coli*, P-total, demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido. Este aumento de poluentes registrados a partir do outono se deu devido a despejos pontuais de efluentes domésticos sem tratamento. O local próximo a nascente apresentou boa qualidade de água, sendo classificado em todos os índices de qualidade de água como o local menos poluído. Enquanto que o local com maior nível de poluição, dentre os locais monitorados, foi a jusante da ETE Ronda. Os índices de qualidade de água indicaram este local como a pior condição do corpo hídrico durante seu percurso. Com exceção do primeiro ponto de amostragem, foi registrado aumento de níveis de poluição nos demais locais após o iniciarem despejos de efluentes sem tratamento a montante do segundo ponto de amostragem.

Palavras-chave: Arroio da Ronda; índices de qualidade de água; água superficial; poluição de água.

ABSTRACT

The Ronda River, located in Ponta Grossa – Parana, is exposed to anthropic activities such as urban occupations near the banks, absence of riparian vegetation, impermeable areas soil, construction waste, a sewage treatment plant, among others that may influence the characteristics of water. And during the monitored period effluents discharges were observed by rainwater gallery and clandestine connections in the water body that began in march 2017. Therefore, this research aimed to verify the water quality from the water body during the period of October 2016 to September 2017 from the combined use of water quality parameters analysis, water quality indexes and adjacent area observations. Were determined six sampling points that presented different characteristics along the water body. Was used the WQI of Environmental Company of Sao Paulo, the WQI created by the Canadian Council of Ministers of the Environment and the Complex Pollution Index. The results showed that concentrations of *E. coli* and total-P in nonconformity with classes 2 and 3, both from the stream, of CONAMA nº 357 during the spring and summer. In the autumn, other parameters showed in nonconformity, such as *E. coli*, total-P, biochemical oxygen demand and oxygen dissolved. This increase in registered pollutants from autumn occurred due to the occasional discharge of untreated domestic effluent upstream of the second sampling point. . The point near upstream presented good water quality, being classified in all water quality parameters as the less polluted. Whereas the place with higher pollution level, downstream of ETE Ronda and with agricultural activities around. It was verified that before the discharges the water body presented, in most of its course, concentrations of total-P and *E. coli* in nonconformity with classes 2 and 3 of CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Probably, agricultural activities, urban occupations around, impermeable areas, absence of riparian vegetation and discharges from ETE Ronda influenced the high concentration of nutrients and pathogenic microorganisms, due the absence of anthropogenic activities. . The water quality indexes indicated this place as the worst water body condition along the river course. With the exception of the first sampling point, there was an increase in pollution levels in other places after the start of untreated effluent discharges upstream of the second sampling point.

Keywords: Arroio da Ronda; water quality index; superficial water; water pollution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Localização no município de Ponta Grossa (B) no Brasil (A) arroio da Ronda e Perfil longitudinal e altimétrico com inclinação de 45° (C) dos pontos de amostragem.....	37
Figura 4.2 - Dados climatológicos de precipitação acumulado e temperatura média diária durante o período de amostragem.....	40
Figura 4.3 - Variações dos parâmetros de qualidade de água no arroio da Ronda e desvio padrão (barras) ao longo das estações climáticas	41
Figura 4.4 - Variação espacial ao longo dos seis pontos de amostragem e do período experimental total.....	43
Figura 5.1 - Arroio da Ronda e pontos de amostragem.....	55
Figura 5.2 - Dendograma dos agrupamentos das campanhas realizadas ao longo de outubro de 2016 a setembro de 2017, valores médios de 6 pontos dos resultados dos parâmetros monitorados	60
Figura 5.3 - Índices de qualidade de água o longo das coletas de água.....	61
Figura 5.4 - Comparação dos índices de qualidade de água antes	62
Figura 5.5 - ACP das classificações de qualidade de água pelo IQA _{CETESB}	68
Figura 5.6 - ACP das classificações de qualidade de água pelo CPI.....	69
Figura 5.7 - ACP das classificações de qualidade de água pelo IQA _{CCME}	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesos (w) dos parâmetros de qualidade de água	28
Tabela 2 - Classificação da qualidade de água.....	29
Tabela 3 - Categorias de qualidade de água.....	32
Tabela 4 - Classificação da qualidade de água.....	33
Tabela 4.1 - Localização geográfica e descrição das atividades observados no entorno dos pontos de amostragem de uma seção do arroio da Ronda, Ponta Grossa, Paraná.....	38
Tabela 4.2 - Variação dos resultados obtidos entre as estações do ano monitoradas.....	42
Tabela 5.1 - Relação de parâmetros utilizados na estimativa dos índices de qualidade avaliados nas respectivas metodologias.....	57
Tabela 5.2 - Classificação da qualidade de água com base nos índices utilizados	58
Tabela 5.3 - Estatística descritiva das variáveis temperatura e precipitação, dos parâmetros e índices de qualidade de água.....	64
Tabela 5.4 - Pesos (q) dos parâmetros físicos de qualidade de água durante o período experimental usados para calcular o IQA_{CETESB}	65
Tabela 5.5 - Pesos (q) dos parâmetros químicos e biológicos de qualidade de água durante o período experimental usados para calcular o IQA_{CETESB}	66
Tabela 5.6 - Pesos (q) dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água durante o período experimental usados para calcular o IQA_{CETESB}	67

LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas
AC	Análise de <i>Cluster</i>
ACP	Análise de Componentes Principais
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF	Coliformes Fecais
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environmental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPI	Complex Pollution Index
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IQA	Índice de Qualidade de Água
NH_4^+	Nitrogênio Amoniacal
NO_2^-	Nitrito
OD	Oxigênio Dissolvido
PO_4^{-3}	Fósforo Inorgânico
P – total	Fósforo Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
PR	Paraná
QGis	Quantum Gis
(r)	Coeficiente de Pearson
SIG	Sistema de Informação Geográfica
ST	Sólidos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
SUREHMA	Superintendência dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente
T°	Temperatura
UEPG	Universidade Estadual de Ponta Grossa
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
UT	Unidades de Turbidez

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA	15
3.2 ARROIO DA RONDA	16
3.3 MÚLTIPLOS USOS DA ÁGUA.....	18
3.4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	20
3.4.1.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	20
3.4.1.2 TURBIDEZ	21
3.4.1.3 SÓLIDOS	22
3.4.1.4 TEMPERATURA	23
3.4.1.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	23
3.4.1.6 POTENCIAL HIDROGENIONICO (pH)	24
3.4.1.7 FÓSFORO.....	24
3.4.1.8 NITROGÊNIO.....	25
3.4.1.9 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO	26
3.4.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS	27
3.5 ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA	27
3.5.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA - CETESB	28
3.5.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA – CCME	29
3.5.3 <i>COMPREHENSIVE POLLUTION INDEX</i>	32
4. ARTIGO I	34
5. ARTIGO II	52
6. CONCLUSÕES	80
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
APÊNDICE A – FOTOS DOS PONTOS MONITORADOS.....	92

1. INTRODUÇÃO

A humanidade sempre buscou se instalar em locais com presença de recursos hídricos para atender as necessidades básicas de sobrevivência. Todavia, o homem não desfrutou deste recurso natural apenas para consumo próprio, mas como suporte para diferentes tipos de atividades antrópicas que advém das necessidades da sociedade no decorrer dos séculos. Dentre elas, podem-se citar abastecimento de municípios e indústrias, irrigação, recreação, ocupações em áreas próximas as suas margens e despejos de poluentes.

Estes usos aliado ao acentuado aumento da demanda populacional e a ausência de gerenciamento dos mananciais resultaram em alterações na qualidade de água dos recursos hídricos promovendo em algumas áreas situações de escassez hídrica. Este quadro, geralmente, agrava-se em épocas de seca, devido a diminuição dos níveis dos rios, acarretando reduções na capacidade do corpo hídrico de diluição (CHANG et al., 2015).

Devido a esta problemática, diversos países iniciaram a adoção de políticas para o gerenciamento e preservação dos corpos hídricos, de forma que se pudessem atender necessidades do presente, sem comprometer a disponibilidade de água para as gerações futuras. Para isso houve um controle da poluição de rios e arroios de forma que se colocasse como prioridade o monitoramento da qualidade de água dos corpos hídricos, para a proteção da saúde pública e conservação deste bem (STRASKRABA; TUNDISI, 2013; SOUZA; GASTALDINI, 2014; WANG et al., 2014).

Para monitorar a qualidade de água foram desenvolvidas ferramentas a fim de que se possibilitasse a interpretação de dados de forma inteligível para a população em geral (LIBANIO, 2010). Alguns exemplos são: Índice de Qualidade da Água (IQA), o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), SFPI (*Single Factor Pollution Index*), CPI (*Complex Pollution Indices*) (BRASIL, 2005; YAN et al., 2015).

A cidade de Ponta Grossa está localizada no estado do Paraná, e possui aproximadamente 150 km de extensão de cursos hídricos alocados na área urbana. O município possui atualmente 342.332 habitantes, e 95,22% dos habitantes residem em áreas urbanas (IPARDES, 2018). Dentre os arroios

existentes no município, encontra-se o arroio da Ronda, situado na bacia hidrográfica da Ronda. O mesmo está inserido em áreas urbanas e rurais da cidade, sendo um dos afluentes do Rio Tibagi, um dos principais corpos hídricos do Paraná (BRASIL, 2005; PARANÁ, 2015).

A escolha deste corpo hídrico para o desenvolvimento desta pesquisa, se deu devido às atividades antrópicas presentes no seu entorno. Diversos estudos envolvendo o arroio da Ronda foram divulgados, como a quantificação de ocupações irregulares e os efeitos da urbanização (DIEDRICHS; ANDRADE; BALARIM, 2009), os diferentes usos do solo (MENEGUZZO; THOMAZ, 2010) e a qualidade de água de um afluente do arroio da Ronda (REIS, 2014). Portanto, dentro deste contexto, este trabalho tem como tema de pesquisa verificar a qualidade de água do arroio da Ronda.

Este trabalho está composto por dois artigos. O artigo I, capítulo 4, foi desenvolvido para discorrer sobre as condições qualitativas da água do arroio Ronda no período de outubro de 2016 a setembro de 2017. E no artigo II, capítulo 5, os resultados são apresentados por meio de índices de qualidade de água a fim de verificar qual melhor se aplica para diagnosticar os impactos causados na qualidade de água do arroio da Ronda devido a despejos de efluentes sem tratamento.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi analisar a qualidade da água de um trecho do arroio da Ronda durante o período de outubro de 2016 a setembro de 2017 a fim de verificar as alterações em características físico-químicas e biológicas ocorridas ao longo do período monitorado, decorrentes de atividades antrópicas no entorno do corpo hídrico e das sazonalidades ocorridas durante o período monitorado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Destacam-se como objetivos específicos que foram distribuídos nos artigos desenvolvidos:

- Verificar se os parâmetros de qualidade de água (pH, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica oxigênio, fósforo total, fósforo inorgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, turbidez, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais e *E. coli*) analisados estão de acordo com os valores limites definidos na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) para rios de água doce de classe 2 e 3.
- Aplicar o IQA_{CETESB} , IQA_{CCME} e CPI para verificar a qualidade de água do corpo hídrico;
- Identificar alterações nas características físico-químicas e biológicas causadas por despejos de efluentes sem tratamento;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cerca de 70% da superfície do planeta é composta por água, contudo esta parcela, em sua totalidade, não pode ser utilizada pelo homem, pois desse total, 97% é salgada e localiza-se em oceanos e mares. Apenas 3% da disponibilidade hídrica do planeta são consideradas doces, e destes 3%, 0,3% é de fácil retirada para o ser humano, que consistem em rios e lagos, fontes primordiais para a sustentação da agricultura, indústrias, consumo e recreação (RAST, 2003; TUNDISI, 2005).

Apesar da dependência da humanidade perante a água, e a limitação de disponibilidade de água doce superficial, os diferentes usos de recursos hídricos comprometem sua qualidade e quantidade (BRASIL, 2011). Estima-se que atualmente 1/3 da população mundial localiza-se em áreas com problemas de escassez hídrica, seja por degradação ou pela localização em regiões áridas e semiáridas (PHILIPPI JUNIOR, 2005).

No Brasil devido à disponibilidade hídrica abundante, o país adquiriu uma cultura de “desperdício”, aliado a investimentos que não são suficientes para proteção e manutenção de seus mananciais, o que acarretou a deterioração de rios e lagos (BRASIL, 2005; REBOUÇAS, 2006). Dessa forma, a consciência de preservar, controlar e gerenciar os recursos hídricos por meio de políticas e instrumentos de gerenciamento, para que o seu uso ocorra de maneira sustentável, em termos quantitativos e qualitativos, tornou-se cada vez mais necessários (MAIA, 2002; SILVA, 2003).

Por isso foram criados alguns padrões para a qualidade da água, os mais conhecidos são o Padrão Internacional da Organização das Nações Unidas, *United States Environmental Protection Agency*, e o Padrão 80/778/EEC referente a Comunidade Européia (TELLES; COSTA, 2010). No Brasil foi criada a Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), responsável por instaurar a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), atribuindo ao país uma gestão por bacias hidrográficas (PORTO; PORTO 2008). O capítulo IV, Artigo 4º, dispõe sobre os instrumentos para o PNRH (BRASIL, 1997):

I - os Planos de Recursos Hídricos;

II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;

- III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V - a compensação a municípios;
- VI - o sistema de informações sobre Recursos Hídricos.

É necessário salientar que a Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997) não obriga a aplicação de todos os instrumentos de gestão a todas as bacias hidrográficas. Por exemplo, é discutível a aplicação do instrumento de cobrança pelo uso da água aos rios da região amazônica, mas talvez bacias muito críticas, como a do Alto Tietê, em São Paulo, necessitem de mais instrumentos de incentivo a boas práticas do que aqueles listados na lei. Esse é um dos pontos fortes da legislação, pois permite adaptar a gestão às particularidades de cada bacia hidrográfica (PORTO; PORTO, 2008).

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Cada bacia hidrográfica que se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia (ARAUJO et al., 2009). As divisões de uma bacia hidrográfica em sub-bacias permitem a identificação de problemas pontuais, o que torna possível o reconhecimento dos focos de degradação, dos recursos naturais, e o grau de comprometimento da produção sustentada, já que garantem a participação social e centraliza os principais problemas (FERNANDES; SILVA, 1994; SANTOS, 2004).

Ao sancionar a Lei 9.433 (BRASIL, 1997), o Brasil é colocado no patamar dos países mais avançados em legislações relacionadas a recursos hídricos, devido à modernização da mesma. E um dos pontos que alavancou esta evolução foi avaliar a bacia hidrográfica de acordo com suas peculiaridades, pois generalizar um ambiente com uma gama de diferentes características não é recomendado (BRASIL, 2011; PORTO; PORTO, 2008).

O município de Ponta Grossa, Paraná, possui em seu território urbano um total de 12 sub-bacias, dentre elas estão as sub-bacias de Olarias, Pilão de Pedra, Lajeado Grande, Santa Tereza, Cará-Cará, Francelina, Santa Monica, Arroio Grande, Taquari, Colonia Adelaide, Gertrudes e por fim a sub-bacia hidrográfica da Ronda.

3.2 ARROIO DA RONDA

O arroio da Ronda está inserido na sub-bacia hidrográfica da Ronda, a qual se localiza na porção sudoeste de Ponta Grossa. A sub-bacia hidrográfica faz divisa com as sub-bacias do Olarias, Pilão de Pedra, Lageado Grande, Gertrudes e Santa Tereza (PARANÁ, 2015). A sub-bacia hidrográfica da Ronda possui uma área de 36,83 km² ocupando em áreas urbanas (27,51 km²) e agrícolas e de reflorestamento (9,32 km²) (ANTUNES; RIBEIRO, 2015; MENEGUZZO; THOMAZ, 2010; SANTOS, 2015). Sua cabeceira de drenagem constitui-se por encostas íngremes que ultrapassam 30% de declividade (MENEGUZZO; THOMAZ, 2010).

O clima local é definido de acordo com a classificação de Köppen, sendo Cfb – Subtropical Úmido Mesotérmico, que podem ser observadas nas porções mais elevadas do Segundo Planalto. Os verões são frescos, sem estação de seca definida (PARANÁ, 2012).

As litologias presentes na bacia hidrográfica são constituídas por rochas sedimentares pertencentes a formação Ponta Grossa e Serra Geral e ao Grupo Itararé além de sedimentos quaternários (MENEGUZZO; THOMAZ, 2010; PARANÁ, 2015).

O arroio da Ronda possui aproximadamente 12,67 km de extensão. O corpo hídrico nasce na porção urbana do município até seu deságue no rio Tibagi.

Durante seu percurso, o corpo hídrico possui dois enquadramentos de acordo com a CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Assim, o arroio da Ronda está classificado da sua nascente até a coordenada UTM 581.510,705m E; 7.220.057,613 como classe 2, e até a sua foz o corpo hídrico é enquadrado na classe 3, o que o torna o único afluente do rio Tibagi sendo classificado como classe 3 (PARANÁ, 2015).

Malho et al. (2005) estudaram a presença de ocupações irregulares na sub-bacia hidrográfica da Ronda como possível fator de influência para alterações de características do meio ambiente. O estudo se deu devido a

problemática que o município passou, a partir do processo de favelização, de forma que devido a fatores como a migração da população para área urbana e ausência de infraestrutura, houve exclusão social das pessoas com rendas mais baixas para locais próximos aos corpos hídricos. Os autores concluíram que a presença da população nesses locais se deu devido as segregações espaciais e econômicas, processos característicos de municípios brasileiros. Dessa forma, os pesquisadores alegaram alterações na densidade de mata ciliar. Além de observar que em alguns trechos, o corpo hídrico está canalizado.

Diedrichs, Andrade e Balarim (2009) realizaram um estudo hidrológico na sub-bacia hidrográfica da Ronda, para verificar os efeitos da urbanização no local. O estudo se deu a partir de hidrogramas unitários em períodos críticos antes e depois da urbanização. Foi concluído que a sub-bacia hidrográfica apresenta um relevo consideravelmente acidentado, principalmente em encostas. Somado a este fator, notou-se aumento nas áreas impermeabilizadas durante o período de pesquisa, promovendo elevação nos picos de vazão o que também reduziu o tempo de detenção da bacia. Assim, as alterações ocorridas ao longo do tempo influenciaram nas características naturais da bacia hidrográfica da Ronda.

Reis (2014) avaliou a qualidade de água de um afluente do arroio da Ronda em dois pontos para verificar a capacidade de suporte do arroio em relação aos despejos de efluentes realizados pela ETE Ronda. Foram monitorados sólidos totais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrogênio total, surfactantes, coliformes termotolerantes, fósforo total e turbidez. Além disso, foi utilizado o IQA_{CETESB} para diagnosticar a qualidade de água do trecho. A montante da ETE a qualidade de água obteve um IQA de aproximadamente 51, enquanto a jusante o corpo hídrico demonstrou uma queda para 29,3. Oxigênio dissolvido, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerante e surfactantes apresentaram-se em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) para rios enquadrados na classe 3 no trecho monitorado. A autora alegou que, possivelmente, o aumento populacional da região promoveu aumentos em

ligações clandestinas na ETE Ronda, o que aumentou a carga de efluentes, comprometendo a eficiência da estação.

3.3 MÚLTIPLOS USOS DA ÁGUA

O aumento e a diversificação dos múltiplos usos da água a partir do século XX acarretaram diferentes impactos ambientais, pressões sobre o ciclo hidrológico e sobre as reservas de águas subterrâneas e principalmente superficiais (LANNA, 1999; TUNDISI; TUNDISI, 2011).

A relação entre a economia gerada pelos múltiplos usos da água denomina-se hidroeconomia, e suas características são (TUNDISI;TUNDISI 2011):

- a) Suprimento de água doce: gastos do fornecimento, transporte e tratamento para necessidades humanas;
- b) Usos na agricultura e indústrias;
- c) Tratamento de águas residuárias;
- d) Custos de reuso da água;
- e) Custos decorrentes da perda de qualidade da água e investimentos para recuperá-la;
- f) Perda de processos dos ecossistemas aquáticos em geral;
- g) Conflitos internacionais.

A Lei 9.433 (BRASIL, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, no Artigo 1º, Inciso IV, garante que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. Apenas em caso de escassez, como está esclarecido no Inciso III, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais.

No Brasil para manter a qualidade das águas naturais com relação aos seus diversos usos, os corpos hídricos são enquadrados em classes, seja para água doce, salina ou salobra. O PNRH (BRASIL, 1997) determina na Seção II, Artigo 9º:

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa a:

I - assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas;

II - diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes;

A resolução da classificação dos recursos hídricos superficiais e diretrizes ambientais é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357 (BRASIL, 2005). A mesma atribui ao território nacional três divisões para a água:

- a) Água doce, com salinidade $< 0,5 \text{ ‰}$;
- b) Águas salobras, com salinidade $> 0,5 \text{ ‰}$;
- c) Águas salinas, com salinidade $> 30 \text{ ‰}$;

Na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) foram criadas classes para a água doce, que define critérios de qualidade, de condições e padrões necessários de qualidade de água. O enquadramento dos ambientes aquáticos é realizado de acordo com as normas definidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

Caso as condições dos corpos hídricos estejam em desacordo com os padrões previstos para a classe em que o mesmo foi enquadrado, deverão ser estabelecidas medidas obrigatórias para melhoria da qualidade de água. O enquadramento dos corpos de água não deve ser baseado em seu estado qualitativo atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender as necessidades da população (BRASIL, 2005).

Souza e Gastaldini (2014) monitoraram a qualidade da água das seguintes bacias hidrográficas: Rancho do Amaral, Menino de Deus IV, Menino de Deus II e Alto da Colina, localizadas no Rio Grande do Sul, e relacionaram com diferentes usos do solo, como atividades agrícolas, impermeabilização do solo, efluentes domésticos, dentre outros. Dentre as bacias monitoradas, a bacia hidrográfica Alto da Colina, de menor área (2 km^2), maior percentual de urbanização (17,4%) e maior número de habitantes (1800 hab) apresentou piores resultados de degradação ambiental, devido à influência do efluente

doméstico como fonte potencial de contaminação do sistema fluvial e também à contribuição elevada de matéria orgânica, agentes patógenos e nutrientes.

