

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

HALANA MARA BARABACZ FREITAS

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO RIO MOURÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

HALANA MARA BARABACZ FREITAS

**APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA
ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO RIO MOURÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC2) do curso de Engenharia Ambiental do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Cristina Rodrigues Halmeman

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Karina Querne de Carvalho

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NA ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BACIA DO RIO MOURÃO

por

HALANA MARA BARABACZ FREITAS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 13 de Fevereiro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^a. Dr^a. MARIA CRISTINA RODRIGUES HALMEMAN

Prof. Dr^a. KARINA QUERNE DE CARVALHO

Prof^a. Dr^a. PAULA CRISTINA DE SOUZA

Prof. Dr. EUDES JOSÉ ARANTES

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que abriu os caminhos e me guiou para que eu chegasse até aqui, e me deu forças para concluir esta etapa.

A minha família, em especial aos meus pais Suzete e João Reginaldo, e a minha irmã Larissa, que sempre me apoiaram, me incentivaram, e nunca me deixaram desistir quando eu encontrei obstáculos nessa caminhada.

Ao meu namorado Paulo Henrique Krupczak pelo carinho, amor e compreensão nesses últimos momentos do curso, por sempre acreditar em mim e me mostrar que eu era capaz de realizar esse sonho.

Aos meus inúmeros amigos pela força e pelo apoio, em especial a Thainara, Caroline e Bruna, que estiveram comigo do início ao fim do curso, não só pelos dias e noites de ajuda mútua nos estudos, mas pela amizade que formamos e que acredito que terá continuidade por muitos e muitos anos.

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Maria Cristina Rodrigues Halmeman por sempre me ajudar e transmitir seu conhecimento, colaborando enormemente para o desenvolvimento do meu trabalho, e a minha co-orientadora Prof.^a Dr.^a Karina Querne de Carvalho pela disponibilidade, grande contribuição e atenção.

Ao Prof. Dr. Eudes José Arantes em especial, por todos os ensinamentos e oportunidades, aos demais professores do Curso de Engenharia Ambiental por terem contribuído de forma excepcional para a minha formação profissional, e por último, mas não menos importante, aos pesquisadores, professores, colaboradores e técnicos da equipe do FINEP pelo apoio para realização desse trabalho.

Por fim, sei que todas as pessoas que fizeram parte dessa trajetória não estão citadas nesses parágrafos, mas podem ter a certeza de todo o meu amor e gratidão.

RESUMO

FREITAS, H. M. B. Aplicação do Controle Estatístico do Processo na Análise da Qualidade da Água da Bacia do Rio Mourão. 2015. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

A qualidade é uma exigência primordial feita pelo mercado aos produtos e serviços oferecidos pelas empresas. Para isso elas vêm buscando técnicas capazes de permitir um melhor controle e gerenciamento da qualidade de seus serviços. Esta pesquisa surgiu da necessidade de controlar algumas variáveis que garantem a qualidade da água. Os parâmetros devem atender a legislação vigente, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água dos corpos hídricos. O trabalho tem por objetivo principal aplicar o Controle Estatístico do Processo (CEP) na análise da qualidade da água da Bacia do Rio Mourão, com a intenção de melhorar o monitoramento destas águas. Para isso, foram aplicados os gráficos de controle de *Shewhart* para um controle por variáveis para valores individuais, do tipo I-MR-S, para 9 parâmetros físico-químicos e biológicos que influenciam na qualidade da água, em 5 pontos da Bacia do Rio Mourão. A pesquisa está dividida em três fases que incluem: a análise do Índice de Qualidade da Água (IQA), o monitoramento estatístico com a aplicação do CEP e a verificação da existência de fatores socioeconômicos intervenientes na qualidade desta água. Os resultados obtidos com a aplicação destes gráficos de controle para o monitoramento deste processo foram similares, apresentando pequenas alterações na qualidade da água. Os gráficos de controle foram desenvolvidos em ambiente do *software* livre *Action 2.6*. Com este trabalho conclui-se que o monitoramento da qualidade da água essencial, uma vez que passa considerar os limites de controle calculados estatisticamente, além dos limites atualmente especificados pela legislação. A partir do controle estatístico passa-se a avaliar a estabilidade do processo. Além disso, com os resultados obtidos pelo CEP a companhia responsável pelo tratamento da água do município poderá estabelecer ações preventivas ou corretivas capazes de melhorar o processo.