Massoud (2011) monitorou a qualidade de água do rio Damour, no Líbano, entre 2005 a 2009. Dentre os parâmetros estudados registrou menores concentrações de oxigênio dissolvido, elevada presença de coliformes fecais e nitrogênio amoniacal em locais com de descargas de efluentes domésticos, atividades agrícolas e utilização para atividades recreacionais. Em detrimento da presença de coliformes fecais, o corpo hídrico tornou-se um local de risco para a prática de natação e demais atividades que ocorrem no rio Damour devido ao risco oferecido para a saúde da população.

3.4 PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

De acordo com Ferreira (2014), parâmetro pode ser definido como um conjunto de informações ou características usadas em processos que são necessários em tomadas de decisões (FERREIRA, 2014; BRASIL, 2011). A qualidade de água é avaliada qualitativamente com base em diferentes indicadores que possam retratar os efeitos da poluição, os tipos de contaminação, a sustentabilidade ambiental dos sistemas hídricos e os usos da água.

Os parâmetros utilizados ilustram as características físicas, químicas e microbiológicas do corpo hídrico (COSTA, 2010; TUCCI; MENDES, 2009). Segundo a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) pode-se definir parâmetro de qualidade da água como substâncias ou outros indicadores representativos de qualidade da água, seja físico, químico ou microbiológico, com valores máximos permitidos, descritos no Capítulo III, seção II.

3.4.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

3.4.1.1 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A Condutividade Elétrica (CE) indica a capacidade da água de transmitir a corrente elétrica por meio da presença de substâncias dissolvidas

que se dissociam em ânions e cátions, consequência que se relaciona proporcionalmente a concentração iônica. Em recursos hídricos é utilizada como medida indireta para averiguar se o ambiente aquático está degradado, embora o mesmo não informe a quantidade relativa de compostos presentes na água (LIBANIO, 2010; CETESB, 2014).

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) não apresenta valores limites para a CE, porém a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) estabelece que, em geral, níveis superiores a 100 uS/cm indicam um ambiente impactado, acarretado por lançamento de efluentes, pois o mesmo relaciona-se com a concentração de sólidos totais dissolvidos (LIBANIO, 2010).

3.4.1.2 TURBIDEZ

Pode-se definir turbidez como o nível de interferência que a luz sofre ao atravessar a água, devido a concentração de partículas suspensas e uma pequena parcela de compostos dissolvidos, expressas por meio de Unidade de Turbidez (UT) (CETESB, 2014; LIBÂNIO, 2010).

As substâncias suspensas podem ser de origem natural, argila, silte e matéria orgânica, provindas de algas e microrganismos. E relativas a atividades antrópicas como despejos de efluentes domésticos e industriais, pois suas substâncias podem conter compostos tóxicos e patógenos (von SPERLING, 2014; APHA, 2012).

Processos de erosões em áreas agrícolas ou margens de rios com ausência de vegetação ripária aumentam os níveis de turbidez nas águas em épocas de chuva, afetando o tratamento em Estações de Tratamento de Água (ETA) (CETESB, 2014).

Segundo Von Sperling (2014) os sólidos de origem natural presentes na água não são prejudiciais diretamente a saúde humana, todavia comprometem a estética e podem alojar microrganismos patogênicos. Os valores em águas naturais podem variar de 3 a 500 UT, porém no Brasil, devido a características geológicas das bacias hidrográficas, elevados índices

de pluviosidade e ao inadequado uso do solo esses valores são superiores (LIBANIO, 2010).

3.4.1.3 SÓLIDOS

Todos os contaminantes encontrados no corpo hídrico, com exceção dos gases dissolvidos, somam na carga de sólidos totais. E podem ser divididos em sólidos totais em suspensão e Sólidos Totais Dissolvidos (STD). Os sólidos totais são analisados com o material deixado em um recipiente após um processo de evaporação e secagem em forno, com a temperatura pré-estabelecida de 103° C a 105° C. E correspondem ao somatório dos sólidos totais dissolvidos e os sólidos em suspensão totais (APHA, 2012). Os STD constituem-se por partículas inferiores a 10^{-3} μm , sendo provenientes de desgaste de rochas ou lançamento de efluentes. Os voláteis são caracterizados pela matéria orgânica volatilizada após calcinação a uma temperatura de 550° C (CETESB, 2014; von SPERLING, 2014). E por fim, os sólidos totais suspensos que constituem a porção com dimensões superiores a 1,2 μm retirada após a filtração (LIBANIO 2010; PIVELI; KATO, 2006)

A presença de sólidos na água advém de duas formas (BRASIL, 2006; PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011):

- a) Fonte Natural: por meio de processos erosivos, organismos e detritos orgânicos;
- b) Fonte Antropogênica: provenientes de atividades agrícolas, lançamento de efluentes domésticos e industriais;

Em ambientes aquáticos, os sólidos podem causar danos aos peixes e a vida aquática em geral, pois sedimentam no leito dos rios, eliminando organismos que produzem alimentos, retém bactérias e resíduos orgânicos, e danifica a desova de peixes (CETESB, 2014). É importante salientar que mesmo que os parâmetros de turbidez e a série de sólidos demonstrem similaridade, eles não são considerados equivalentes.

3.4.1.4 TEMPERATURA

A temperatura pode ser definida como uma medida da intensidade de calor, e se dá por meio de transferência de calor (von SPERLING, 2014). Devido a fatores naturais como variações sazonais e diurnas, estratificação vertical no corpo hídrico, latitude e altitude, estações do ano e profundidade total podem interferir em seus valores. A mesma ainda pode ter influências devido a atividades antropogênicas, como despejos industriais e usinas termoeletricas (CETESB, 2014).

Segundo Mota (1995), temperaturas mais altas geram aumento nas reações químicas e biológicas, diminuindo a solubilidade dos gases, dessa forma, quanto menor a temperatura das águas, melhor será a disponibilidade de oxigênio no ambiente aquático. A temperatura também atinge diretamente espécies existentes nos corpos hídricos, pois interfere na desova e migração de peixes, e na taxa de crescimento de algumas espécies. Por isso torna-se um parâmetro necessário a ser analisado (CETESB, 2014; von SPERLING, 2014), mesmo que a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) não apresente valores limites.

3.4.1.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO

O Oxigênio Dissolvido (OD) é o parâmetro com maior relevância para examinar a qualidade de água, pois é responsável pela manutenção de vida dos organismos aeróbios (APHA, 2012; PHILIPPI, 2005). Suas variações associam-se a processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no ambiente aquático (LIBÂNIO, 2010).

Em situação onde são observadas baixas concentrações de OD em um corpo hídrico que possui lançamento de esgoto, pode-se afirmar que há presença de matéria orgânica, pois o mesmo é utilizado por bactérias aeróbias para a estabilização da matéria orgânica. Entretanto, se o corpo d'água não sofrer influência de atividade antropogênicas, e apresentar valores baixos de oxigênio dissolvido, o parâmetro torna-se um forte indicativo da presença de algas (LIBANIO, 2010).

3.4.1.6 POTENCIAL HIDROGENIONICO (pH)

Considera-se o pH um importante parâmetro químico cujo monitoramento e controle são relevantes para diferentes tipos de aplicação, dentre eles a análise de qualidade de águas naturais (APHA, 2012; DUTTA; SARMA; NATH, 2015). Contudo, diversos fatores naturais podem influenciá-lo, como o clima, geologia e vegetação do local, além de outras substâncias, como ácidos húmicos e fúlvicos (CHAPMAN; KIMSTACH, 1996). Atividades antrópicas também podem interferir, como despejos de efluentes domésticos e industriais (von SPERLING, 2014), o que dificulta sua interpretação (ESTEVES, 1988).

O pH influencia na solubilidade de diferentes substâncias, seja em suas formas livres ou ionizadas, e pode alterar o potencial tóxico de outros elementos, como os metais pesados (LIBÂNIO, 2010), além de afetar diretamente os ecossistemas, influenciando nos processos fisiológicos de diversas espécies (CETESB, 2014). De acordo com o Libânio (2010), águas naturais que apresentarem pH entre 6 e 8,5 estão contidas no intervalo ideal para o equilíbrio do ecossistema aquático.

3.4.1.7 FÓSFORO

O fósforo em ambientes aquáticos naturais apresenta-se em grande maioria na forma de fosfato. O fosfato pode ser dividido em polifosfato e ortofosfato. São encontrados em partículas, detritos ou nos corpos de organismos aquáticos (APHA, 2012; CETESB, 2014), porém não causam problemas sanitários em águas de abastecimento (von SPERLING, 2014).

A origem natural do fósforo vem da dissolução de componentes do solo e da decomposição de matéria orgânica (LIBÂNIO, 2010). Sua origem antropogênica provém de grande parte do uso urbano, com elevadas taxas de matéria fecal e detergentes, efluentes industriais, como as indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, abatedouros, frigoríficos e águas

drenadas de áreas agrícolas, com a presença de fertilizantes e fezes de animais de sangue quente (CETESB, 2014; von SPERLING, 2014).

A necessidade de analisar as concentrações de fósforo ocorre, pois junto ao nitrogênio, o fósforo é considerado um nutriente limitante de produtividade, ou seja, é essencial para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo aumento de algas, responsável pelo fenômeno da eutrofização (APHA, 2012; LIBÂNIO, 2010; von SPERLING, 2014).

3.4.1.8 NITROGÊNIO

O nitrogênio (N_2) é o gás mais abundante na atmosfera terrestre, e devido ao ciclo do nitrogênio que ocorre na biosfera, o meio aquático possui diferentes formas de nitrogênio: orgânico, dissolvido, molecular, amoniacal, nitrito e nitrato (von SPERLING, 2014, APHA, 2012, LIBÂNIO, 2010).

As formas de nitrogênio encontradas no corpo hídrico são provenientes de (CETESB, 2014; von SPERLING, 2014):

- a) constituinte natural de proteínas, clorofila e outros materiais orgânicos;
- b) nitrogênio atmosférico, utilizado na biofixação de algas e bactérias, fornecendo nitrogênio orgânico ao meio;
- c) amônia, nitratos e nitrogênio orgânico em corpos de água naturais provêm da fixação química destes compostos, que são transportados pela chuva;
- d) efluentes domésticos e industriais são as principais fontes de nitrogênio amoniacal e orgânico na água;
- e) escoamento superficial de áreas agrícolas fertilizadas;
- f) drenagem de águas pluviais e o sistema de limpeza pública;
- g) fezes de animais.

O ciclo do nitrogênio é realizado pelas bactérias nitrificantes quando se realiza a nitrificação e desnitrificação. O primeiro ocorre com a oxidação do gás amônia a nitrito e em seguida a nitrato. Já o segundo reduz nitrato e nitrito para

nitrogênio molecular (LIBÂNIO, 2010). Todavia esses processos acarretam no consumo de OD do meio aquático.

Ainda, algumas formas desse composto podem ser prejudiciais ao ser humano e a vida aquática em geral. O nitrato está associado a síndrome do bebê azul (Metahemoglobinemia) e o nitrogênio na forma de amônia livre (NH_3) é altamente tóxico aos peixes (von SPERLING, 2014; CETESB, 2005; LIBÂNIO, 2010).

A presença de nitrogênio oferece suporte para o tratamento de efluentes, pois assim como o fósforo, é indispensável para o crescimento de microrganismos, responsáveis pelo tratamento de esgotos.

O nitrogênio ainda pode fornecer informações sobre os estágios de poluição encontrados no corpo hídrico de acordo com sua forma predominante. Concentrações elevadas de nitrito e nitrato indicam poluição remota, já se as formas predominantes forem nitrogênio orgânico e amoniacal, indica-se que a poluição é recente (APHA, 2012; von SPERLING, 2014).

3.4.1.9 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um dos parâmetros utilizados para medição indireta de oxigênio consumido no ambiente aquático. Representa a intensidade do consumo de oxigênio que os peixes e outros organismos aeróbios consomem, e para oxidação da matéria orgânica carbonácea presente na água (PHILIPHS, 2008; MARTIN, 2010). Os fatores que podem interferir nas concentrações de DBO são: oxidação de ferro e componentes sulfúricos e sólidos que sofreram sedimentação ou flotação.

Para determinar os níveis de DBO é necessário aferir a concentração de OD da amostra de água, durante cinco dias, a uma temperatura de 20° C (APHA, 2012). Todavia, devido a espera de 5 dias para obter resultados, o ensaio torna-se desvantajoso. Os fatores responsáveis por elevar os níveis de DBO são devido a despejos de origem orgânica, o que acarreta no esgotamento de oxigênio na água, provocando o desaparecimento da vida aquática (CETESB, 2014).

3.4.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS

A presença de microrganismos em ambiente aquático acarreta modificações químicas e ecológicas no próprio meio (APHA, 2012; MOTA, 1995). Dessa forma a identificação de microrganismos que causam prejuízos na saúde do homem torna-se de interesse para a saúde pública. (BRASIL, 2011).

Esses microrganismos possuem características para um indicador biológico de poluição hídrica, pois são de origem de fezes humanas ou de animais de sangue quente, apresentam maior resistência aos efeitos adversos do meio ambiente, é de fácil identificação e não se reproduz no meio ambiente. (BRASIL, 2006). Dentre os diversos indicadores biológicos, o mais utilizado é o grupo de coliformes, que acarreta para o ser humano diversas doenças de veiculação hídrica como a febre tifoide, febre paratifoide, desinteria bacilar e cólera (CETESB, 2008; FINOTTI et al., 2009)

A identificação de coliformes é utilizada para averiguar se o corpo hídrico possui sinais de que a água fora contaminada por fezes humanas ou de animais de sangue quente, e se apresenta potencialidade para transmitir doenças.

Os Coliformes Totais são denominados por bacilos gram negativos, e é formado por bactérias do gênero *Klesbsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Citrobacter* e *Enterobacter*. Dentro deste grupo encontram-se coliformes termotolerantes, que contém a *Escherichia coli*. A mesma é de origem exclusivamente fecal e raramente encontra-se em solos não contaminados, o que a torna um excelente indicador de contaminação biológico (CETESB, 2014; FINOTTI et al., 2009).

3.5 ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA

O monitoramento da qualidade das águas engloba diferentes variáveis, assim para divulgar o diagnóstico final e auxiliar nas tomadas de decisões políticas para determinar quais procedimentos necessários para gerenciar os recursos hídricos e determinar seus múltiplos usos utilizam-se índices de qualidade de água (LIBANIO, 2010; MOYEL; HUSSAIN, 2015). É necessário

ressaltar que a utilização de índices de qualidade de água não são instrumentos estabelecidos pela legislação ambiental brasileira.

Todavia, devido à sintetização de inúmeras informações em apenas um valor, os índices podem gerar resultados pouco elucidativos em relação a informações individuais dos parâmetros de qualidade de água utilizados (YAN et al., 2015; von SPERLING, 2014). Assim, faz-se o uso de índices de qualidade de água em conjunto com os resultados dos parâmetros monitorados (MASSOUD, 2011) ou com outra ferramenta que a complemente (YAN et al., 2015).

3.5.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA - CETESB

Em 1970 a *National Sanitation Foundation* elaborou o Índice de Qualidade de Água (IQA). A criação do método se deu a partir de pesquisas de opinião de diversos especialistas em qualidade das águas, em que cada um opinou sobre os parâmetros de qualidade de água a serem considerados e seus respectivos pesos (BRASIL, 2013). No Brasil, a CETESB adaptou o IQA para ser aplicado no Brasil e iniciou seu uso em 1975 (BRASIL, 2013; PORTO, 1991), que será denominado como IQA_{CETESB}.

Os parâmetros de qualidade de água utilizados para o cálculo do IQA_{CETESB} são: demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, temperatura, pH, turbidez, sólidos totais, *E. coli*, nitrogênio total e fósforo total (CETESB, 2017).

Tabela 1 - Pesos (w) dos parâmetros de qualidade de água

Parâmetros de qualidade de água	Pesos (w)
Oxigênio Dissolvido	0,17
<i>E. coli</i>	0,15
pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Temperatura da água	0,10
Fósforo Total	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totais	0,08

Fonte: CETESB (2017)

A partir do cálculo do produtório ponderado dos nove parâmetros de qualidade de água apresentado na Equação 1, é possível obter o IQA_{CETESB} :

$$IQA_{CETESB} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que:

IQA – Índice de Qualidade de Água (varia entre 0 a 100);

q_i - qualidade do i -ésimo parâmetro de qualidade de água;

w_i – peso do i -ésimo parâmetro de qualidade de água;

n – número de parâmetros de qualidade de água;

Em posse do valor gerado pela Equação 1, utiliza-se a Tabela 2 para verificar em qual classificação da qualidade de água, o corpo hídrico enquadra-se:

Tabela 2 - Classificação da qualidade de água	
IQA_{CETESB}	Ponderação
$91 < IQA \leq 100$	Excelente
$71 < IQA \leq 91$	Boa
$51 < IQA \leq 70$	Regular
$26 < IQA \leq 50$	Ruim
$IQA \leq 26$	Péssima

Fonte: CETESB (2017)

3.5.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA – CCME

Em 2001 o *Canadian Council Ministers of the Environment* (CCME) desenvolveu um novo índice de qualidade de água. A ferramenta foi criada a partir de um estudo de diferentes índices utilizados no Canadá, para aprimorar e simplificar diagnósticos de qualidade de água dos corpos hídricos canadenses (CCME, 2001). Para a utilização desta metodologia são necessários valores limites dos parâmetros de qualidade de água estabelecidos por legislações ambientais.

A metodologia de aplicação do IQA_{CCME} baseia-se na frequência de falhas relativas indicadas pela legislação ambiental responsável pelo corpo hídrico monitorado. Para aplicação do índice é necessário no mínimo quatro parâmetros de qualidade de água. O índice apresenta flexibilidade em relação ao tempo de monitoramento (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2014; CCME, 2001). Para um resultado mais consistente deve-se aplicar em maiores números de pontos possíveis.

Dentre as vantagens da aplicação do IQA_{CCME} , pode-se citar: a capacidade de representar diferentes parâmetros de qualidade de água em um único número e de combinar indicadores com unidades de medida diferentes em uma única unidade o que facilita a comunicação e interpretação dos dados (CCME, 2001). Entretanto, sua utilização apresenta algumas desvantagens, como: perda de informações dos parâmetros de qualidade de água e a falta de portabilidade do índice para outros tipos de ecossistema (CCME, 2001; MOYEL; HUSSAN, 2015).

Moyel e Hussain (2015) aplicaram o IQA_{CCME} para avaliar a qualidade de água do rio Shatt Al-Arab durante um ano. Em sua aplicação, os autores verificaram que a qualidade de água foi melhor em períodos de alta precipitação quando comparada ao período de seca. Ainda, o IQA_{CCME} foi aplicado para verificar a qualidade de água para diferentes fins como irrigação, potabilidade e para o meio aquático.

Para a determinação do IQA_{CCME} é necessário calcular o Alcance (F1), a Frequência (F2) e a Amplitude (F3) que serão descritas a seguir (CCME, 2001).

Primeiramente, é necessário determinar o Alcance (F1) (Equação 2) que é referente à porcentagem de parâmetros de qualidade de água que se apresentaram em desconformidade com os limites estabelecidos pela legislação ambiental utilizada, em ao menos uma ocasião durante o período monitorado (CCME, 2001):

$$F1 = \frac{\text{Nº de parâmetros em desconformidade}}{\text{Nº Total de parâmetros}} \times 100 \quad (2)$$

A Frequência (F2) refere-se á porcentagem de análises individuais que não atenderam os padrões estabelecidos e é calculado pela Equação 3 (CCME, 2001):

$$F2 = \frac{\text{Nº de análises em desconformidade}}{\text{Nº Total de análises}} \times 100 \quad (3)$$

A Amplitude (F3) relaciona-se com o valor pela qual um número de análises em desconformidade não atingiram os padrões estabelecidos. Inicialmente devem-se calcular as discrepâncias (D) (ALMEIDA; 2014; CCME, 2001).

Nos parâmetros de qualidade de água em que as concentrações não devem ser superiores a valores limites, deve-se utilizar a Equação 4.

$$\text{Discrepância} = \left(\frac{\text{Valor da análise em desconformidade}}{\text{Padrão}} \right) - 1 \quad (4)$$

Nos parâmetros em que a as concentrações registradas devem estar abaixo de limites estatabelecidos, utiliza-se a Equação 5.

$$\text{Discrepância} = \left(\frac{\text{Padrão}}{\text{Valor da análise em desconformidade}} \right) - 1 \quad (5)$$

Em seguida calcula-se a soma normalizada das discrepâncias observadas nas análises individuais por meio da Equação 6 (CCME, 2001):

$$\sum_n \text{Discrepância} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Discrepância}}{\text{nº total de análises}} \quad (6)$$

De posse dos resultados obtidos pelas equações acima, calcula-se o F3 utilizando a Equação 7:

$$F3 = \frac{\sum \text{Discrepância}_n}{\sum \text{Discrepância}_n \times 0,01 + 0,01} \quad (7)$$

A partir dos resultados de F1, F2 e F3 é possível calcular o IQA_{CCME} pela Equação 8. Esta metodologia aborda o índice de qualidade de água como um espaço tridimensional que foi definido por cada um dos fatores calculados, para que as mudanças promovidas no IQA ocorram proporcionalmente às alterações em cada um dos fatores (ALMEIDA, 2014; CCME, 2001):

$$\text{IQA}_{\text{CCME}} = 100 - \frac{\sqrt{(F1^2) + (F2^2) + (F3^2)}}{1,732} \quad (8)$$

Com o resultado final do IQA_{CCME} faz-se o uso da Tabela 3 para verificar a qualidade da água do corpo hídrico.

Tabela 3 - Categorias de qualidade de água

IQA _{CCME}	Ponderação
95 < IQA ≤ 100	Excelente
80 < IQA ≤ 94	Boa
65 < IQA ≤ 79	Regular
44 < IQA ≤ 64	Ruim
0 < IQA ≤ 44	Péssima

Fonte: CCME (2001)

3.5.3 COMPREHENSIVE POLLUTION INDEX

O CPI é uma ferramenta aplicada no monitoramento de qualidade de água devido aos diferentes contaminantes presentes em águas superficiais. A partir do resultado da Equação 9, pode-se verificar a qualidade de água do corpo hídrico (YAN et al., 2015). Para a aplicação do CPI necessita-se de

concentrações limitantes de legislações ambientais para os parâmetros de qualidade de água que serão monitorados.

$$P = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{S_i} \quad (9)$$

Onde:

P – representa o CPI;

C_i – A concentração medida em unidade i;

S_i – relaciona-se com os valores limites da legislação adotada em unidade i;

n – corresponde ao número de parâmetros de qualidade de água adotados;

A partir dos resultados obtidos, utiliza-se a Tabela 4 para classificar a qualidade de água do corpo hídrico.

CPI	Ponderação
0 < P ≤ 0,2	Ótima
0,2 < P ≤ 0,4	Excelente
0,4 < P ≤ 0,7	Boa
0,7 < P ≤ 1,0	Regular
1,0 < P ≤ 2	Ruim
2,0 < P	Péssima

Fonte: Yan et al. (2015)

Para monitorar a qualidade de água do rio Honghe, Yan et al. (2015) monitoraram oxigênio dissolvido, P-total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total. Os autores fizeram o uso combinado de três diferentes ferramentas para determinar a qualidade de água, dentre elas podem-se citar o CPI, o *Single Factor Pollution Index* e o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Dessa forma, Yan et al. (2015) concluíram que P-total, nitrito e nitrogênio total apresentaram-se acima dos limites permissíveis pela legislação local e a qualidade de água foi classificada segundo o CPI.

4. ARTIGO I

DINÂMICA TEMPORAL E ESPACIAL DA QUALIDADE DE ÁGUA DO ARROIO PRINCIPAL DE UMA SUB-BACIA URBANA

Resumo: Em Ponta Grossa, Paraná, Brasil, o arroio da Ronda localiza-se em área urbana e uma parcela (33%) em área agrícola. Ao longo do trecho monitorado observam-se diferentes atividades antrópicas, como ocupações urbanas próximas às margens, despejos irregulares de efluentes, estação de tratamento de esgoto, áreas impermeabilizadas e atividades agropecuárias. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica da qualidade de água quanto ao pH, P-total, N-NH_4^+ , P-PO_4^{3-} , N-NO_2^- , N-NO_3^- , demanda bioquímica de oxigênio, *Escherichia coli*, oxigênio dissolvido, temperatura da água, condutividade elétrica, turbidez e sólidos totais dissolvidos temporalmente e espacialmente. Amostras de água foram coletadas em seis pontos desde a primavera de 2016 até o inverno de 2017. Os resultados revelaram que a qualidade de água do trecho monitorado está alterada, devido as diferentes fontes poluentes ao longo da bacia hidrográfica em todas as estações climáticas monitoradas. P-Total, oxigênio dissolvido, N-NH_4^+ e *Escherichia coli* apresentaram-se em desconformidade com a CONAMA nº 357 para classe 3. No ponto de amostragem próximo a nascente, não foram observados parâmetros acima dos limites permitidos. Durante a primavera, a qualidade de água estava em melhores condições em relação as demais. Enquanto no outono, foram registradas maiores concentrações de poluentes. Este estudo pode ser utilizado como suporte para gerenciamento, manutenção e tomada de decisões.

Palavras-Chave: atividades antrópicas; arroio da Ronda; esgoto sanitário; bacia hidrográfica

TEMPORO-SPATIAL DYNAMICS OF THE WATER QUALITY OF THE MAIN STREAM FROM A SUB-BASIN

Abstract: In Ponta Grossa, Paraná, Brazil, the Ronda stream is in an urban area with a part (33%) in an agricultural area, and throughout its course. It is the target of different anthropogenic activities, such as occupations of risk near the banks, irregular wastewater disposal, sewage treatment plant, waterproofed areas and agricultural activities. In this context, the aim was to evaluate the dynamic of water quality related to the pH, Total-P, NH_4^+ -N, PO_4^{3-} -P, NO_2^- -N, NO_3^- -N, biochemical oxygen demand, *Escherichia coli*, dissolved oxygen, water temperature, electrical conductivity, turbidity and total dissolved solids, temporally and spatially. Water samples were collected in six points covering the river singularities since the spring of 2016 until the winter of 2017. The results revealed that the segment monitored has been affected by the different pollutant sources along the watershed in all seasons. Total-P, dissolved oxygen, NH_4^+ -N and *Escherichia coli* were in disagreement with CONAMA nº 357 for classes 2 and 3. At the sampling point near the headspring was not observed parameters above the permitted limits. The sites where several anthropogenic activities were present showed precarious conditions in relation to the other sites. During the spring, the water quality presented better conditions regarding to the others seasons. While, in the autumn were registered higher concentrations of pollutants. This study can be used as management support, maintenance and decision.

Key words: anthropic activities, Ronda river, urban drainage, sanitary sewage, watershed

4.1 INTRODUÇÃO

A qualidade das águas é reflexo de diferentes processos naturais e antrópicos que ocorrem ao longo da bacia hidrográfica (MASSOUD, 2011; CUNHA; SABOGAL-PAZ; DODDS, 2016). Todavia, as atividades antrópicas que foram desenvolvidas e intensificadas junto à exploração predatória

acentuada, têm sido responsáveis por alterar características físico-químicas e biológicas em rios e arroios (BU et al., 2016; HILLEL et al., 2015).

Dessa forma, habitantes que mantinham algum tipo de contato com o corpo hídrico apresentaram redução na qualidade de vida, como problemas de saúde, devido a doenças de veiculação hídrica, alteração de usos em relação ao corpo hídrico, dentre outros, o que, conseqüentemente, acabaram por gerar gastos para a economia local (LOBATO et al., 2015; VAROL et al., 2012).

Situação semelhante pode ser observada no arroio da Ronda, o corpo hídrico está exposto a atividades antrópicas, como despejos de efluentes irregulares, ocupações no entorno, solo impermeabilizado, despejos de efluentes tratados, dentre outras (MENEGUZZO; THOMAZ, 2010). Ainda, em função de grandes áreas impermeabilizadas no entorno das margens, ocorrem com frequência, em alguns trechos, enchentes, que promovem diversos problemas a população e à economia local, além do carreamento de diferentes substâncias ao corpo hídrico (DIEDRICHS et al., 2009).

Por isso, muitos países notaram a necessidade de investimentos em recursos hídricos, de forma que se colocasse como prioridade monitorar e diagnosticar a qualidade da água, a fim de que fosse possível adotar medidas corretivas e preventivas para recuperação e preservação do corpo hídrico (SOUZA; GASTALDINI, 2014; WANG et al., 2013).

Portanto, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a dinâmica temporal e espacial da qualidade de água do arroio da Ronda, de quinta ordem, da bacia hidrográfica da Ronda. Para isso foi realizado o monitoramento ao longo do corpo hídrico em seis pontos, durante a primavera de 2016 ao inverno de 2017 (Outubro de 2016 a Setembro de 2017).

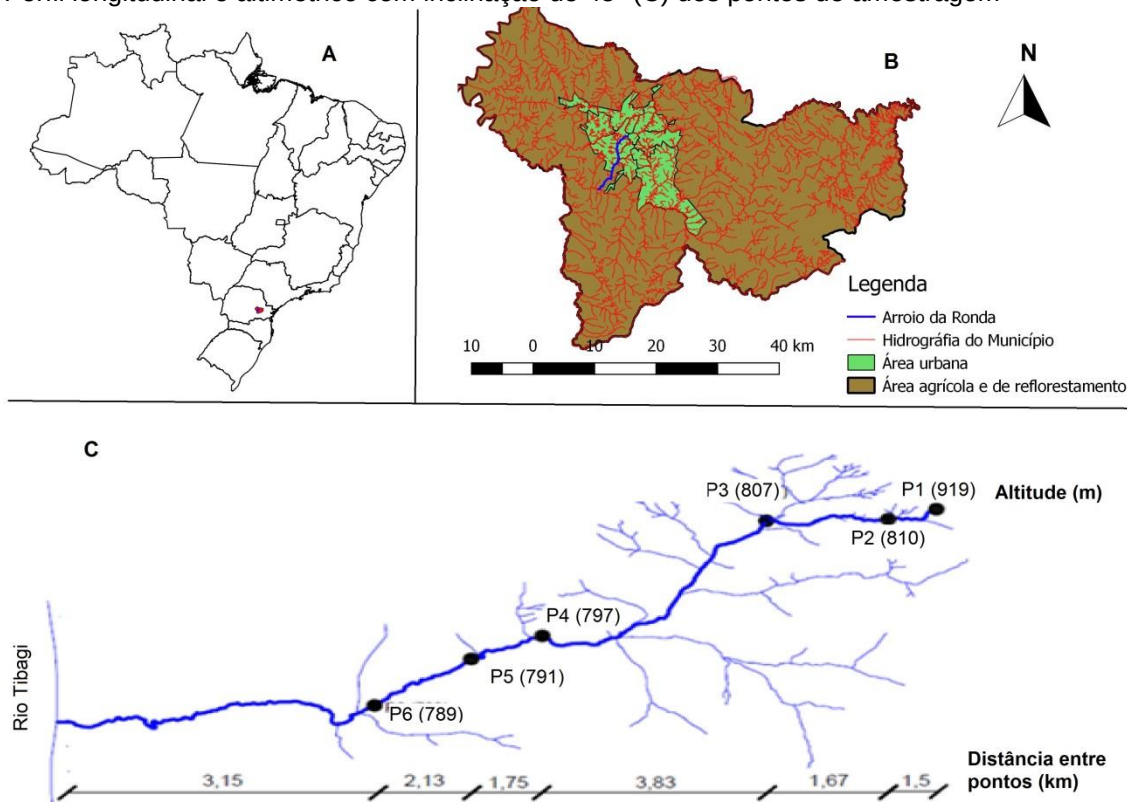
4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica da Ronda localiza-se na porção sudoeste do município de Ponta Grossa (Figura 4.1B), fazendo divisa com as bacias

hidrográficas de Olarias, Pilão de Pedra, Lageado Grande, Gertrudes e Santa Tereza (PARANÁ, 2015).

Figura 4.1 - Localização no município de Ponta Grossa (B) no Brasil (A) arroio da Ronda e Perfil longitudinal e altimétrico com inclinação de 45° (C) dos pontos de amostragem



Fonte: O Autor (2018).

*A Figura (c) não está representada em escala devido a rotação em 45°.

A área total desta bacia é de 36,83 km², em que 27,51 km² correspondem a zona urbana, enquanto o restante, 9,32 km², divide-se em zonas rurais e de reflorestamento (ANTUNES; RIBEIRO, 2015; MENEGUZZO; THOMAZ, 2010; SANTOS, 2015).

Sua nascente localiza-se em área urbana, e deságue em local com predominância de zonas rurais, no Rio Tibagi, um dos principais rios paranaenses.

Ademais, o corpo hídrico é classificado pela Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) como classe 2 até o ponto 4 e os demais pontos (Ponto 5 e 6) como classe 3 (Paraná, 2015) até sua foz, no rio Tibagi. Dessa forma, o arroio da Ronda é o único de classe 3 dentre os afluentes do rio Tibagi (BRASIL, 2005).

Na Tabela 4.1 estão apresentadas resumidamente as atividades e processos antrópicos observadas *in situ*, bem como a localização geográfica dos pontos amostrados e suas respectivas vazões, estimadas por meio do método do flutuador. Destaca-se a diversidade de atividade antrópicas existentes ao longo do corpo hídrico. No Apêndice 1 estão registrados em fotos os locais monitorados.

Tabela 4.1 - Localização geográfica e descrição das atividades observadas no entorno dos pontos de amostragem do arroio da Ronda, Ponta Grossa, Paraná.

P.	Coordenadas UTM	Vazão (m³/s)	Descrição de atividades observadas in situ
1	22J 583645 7224722	0,22	Inserido em área urbana, com presença de vegetação ripária.
2	22J 582816 7224283	0,29	Ocupações no entorno do corpo hídrico, ausência de mata ciliar, impermeabilização do solo, resíduos de construção civil, despejo de efluentes e presença de animais campestres.
3	22J 582001 7223593	0,44	Inserido em área urbana, presença de resíduos sólidos urbanos e despejo de efluentes domésticos a montante do ponto.
4	22J 581162 7219087	0,55	Despejo de efluentes domésticos a montante do ponto e ausência de vegetação ripária.
5	22J 582229 7221267	0,77	Próximo a ETE Ronda e atividades agrícolas e presença de vegetação ripária.
6	22J 581031 7218298	0,89	Atividades de cunho agrícola são desenvolvidas no entorno do local, observou-se a presença de vegetação ripária.

P.: Corresponde aos pontos de amostragem

4.2.2 Amostragem de campo e procedimentos analíticos

A coleta de amostras de água iniciou-se em outubro de 2016 até setembro de 2017 em cada ponto de amostragem determinados ao longo do trecho descrito. Na primavera foram realizadas três campanhas, no verão quatro, no outono seis e no inverno seis, o que totalizou 19 coletas durante o período amostral. Para as coletas foi considerada a precipitação dos 15 dias que precediam as campanhas.

As amostras foram retiradas do meio da seção transversal do corpo hídrico, aproximadamente na metade da profundidade da água (P1 = 6,5 cm; P2 = 7 cm; P3 = 8 cm; P4 = 11 cm; P5 = 30 cm; P6 = 32 cm). Os procedimentos utilizados para coleta, transporte, preservação, armazenamento

e análise foram seguidos de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2015).

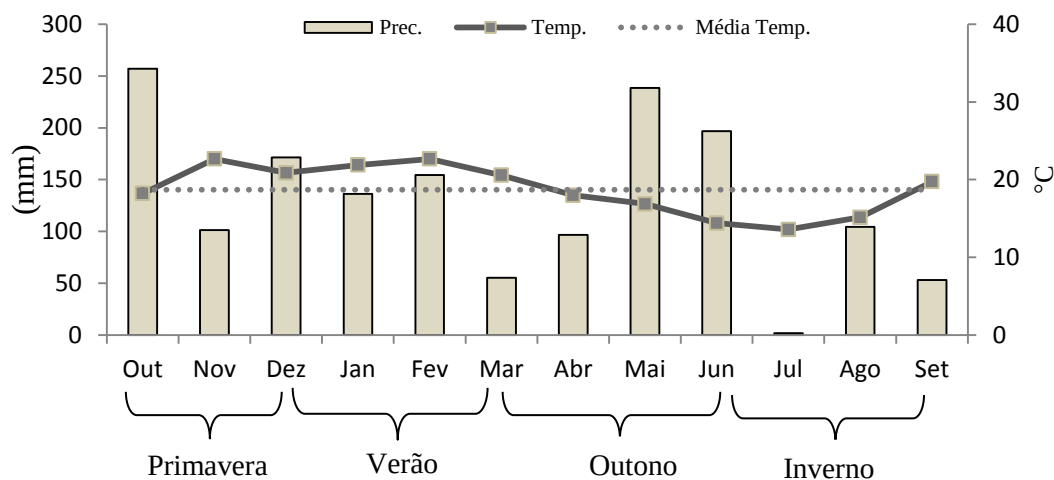
Os parâmetros físico-químicos como Condutividade Elétrica (CE), pH, Temperatura da Água (TA), Oxigênio Dissolvido (OD) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foram determinadas *in situ*, a partir do uso da sonda Multiparâmetros *Aquaread AP-2000*. A turbidez foi determinada pela utilização de turbidímetro.

Para a determinação de *E. coli* foi usado o método da membrana filtrante. A DBO foi determinada após a incubação por 5 dias das amostras de água, e aplicado o método de Winkler (APHA, 2015).

As concentrações P-Total e P-PO_4^{-3} foram determinadas por meio do uso da metodologia de redução por ácido ascórbico. As formas de nitrogênio monitoradas, como N-NO_2^- , N-NO_3^- , N-NH_4^+ seguiram as metodologias de colorimetria por alfaftallamina, método da Brucina e titulometria, respectivamente (APHA, 2015).

Na Figura 4.2 são apresentadas a precipitação mensal, temperatura média mensal e a média das temperaturas durante o período de amostragem do município de Ponta Grossa, fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR.

Figura 4.2 - Dados climatológicos de precipitação acumulado e temperatura média diária durante o período de amostragem



4.2.3 Análise Estatística

A análise descritiva dos dados de qualidade água foi aplicada em cada estação monitorada. Assim, os testes de normalidade foram realizados com nível de confiança de $\alpha=95\%$, em que H_0 era referente a distribuições normais e H_1 para distribuições não normais. Aplicaram-se os testes t e Wilcoxon para amostras normais e não normais, respectivamente. Portanto, os parâmetros em que se apresentam letras iguais correspondem a aqueles que não apresentaram diferenças significativas entre estações do ano, enquanto os que estão com letras diferentes apresentaram diferenças estatísticas.

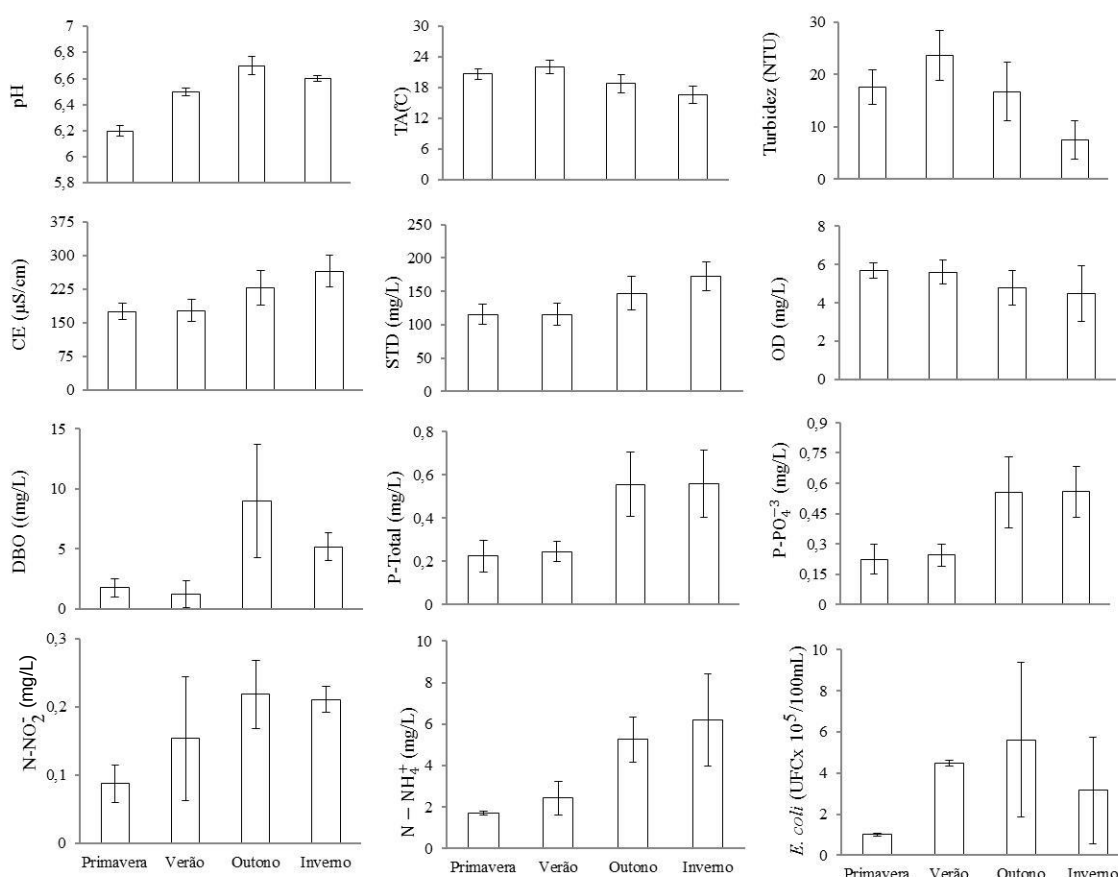
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre as estações monitoradas, a qualidade de água apresentou melhores condições na primavera e no verão. Enquanto no outono foi observado maiores níveis de poluição, pois *E. coli*, DBO e P-Total apresentaram concentrações significativamente maiores que as demais estações, além de estarem acima dos limites permissíveis pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

Os resultados dos parâmetros de qualidade de água estão apresentados na Figura 4.3 na forma gráfica, em que podem ser observadas as

barras com as médias de cada estação e o desvio padrão com relação aos dados da estação para todos os pontos amostrados.

Figura 4.3 - Variações dos parâmetros de qualidade de água no arroio da Ronda e desvio padrão (barras) ao longo das estações climáticas



*As concentrações de N-NO_3^- não foram representados no gráfico de barras, devido a ausência de dados nas estações da primavera, do verão e em algumas coletas das demais estações

Períodos de alta precipitação aliados a elevadas temperaturas registraram melhores níveis de qualidade de água. Todavia, mesmo nessas ocasiões, P-Total e *E. coli* ainda se apresentaram em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Os resultados dos parâmetros de qualidade de água, bem como as diferenças significativas ($p < 0,05$) entre o período de amostragem são apresentados na Tabela 4.3.