Palavras-chave: Qualidade da Água. Controle Estatístico do Processo. Gráficos de controle. I-MR-S.

ABSTRACT

FREITAS, H. M. B. Application of Statistical Process Control in Analysis of Water Quality of Mourão River Basin. 2015. 47f. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Quality is a primordial demand made by the market for products and services offered by companies. For this they are seeking techniques to allow better control and management of quality of its services. This research arose from the need to control some variables that ensure water quality. The parameters must meet current legislation establishing the procedures and responsibilities relating to the control and surveillance of water quality of water bodies. The work is primarily engaged in applying Statistical Process Control (SPC) in the analysis of water quality in the Mourao River Basin, with the intention of improving the monitoring of these waters. For this, the Shewhart control charts were applied to a control for variables for individual values, type I-MR-S, 9 to physical, chemical and biological parameters that influence the quality of the water in 5 points of Basin. The research is divided into three phases which include: the analysis of the Water Quality Index (AQI), the statistical monitoring with the implementation of the SPC and the finding of socioeconomic factors involved in the quality of this water. The results obtained from use of control charts to monitor this process were similar, with minor changes in water quality. The control charts were developed in free Action 2.6 software. With this study it is concluded that the key monitoring water quality, it passes the limits considered statistically calculated control beyond the limits specified by current legislation. From the statistical control passes to assess process stability. In addition, with the results obtained by the SPC the company responsible for the treatment of municipal water may establish preventive or corrective actions able to improve the process.

Keywords: Water quality. Statistical Process Control. Control charts. I-MR-S.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Limites estabelecidos na Resolução 357/2005 do CONAMA para os parâmetros físico-químicos e biológicos	7
Quadro 2 - Descrição dos tipos de gráficos de controle por variáveis.	9
Quadro 3 - Localização dos pontos 001, 002, 003, 004 e 005 de coleta de água nos rios da Bacia do Rio Mourão.....	12
Quadro 4 - Métodos utilizados para a realização das análises físico-químicas e biológicas.	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pesos W_i utilizados no cálculo do IQA	16
Tabela 2 - Padrões para a classificação da qualidade da água usados no Paraná.	16
Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas e biológicas realizadas em cada coleta.	21
Tabela 4 - Valores de IQA obtidos para cada ponto por coleta realizada.	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Croqui da localização geográfica da Bacia do Rio Mourão.....	11
Figura 2 - Croqui da Bacia do Rio Mourão com identificação dos pontos de coleta de água	13
Figura 3 – Características de gráficos de processos fora de controle.....	18
Figura 4 – Carta de controle dos limites de controle do Potencial Hidrogeniônico (pH) ao longo do trecho estudado.	28
Figura 5 – Carta de controle dos limites de controle da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20}).....	29
Figura 6 – Carta de controle dos limites de controle do Nitrogênio (N).....	30
Figura 7 – Carta de controle dos limites de controle do Fósforo (P).....	30
Figura 8 – Carta de controle dos limites de controle da Turbidez.	31
Figura 9 – Carta de controle dos limites de controle dos Sólidos Totais (ST).	31
Figura 10 – Carta de controle dos limites de controle do Oxigênio Dissolvido (OD).	32
Figura 11 – Carta de controle dos limites de controle dos Coliformes Termotolerantes (CT). ...	32
Figura 12 - Ponto de coleta (P1) localizado à jusante do reservatório, próximo a Mandijuba, distrito do município de Engenheiro Beltrão.	42
Figura 13 - Ponto de coleta (P2) localizado à jusante do reservatório, próximo ao município de Engenheiro Beltrão.	42
Figura 14 - Ponto de coleta (P3) localizado à jusante do reservatório, na estrada que leva ao Barreiro das Frutas.	43
Figura 15 - Ponto de coleta (P4) localizado à montante do reservatório, próximo a Campina do Amoral, distrito de Luiziana.	43
Figura 16 - Ponto de coleta (P5) localizado no Rio Sem Passo, à montante do reservatório, próximo ao município de Luiziana.	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)	6
3.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO	7
3.3 ESTUDOS DE CASO	10
4 MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	11
4.2 COLETA DO MATERIAL E PROCEDIMENTOS ADOTADOS.....	14
4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS.....	14
4.4 CÁLCULO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA).....	15
4.5 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP).....	17
4.6 LEVANTAMENTO DE DADOS SOCIOECONÔMICOS	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5.1 INDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA	26
5.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO E AVALIAÇÃO SOCIOECONÔMICA.....	28
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS	37
ANEXO I	42