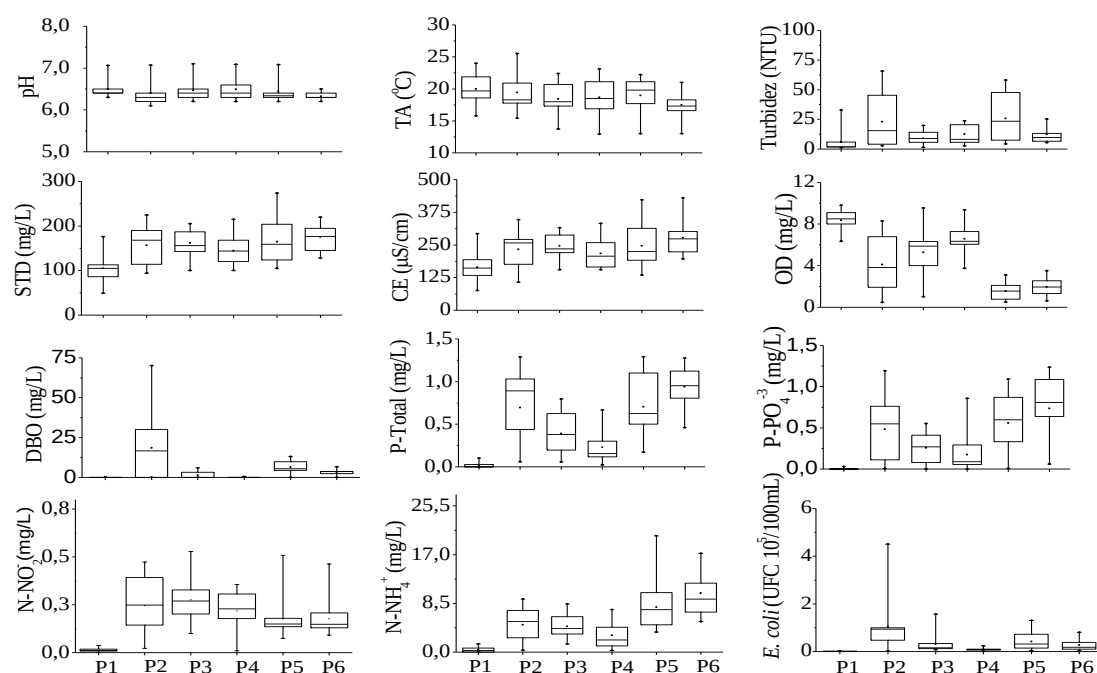
Tabela 4.2 - Variação dos resultados obtidos entre as estações do ano monitoradas

Parâmetros	Primavera	Verão	Outono	Inverno
	Média ± σ	Média ± σ	Média ± σ	Média ± σ
pH	7 ± 0,09 b	6,4 ± 0,07 a	6,3 ± 0,11 a	6,3 ± 0,12 a
TA (mg/L)	20,7 ± 1,03 a	22,1 ± 1,26 a	18,8 ± 1,74 b	16,6 ± 1,7 b
Turbidez (mg/L)	17,6 ± 3,2 a	23,8 ± 4,76 a	16,7 ± 5,6 a	7,4 ± 2,68 b
STD (mg/L)	115,4 ± 15,3 a	115 ± 16,4 a	147,23 ± 25,22 a, b	172,14 ± 21,8 b
CE (μ S/cm)	175 ± 18,9 a	177,2 ± 25,2 a	227 ± 38,9 b	264,58 ± 33,1 b
OD (mg/L)	5,67 ± 0,4 a	5,6 ± 0,63 a	4,78 ± 0,91 b	4,5 ± 1,46 b
DBO ₅ (mg/L)	1,7 ± 0,77 a	1,21 ± 1,14 a	8,9 ± 4,7 b	5,1 ± 1,26 b
P-Total (mg/L)	0,22 ± 0,07 a	0,24 ± 0,05 a	0,56 ± 0,15 b	0,56 ± 0,14 b
P-PO ₄ ⁻³ (mg/L)	0,15 ± 0,07 a	0,13 ± 0,05 a	0,50 ± 0,17 b	0,44 ± 0,11 b
N-NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,09 ± 0,02 c	0,15 ± 0,01 b	0,22 ± 0,05 a	0,21 ± 0,02 a
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	NA	NA	5,2 ± 1,5 a	2,5 ± 0,91 b
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	1,71 ± 0,08 a	2,43 ± 0,79 a	5,26 ± 1,1 b	6,2 ± 2,06 b
<i>E. coli</i> (UFC/100mL)	6715 ± 5830 a	19895 ± 22973 b	56223 ± 37700 c	31521 ± 27697 d
Precipitação (mm)	485,71 ± 16,74	344,4 ± 8,67	519,6 ± 15,12	106,4 ± 6,5
T. média do ar (°C)	20,71 ± 3,1	22,3 ± 1,5	16,9 ± 2,9	14,4 ± 2,6

* Letras diferentes na linha diferem significativamente entre si ao nível de 5% e letras iguais na linha não diferem significativamente ao nível de 5%. **NA: Não Amostrado

Na Figura 4.4 são apresentados os resultados ao longo do arroio da Ronda. Destaca-se que na Figura 4.4, os dados referentes ao N-NO₃⁻ não foram representados na forma de boxplot, pois não houveram quantidade de análises suficientes para esta representação gráfica.

Figura 4.4 - Variação espacial ao longo dos seis pontos de amostragem e do período experimental total



Entre os pontos monitorados, o Ponto 6 apresentou maiores alterações na qualidade de água, pois verificaram-se maiores quantidades de parâmetros em desconformidade ao longo das campanhas, como P-Total, DBO, *E. coli*, N-NH₄⁺ e OD. Os pontos 2 e 5, apesar de apresentarem atividades antrópicas diferentes (Tabela 4.1), obtiveram, em geral, níveis de poluições similares em grande parte dos parâmetros de qualidade de água.

O pH tem papel fundamental no equilíbrio do ecossistema aquático, pois valores extremos podem indicar sinais de degradação provenientes de atividades antrópicas, além de designar os diferentes usos da água (EFFENDI et al., 2015). Ao analisar o pH da água no arroio da Ronda, pode-se observar que durante o período monitorado manteve-se entre 6,0 e 7,0.

A temperatura da água influencia na toxicidade de substâncias presentes e em gases no meio aquático (WANG et al., 2013). No arroio da Ronda, as variações de temperatura da água em todos os locais de amostragem foram atribuídas às alterações climáticas da região de estudo.

Águas com elevada turbidez indicam grande quantidade de partículas suspensas, sejam elas inorgânicas ou orgânicas, de forma que podem vir a serem utilizadas como suporte para crescimento e proliferação de microrganismos patogênicos (von SPERLING, 2014). Os valores de turbidez no arroio da Ronda mantiveram-se significativamente abaixo dos limites permissíveis.

A CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) não estabelece padrões para a condutividade elétrica, entretanto, diversos estudos apontam que este parâmetro de qualidade de água pode ser utilizado em conjunto com outros para averiguar poluentes dissolvidos na água (PRATHUMRATANA et al., 2008). No arroio da Ronda verificou-se que apenas o local próximo a nascente, ponto 1, apresentou valores de CE abaixo de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Em relação a concentrações de STD, o corpo hídrico não apresentou concentrações acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) em nenhum ponto de amostragem ao longo do arroio da Ronda.

A partir da determinação da DBO é possível verificar qual o nível de poluição da água, por meio da medição do consumo de oxigênio por microrganismos a fim de estabilizar a matéria orgânica (BORA; GOSWAMI, 2016; NAUBI et al., 2016). No outono observaram-se concentrações (Tabela 4.3) que, em algumas campanhas, ultrapassaram os limites determinados pela legislação.

Ao longo do corpo hídrico, o Ponto 2 apresentou elevados valores de DBO, que em algumas campanhas registraram valores de até 70 mg/L. Estes níveis de DBO indicam que os despejos de efluentes sem tratamento, que ocorreram a montante por meio de galerias de águas pluviais e tubulações clandestinas, podem ter sido responsáveis pela quantidade de matéria orgânica registrada (MOYEL; HUSSAIN, 2015; SOUZA; GASTALDINI, 2014).

A disponibilidade de oxigênio em águas superficiais sinaliza se o local pode estar impactado por processos antrópicos, além de representar o equilíbrio do ecossistema (EWAID, 2016; SAKSENA et al., 2008). Concentrações de OD no arroio da Ronda apresentaram abaixo de 0,5 mg/L

em algumas campanhas nos pontos 2, 5 e 6. Assim, no arroio da Ronda, as atividades antrópicas que ocorrem a montante dos locais monitorados influenciam diretamente no oxigênio disponível na água.

Elevadas concentrações de *E. coli* podem indicar a presença de microrganismos intestinais provenientes de seres vivos de sangue quente, de forma que contribuam negativamente à saúde da população (EWAIDI, 2016; MASSOUD, 2011). Durante as estações monitoradas, concentrações de *E. coli* no arroio da Ronda apresentaram-se significativamente maiores no outono, todavia, em todas as estações o corpo hídrico apresentou concentrações acima dos limites permitidos pela CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

Ao analisar os pontos de amostragem individualmente, verificou-se que apenas o Ponto 1 apresentou concentrações de *E. coli* em acordo com os valores limites, enquanto os demais estiveram acima dos valores permitidos. O Ponto 2 apresentou maiores concentrações em relação aos demais, e devido a habitações próximas, o corpo hídrico tornou-se um ambiente de risco para a população.

Concentrações em excesso de fósforo e nitrogênio em ambientes aquáticos, podem vir a desencadear problemas como proliferação de algas, eutrofização e, por consequência, redução de oxigênio disponível no corpo hídrico, além da produção de maus odores e redução da biota (VAROL et al., 2012).

Varol et al. (2012) ao monitorarem a qualidade de água do rio Tigris, na Turquia, obtiveram maiores concentrações de N-NO_2^- (0,67 mg/L) em locais com descargas de efluentes. No arroio da Ronda observaram-se concentrações menores que 0,3 mg/L de N-NO_2^- , mantendo-se abaixo dos limites permissíveis (BRASIL, 2005).

Apesar de verificar diferença estatística entre o outono e o inverno, o corpo hídrico não apresentou em nenhuma das campanhas realizadas, concentrações de N-NO_3^- acima das concentrações limitantes (10 mg/L) permitidas na Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

Dentre os pontos monitorados, verificou-se que o ponto 6 apresentou maiores concentrações médias de N-NH_4^+ (10,3 mg/L) em relação aos demais locais monitorados, todavia não ultrapassou os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Possivelmente, o aumento de nitrogênio amoniacal neste local é devido a natureza das atividades antrópicas que ocorrem a montante do Ponto 6, como pecuária e cultivo de diferentes culturas (WANG et al., 2014).

Nesta pesquisa não foi possível realizar o balanço de massa de nitrogênio para verificar a dinâmica dos processos de conversão em suas formas, devido a ausência de dados de entrada deste parâmetro provenientes das fontes antrópicas presentes, sejam elas despejos de efluentes com tratamento e sem tratamento, atividades agrícolas, dentre outras.

P-Total apresentou concentrações acima dos valores limites (0,15 mg/L) estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) durante as quatro estações monitoradas. No outono e no inverno verificaram-se concentrações significativamente maiores das demais estações. Ao analisar os pontos de amostragem, o ponto 6 obteve maiores concentrações, seguidos pelos pontos 2 e 5.

Ainda, apesar da legislação brasileira não limitar concentrações para P-PO_4^{-3} verificou-se que grande parcela do fósforo encontrado na água, provém de compostos fosfatados, e as médias estiveram acima do permitido para P-Total, com exceção do período de verão.

Períodos de alta pluviosidade podem vir a gerar aumento do volume de água e, conseqüentemente, melhorar a capacidade de diluição e autodepuração (MOYEL; HUSSAIN, 2015; von SPERLING, 2014). Devido ao surgimento de uma nova fonte antrópica, como já citado no decorrer do texto, verificar os efeitos da sazonalidade no corpo hídrico em todo o trecho pode trazer resultados pouco elucidativos. Dessa forma, investigaram-se locais distantes dessa fonte antrópica, como os pontos 5 e 6, e foi registrado que períodos de menores precipitação e temperatura no arroio da Ronda corresponderam em maiores níveis de poluição em termos de P-total, *E. coli*,

OD e DBO quando comparadas as campanhas em que registraram maiores valores de temperatura e precipitação (Primavera e Verão).

Durante todo o período amostral notou-se que os pontos 5 e 6 apresentaram elevados níveis de *E. coli*, de P-total e baixos níveis de OD quando comparado aos valores limites dos parâmetros de qualidade de água. Possivelmente, os despejos de efluentes tratados promovidos pela ETE Ronda e a presença de atividades agrícolas, acabam por reduzir o oxigênio disponível e aumentar os níveis de *E. coli* e de compostos fosfatados.

A ETE Ronda possui capacidade de tratamento de 140 L/s e é composta por nível de tratamento preliminar, em que se utilizam gradeamentos, desarenadores e calha Parshall. No nível secundário, o tratamento é por meio de duas unidades de reator tipo RALF. E no nível terciário utiliza-se lagoa de polimento. O lodo é desaguado em 12 leitos de secagem (SHLUSAZ, 2014).

Ao verificar o desempenho desta composição de tratamento em águas residuárias de suinocultura, Rodrigues et al. (2009) observaram que a utilização da lagoa de polimento em conjunto com o reator UASB apresentou remoção de 99,9% de contaminantes fecais. Os autores verificaram que não houve remoção significativa de P-total em todo o sistema, o que resultou em concentrações elevadas deste composto. Assim, devido ao aumento populacional que ocorreu no município de Ponta Grossa, aumentaram as ligações irregulares na ETE Ronda, o que influenciou na eficiência de tratamento e na remoção de organismos patogênicos (REIS, 2014; SCHLUSAZ, 2014).

Em Ponta Grossa são recorrentes problemas com ligações irregulares de esgoto em canalização de águas pluviais como foram observados no arroio da Ronda. Rogalski & Ferreira (2012) realizaram uma análise socioambiental da sub-bacia do rio Olarias, em Ponta Grossa, e notaram a presença desta problemática. Ainda, há locais no município em que se despejam efluentes diretamente no corpo hídrico a partir de ligações clandestinas como ocorre no rio Gertrudes (MENEGUZZO; THOMAZ, 2010)

4.4 CONCLUSÕES

1. Durante o período de amostragem, o arroio da Ronda apresentou sinais de degradação ambiental, devido a atividades antrópicas que ocorrem ao longo da sub-bacia hidrográfica da Ronda.
2. Despejos pontuais de efluentes sem tratamento observados no outono e no inverno influenciaram significativamente na deterioração da qualidade de água.
3. No outono, o corpo hídrico apresentou maiores níveis de poluição quando comparada as demais estações.
4. Os piores níveis de poluição em termos de oxigênio dissolvido, demanda bioquímica do oxigênio, P-Total, $P-PO_4^{3-}$, NH_4^+ e *E. coli* foram observados nos locais em que havia despejos de efluentes a montante (Pontos 2, 5 e 6).
5. P-total, *E. coli*, oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio apresentaram-se em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) para rios de água doce de classe 2 e 3.

4.5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – CAPES, pelo suporte oferecido para o desenvolvimento desta pesquisa. Ao SIMEPAR por fornecer dados meteorológicos da região, e aos laboratórios de Saneamento, Recursos Hídricos e Microbiologia de Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 2015.

ANTUNES, Dinameres Aparecida; RIBEIRO, Selma Regina Aranha. Avaliação das áreas de preservação permanente do Código Florestal Brasileiro na bacia do Arroio da Ronda, Ponta Grossa, Paraná - Brasil. **Atas das I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica**, p.19-34, 2015. Imprensa da Universidade de Coimbra

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. **Diário Oficial [da] União da República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

BORA, Minakshi; GOSWAMI, Dulal C.. Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India. **Applied Water Science**, v. 7, n. 6, p.3125-3135, 27 jul. 2016

BU, Hongmei; MENG, Wei; ZHANG, Yuan. Nitrogen pollution and source identification in the Haicheng River basin in Northeast China. **Science Of The Total Environment**, v. 409, n. 18, p.3394-3402, ago. 2011.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; SABOGAL-PAZ, Lyda Patricia; DODDS, Walter Kennedy. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, v. 94, p.516-524, set. 2016

DIEDRICH, Aleksander Schmidt; ANDRADE FILHO, Alceu Gomes de; BALARIM, Carlos Roberto. ESTUDOS HIDROLÓGICOS E EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NA BACIA DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA – PARANÁ. Publicatio Uepg: **CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA, AGRÁRIAS E ENGENHARIAS**. Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p.25-37, Abr. 2009.

EFFENDI, Hefni; ROMANTO; WARDIATNO, Yusli. Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. **Procedia Environmental Sciences**, [s.l.], v. 24, p.228-237, 2015

EWAID, Salam Hussein. Water quality evaluation of Al-Gharraf river by two water quality indices. **Applied Water Science**. v. 7, n. 7, p.3759-3765, 26 dez. 2016

HILLEL et al., Water quality and discharge of the Lower Jordan River. **Journal Of Hydrology**. v. 527, p.1096-1105, ago. 2016.

LOBATO, T.c. et al. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. **Journal Of Hydrology**, v. 522, p.674-683, mar. 2015

MASSOUD, A. M. Assesment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 184, n. 7, p.4151-4160, 20 ago. 2011.

MENEGUZZO, Paula Mariele; THOMAZ, Edivaldo Lopes. USO DA TERRA NA BACIA DO ARROIO DA RONDA (PONTA GROSSA/PR) E SUA INFLUÊNCIA NOS PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS NO PERÍODO DE 1980 A

2009. Raega - **O Espaço Geográfico em Análise**, v. 20, p.67-79, 31 dez. 2010.

MOYEL, Mohammad Salim; HUSSAIN, Najah Aboud. Water quality assessment of the Shatt al-Arab River, Southern Iraq. **Journal Of Coastal Life Medicine**, v. 3, n. 6, p.459-465, 19 maio 2015.

PARANÁ, Águas. **Plano da Bacia do Rio Tibagi**: Produto 05: Proposta de Enquadramento. Curitiba: Cobrape, 2015. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/TIBAGI/plano_de_bacia/Produto_05_Proposta_de_Enquadramento___Revisao_5.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016.

PRATHUMRATANA, Lunchakorn; STHIANNOPKAO, Suthipong; KIM, Kyoung Woong. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. **Environment International**, [s.l.], v. 34, n. 6, p.860-866, ago. 2008.

REIS, Elaine Rafaela Machado Benndorf Pereira; ZIMMERMANN., Ciro Maurício. **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DO ARROIO DA RONDA NA CIDADE DE PONTA GROSSA**. 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

RODRIGUES, L.s. et al. Avaliação de desempenho de lagoa de polimento para pós-tratamento de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 6, p.1428-1433, dez. 2009.

ROGALSKI, Sérgio Ricardo; FERREIRA, Everaldo Skalinski. Análise socioambiental da sub-bacia 02 do arroio Olarias do município de Ponta Grossa – PR, com o uso das geotecnologias. **Ateliê Geográfico**, v. 6, n. 2, p. 75-94.

SANTOS, Edilene. Reclassificação de rios é tema de debate na UEPG. **Diários dos Campos**, Ponta Grossa, 22 jul. 2015.

SARDINHA, Diego de Souza et al. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do ribeirão do meio, Leme (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, n. 3, p.329-338, set. 2008.

SAKSENA DN, GARG RK, RAO RJ. Water quality and pollution status of Chambal River in National Chambal Sanctuary, Madhya Pradesh. **Journal of Environmental Biology** 2008; 29 (5): 701-10.

SCHLUSAZ, Maiara. **Avaliação da Eficiência da Estação De Tratamento de Efluentes (Ete – Ronda, Ponta Grossa – Pr) Através da Análise De Parâmetros Físico-Químicos**. 2014. 82f. Monografia (Bacharel em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

SOUZA, M., GASTALDINI, M. Avaliação de qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 19, n.3, p. 263-274, 2014.

VAROL, M. et al. WATER QUALITY ASSESSMENT AND APPORTIONMENT OF POLLUTION SOURCES OF TIGRIS RIVER (TURKEY) USING MULTIVARIATE STATISTICAL TECHNIQUES-A CASE STUDY. **River Research And Applications**, v. 28, n. 9, p.1428-1438, 10 maio 2012.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

YAN, C. A. et al. Assessment of water quality and Identification of polluted risky regions based on field observations and GIS in the Honghe River Watershed, China. **PLOS ONE**, v.10, n.3. 2015.

WANG, Yi et al. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin region, China. **Journal Of Hydro-environment Research**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.30-40, mar. 2013.

WANG, et al. Relationships between regional economic sectors and water use in a water-scarce area in China: A quantitative analysis. **Journal of Hidrology**, v. 15, n. 8.p. 180-190. 2014.

World Health Organization (WHO) (2008) Guidelines for drinkingwater quality, 3rd edn, incorporating the first and second addenda, Vol 1—Recommendations. Geneva

5. ARTIGO II

IMPACTOS DE DESPEJOS DE EFLUENTES DOMÉSTICOS NOS ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA NO ARROIO DA RONDA, PONTA GROSSA, PARANÁ

Highlights: - A qualidade de água apresentou variação significativa após presença de despejos de efluentes;

- Concentrações de *E. coli*, P-total, DBO, oxigênio dissolvido e N-NH_4^+ apresentaram em desconformidade com a CONAMA nº 357;

- Os índices de qualidade de água apresentaram-se semelhantes ao indicar os locais com maiores e menores níveis de poluição;

Resumo: Atividades antrópicas são responsáveis por alterar diretamente a qualidade de água de corpos hídricos. Assim, devido a esta problemática e as diferentes variáveis necessárias para avaliar as alterações no ambiente aquático, diversas metodologias são desenvolvidas para auxiliar na interpretação dos dados. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo aplicar índices de qualidade: IQA_{CCME} , $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$, e o CPI para verificar as alterações provenientes de despejos de efluentes domésticos no arroio da Ronda. O arroio da Ronda localiza-se em Ponta Grossa, no estado do Paraná e durante seu percurso são verificadas ocupações no entorno, ausência de vegetação, resíduos de construção civil no leito do corpo hídrico, a presença de uma estação de tratamento de esgoto, despejos de efluentes sem tratamento, atividades agrícolas, dentre outras. Os resultados indicaram que antes de iniciarem despejos de efluentes sem tratamento, o corpo hídrico apresentou qualidade de água excelente, regular e ruim para o IQA_{CCME} , $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$ e CPI, respectivamente. Dentre os pontos de amostragem, dois pontos foram destacados: o local onde foi identificado despejo de efluente sem tratamento (Ron 2), possivelmente esgoto sanitário, em que apresentou uma queda significativa na qualidade de água, em todos os índices, sendo classificado como ruim, regular e péssimo pelo IQA_{CCME} , $\text{IQA}_{\text{CETESB}}$ e CPI, respectivamente, e, o local com despejos de efluentes tratados provenientes da ETE Ronda (Ron 5) em que a qualidade de água era considerada entre ruim e péssima por todos os índices. O local em que estava a jusante do início dos despejos do esgoto sem tratamento (Ron 2) foi o mais afetado, de forma que apresentou pior qualidade de água quando comparada aos pontos que estavam a jusante da ETE Ronda. Durante as campanhas, os índices apresentaram as mesmas tendências na qualidade de água, apesar de classificações diferentes. Em relação aos pontos de amostragem foram observados que todos os índices utilizados indicaram a melhor qualidade de água próxima a nascente, e a pior qualidade de água, em locais em que a montante havia despejos de efluentes. *E. coli*, P-total, OD, DBO e N-NH_4^+ apresentaram concentrações em

desconformidade com a CONAMA nº 357. Assim, de acordo com os índices de qualidade de água, ao longo de seu percurso, o arroio da Ronda apresentou sinais de impactos derivados de fontes antrópicas.

Palavras – chave: IQA_{CCME}; IQA_{CETESB}; CPI; poluição das águas; água superficial

5.1 INTRODUÇÃO

Em geral, os mananciais são utilizados para sustentar a qualidade de vida da sociedade, devido aos baixos custos para retirada de água quando comparada a outras fontes (BORA; GOWASAMI, 2016). Dentre seus usos, pode-se destacar: abastecimento municipal e industrial, dessedentação de animais, irrigação, geração de energia elétrica, recreação, destino final de efluentes, dentre outros (LIU et al., 2015; MASSOUD, 2011).

Todavia, a somatória de usos da água, a exploração acentuada, a falta de gerenciamento de recursos hídricos e o aumento populacional ocorrido nas últimas décadas acarretaram na degradação dos corpos hídricos (HILLEL et al., 2016), especialmente em áreas urbanas (CUNHA et al., 2017). Diversos estudos indicaram que despejos de efluentes domésticos e industriais, atividades agrícolas, ocupações urbanas no entorno, degradação ou ausência de vegetação ripária, dentre outras alteram significativamente a qualidade de água (CUNHA et al., 2017; MASSOUD, 2011; MEDEIROS et al., 2017; MOYEL; HUSSAIN, 2015)

Dessa forma, tornam-se imprescindíveis investimentos na recuperação, manutenção e preservação de mananciais para melhorar a qualidade de vida da população, que tem presente em seus ambientes rios e arroios, preservar o meio ambiente e auxiliar nas tomadas de decisões políticas (SOUZA; GASTALDINI, 2014; WANG et al., 2014; WONG; HU, 2013; VAROL et al., 2012).

A fim de atingir tais metas, a identificação da atual condição do corpo hídrico é necessária para verificar quais medidas devem ser tomadas (BU et al., 2011; CHANG 2008; HUANG et al., 2009). Para isso, é necessário um monitoramento temporal e espacial com indicadores físico-químicos e

biológicos que caracterizem as condições da água (LOBATO et al., 2015), aliadas á observações a campo (YAN et al., 2015).

Porém, devido a inúmeras variáveis e critérios, faz-se o uso de metodologias que sintetizem os diferentes indicadores adotados em um único valor que expresse a qualidade de água em termos simples (BARTHI; KATYAL, 2011; BORA; GOWASAMI, 2016; BOYACIOGLU, 2009; EWAID, 2016; MOYEL; HUSSAIN, 2015). Dentre as ferramentas utilizadas podem-se citar: *Complex Pollution Index* - CPI (YAN et al., 2015), índice de qualidade de água desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* e adaptado pela Companhia de Tecnologia de São Paulo - IQA_{CETESB} (MEDEIROS et al., 2017), método AHP (DO; LO; THI, 2012) e o índice de qualidade de água desenvolvido pelo *Canadian Council of Minister of the Environmental* -IQA_{CCME} (MOYEL; HUSSAIN, 2015).

Entretanto, alguns pesquisadores verificaram que somente a utilização de índices de qualidade de água podem não elucidar alguns dados em razão da quantidade de informações sintetizadas (MASSOUD, 2011; YAN et al., 2015). Portanto, a aplicação de análises multivariadas (Análise de Componentes Principais e Análise de *Cluster* ou Grupos) em conjunto com índices de qualidade de água pode vir a auxiliar na interpretação da qualidade de água e do estado ecológico e trófico do ecossistema (WU et al., 2015).

Assim, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o impacto na qualidade de água do arroio da Ronda antes e depois de despejos irregulares de efluentes domésticos sem tratamento, a partir da utilização do CPI, do IQA_{CCME} e do IQA_{CETESB}.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

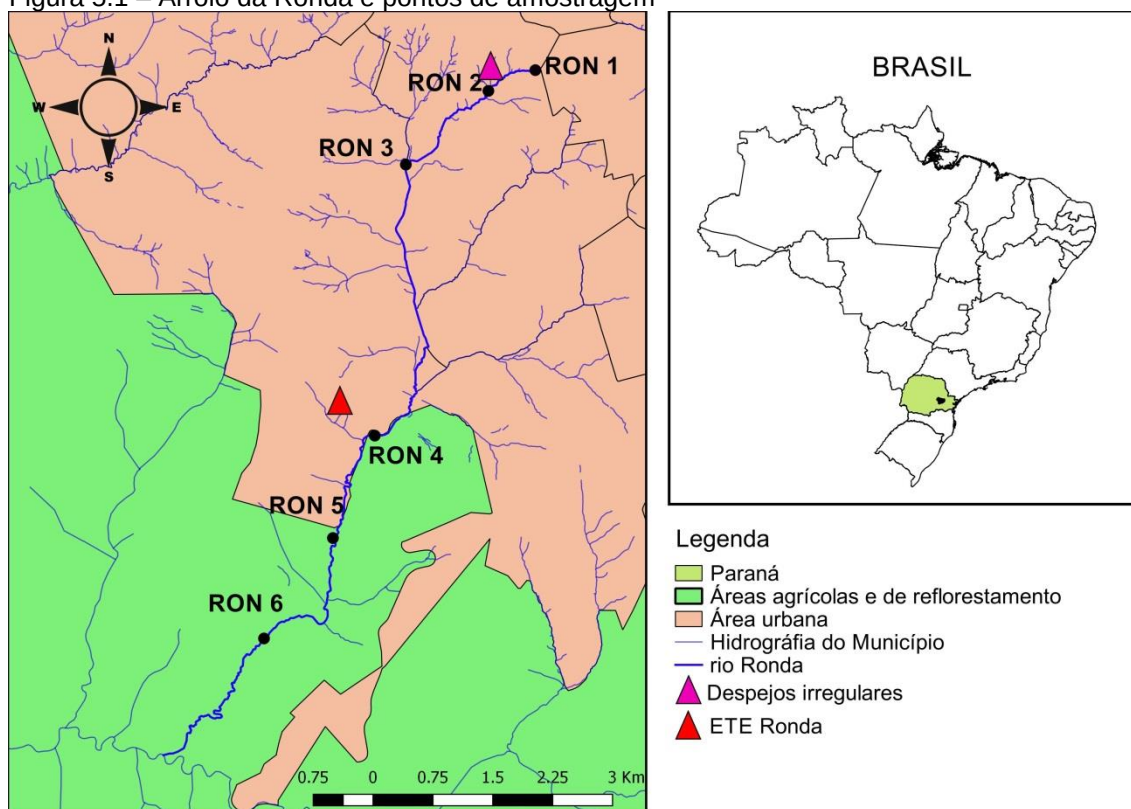
5.2.1 Área de estudo

O município de Ponta Grossa localiza-se na região sudoeste do Paraná, a 117 km de Curitiba, capital paranaense. A cidade possui mais de 150 km de curso hídrico e a população é estimada em 342.332 habitantes (IPARDES, 2018). De acordo com a classificação de Köeppen, o clima do

município é Cfb, em que constitui locais com verões frescos e não apresentam estações de seca definidas (PARANÁ, 2015).

A bacia hidrográfica da Ronda possui uma área total de 36,83 km², que dividem se em áreas urbanas (27,51 km²) onde se encontra a nascente e áreas rurais (9,32 km²) onde se localiza sua foz (MENEGUZZO; THOMAZ, 2010). O arroio da Ronda é considerado de quinta ordem e é um dos afluentes do rio Tibagi, um dos principais corpos hídricos paranaenses. Ao longo de seu percurso, o corpo hídrico possui duas classificações em relação ao enquadramento de corpos hídricos de água doce da Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) em que dividem um trecho na classe 2 (contendo os pontos monitorados denominados de Ron 1, Ron 2, Ron 3, Ron 4) e o trecho restante na classe 3 (Ron 5 e Ron 6). Os pontos estão apresentados na Figura 5.1, bem como o trecho monitorado na bacia hidrográfica.

Figura 5.1 – Arroio da Ronda e pontos de amostragem



Fonte: o Autor (2018)

Para o monitoramento do arroio foram determinados inicialmente 5 pontos de amostragem e a partir da campanha 7, foi adicionado um novo ponto

de amostragem, o Ron6, (Figura 5.1). Os locais foram definidos a partir de pesquisas em mapas cartográficos e visitas de campo, para verificar as características locais como atividades antrópicas presentes, caracterização geográfica e ambiental.

Dentre as atividades e processos antrópicos, podem-se citar: rodovias, áreas impermeabilizadas (21,69 km²) (DIEDRICHS et al., 2009), ocupações regulares e irregulares, estação de tratamento de esgoto, cultivo de culturas e pecuária, existência de tubulações clandestinas que direcionavam efluentes domésticos sem tratamento para o arroio da Ronda e por galerias de águas pluviais. Esses despejos sem tratamento foram observados a montante do segundo ponto de amostragem no início de março. Visualmente, as características organolépticas do arroio da Ronda apresentaram alterações.

5.2.2 Procedimento de coletas e análise de parâmetros

As amostras de água foram retiradas da metade da profundidade da água de cada local. Para a coleta foram utilizados recipientes de polietileno esterilizados conforme *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2015) com capacidade de 1,0 L para análises físico-químicas, e de 0,5 L para análises microbiológicas. Os frascos foram armazenados em caixas térmicas e refrigerados (± 4 °C) até o transporte ao laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Os parâmetros físicos como pH, condutividade elétrica (CE), temperatura da água (T), oxigênio dissolvido (OD) e sólidos totais dissolvidos (STD) foram medidos imediatamente no local da coleta a partir da sonda multiparâmetros. Os demais parâmetros foram determinados de acordo com as metodologias descritas em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2015).

1.1.1 Estimativa dos Índices de Qualidade de Água

Os parâmetros de qualidade de água e as metodologias utilizadas para cálculo dos índices estão descritos na Tabela 5.1. O N-NO_3^- foi analisado,

todavia o parâmetro não foi adicionado aos índices de qualidade de água devido ao número amostral menor que os demais (n=8).

Os índices foram aplicados em cada ponto de amostragem apresentados na Figura 5.1. Em seguida, os resultados obtidos foram avaliados de acordo com as observações visuais, valores de referência das legislações atuais e demais análises. Destaca-se que a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) estabelece limites para coliformes termotolerantes, e que a *E. coli* pode ser utilizada em substituição ao parâmetro de coliformes termotolerantes.

Tabela 5.1 - Relação de parâmetros utilizados na estimativa dos índices de qualidade avaliados nas respectivas metodologias

Parâmetros	Índices		
	IQA _{CCME}	IQA _{CETESB}	CPI
pH, Turbidez, OD, DBO, N-NH ₄ ⁺ , P-total, <i>E. coli</i>			
SDT, P-PO ₄ ⁻³ , N-NO ₂ ⁻			
ST, Temperatura			
Nº total de parâmetros	10	9	10

- **IQA_{CCME}**: Para a determinação do IQA_{CCME} aplicou-se a seguinte equação:

$$IQA_{CCME} = 100 - \frac{\sqrt{(F1^2)+(F2^2)+(F3^2)}}{1,732} \quad (1)$$

IQA_{CCME} corresponde ao coeficiente (varia entre 0 a 100) de qualidade de água a partir da Tabela 5.2; F1 corresponde aos números de parâmetros em não conformidade com os respectivos limites da legislação utilizada; F2 é o número de frequência de análises que se apresentou acima dos limites permissíveis; F3 abrange as discrepâncias observadas ao longo das análises e parâmetros monitorados (CCME, 2001). A legislação utilizada como valor máximo permitido do IQA_{CCME} foi a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), classes 2 e 3 de acordo com o ponto.

- **IQA_{CETESB}**: Na Equação 2 é apresentado o cálculo para este índice.

$$IQA_{CETESB} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2)$$

O coeficiente gerado pode variar entre 0 e 100; q_i refere-se a qualidade do i -ésimo parâmetro; w_i corresponde ao peso do i -ésimo parâmetro de qualidade de água (CETESB, 2017).

Para as coletas em que não houve análises de *E. coli*, o peso dos parâmetros foi distribuído para os demais indicadores.

- **CPI**: foi desenvolvido devido ao complexo processo referente à quantificação da qualidade das águas superficiais. A partir do uso desta metodologia é possível verificar a condição do corpo hídrico em relação aos poluentes e os limites permitidos pela resolução local (YAN et al., 2015). Para o desenvolvimento do CPI realiza-se o cálculo por meio da Equação 3.

$$P = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{S_i} \quad (3)$$

Onde, P representa o nível de poluição do corpo hídrico conforme a Tabela 5.2; C_i são as médias das concentrações com as suas respectivas unidades; S_i é o limite utilizado para cada parâmetro de qualidade de água, o qual neste trabalho será referente a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005); n é o número de parâmetros de qualidade de água utilizados.

A partir dos valores gerados, verifica-se a Tabela 5.2 para classificar a qualidade das águas superficiais.

Tabela 5.2 - Classificação da qualidade de água com base nos índices utilizados

CPI	IQA_{CCME}	IQA_{CETESB}	Consideração qualitativa
$0 < P \leq 0,2$	-	-	Ótima
$0,2 < P \leq 0,4$	$95 < IQA \leq 100$	$80 < IQA \leq 100$	Excelente
$0,4 < P \leq 0,7$	$80 < IQA \leq 94$	$52 < IQA \leq 79$	Boa
$0,7 < P \leq 1,0$	$65 < IQA \leq 79$	$37 < IQA \leq 51$	Regular
$1,0 < P \leq 2$	$44 < IQA \leq 64$	$20 < IQA \leq 36$	Ruim
$2,0 < P$	$0 < IQA \leq 44$	$IQA \leq 20$	Péssima

5.2.3 Análise estatística

A análise estatística descritiva foi aplicada no corpo hídrico antes e depois do início de uma fonte pontual de despejos de efluentes sem tratamento. Os testes de normalidade foram realizados com um nível de confiança de $\alpha=95\%$ em que H_0 referia-se para distribuições normais e H_1 para distribuições não normais. Aplicaram-se os o teste t e Wilcoxon para amostras normais e não normais, respectivamente.

A análise de *Cluster* ou agrupamentos foi utilizada para agrupar campanhas em que foi observada a presença ou não de despejos de efluentes sem tratamento que se iniciaram em meados de março a montante do segundo ponto de amostragem. Os resultados auxiliaram na verificação de grupos a partir das concentrações observadas em cada campanha (ZHENG; YU; WANG et al., 2014), e a partir do dendograma foi possível visualizar os agrupamentos obtidos ao longo dos períodos de amostragem (ALBERTO et al., 2000). Para esta pesquisa foi aplicada a análise de *Cluster* a partir dos dados normalizados, utilizando a distância Euclidiana ($D_{link}/D_{máx}$).

Análise de Componentes Principais foi utilizada para verificar as diferentes classificações de qualidade de água obtida ao longo dos pontos de amostragem antes e depois dos despejos de efluentes sem tratamento, a partir de componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais, de forma a perder o mínimo de informações possíveis (MEDEIROS et al., 2017; OUYANG, 2005; WU et al., 2015).

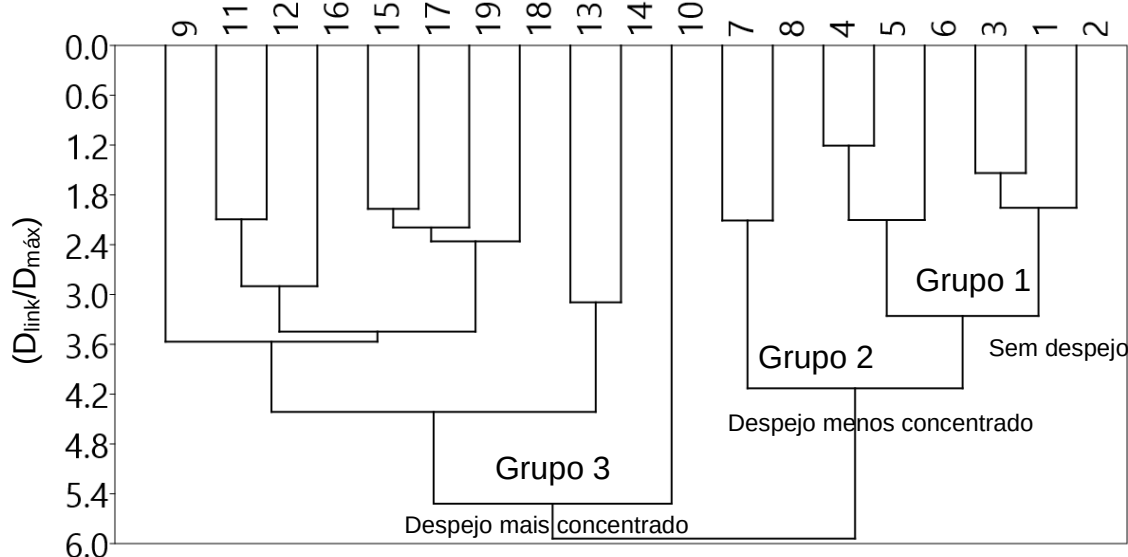
As análises descritivas e multivariadas foram realizadas por meio dos *softwares* livres, R e *PAST* 3.19.

5.3 RESULTADOS

A partir dos resultados gerados pela análise de Cluster verificou-se que as campanhas foram agrupadas em 3 grupos distintos que podem ser observados no dendograma da Figura 5.2. Os agrupamentos obtidos indicam a presença de despejos de efluentes sem tratamento, bem como se o efluente estava diluído em águas pluviais ou eram despejados diretamente no corpo

hídrico. No grupo 1 foram agrupadas as campanhas em que se registraram menores níveis de poluição no corpo hídrico em relação as demais, e não eram observados despejos de efluentes sem tratamento a montante do segundo ponto de amostragem. No grupo 2 verificaram-se alterações significativas na qualidade de água que eram causados devido a despejos de efluentes diluídos em galerias de águas pluviais. E o grupo 3 em que foram registradas maiores concentrações de poluentes em relação aos demais grupos por despejos de efluentes sem tratamento.

Figura 5.2 - Dendograma dos agrupamentos das campanhas realizadas ao longo de outubro de 2016 a setembro de 2017, valores médios de 6 pontos dos resultados dos parâmetros.

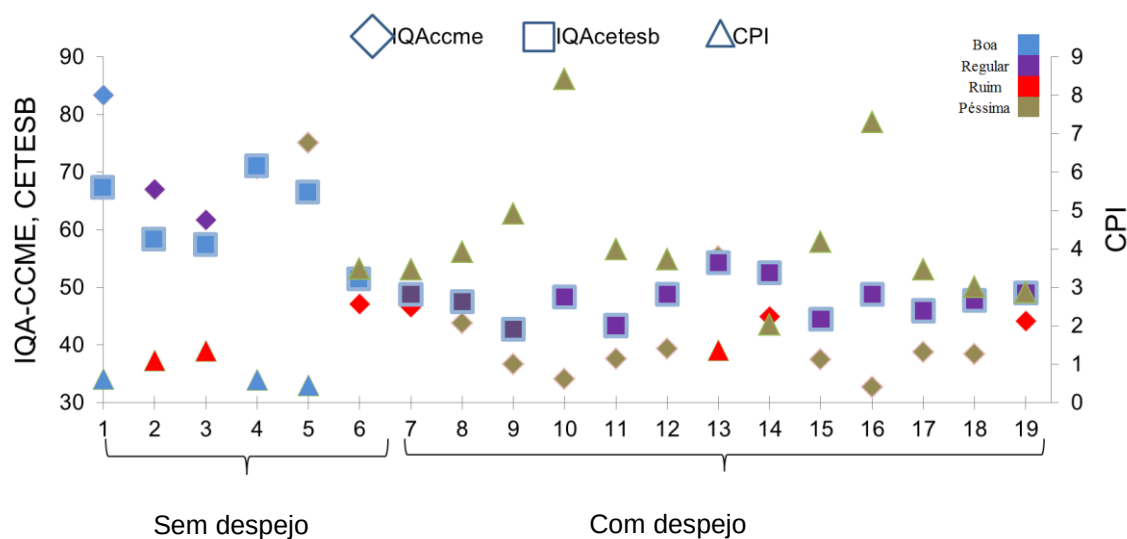


Nas 6 primeiras campanhas, onde foram obtidos melhores índices de qualidade de água em todos os pontos, a temperatura média foi de 23,9 °C e precipitação média de 99,3 mm em cada campanha. Nas demais campanhas, a temperatura diminuiu, sendo em média de 18°C e precipitação média de 54,3mm.

A Figura 5.3 apresenta os índices de qualidade ao longo das campanhas de amostragem. Os despejos de efluentes se iniciaram na campanha 7, todavia observa-se que já na campanha 6, os índices indicaram que a qualidade de água havia diminuído. No CPI, a campanha 10 foi registrada como a pior ($CPI = 8,4$). O IQA_{CCME} indicou que a pior qualidade de água foi na campanha 16 ($IQA_{CCME} = 32$). E o IQA_{CETESB} demonstrou pior

classificação de qualidade de água ($IQA_{CETESB} = 42$) na campanha 9. Apesar de não coincidentes nas datas de campanhas, todos os índices indicaram as piores qualidades na época em que se observaram despejos irregulares.