1 INTRODUÇÃO

De acordo com levantamento de medição da qualidade das águas feito pela Fundação SOS Mata Atlântica (2014) em 96 rios, córregos e lagos em 7 estados brasileiros, tem-se que 40% destes encontram-se com qualidade ruim ou péssima. As principais fontes de poluição e contaminação da água acontecem pela falta de tratamento de esgotos sanitários, pelo descarte de forma inadequada dos resíduos sólidos, pelo lançamento de produtos químicos nos córregos, além do desmatamento e do uso de defensivos agrícolas e fertilizantes nas zonas rurais (FUNDAÇÃO..., 2014).

Desde a década de 80, o Índice de Qualidade das Águas (IQA), criado pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos, começou a ser utilizado no Brasil por vários estados, tornando-se atualmente o principal índice qualitativo de água usado no país. O IQA é obtido com base em um cálculo composto por 9 parâmetros físico-químicos e biológicos da água, possibilitando classificar a qualidade da água conforme o resultado em péssima, ruim, razoável, bo ou ótima (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2009).

Para obter resultado mais aprofundado dos dados obtidos com o IQA, é necessário conhecer melhor o processo da análise dos parâmetros, o comportamento deste processo e suas variáveis. O Controle Estatístico do Processo (CEP) possibilita realizar uma análise criteriosa sobre os dados obtidos, e assim identificar os pontos que precisam ser melhorados, por meio de cartas de controle que limitam os valores estabelecidos e demonstram como está a situação atual. O CEP permite a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade, num esforço de melhorar a qualidade essencial, a produtividade e a confiabilidade do que está sendo fornecido (HENNING *et al.*, 2011). Corbett & Pan (2002), afirmam que para avaliar de forma rápida e eficiente os dados que indicam a situação ambiental, principalmente a qualidade da água, podem ser utilizadas técnicas de controle estatístico do processo.

As cartas de controle do tipo *Shewhart*, introduzidas por volta de 1930, continuam a ser uma das ferramentas mais utilizadas em controle de qualidade (FOLLADOR, 2012). Este modelo é um instrumento para ser usado na

especificação, produção e inspeção de um processo (VARGAS, LOPES ; SOUZA, 2004).

Segundo Montgomery (2004) os gráficos de controle de *Shewhart* para medidas individuais, pode ser útil em casos em que se quer medir a variação de uma amostra em vários pontos, porém deve-se atentar à magnitude do deslocamento na média do processo de interesse, pois se as variações forem muito pequenas essa ferramenta pode perder esta característica.

Nos trabalhos de Silva *et al.* (2006), os gráficos de *Shewhart* forneceram uma análise simples dos dados, sendo de fácil adaptação e integração com as práticas de controle já existentes nos laboratórios. Também nestes gráficos, há baixa probabilidade de falsos alarmes e melhor capacidade de identificação de erros analíticos, por isso podem ser usados para uma grande gama de processos.

As cartas de controle são métodos eficazes para a determinação de causas especiais que podem estar atuando nos processos. Mesmo com elevada variabilidade dos dados, as cartas mostram-se como alternativas interessantes de metodologia estatística (FOLLADOR, 2012).

Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a qualidade da água da Bacia do Rio Mourão aplicando o uso do Controle Estatístico do Processo (CEP).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Aplicar o Controle Estatístico do Processo na análise da Qualidade da Água da Bacia do Rio Mourão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcance do objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar os dados dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água em 11 amostras de 5 pontos estudados da bacia do Rio Mourão, obtidos no Projeto de Monitoramento de Bacias Urbanas e Rurais – Análise Integrada da Qualidade da Água e Aspectos Sócio-Econômicos (FINEP);
- Determinar o Índice de Qualidade da Água para cada campanha de amostragem e;
- Verificar os fatores socioeconômicos intervenientes no IQA dos pontos amostrados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

O estudo em áreas de bacias hidrográficas urbanas e rurais tem importância quando se busca o equilíbrio entre a exploração de recursos naturais e a sustentabilidade ambiental. O processo evolutivo de ocupação destas áreas se manifesta de maneira desordenada, impulsionado pelo crescimento acelerado da população, expansão das áreas agrícolas e intensa urbanização. Isso traz graves e irreversíveis modificações ambientais na dinâmica natural dos ecossistemas associados a essas áreas (MELO NETO *et al.*, 2008).

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos. Esta ferramenta funciona como um sensor que possibilita o acompanhamento do processo de uso dos corpos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando subsidiar as ações de controle ambiental (GUEDES *et al.*, 2012).

O uso de índices de qualidade de água (IQA) é uma tentativa prevista por programas de monitoramento de águas superficiais como forma de acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (TOLEDO; NICOLELLA, 2002). Porém, a avaliação da qualidade da água obtida pelo IQA apresenta limitações, já que este índice não analisa vários parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), organismos patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2009).

O IQA é formado por nove parâmetros, que tem seus respectivos pesos de acordo com a conformação global da qualidade da água, e seus valores de qualidade em função de suas concentrações. Estes parâmetros representam substâncias que quando presentes na água em níveis elevados podem fazer mal à saúde e ao ambiente (CETESB, 1996; AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2009).

Segundo descrito na Resolução 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), as os valores padrão (limites) para estes parâmetros para águas doces Classe 2, como é o caso dos rios estudados nesse trabalho, são apresentados no Quadro 1.

Parâmetro	Limites
Oxigênio Dissolvido	Não inferior a 5 mg/L de O ₂
Sólidos Totais	No máximo 500 mg/L
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,0 a 9,0
Turbidez	Até 100 UNT
Coliformes Termotolerantes	No máximo 1000 coliformes a cada 100 ml
Fósforo total	Até 0,050 mg/L
Nitrogênio total	3,7 mg/L de N, para pH ≤ 7,5; 2,0 mg/L de N, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L de N, para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 mg/L de N, para pH > 8,5;
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20})	5 dias a 20°C até 5 mg/L de O ₂
Temperatura	Altas temperaturas podem causar impacto significativo nos corpos d'água.

Quadro 1-- Limites estabelecidos na Resolução 357/2005 do CONAMA para os parâmetros físico-químicos e biológicos para corpos hídricos de águas doces de Classe 2.

Fonte: Adaptado da Resolução 357/2005 do CONAMA (2005).

3.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

Segundo Montgomery (2004), a qualidade significa uma adequação para o uso, ou seja, é o produto correspondente às especificações exigidas para o processo.