Figura 5.3 - Índices de qualidade de água o longo das coletas de água (SD: Campanhas sem despejos de efluentes irregulares; CD: campanhas com despejos de efluentes irregulares)

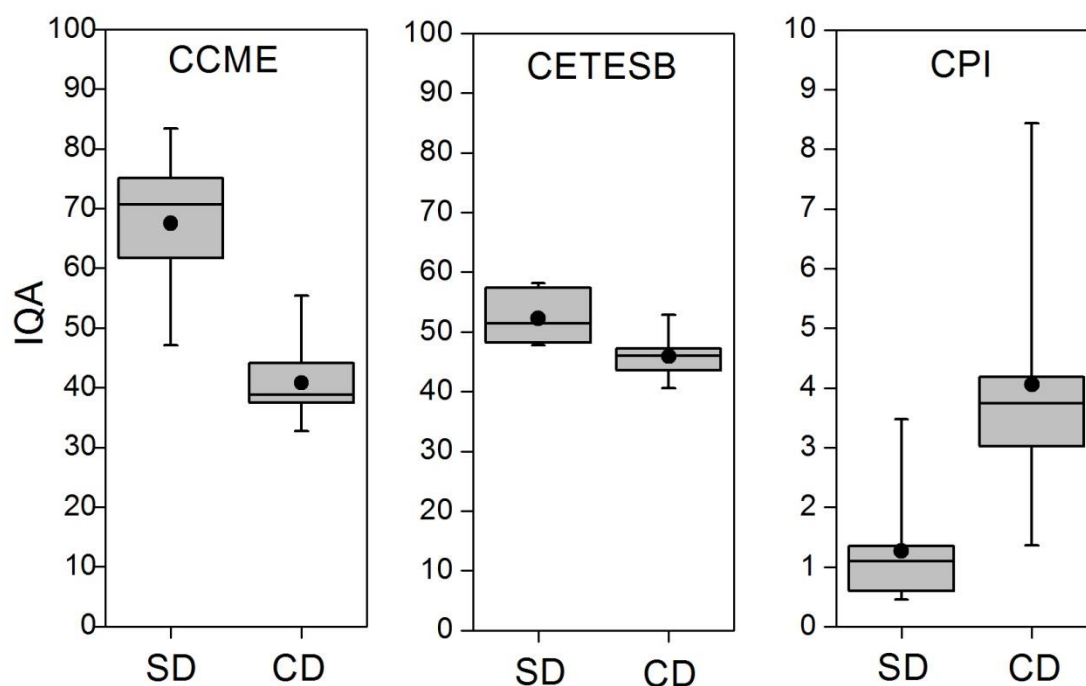


Dentre os parâmetros utilizados para calcular os índices de qualidade de água, verificaram-se que em geral *E. coli*, P-total e OD apresentaram maiores impactos no IQA_{CETESB} . Para o IQA_{CCME} , parâmetros como *E. coli* e P-total que possuíam um grande número de análises em desconformidade com a resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) para rios de água doce de classe 2 e 3. E no CPI *E. coli* apresentou maior influência devido a elevadas concentrações observadas em relação aos limites estabelecidos pela CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

Os dados do IQA_{CCME} , na Figura 5.4, indicaram que no primeiro período de amostragem, sem despejos irregulares, a qualidade de água variou de 47,11 a 83,38 (Tabela 5.3), de forma que em 16,7% dos dados foi classificada como boa, 66,7% consiste na classificação como regular e 16,7% ruim. Após os despejos de efluentes, a qualidade de água variou no intervalo entre 32,70 a 55,38 em que 30,76% dos dados como ruim e o restante como péssima.

O IQA_{CETESB} apresentou variação na qualidade de água entre 51 a 72 (Tabela 5.3), assim, 50% dos dados com qualidade boa e 50% dos dados como regular antes de despejos de efluentes irregulares. No segundo período de monitoramento, o índice variou entre 40 a 53 de forma que 10,5% dos dados apresentaram qualidade de água boa, enquanto o restante foi classificada como regular.

Figura 5.4 - Comparação dos índices de qualidade de água antes (SD - sem despejo) e depois (CD - com despejos) de despejos de efluentes.



De acordo com o CPI, a qualidade de água foi classificada entre 0,44 a 3,48 (Tabela 5.3), portanto 33,3% dos dados revelaram que a qualidade de água estava boa, 33,33% classificaram como regular, 16,6% como ruim e 16,6% como péssima. Após os despejos de efluentes, a qualidade de água foi entre 1,36 a 4,8, assim 5,3% como ruim e o restante como péssima.

Os resultados da Tabela 5.3 revelaram que a qualidade de água do corpo hídrico apresentou diferenças significativas após despejos de efluentes sem tratamento, com exceção de pH e *E. coli*. No primeiro período, registraram concentrações de P-total e *E. coli* acima dos limites permitidos pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) para rios de água doce de classe 3, que são 0,15 mg/L e 2500 UFC/100mL, respectivamente. Após os despejos de

efluentes, *E. coli*, P-total, N-NH_4^+ , oxigênio dissolvido e DBO apresentaram concentrações acima de 2500 UFC/100mL, 0,15 mg/L, 13,3 mg/L, 10 mg/L e concentrações abaixo de 4 mg/L, respectivamente, o que caracterizam em desconformidade com a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

Tabela 5.3 - Estatística descritiva das variáveis temperatura e precipitação, dos parâmetros e índices de qualidade de água (SD – sem despejo irregular e CD – com despejo irregular)

Variáveis	Unidades	SD					CD					P-Value
		N	Média	DP	Máx	Mín	N	Média	DP	Máx	Mín	
Precipitação	mm	137	99,4	86,3	229	0,96	194	53,8	78,7	236	0	0,76
Temperatura	°C	137	23,8	1,9	25,4	20,5	194	17,9	4,1	25,2	11,9	0,00001
pH	-	30	6,53	0,39	7,0	6,1	77	6,32	0,12	6,4	6,3	0,45
Temperatura da água	°C	30	21,20	1,68	23,20	19,60	77	18,02	2,42	23,10	13,90	0,01*
Turbidez	NTU	30	19,69	18,87	25,50	13,87	77	13,08	14,10	29,90	4,60	0,06
STD	mg/L	30	111,50	21,73	130,00	99,00	77	161,87	41,46	199,00	114,00	0,0003*
ST	g/L	30	0,34	0,59	0,66	0,12	77	0,10	0,33	0,13	0,06	0,005*
CE	µS/cm	30	163,77	32,98	191,20	154,20	77	250,47	65,87	312,30	176,60	0,0002*
OD	mg/L	30	5,77	2,25	6,20	5,20	77	4,43	3,03	6,50	2,80	0,02*
DBO	mg/L	30	1,19	3,00	2,60	0,00	77	6,51	11,97	15,00	2,70	0,0007*
P-total	mg/L	30	0,24	0,24	0,29	0,15	77	0,56	0,43	0,82	0,23	0,00001*
P-inorg.	mg/L	30	0,15	0,19	0,21	0,07	77	0,46	0,38	0,66	0,11	0,0006*
N-NO ₂ ⁻	mg/L	30	0,10	0,08	0,17	0,06	77	0,22	0,14	0,30	0,17	0,000005*
N-NO ₃ ⁻	mg/L	-	NA	-	-	-	10	3,9	1,8	7	1,3	-
N-NH ₄ ⁺	mg/L	30	1,88	1,48	2,23	1,60	77	5,91	4,38	9,30	3,50	0,0001*
<i>E. coli</i>	UFC/100mL	30	10367	23085	39980	9660	77	39312	64804	122280	7916	0,52
IQA _{CCME}	-	30	81,17	23,49	83,38	47,11	77	53,99	20,96	55,38	32,70	0,000006*
IQA _{CETESB}	-	30	61,97	15,23	71,22	51,81	77	45,82	16,21	52,90	40,52	0,003*
CPI	-	30	1,27	1,76	3,48	0,45	77	4,06	5,19	8,43	1,36	0,004*

*Concentrações que apresentaram diferenças significativas; N: Número de análises; DP: Desvio padrão; *Valores que apresentaram diferenças estatísticas entre os períodos monitorados. *NA: Não amostrado.

Na Tabela 5.4, 5.5 e 5.6 estão apresentados os pesos dos parâmetros de qualidade de água utilizados para o cálculo do IQA_{CETESB} . Os parâmetros que mais influenciaram o cálculo do IQA ao longo dos pontos de amostragem foram P-total, oxigênio dissolvido, DBO, *E. coli* e $N-NH_4^+$. Verifica-se que o ponto com maior nível de poluentes, antes dos despejos de efluentes, é o ponto Ron5. Enquanto após os despejos, os pontos Ron2, Ron5 e Ron6 apresentaram menores pesos para os respectivos parâmetros.

Tabela 5.4 - Pesos (q) dos parâmetros químicos e biológicos de qualidade de água durante o período experimental usados para calcular o IQA_{CETESB}

Grupo	Campanha	Variável Química e Biológica											
		Nitrogênio amoniacal						<i>E. coli</i>					
		Ron1	Ron2	Ron3	Ron4	Ron5	Ron6	Ron1	Ron2	Ron3	Ron4	Ron5	Ron6
SD	1	98	97	78	91	71	NA	16	14	6	8	7	NA
	2	97	97	78	92	75	NA	18	13	7	9	5	NA
	3	97	97	77	94	75	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	4	97	96	77	93	73	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
	5	100	89	74	88	67	NA	18	4	7	10	4	NA
	6	91	81	89	86	75	NA	19	4	7	8	4	NA
CD	7	100	64	72	75	68	NA	17	4	7	9	4	NA
	8	89	77	71	56	56	58	21	4	7	8	4	4
	9	89	51	62	57	56	55	23	4	4	5	4	4
	10	98	57	83	96	63	64	22	3	6	8	4	8
	11	100	67	66	84	47	46	23	4	4	9	5	6
	12	100	60	70	85	52	52	21	6	9	15	8	10
	13	94	54	75	83	67	65	26	4	7	13	6	7
	14	99	70	80	98	55	51	22	4	4	13	4	4
	15	99	58	57	76	46	49	32	5	5	9	9	10
	16	98	65	61	68	48	46	34	4	9	6	16	16
	17	100	53	53	61	47	50	34	4	9	6	6	6
	18	100	58	59	71	53	58	21	4	8	9	14	14
	19	94	53	58	70	60	46	28	4	5	21	11	7

NA: Não Analisada

Tabela 5.5 - Pesos (q) dos parâmetros físicos de qualidade de água durante o período experimental usados para calcular o IQA_{CETESB}

Grupo	Campanha	Variáveis Físicas																	
		pH						Turbidez						ST					
		Ron1	Ron2	Ron3	Ron4	Ron5	Ron6	Ron1	Ron2	Ron3	Ron4	Ron5	Ron6	Ron1	Ron2	Ron3	Ron4	Ron5	Ron6
SD	1	46	53	49	56	77	NA	95	88	61	51	33	NA	82	85	86	80	80	NA
	2	88	100	98	98	97	NA	93	86	76	56	33	NA	77	81	81	80	81	NA
	3	99	92	70	98	95	NA	94	86	60	49	33	NA	80	80	80	80	80	NA
	4	68	71	69	65	66	NA	94	87	62	50	34	NA	80	80	80	80	80	NA
	5	68	68	68	64	64	NA	94	85	60	49	33	NA	80	80	80	80	80	NA
	6	64	64	68	64	68	NA	94	32	51	46	33	NA	80	80	80	80	80	NA
CD	7	64	64	72	60	64	NA	96	35	70	46	32	NA	80	80	80	80	80	NA
	8	68	60	64	60	64	60	96	36	73	74	43	44	80	80	80	80	80	80
	9	68	60	60	64	60	60	96	33	74	82	43	44	80	80	80	80	80	80
	10	72	64	68	68	60	64	97	33	81	81	46	46	80	80	80	80	80	80
	11	68	64	64	72	64	64	81	63	71	54	76	79	80	80	80	80	80	80
	12	64	60	64	77	68	68	79	59	65	63	70	70	80	80	80	80	80	80
	13	72	56	60	64	68	72	80	55	85	84	74	71	80	80	80	80	80	80
	14	72	60	60	60	64	68	95	75	96	88	79	78	80	80	80	80	80	80
	15	72	56	60	64	68	72	84	42	86	90	82	82	80	80	80	80	80	80
	16	72	56	60	64	68	72	63	88	86	75	80	81	80	80	80	80	80	80
	17	72	60	60	60	64	68	63	55	55	54	55	56	80	80	80	80	80	80
	18	77	60	64	64	64	68	49	59	70	80	85	63	80	80	80	80	80	80
	19	72	68	68	72	60	60	36	45	79	75	77	72	80	80	80	80	80	80

NA: Não Analisada; A temperatura foi considerada 94 para todos os pontos devido a baixa variação entre os pontos de amostragem durante as campanhas

Tabela 5.6 - Pesos (q) dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água durante o período experimental usado para calcular o IQ_{CETESB}

Grupo	Campanha	Variáveis Físicas e Químicas																	
		OD						DBO						P-total					
		Ron1	Ron2	Ron3	Ron4	Ron5	Ron6	Ron1	Ron2	Ron3	Ron4	Ron5	Ron6	Ron1	Ron2	Ron3	Ron4	Ron5	Ron6
SD	1	86	52	66	67	6	NA	100	100	100	100	70	NA	96	75	80	65	10	NA
	2	87	88	69	70	10	NA	100	100	100	100	77	NA	99	81	77	84	23	NA
	3	87	88	69	70	10	NA	100	100	100	100	81	NA	99	69	17	71	19	NA
	4	87	88	60	73	16	NA	100	100	100	100	100	NA	99	68	17	71	21	NA
	5	87	88	60	73	16	NA	100	100	100	100	82	NA	99	84	38	85	27	NA
	6	84	76	65	76	15	NA	100	100	100	100	85	NA	86	25	74	22	56	NA
CD	7	81	32	52	60	13	NA	100	77	100	100	80	NA	91	29	57	58	43	NA
	8	97	15	88	60	9	13	100	75	100	100	79	66	75	16	47	15	58	15
	9	88	2	40	52	8	12	100	5	86	100	73	44	99	3	34	67	9	8
	10	97	44	78	88	19	20	100	1	51	100	71	51	99	3	85	81	61	10
	11	97	8	22	78	6	13	100	2	59	100	72	59	99	6	16	43	3	3
	12	87	46	81	85	18	20	100	4	100	100	83	87	99	8	17	60	5	6
	13	88	68	78	88	19	22	100	8	100	100	94	100	99	5	50	87	24	27
	14	88	21	89	80	17	18	100	30	100	100	81	75	99	10	57	93	14	12
	15	87	6	25	70	10	18	100	16	67	100	78	63	99	5	15	45	4	4
	16	87	25	53	81	10	20	100	89	94	98	89	89	99	18	44	81	11	10
	17	87	3	69	70	10	21	100	89	94	97	87	87	99	15	43	68	5	5
	18	87	88	69	70	2	3	100	6	48	100	86	63	91	5	20	26	17	7
	19	87	88	69	70	10	10	100	9	100	100	72	100	77	8	11	22	3	3

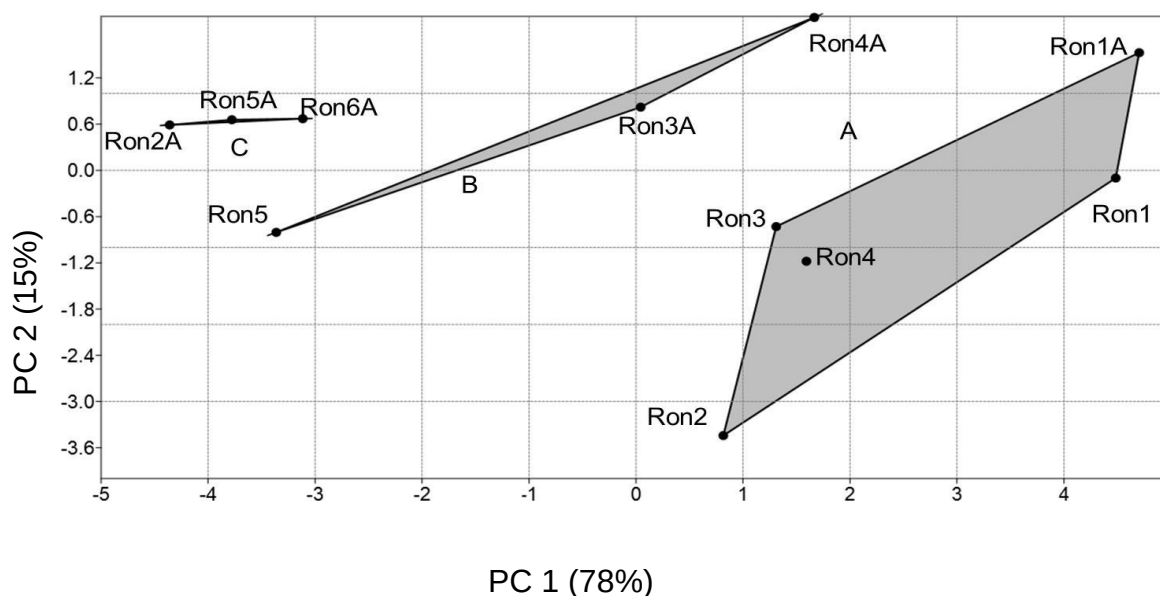
NA: Não Analisada

Conforme já mencionado, para complementar os resultados dos índices de qualidade de água foram realizadas análises de componentes principais em cada ponto amostrado com e sem o despejo irregular observado.

Assim, baseada na aplicação da ACP nos dados referentes ao IQA_{CETESB} , três grupos foram identificados ao comparar a qualidade de água dos pontos de amostragem antes e depois dos despejos de efluentes (Figura 5.5). O Grupo A apresentou pontos de classificações de qualidade de água entre boa e regular (Ron1A, Ron1, Ron2, Ron3 e Ron4), sendo que o Ron2 apresentou um distanciamento com relação aos demais pontos do grupo do PC2 devido a uma das campanhas ter apresentado uma qualidade de água ruim (Campanha 6). O Grupo 2 apresentou os pontos que a qualidade de água foi classificada entre regular e ruim, sendo que a qualidade de água do Ron4A foi regular, e os pontos Ron 3A e Ron5, como regular e ruim, respectivamente. E, o Grupo 3, que foram locais em que observaram despejos de efluente sem tratamento a montante, e a classificação foram entre ruim e péssima (Ron2A, Ron 5A, Ron 6A).

Em resumo, a ACP indicou que pelos dados do IQA_{CETESB} que a nascente ficou inalterada porque não recebeu nenhum despejo, os pontos Ron 2 e Ron 5 tinha uma qualidade boa e regular, respectivamente, antes do despejo e após o período do despejo diminuiu para qualidade ruim-péssima.

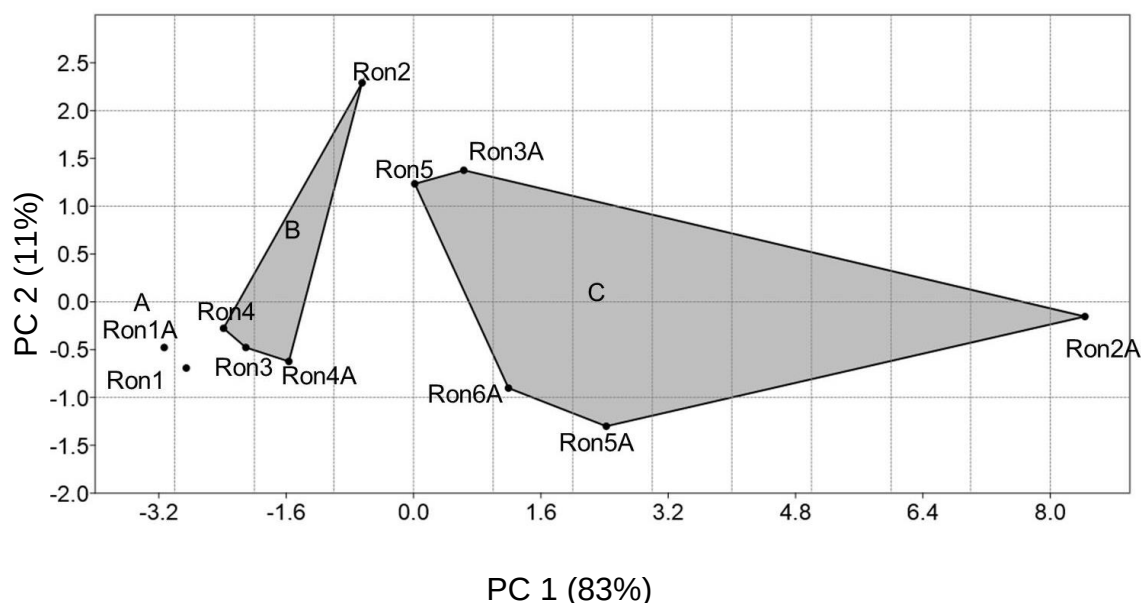
Figura 5.5 - ACP das classificações de qualidade de água pelo IQA_{CETESB} . Antes dos despejos: RON 1, RON 2, RON3, RON4, RON5; Após os despejos: RON1A, RON2A, RON3A, RON4A, RON5A, RON6A



Para o CPI (Figura 5.6), a ACP identificou três grupos: Grupo A, onde os pontos são classificados como qualidade ótima e excelente (Ron1 e Ron1A), Grupo B com pontos classificados entre excelente e ruim (Ron2) e locais classificados entre boa e ruim (Ron4, Ron 4A e Ron 3), e o Grupo C com pontos em que a qualidade de água foi entre ruim e péssima (Ron3A, Ron 5, Ron 5A, Ron 6A e Ron 2A).

Assim, a nascente (Ron1) e outros pontos (Ron4 e Ron5) não foram afetados por despejos, o Ron 2 distante 1,67 km da nascente apresentou queda na qualidade de água entre as amostras coletadas no período sem despejo e com despejo. Já o ponto Ron5 manteve-se com uma qualidade ruim e péssima ao longo de todo período experimental não apresentando efeitos de despejo irregular observado.