O Controle Estatístico do Processo (CEP) fornece a imagem do processo, identificando sua variabilidade e possibilitando o controle dessa variabilidade ao longo do tempo através da coleta de dados continuada, análise e bloqueio de possíveis causas especiais que estejam tornando o sistema instável, possibilitando o monitoramento das características de interesse, assegurando que elas irão se manter dentro de limites preestabelecidos e indicando quando devem ser tomadas ações de correção e melhoria (RIBEIRO; TEN CATEN, 2012). Ainda segundo

Ribeiro e Ten Caten (2012), uma vez definidos os limites de controle, os dados podem ser plotados na carta de controle.

De acordo com Almeida *et al.* (2011), as cartas de controle possuem dois objetivos principais: verificar se o processo está sob controle e verificar se ele permanece sob controle. Essa carta funciona como um diagnóstico do processo produtivo, caracterizando um instrumento simples, porém eficaz, para separar as causas especiais das comuns, na qual se apresentam as amostras e os limites (FOLLADOR *et al.*, 2012).

Alguns autores publicaram trabalhos na área de análises da qualidade da água utilizando controle estatístico, como Follador *et al.* (2012), e afirmam que as cartas de controle são métodos eficazes para determinação de causas especiais que podem estar atuando nos processos. Mesmo com elevada variabilidade dos dados, as cartas mostram-se como alternativas interessantes de metodologia estatística.

Ao lidar com características de qualidade que apresentam variáveis, como é o caso deste trabalho, é necessário monitorar sua variabilidade, e para isto podem ser usados os gráficos de controle por variáveis, ou também chamados de gráficos de *Shewhart* (Montgomery, 2004).

3.2.1 Gráficos de Controle por Variáveis

Muitas características de qualidade podem ser expressas em termos de valores numéricos. Ao analisar uma característica da qualidade que é uma variável, em geral, é controlado o valor médio da característica da qualidade e sua variabilidade. O valor médio é controlado através do gráfico da média denominado gráfico X barra. Enquanto que a variabilidade do processo pode ser acompanhada através do gráfico do desvio padrão, denominado gráfico S, ou o gráfico da amplitude denominado gráfico R. Para o controle de medidas individuais utilizam-se os gráficos I, que monitoram a variação da média e da amplitude com um só elemento.

Neste gráfico são plotadas as médias das medidas de uma característica de qualidade em amostras do processo *versus* o número de amostras. No gráfico há uma linha central (LC) e limites superior e inferior de controle (LSC e LIC). A linha

central representa onde essa característica do processo deveria estar se não estivessem presentes fontes de variabilidade. Os limites de controle são determinados a partir de considerações estatísticas (MONTGOMERY, 2004). Quando as médias amostrais ficam plotadas fora dos limites de controle, significa que há necessidade de alguma ação corretiva a ser tomada no processo para remoção dessas fontes de variabilidade. Já quando não existem pontos fora dos limites estabelecidos e os mesmos acompanham o LC, significa que o processo analisado está de acordo com o esperado, ou seja, seu processo não está alterado (MONTGOMERY, 2004).

Assim, a escolha do tipo de gráfico (Quadro 2) varia conforme o produto a ser analisado, e suas características. Hening *et al.* (2014) destacaram ser mais adequado aplicar gráficos do tipo *Shewhart* com limites alargados em estágio inicial de implementação do CEP, para diminuir a chance de obter resultados enganosos.

Gráficos de controle por variáveis	Descrição
X barra e R	Gráficos de média e amplitude, que tem por objetivo controlar a variabilidade do processo e detectar qualquer mudança que aconteça, para tamanhos de amostras pequenos e moderados.
X barra e S	Gráficos de média e desvio padrão, utilizados quando há necessidade de controle mais severo da variabilidade do processo, e tamanhos de amostras moderadamente grandes.
I – MR – R	Gráficos de valores individuais e amplitudes móveis, usados quando não é possível estimar a variabilidade através da amplitude ou desvio padrão devido ao tamanho da amostra ($n = 1$).
I – MR – S	Gráficos de valores individuais com variações entre e dentro dos subgrupos, utilizados nos casos em que se mede a mesma característica do material em diversos pontos. Neste caso, toma-se o produto, a cada unidade de tempo (por exemplo, a cada mês), e medem-se as características da qualidade em diversos pontos.

Quadro 2 - Descrição dos tipos de gráficos de controle por variáveis.
Fonte: Adaptado de Montgomery (2004).

Montgomery (2004) ressalta que é necessário identificar o tipo das variações ocorridas no processo e adaptar à análise dos gráficos de controle, como nas variações por causas especiais como pode ocorrer no caso dessa pesquisa, onde a qualidade pode ser alterada por fatores climáticos, erros de cálculos, o uso de reagentes incorretos, menor vazão durante alguma coleta, entre outros. A variação do processo provocada por causas comuns (pequenas causas inevitáveis) é inerente ao processo, considerando este estável, ou seja, sob controle estatístico.

3.3 ESTUDOS DE CASO

Muitos autores já utilizaram cartas de controle em seus estudos, em diversas áreas semelhantes a análises de qualidade da água, como Follador (2010), que pesquisou o CEP aplicado à qualidade de águas superficiais, e percebeu que os pontos de controle analisados, exceto o pH, apresentaram elevada variabilidade dos dados.

Henning *et al.* (2011) utilizou gráficos de CEP do tipo CUSUM em indicadores de qualidade da água potável, e concluíram que alguns gráficos de controle merecem atenção ao monitorar indicadores de qualidade da água, pois estes podem apresentar autocorrelação.

Lima (2014), aplicou o controle estatístico de qualidade de água em cisternas instaladas em comunidades do sertão do semiárido Pernambucano, e obteve gráficos de controle estáveis, exceto com relação à variável cor, que apesar de não apresentar indícios de anormalidade, demonstrou um alerta durante os cálculos da capacidade do processo.

Santos *et al.* (2012) realizaram análises estatísticas do tipo ANOVA, dos parâmetros de qualidade da água do Rio do Campo em Campo Mourão-PR, que é um dos rios que compõe a bacia estudada neste trabalho, e concluíram que os parâmetros de qualidade da água apresentam variabilidades temporais e espaciais.

Estes autores corroboram sobre a importância do controle estatístico da qualidade da água como uma complementação de suas análises.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho foram utilizados os dados fornecidos pelo projeto “Monitoramento de Bacias Urbanas e Rurais - Análise Integrada da Qualidade da Água e Aspectos Sócio-Econômicos”, realizado na UTFPR-CM, e apoiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pela Chamada Pública MCT/FINEP CT-HIDRO 01/2010, Referência: 1823/10, no qual houve a participação durante o período de janeiro/2013 a julho/2013 como voluntária e de agosto/2013 a março/2014 como bolsista de Iniciação Científica.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Rio Mourão está localizada na região Sul do Brasil em área de 1.534 Km² (Figura 1).