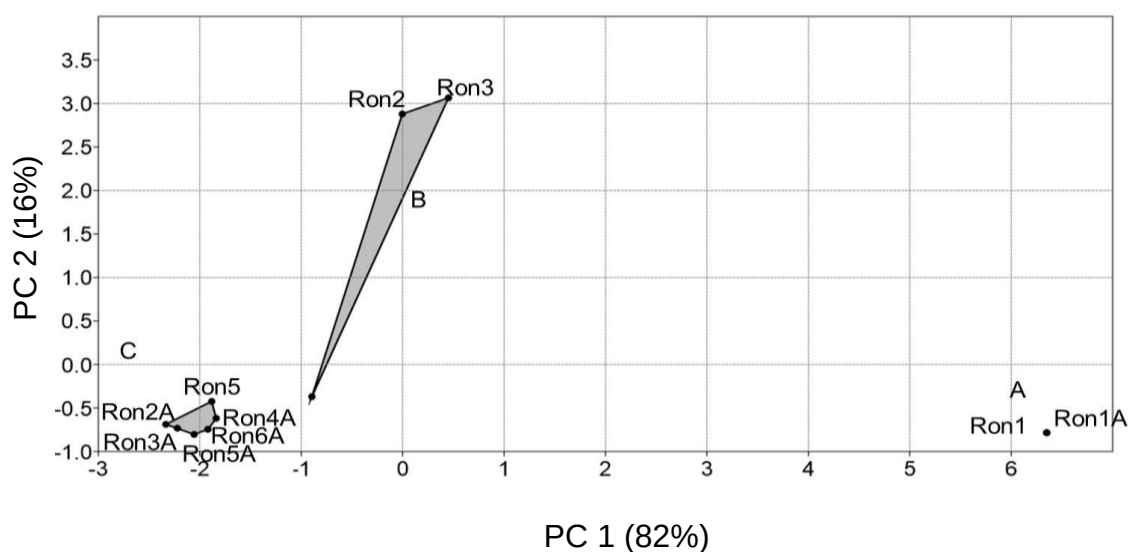
Figura 5.6 - ACP das classificações de qualidade de água pelo CPI. Antes dos despejos: Ron1, Ron2, Ron3, Ron4, Ron5; Após os despejos: Ron1A, Ron2A, Ron3A, Ron4A, Ron5A, Ron6A



Igualmente, a ACP para o IQA_{CCME} identificou três grupos. O Grupo A que são locais classificados como excelentes (Ron1 e Ron1A). O Grupo B, em que as classificações são de excelente a péssima (Ron2 e Ron3) e boa a regular (Ron4). E, o Grupo C em que se agruparam os demais pontos com classificação entre ruim e péssima (Ron5, Ron5A, Ron2A, Ron3A, Ron4A e Ron6A).

Da mesma forma, para o IQA_{CCME} o Ron 1 não foi afetado pelos despejos a jusante, o Ron 2, Ron 3 e Ron 4 apresentaram queda de qualidade. Os pontos Ron 5, Ron 5A e Ron 6A foram encaixados nos piores índices de qualidade.

Figura 5.7 - ACP das classificações de qualidade de água pelo IQA_{CCME} . Antes dos despejos: Ron 1, Ron 2, Ron 3, Ron 4, Ron 5; Após os despejos: Ron 1A, Ron 2A, Ron 3A, Ron 4A, Ron 5A, Ron 6A



5.4 DISCUSSÃO

Em razão dos índices utilizados apresentarem escalas diferentes, uma comparação por valores pode não ser possível. Em uma situação semelhante, Córdoba, Martínez e Ferrer (2010) compararam o Índice de Qualidade Geral (IQG) e o Índice Probabilístico (IP) na bacia hidrográfica de Júcar, na Espanha. Os autores relataram a dificuldade apresentada devido as diferentes escalas e fizeram o uso apenas das classes para comparar as estações monitoradas. Assim, para o arroio da Ronda pode ser realizada abordagem semelhante.

Yan et al. (2015) utilizaram o CPI, em conjunto com outras ferramentas para verificar qual a classificação da qualidade de água do rio Honghe, na China. Os autores concluíram que a maior parte do rio se encontrava ruim e péssima, com 27% e 27% das amostras, respectivamente. Assim como na bacia hidrográfica da Ronda, na bacia do rio Honghe estavam presentes

despejos de efluentes e atividades agrícolas responsáveis pela qualidade de água registrada.

No arroio da Ronda, antes dos despejos de efluentes sem tratamento, grande parte das campanhas foi classificada entre boa e regular, sendo que considerando os pontos de amostragem, os piores locais foram verificados em trechos a jusante da ETE Ronda. Após os despejos sem tratamento, com exceção do local próximo a nascente, o CPI registrou um decréscimo significativo na qualidade de água. No local em que foram observados despejos de efluentes sem tratamento (Ron2), a deterioração na qualidade de água foi mais acentuada em relação aos demais locais monitorados.

A partir do IQA_{CETESB} , Medeiros et al. (2017) monitoraram a qualidade de água dos rios Arapiranga e Murucupi, no Pará. O primeiro encontrava-se distante de áreas urbanas e o segundo percorria aglomerados urbanos e industriais. Os autores relataram que locais em que havia atividades antrópicas, como despejos de efluentes domésticos e industriais, ocupações urbanas e atividades agrícolas apresentaram o IQA_{CETESB} menor em comparação ao IQA_{CETESB} do rio Arapiranga, que estava isento de atividades antrópicas.

No arroio da Ronda, antes dos despejos, o IQA_{CETESB} classificou a qualidade de água como boa. Observou-se que apenas o Ron5 apresentou qualidade de água abaixo dos demais locais, devido às respectivas atividades antropogênicas já citadas. Após os despejos de efluentes, o corpo hídrico apresentou qualidade de água deteriorada, quando comparada ao primeiro período, em todos os trechos monitorados, com exceção do local próximo a nascente. Dessa forma, o arroio da Ronda foi classificado como regular no segundo período.

Em um estudo similar, Moyel e Hussain (2015) aplicaram o IQA_{CCME} para verificar a qualidade de água no período de seca e de chuva. Os autores verificaram que a qualidade de água se apresentava em melhores condições no período chuvoso devido a maior diluição dos poluentes no corpo hídrico, e concluíram que a ferramenta foi fundamental para diagnosticar a qualidade de água. No arroio da Ronda, o IQA_{CCME} classificou a qualidade de água antes dos

despejos como boa, de forma que os usos destinados das classes raramente se afastavam da qualidade de água observada (CCME, 2001).

Segundo a metodologia aplicada (IQA_{CCME}), apenas os pontos Ron5 e Ron6 apresentaram usos em desconformidade com a sua qualidade de água. Após os despejos de efluentes, a classificação foi ruim, apenas o local em que estava a montante do início dos despejos (Ron1), próximo a nascente, manteve a mesma qualidade, enquanto os demais apresentaram piores classificações.

Os três índices ao longo das campanhas de amostragem, evidenciaram que a campanha que precedeu o início de despejos de efluentes já apresentara uma queda na qualidade de água, em que verificou-se aumento de nutrientes e redução no oxigênio dissolvido no corpo hídrico. Dessa forma, possivelmente, atividades antrópicas presentes no trecho monitorado que não foram identificadas podem ter causado alterações na qualidade de água.

Ao longo das campanhas verificou-se que o IQA_{CCME} e o CPI mantiveram as mesmas tendências, enquanto o IQA_{CETESB} apresentou divergências durante o período monitorado. Esta situação ficou evidente durante as campanhas 10 e 16, em que os dois primeiros índices apresentaram quedas na qualidade de água em relação as demais campanhas, enquanto o IQA_{CETESB} indicou melhora. Esta situação se deu devido as concentrações de *E. coli* e DBO terem atingido os pesos mais baixos possíveis no IQA, já que os parâmetros mantiveram os mesmos pesos nas campanhas anteriores e posteriores.

Apesar de o CPI e o IQA_{CCME} utilizarem concentrações limites de legislações para gerar o coeficiente de qualidade de água, verificou-se que houve uma disparidade maior entre ambos, quando comparados ao IQA_{CETESB} . Assim, nota-se que o CPI engloba uma quantidade menor de critérios ao verificar a qualidade de água em relação aos demais, o que, possivelmente, atribui uma classificação mais restrita. Enquanto os demais índices fazem uso de um número maior de variáveis para calcular um coeficiente de qualidade de água

No arroio da Ronda verificou-se a influência na qualidade de água devido a ocupações no entorno, a áreas impermeabilizadas, ao desmatamento de vegetação, assoreamento, cultivo de culturas, criação de animais de porte médio, dentre outras atividades. Portanto, no local (Ron5) que se localiza a jusante da ETE Ronda, com degradação ou ausência de vegetação ripária, e presença de atividades agrícolas foi observado que a qualidade de água foi classificada como a pior em relação aos demais locais no primeiro período. Dentre os parâmetros responsáveis pela qualidade de água neste trecho, podem-se citar *E. coli*, P-total, DBO e oxigênio dissolvido.

A ETE Ronda, localizada a montante do Ron5, é constituída de tratamento preliminar, composto por gradeamentos, desarenadores e calha Parshall. Tratamento secundário, em que são utilizados duas unidades de reator tipo RALF. E, por fim, tratamento terciário, em que é presente lagoa de polimento (SHLUSAZ, 2014). Rodrigues et al. (2009) verificaram que a utilização de reator tipo RALF em conjunto com lagoa de polimento para tratamento de águas residuárias de suinocultura, remoção de 99,9% de contaminantes fecais e não apresentou eficiência significativa na eficiência de fósforo, de forma que mantiveram-se altas concentrações.

Assim, as concentrações observadas de *E. coli*, P-total e OD nos locais a jusante da ETE Ronda, são resultados do aumento populacional ocorrido no município, o que resultou em aumento de ligações de esgoto clandestinas, interferindo na eficiência do tratamento da ETE (REIS, 2014; SCHLUSAZ, 2014).

Fatores ambientais como precipitação e temperaturas mais baixas em relação ao período em que não houve despejos de efluentes também podem ter contribuído na atual condição do corpo hídrico. No rio Shatt Al-Arab, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio, dureza, nitrito, fósforo inorgânico e oxigênio dissolvido obtiveram melhores resultados quando registrados em períodos de maiores precipitações e temperatura (MOYEL; HUSSAIN, 2015).

Após os despejos, apenas o local próximo a nascente (Ron1) manteve-se com qualidade de água similar, enquanto todos os demais pontos de

amostragem apresentaram diminuição da qualidade de água em relação ao período sem despejos de efluentes. Dentre os mais afetados foram registrados locais com despejos de efluentes a montante. O ponto de amostragem (Ron2) em que observaram efluentes sem tratamento no corpo hídrico apresentou maiores níveis de poluição em termos de DBO, oxigênio dissolvido, P-total e *E. coli*.

O corpo hídrico apresentou concentrações de fósforo e microrganismos patogênicos durante todo o período monitorado acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) para rios de água doce de classe 3. Os parâmetros foram relevantes para a determinação da qualidade de água do arroio da Ronda.

O fósforo pode ser responsável pelo crescimento de organismos no corpo hídrico, todavia em excesso pode vir a causar eutrofização (von SPERLING, 2014). Dentre as origens antrópicas, podem-se citar: efluentes, detergentes e fertilizantes (VIESSMAN; HAMMER, 2005). No arroio da Ronda, apenas o local próximo a nascente (Ron1) apresentou níveis em acordo com a legislação durante todo o período amostrado. No rio Al-Gharraf, Ewaid (2016) registrou concentrações no intervalo de 0,1 – 0,66 mg/L. Os autores observaram que o corpo hídrico era afetado por diferentes atividades antropogênicas, o que poderia ter causado o aumento de fósforo.

O arroio da Ronda percorre em sua maior parte áreas urbanas e por muitas vezes ocupações urbanas no entorno do corpo hídrico. Os moradores utilizam a água para pesca, banho, dessedentação de animais, dentre outros usos. Em um estudo no rio Damour, Massoud (2011) sinalizou para os riscos de concentrações de coliformes termotolerantes oferecia aos banhistas e aos habitantes que realizavam piqueniques. Segundo Medeiros et al. (2017) este cenário é resultado de corpos hídricos localizados próximos a área urbanas que apresentam condições sanitárias precárias e tratamento de efluentes inadequado ou inexistente.

Dentre os parâmetros monitorados, a condutividade elétrica não é classificada pela CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) como um indicador físico ao para verificar a qualidade de água e em nenhum índice foi adicionado a

condutividade elétrica. Entretanto, este parâmetro pode ser utilizado para averiguar a presença de poluentes no ambiente aquático (PRATHUMRATANA et al., 2008). Portanto, observou-se aumento das concentrações de CE após os despejos de efluentes no arroio da Ronda. Este aumento pode estar ligado ao acréscimo de partículas relacionadas aos poluentes no corpo hídrico.

5.5 CONCLUSÕES

Para esta pesquisa, os índices de qualidade de água apresentaram-se eficazes para verificar a qualidade do corpo hídrico. *E. coli* e P-total apresentaram concentrações acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Após os despejos de efluentes irregulares a montante do segundo ponto de amostragem *E. coli*, oxigênio dissolvido, DBO, N-NH_4^+ e P-total foram determinantes na redução da qualidade de água. Porém, resultados demonstraram que o corpo hídrico, antes dos despejos, já apresentava sinais de degradação, possivelmente devido a atividades antrópicas já presentes no entorno.

IQA_{CETESB} classificou a qualidade de água durante o período monitorado entre boa e regular, o IQA_{CCME} entre excelente e ruim, e o CPI entre boa e ruim. Entre os pontos monitorados, os índices de qualidade de água atribuíram a melhor qualidade de água no local próximo a nascente. As piores classificações na qualidade de água foram registradas em locais em que havia despejos de efluentes a montante, Ron 2 e Ron 5, para todos os índices de qualidade de água.

Durante este estudo, verificou-se que o CPI e o IQA_{CCME} registraram alterações na qualidade de água somente em parâmetros que as concentrações ultrapassaram as concentrações limites da CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) o que traduz em metodologias que possam ser utilizadas em conjunto com legislações. Entretanto, em corpos hídricos enquadrados como classe 4 em que é necessário verificar alterações na qualidade de água, recomenda-se o uso do IQA_{CETESB}, devido a sua independência em relação a legislações.

5.6 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – CAPES, pelo suporte oferecido para o desenvolvimento desta pesquisa. Ao SIMEPAR por fornecer dados meteorológicos da região, e aos laboratórios de Saneamento, Recursos Hídricos e Microbiologia de Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa

5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 2015.

ALBERTO W.D et al. Pattern recognition techniques for the evaluation of special and temporal variations in water quality. A case study: Squia river basin (Cordoba-Argentina). **Water Research**, 2000. v. 35 p. 2881-2894.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. **Diário Oficial [da] União da República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

BARTHI, N.; KATYAL, D.. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. **International Journal Of Environmental Sciences**, v. 2, n. 1, p.154-173. 2011.

BOYACIOGLU, H. Development of a water quality index based on a European classification scheme. **Water Sa**, v. 33, n. 1, p.101-106, 8 dez. 2009.

BORA, Minakshi; GOSWAMI, Dulal C.. Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India. **Applied Water Science**, v. 7, n. 6, p.3125-3135, 27 jul. 2016

BU, Hongmei; MENG, Wei; ZHANG, Yuan. Nitrogen pollution and source identification in the Haicheng River basin in Northeast China. **Science Of The Total Environment**, v. 409, n. 18, p.3394-3402, ago. 2011.

Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. **Canada: Canadian Council of Ministers of the Environment**; 2001. Disponível em: [http://www.ccme.ca/files/Resourcess/calculators/WQI%20User's%20Manual%20\(en\).pdf](http://www.ccme.ca/files/Resourcess/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf) Acesso em 05/12/2017

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CESTESB. **Índice de qualidade de água**. São Paulo: CETESB, 2017. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wpcontent/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>> Acesso em: 01 dez. 2017.

CHANG, Heejun. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. **Water Research**, v. 42, n. 13, p.3285-3304, jul. 2008.

CÓRDOBA, Eduardo Beamonte; MARTÍNEZ, Alejandro Casino; FERRER, Ernesto Veres. Water quality indicators: Comparison of a probabilistic index and a general quality index. The case of the Confederación Hidrográfica del Júcar (Spain). **Ecological Indicators**, v. 10, n. 5, p.1049-1054, set. 2010

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes et al. The contribution of volunteer-based monitoring data to the assessment of harmful phytoplankton blooms in Brazilian urban streams. **Science Of The Total Environment**, v. 584-585, p.586-594, abr. 2017

DIEDRICH, Aleksander Schmidt; ANDRADE FILHO, Alceu Gomes de; BALARIM, Carlos Roberto. ESTUDOS HIDROLÓGICOS E EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NA BACIA DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA – PARANÁ. Publicatio Uepg: **CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA, AGRÁRIAS E ENGENHARIAS**. Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p.25-37, Abr. 2009.

DO, H. T.; LO, S.; THI, L. A. P. Calculating of river water quality sampling frequency by the analytic hierarchy process (AHP). **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 185, n. 1, p.909-916, 23 mar. 2012.

EWAID, Salam Hussein. Water quality evaluation of Al-Gharraf river by two water quality indices. **Applied Water Science**. v. 7, n. 7, p.3759-3765, 26 dez. 2016

HUANG, Xiang et al. Water quality in the Tibetan Plateau: Major ions and trace elements in the headwaters of four major Asian rivers. **Science Of The Total Environment**, v. 407, n. 24, p.6242-6254, dez. 2009

LIU, et al. An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale. **Journal Of Environmental Management**. v. 155, p.11-23, maio 2015.

LOBATO, T.c. et al. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. **Journal Of Hydrology**, v. 522, p.674-683, mar. 2015

HILLEL, Noa et al. Water quality and discharge of the Lower Jordan River. **Journal Of Hydrology**. v. 527, p.1096-1105, ago. 2016.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL. **Caderno estatístico do Município de Ponta Grossa**. 2018, IPARDES. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=84000>.

MASSOUD, A. M. Assesment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 184, n. 7, p.4151-4160, 20 ago. 2011.

MEDEIROS, Adaelson et al. Quality index of the surface water of Amazonian rivers in industrial areas in Para, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 123, p. 156-164, set. 2017.

MENEGUZZO, Paula Mariele; THOMAZ, Edivaldo Lopes. USO DA TERRA NA BACIA DO ARROIO DA RONDA (PONTA GROSSA/PR) E SUA INFLUÊNCIA NOS PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS NO PERÍODO DE 1980 A 2009. Raega - **O Espaço Geográfico em Análise**, v. 20, p.67-79, 31 dez. 2010.

MOYEL, Mohammad Salim; HUSSAIN, Najah Aboud. Water quality assessment of the Shatt al-Arab River, Southern Iraq. **Journal Of Coastal Life Medicine**, v. 3, n. 6, p.459-465, 19 maio 2015.

Ouyang, Y. 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. **Water Research** 39, 2621–2635.

PARANÁ, Águas. **Plano da Bacia do Rio Tibagi**: Produto 05: Proposta de Enquadramento. Curitiba: Cobrape, 2015. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/TIBAGI/plano_de_bacia/Produto_05_Proposta_de_Enquadramento___Revisao_5.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2015.

PRATHUMRATANA, Lunchakorn; STHIANNOPKAO, Suthipong; KIM, Kyoung Woong. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. **Environment International**, [s.l.], v. 34, n. 6, p.860-866, ago. 2008.

QGIS Development Team, 2014. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.

REIS, Elaine Rafaela Machado Benndorf Pereira. **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DO ARROIO DA RONDA NA CIDADE DE PONTA GROSSA**. 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

RODRIGUES, L.s. et al. Avaliação de desempenho de lagoa de polimento para pós-tratamento de reator anaeróbico de manta de lodo (UASB) no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 6, p.1428-1433, dez. 2009.

SANTOS, Edilene. Reclassificação de rios é tema de debate na UEPG. **Diários dos Campos**, Ponta Grossa, 22 jul. 2015.

SAKSENA DN, GARG RK, RAO RJ. Water quality and pollution status of Chambal River in National Chambal Sanctuary, Madhya Pradesh. **Journal of Environmental Biology** 2008; 29 (5): 701-10.

SCHLUSAZ, Maiara. **Avaliação da Eficiência da Estação De Tratamento de Efluentes (Ete – Ronda, Ponta Grossa – Pr) Através da Análise De Parâmetros Físico-Químicos**. 2014. 82f. Monografia (Bacharel em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

SOUZA, M., GASTALDINI, M. Avaliação de qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 19, n.3, p. 263-274, 2014.

VAROL, M. et al. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Tigris river (Turkey) using multivariate statistical techniques-a case study. **River Research And Applications**, v. 28, n. 9, p.1428-1438, 10 maio 2011.

Viessman W, Hammer MJ (2005) Water supply and pollution control, 7th edn. The University of Michigan, Pearson Prentice Hall, USA.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

YAN, C. A. et al. Assessment of water quality and Identification of polluted risky regions based on field observations and GIS in the Honghe River Watershed, China. **PLOS ONE**, v.10, n.3. 2015.

ZHENG, Li-yan; YU, Hong-bing; WANG, Qi-shan. Assessment of temporal and spatial variations in surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of Nenjiang River basin, China. **Journal Of Central South University**, v. 22, n. 10, p.3770-3780, out. 2015.

WANG, et al. Relationships between regional economic sectors and water use in a water-scarce area in China: A quantitative analysis. **Journal of Hydrology**, v. 15, n. 8.p. 180-190. 2014.

WONG, H.; HU, B. Application of interval clustering approach to water quality evaluation. **Journal Of Hydrology**, v. 491, p.1-12, 2013

WU, Z. Z. et al. Identification of surface water quality along the Coast of Sanya, South China Sea. **PLOS One**. 2015. p. 1-13

6. CONCLUSÕES

A partir deste estudo, concluiu-se que o arroio da Ronda apresentou alterações provenientes de atividades antrópicas que estão presentes na bacia hidrográfica da Ronda. Em termos de OD, *E. coli*, DBO, P-total e N-NH_4^+ o corpo hídrico apresentou sinais de degradação durante o período monitorado, além dos respectivos parâmetros estarem em desconformidade com a CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005).

Despejos de efluentes sem tratamento foram responsáveis por deteriorar significativamente a qualidade de água. Este cenário foi evidenciado a partir da utilização de índices de qualidade de água, em que todos os parâmetros monitorados, com exceção do pH e da *E. coli* que não apresentaram diferenças significativas entre os períodos.

O IQA_{CETESB} classificou a qualidade de água entre boa e regular, o IQA_{CCME} entre excelente e ruim e o CPI entre boa e ruim. Assim, verificaram-se diferenças entre as classificações de qualidade de água durante as campanhas, porém ficou evidente a queda de qualidade de água observada em meados de fevereiro devido a despejos pontuais de efluente sem tratamento. Ainda, os índices apontaram que o local com maior qualidade de água estava localizado na nascente (Ron1) e os piores locais encontravam-se a jusante de despejos de efluente tratado e sem tratamento (Ron2, Ron5 e Ron6).

Este estudo pode ser utilizado como suporte para avaliação, regularização, recuperação, preservação e tomada de decisões em relação ao corpo hídrico.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, et al. Qualidade Microbiológica do Córrego “Ribeirão dos Porcos” no Município de Espírito Santo do Pinhal - SP. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 1, n. 1, p. 51–56, 2004.

ALMEIDA, Geane Silva de; OLIVEIRA, Iara Brandão de. **AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DO IQA-CCME NA DIVULGAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS. ESTUDO DE CASO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JOANES**. 2014. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2014.

AKKOYUNLU, Atila; AKINER, Muhammed E.. Pollution evaluation in streams using water quality indices: A case study from Turkey's Sapanca Lake Basin. **Ecological Indicators**, v. 18, p.501-511, jul. 2012.

ANTUNES, Dinameres Aparecida; RIBEIRO, Selma Regina Aranha. Avaliação das áreas de preservação permanente do Código Florestal Brasileiro na bacia do Arroio da Ronda, Ponta Grossa, Paraná - Brasil. **Atas das I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica**, p.19-34, 2015. Imprensa da Universidade de Coimbra

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 2015.

ARAÚJO et al., Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Universidade Estadual da Paraíba**. v.8, nº 1, 2009.

BARTHI, N.; KATYAL, D.. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. **International Journal Of Environmental Sciences**, v. 2, n. 1, p.154-173. 2011.

BORA, Minakshi; GOSWAMI, Dulal C.. Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): case study of the Kolong River, Assam, India. **Applied Water Science**, [s.l.], v. 7, n. 6, p.3125-3135, 27 jul. 2016.

BOYACIOGLU, H. Development of a water quality index based on a European classification scheme. **Water Sa**, v. 33, n. 1, p.101-106, 8 dez. 2009.

BRAGA, B. et al. **Introdução a Engenharia Ambiental**. São Paulo; Pretice Hall, 2002. 305p.

BRANCO, et al., **Hidrologia ambiental**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1991. V. 3.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como

estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. **Diário Oficial [da] União da República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

_____. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recurso_s_Hidricos_Brasil/ANA_Conjuntura_Recurso_s_Hidricos_Brasil_2013_Final.pdf>. Acesso em: 09 out. 2016.

_____. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL)/ AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica / Agência Nacional de Águas. Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2001. 30p.

_____. **Lei 997, decreto nº 8.648**, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Disponível em: <http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/Servicos/licenciamento/postos/legislacao/Decreto_Estadual_8468_76.pdf>. Acesso em: 30 de Jan. de 2017.

_____. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 11 dez. 2016.

_____. Ministério do Estado da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.. **Diário Oficial [da] União da República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 dez. 2011. Seção 1. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 02 fev. 2017.

_____. Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Brasília: ANA, 2011. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2011/CuidandoDasAguas-SolucoesParaMelhorarAQualidadeDosRecursosHidricos.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2016.

_____. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**: 2012. Brasília: ANA, 2012. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/Panorama_Qualidade_Aguas_Superficiais_BR_2012.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2017.

BRIGANTE, J. & ESPÍNDOLA, E. L. G. **Limnologia Fluvial: Um Estudo no Rio Mogi-Guaçu**. São Carlos: Editora RiMa. 278p. 2003.

BU, Hongmei; MENG, Wei; ZHANG, Yuan. Nitrogen pollution and source identification in the Haicheng River basin in Northeast China. **Science Of The Total Environment**, v. 409, n. 18, p.3394-3402, ago. 2011.

Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. Canada: Canadian Council of Ministers of the Environment; 2001. Disponível em: [http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20\(en\).pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf) Acesso em 05/12/2017

CHAPMAN, D. & KIMSTACH, V. Selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Ed.) **Water quality assessment: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. Londres: UNESCO/WHO/UNEP, Cap. 3, 60 p. 1996. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter3.pdf .Acesso: 10 nov. 2016.

CHANG, Heejun. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. **Water Research**, [s.l.], v. 42, n. 13, p.3285-3304, jul. 2008.

CHANG, F. et al. Modeling water quality in an urban river using hydrological factors – Data driven approaches. **Journal Of Environmental Management**, v. 151, p.87-96, mar. 2015.

Chen, R., Wang, X.C., 2009. Cost-benefit evaluation of a decentralized water system for wastewater reuse and environmental protection. **Water Sci. Technol.** 59,1515–1522.

CLARKE, Robin; KING, Janne. **O ATLAS DA ÁGUA**. São Paulo: Publifolha, 2005.

COLETTI, Christiane et al. Water quality index using multivariate factorial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, p.517-522, maio 2010.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CESTESB. **Índice de qualidade de água**. São Paulo: CETESB, 2017. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wpcontent/uploads/sites/12/2017/11/Appendice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>> Acesso em: 01 dez. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CESTESB. **Relatório de qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade**. São Paulo: CETESB, 2014. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Relatorio-de-qualidade-das-aguas-superficiais-do-estado-de-Sao-Paulo.pdf>>

content/uploads/sites/32/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%> Acesso em: 20 set. 2016.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **NTS 004**: DQO - Demanda Química de Oxigênio: Método de ensaio. São Paulo: 1997. Disponível em: <<http://www2.sabesp.com.br/normas/nts/nts004.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; SABOGAL-PAZ, Lyda Patricia; DODDS, Walter Kennedy. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, v. 94, p.516-524, set. 2016.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes et al. The contribution of volunteer-based monitoring data to the assessment of harmful phytoplankton blooms in Brazilian urban streams. **Science Of The Total Environment**, v. 584-585, p.586-594, abr. 2017

DEHUA, Wei et al. Water Quality Automatic Monitoring System Based on GPRS Data Communications. **Procedia Engineering**, v. 28, p.840-843, 2012.

DIEDRICHS, Aleksander Schmidt; ANDRADE FILHO, Alceu Gomes de; BALARIM, Carlos Roberto. ESTUDOS HIDROLÓGICOS E EFEITOS DA URBANIZAÇÃO NA BACIA DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA – PARANÁ. Publicatio Uepg: **CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA, AGRÁRIAS E ENGENHARIAS**. Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p.25-37, Abr. 2009.

DO, H. T.; LO, S.; THI, L. A. P. Calculating of river water quality sampling frequency by the analytic hierarchy process (AHP). **Environmental Monitoring And Assessmen**, v. 185, n. 1, p.909-916, 23 mar. 2012.

DUTTA, Sibasish; SARMA, Dhruvajyoti; NATH, Pabitra. Ground and river water quality monitoring using a smartphone-based pH sensor. **Aip Advances**, v. 5, n. 5, p.057-151, maio 2015.

EFFENDI, Hefni; ROMANTO; WARDIATNO, Yusli. Water Quality Status of Ciambulawung River, Banten Province, Based on Pollution Index and NSF-WQI. **Procedia Environmental Sciences**, [s.l.], v. 24, p.228-237, 2015

EWAID, Salam Hussein. Water quality evaluation of Al-Gharraf river by two water quality indices. **Applied Water Science**. v. 7, n. 7, p.3759-3765, 26 dez. 2016

ESTEVEES, F. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Interciência; FINEP, 1988. FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias** - Belo Horizonte: EMATERMG. 1994.

EWAID, Salam Hussein. Water quality evaluation of Al-Gharraf river by two water quality indices. **Applied Water Science**. v. 7, n. 7, p.3759-3765, 26 dez. 2016

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias** - Belo Horizonte: EMATERMG. 1994. 24p.

FERREIRA, Aurelio Buarque de Holanda. **MiniDicionário Aurelio**. 5. ed. Curitiba: Positivo, 2014. 208 p.

FERRER, Javier et al. GIS-based models for water quantity and quality assessment in the Júcar River Basin, Spain, including climate change effects. **Science Of The Total Environment**, v. 440, p.42-59, dez. 2012

FINOTTI, et al.. **Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas. Caxias do Sul**, RS:EDUCS, 2009. 272 p.:23 (Gestão e tecnologias ambientais).

GHARIBI, H. et al. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. **Journal Of Environmental Management**, v. 112, p.87-95, dez. 2012.

LIU, Hui et al. An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale. **Journal Of Environmental Management**. v. 155, p.11-23, maio 2015.

LORANDI, R.; CANÇADO, C. J. **Parâmetros Físicos para Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus, 2002.

HILLEL, Noa et al. Water quality and discharge of the Lower Jordan River. **Journal Of Hydrology**. v. 527, p.1096-1105, ago. 2016.

HUANG, Xiang et al. Water quality in the Tibetan Plateau: Major ions and trace elements in the headwaters of four major Asian rivers. **Science Of The Total Environment**, v. 407, n. 24, p.6242-6254, dez. 2009

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=411990>>. Acesso em: 29 set. 2015.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL. **Caderno estatístico do Município de Ponta Grossa**. 2018, IPARDES. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=84000>.

LANNA, A. E. (1999) - “Instrumentos de Gestão das Águas: visões laterais”. In: Chassot, A. e Campos, H. **Ciências da Terra e Meio Ambiente: Diálogos**

para (inter) ações no Planeta. Editora UNISINOS, 231-247, 1999. In <http://www.uff.br/cienciaambiental/biblioteca/rhidricos/parte2.pdf>.

LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água.** Campinas, Editora Átomo. 2010.

LIBOS, M.; ROTUNNO FILHO, O.C.; ZEILHOFER, P. Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** v. 8, n. 4, p. 113-135, 2003.

LIMA, Ricardo Neves de Souza et al. Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. **Engenharia Sanitária e Ambiental,** v. 21, n. 1, p.139-150, mar. 2016.

LIU, Hui et al. An integrated system dynamics model developed for managing lake water quality at the watershed scale. **Journal Of Environmental Management.** v. 155, p.11-23, maio 2015.

LOBATO, T.c. et al. Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. **Journal Of Hydrology,** v. 522, p.674-683, mar. 2015

MAGALHÃES, P. C. O custo da água gratuita. In: **Ciência Hoje,** v. 36, nº 211, 2004, p.45-49.

MAIA, Anna Paula Alves. **Gestão de recursos hídricos em Pernambuco: o comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama.** Recife, UFPE, 2002.

MALHO, Lucas Bonatelli et al. **A ocupação irregular da bacia do arroio da Ronda, em Ponta Grossa – PR, como fator de influência nas suas características ambientais.** In: III SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 2005. Presidente Prudente: Sbeb, 2005. p. 10 - 14.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos S. (eds). **Reúso de Águas.** Barueri. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Núcleo de Informação em Saúde Ambiental, 2003.

MASSOUD, A. M. Assesment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. **Environmental Monitoring And Assessment,** v. 184, n. 7, p.4151-4160, 20 ago. 2011.

MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. (Org). **Patrimônio Natural dos Campos Gerais.** Ponta Grossa: UEPG, 2014.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicações.** 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2013.

MENEGUZZO, Paula Mariele; THOMAZ, Edivaldo Lopes. USO DA TERRA NA BACIA DO ARROIO DA RONDA (PONTA GROSSA/PR) E SUA INFLUÊNCIA NOS PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS NO PERÍODO DE 1980 A 2009. Raega - **O Espaço Geográfico em Análise**, v. 20, p.67-79, 31 dez. 2010.

MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.4, 2002.

MOHAMED, Ibrahim et al. Assessment of water quality parameters using multivariate analysis for Klang River basin, Malaysia. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 187, n. 1, p.1-12, 30 nov. 2014.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos Hídricos**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

MOYEL, Mohammad Salim; HUSSAIN, Najah Aboud. Water quality assessment of the Shatt al-Arab River, Southern Iraq. **Journal Of Coastal Life Medicine**, v. 3, n. 6, p.459-465, 19 maio 2015.

MUSTAPHA, Adamu et al. River water quality assessment using environmentric techniques: case study of Jakara River Basin. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 20, n. 8, p.5630-5644, 27 fev. 2013.

NAUBI I. et al. (2016) Effectiveness of water quality index for monitoring Malaysian river water quality. **Pol J Environ Stud** 25(1):231–239

OBI, CI et al. Microbiological, physico-chemical and management parameters impinging on the efficiency of small water treatment plants in the Limpopo and Mpumalanga Provinces of South Africa. **Water Science**, v. 33, n. 2, p.229-238, 14 dez. 2009.

OLUYEMI et al., Physico-chemical properties and heavy metal content of water sources in Ife North Local Government Area of Osun State, Nigeria. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v.4, n. 10, p. 691 – 697, 20 set. 2010.

OUYANG, Y. 2005. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. **Water Research** 39, 2621–2635.

PARANÁ, Águas. **Plano da Bacia do Rio Tibagi**: Produto 05: Proposta de Enquadramento. Curitiba: Cobrape, 2015. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/TIBAGI/plano_de_bacia/Produto_05_Proposta_de_Enquadramento___Revisao_5.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016.

PAREDES, J. ; ANDREU, J. ; SOLERA, A. A decision support system for water quality issues in the Mazanares River (Madrid, Spain). **Science Of The Total Environment**, v. 408, n. 12, p. 2576-2589, maio 2010.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaver_sao.pdf>. Acesso em: 13 de jun. 2015.

PESCE, S. F.; WUNDERLIN, D. A. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. **Water Research**, v. 34, n. 11, p.2915-2926, 1 ago. 2000.

PIVELI, R P.; KATO, M. T. **Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**. São Paulo: ABES, 2006.

PHILIPPI JUNIOR, Arlindo. **Saneamento, Saúde e Ambiente**. São Paulo: Manoele, 2005.

PORTO, R. L. L. Estabelecimento de Parâmetros de Controle da Poluição. In: PORTO, R. L. L., BRANDO, S. M., CLEARY, R. W. et al., **Hidrologia Ambiental**. São Paulo, Associação brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, 1991.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. **Gestão de bacias hidrográficas. Estudos avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. p. 43-60.

PRATHUMRATANA, Lunchakorn; STHIANNOPKAO, Suthipong; KIM, Kyoung Woong. The relationship of climatic and hydrological parameters to surface water quality in the lower Mekong River. **Environment International**, [s.l.], v. 34, n. 6, p.860-866, ago. 2008.

QGIS Development Team, 2014. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.

RAST, W., 2003. Sustainable freshwater resources: the promise and the reality. In: Holland, M.M., Blood, E.R., Shaffer, L.R., **Achieving Sustainable Freshwater Systems: a Web of Connections**. Island Press, Washington DC, p. 11-39

REBOUÇAS, A. C. “Água Doce no Mundo e no Brasil”, In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. (Org.), **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**, 3ª ed., São Paulo – SP, Editora Escrituras, 2006.

REBOUÇAS, A. C. “Água Doce no Mundo e no Brasil”, In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G., (Org.), **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico**, Uso e Conservação, São Paulo – SP, Editora Escrituras. 1999.

REIS, Elaine Rafaela Machado Benndorf Pereira. **AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE SUPORTE DO ARROIO DA RONDA NA CIDADE DE**

PONTA GROSSA. 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

RIGANTE, J.; ESPINDOLA, E. L.G. **Liminologia Fluvial. Um estudo no rio Mogi- Guaçu.** São Carlos: RIMA, 2003.

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

RODRIGUES, L.s. et al. Avaliação de desempenho de lagoa de polimento para pós-tratamento de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 61, n. 6, p.1428-1433, dez. 2009.

ROGALSKI, Sérgio Ricardo; FERREIRA, Everaldo Skalinski. Análise socioambiental da sub-bacia 02 do arroio Olarias do município de Ponta Grossa – PR, com o uso das geotecnologias. **Atelie Geográfico**, v. 6, n. 2, p. 75-94.

RUBIO-ARIAS, H. et al. Development of a Water Quality Index (WQI) of an Artificial Aquatic Ecosystem in Mexico. **Journal Of Environmental Protection**, v. 04, n. 11, p.1296-1306, 2013.

SAID A, STEVENS DK, SEHLKE G. Environmental assessment an innovative index for evaluating water quality in streams. **Environmental Management**. 2004; 34 (3): 406-14.

SANTOS, R.F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de textos, 2004.

SANTOS, Edilene. Reclassificação de rios é tema de debate na UEPG. **Diários dos Campos**, Ponta Grossa, 22 jul. 2015.

SARDINHA, Diego de Souza et al. Avaliação da qualidade da água e autodepuração do ribeirão do meio, Leme (SP). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 13, n. 3, p.329-338, set. 2008.

SAKSENA DN, GARG RK, RAO RJ. Water quality and pollution status of Chambal River in National Chambal Sanctuary, Madhya Pradesh. **Journal of Environmental Biology** 2008; 29 (5): 701-10.

SCANNAPIECO, D. et al. River water quality assessment: A comparison of binary- and fuzzy logic-based approaches. **Ecological Engineering**, v. 47, p.132-140, out. 2012.

SCHLUSAZ, Maiara. **Avaliação da Eficiência da Estação De Tratamento de Efluentes (Ete – Ronda, Ponta Grossa – Pr) Através da Análise De Parâmetros Físico-Químicos.** 2014. 82f. Monografia (Bacharel em

Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

SIRUNDA JJ, MSANGI JP (2014) Monitoring the effects of anthropogenic activities on water quality: Von Bach Dam, Namibia. In: Phillip MJ (ed) **Combating water scarcity in Southern Africa**, v. 4.

SELVAN. S. et al. GIS-based evaluation of water quality index of groundwater resources around tuticorin coastal city, south India. **Environmental Earth Sciences**, v. 71, n. 6, p.2847-2867, 19 jul. 2013.

SILVA, M. A. R.. **Economia dos recursos naturais**. In: Economia do meio ambiente: Teoria e prática. Rio de Janeiro: Editora Campos, 2003.

SOUZA, M., GASTALDINI, M. Avaliação de qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 19, n.3, p. 263-274, 2014.

STEINKE, V. A.; SAITO, C. H. Avaliação geoambiental do território brasileiro nas bacias hidrográficas transfronteiriças. **Revista Brasileira de gestão e desenvolvimento regional**, v. 6, n. 1, p. 189-222, 2010.

STRASKRABA, Milan; TUNDISI, José Galizia. **Gerenciamento da Qualidade da água de Represas**- Traduzido. 3. ed. Kusatsu, Japão: Oficina de Textos, 2013.

TELLES, Dirceu D' Alkmin; COSTA Regina Pacca. **Reúso da Água conceitos, teorias e práticas**. 2ª edição 2010. São Paulo editora Edgar Blucher Ltda

TELLES, Dirceu D' Alkmin. **Ciclo Ambiental da Água: da chuva à gestão**. São Paulo: Blucher, 2012.

TU, J. Spatial Variations in the Relationships between Land Use and Water Quality across an Urbanization Gradient in the Watersheds of Northern Georgia, USA. **Environmental Management**, v. 51, n. 1, p. 1-17. 2013.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Paulo: lie, 2005.

VAIRAVAMOORTHY, K. et al. IRA –WDS: A GIS- based risk analysis tool for water distribution systems. **Environmental Modelling & Software**, v. 22, n. 7 p. 951-965. Jul. 2007.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ , F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.1, p.55-64, 2010.

VAROL, M. et al. WATER QUALITY ASSESSMENT AND APPORTIONMENT OF POLLUTION SOURCES OF TIGRIS RIVER (TURKEY) USING MULTIVARIATE STATISTICAL TECHNIQUES-A CASE STUDY. **River Research And Applications**, [s.l.], v. 28, n. 9, p.1428-1438, 10 maio 2012.

VIESSMAN W, HAMMER MJ (2005) Water supply and pollution control, 7th edn. **The University of Michigan**, Pearson Prentice Hall, USA.

Von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

YAN, C. A. et al. Assessment of water quality and Identification of polluted risky regions based on field observations and GIS in the Honghe River Watershed, China. **PLOS ONE**, v.10, n,3. 2015.

WANG, et al. Relationships between regional economic sectors and water use in a water-scarce area in China: A quantitative analysis. **Journal of Hidrology**, v. 15, n. 8.p. 180-190. 2014.

WAZIR, M.; OGUGBUAJA, V.o.. Interrelationships between physicochemical water pollution indicators: A case study of River Yobe-Nigeria. **AMERICAN JOURNAL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH**. p.76-80, Jan 2010.

World Health Organization (WHO) (2008) Guidelines for drinkingwater quality, 3rd edn, incorporating the first and second addenda, Vol 1—Recommendations. Geneva

APÊNDICE A – FOTOS DOS PONTOS MONITORADOS.

Ponto 1 –



Data: 14/03/2018



Data: 14/03/2018

Ponto 2 –



Data: 14/03/2018



Data: 14/03/2018



Data: 14/03/2018



Data: 31/01/2018

Ponto 3



Data: 14/03/2018



Data: 31/01/2018



Data: 31/01/2018



Data: 14/03/2018

Ponto 4



Data: 23/11/2018



Data: 31/01/2018



Data: 23/11/2018



Data: 14/03/2018

Ponto 5



Data: 23/11/2018



Data: 23/11/2018



Data: 23/11/2018

Ponto 6



Data: 23/11/2018



Data: 23/11/2018