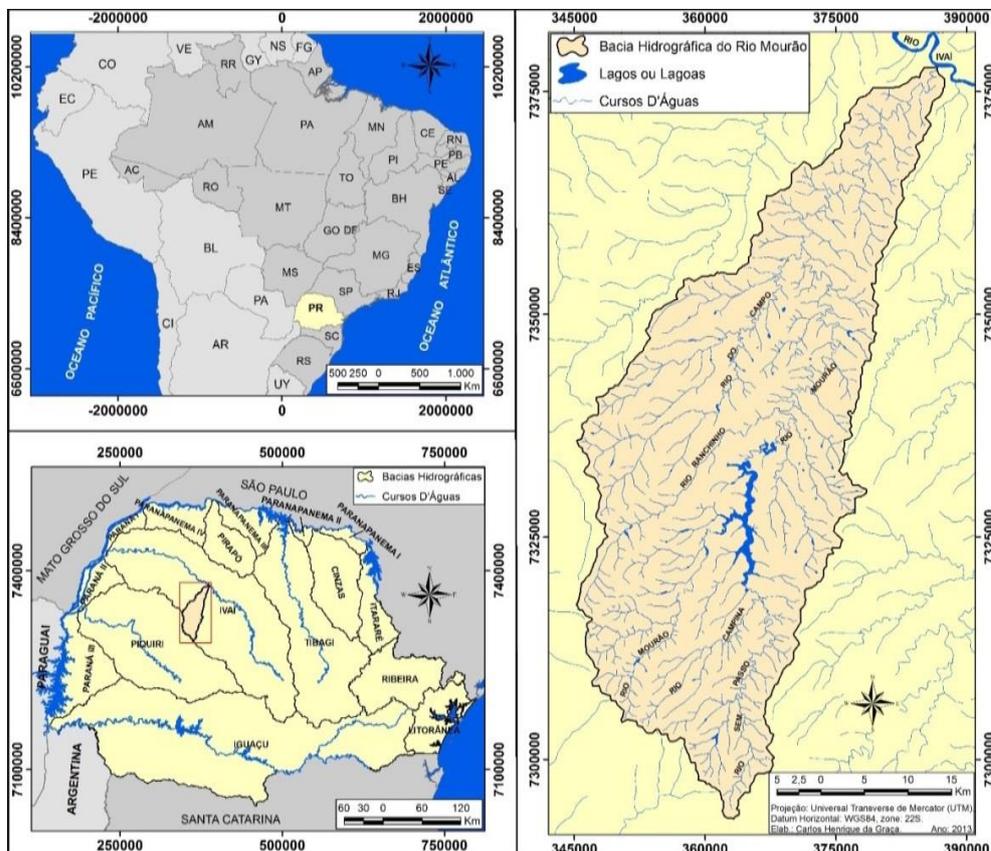


Figura 1- Croqui da localização geográfica da Bacia do Rio Mourão
Fonte: Graça (2013)

A bacia hidrográfica do Rio Mourão está situada entre os municípios de Campo Mourão, Peabiru, Mamborê, Quinta do Sol, Engenheiro Beltrão e Luiziana, e faz parte do sistema hidrográfico do Rio Ivaí, situado na segunda maior bacia do Estado do Paraná.

Foram selecionados 5 pontos pertencentes à bacia hidrográfica para a realização do estudo (Quadro 3).

Ponto	Referência	Coordenadas
(P1) 001	Rio Mourão, à jusante do reservatório, próximo a Mandijuba, distrito do município de Engenheiro Beltrão.	Lat.: 23°42'57,5" S Long.: 52°07'03,1" O.
(P2) 002	Rio Mourão, à jusante do reservatório, próximo ao município de Engenheiro Beltrão.	Lat.: 23°49'44,5" S Long.: 52°11'44" O.
(P3) 003	Rio Mourão, à jusante do reservatório, na estrada que leva ao Barreiro das Frutas.	Lat.: 24°02'25,1" S Long.: 52°16'21,6" O.
(P4) 004	Rio Mourão, à montante do reservatório, próximo a Campina do Amoral, distrito de Luiziana.	Lat.: 24°14'04" S Long.: 52°24'05" O.
(P5) 005	Rio Sem Passo, à montante do reservatório, próximo ao município de Luiziana.	Lat.: 24°16'59,8" S Long.: 52°18'02" O.

Quadro 3 - Localização dos pontos 001, 002, 003, 004 e 005 de coleta de água nos rios da Bacia do Rio Mourão.

Os pontos foram definidos previamente de modo a não estarem posicionados na área urbana do município de Campo Mourão, devido ao maior número de intervenções antrópicas que podem influenciar na qualidade da água dos rios.

Na Figura 2 são apresentados o croqui da Bacia do Rio Mourão com identificação dos pontos de coleta das amostras de água.

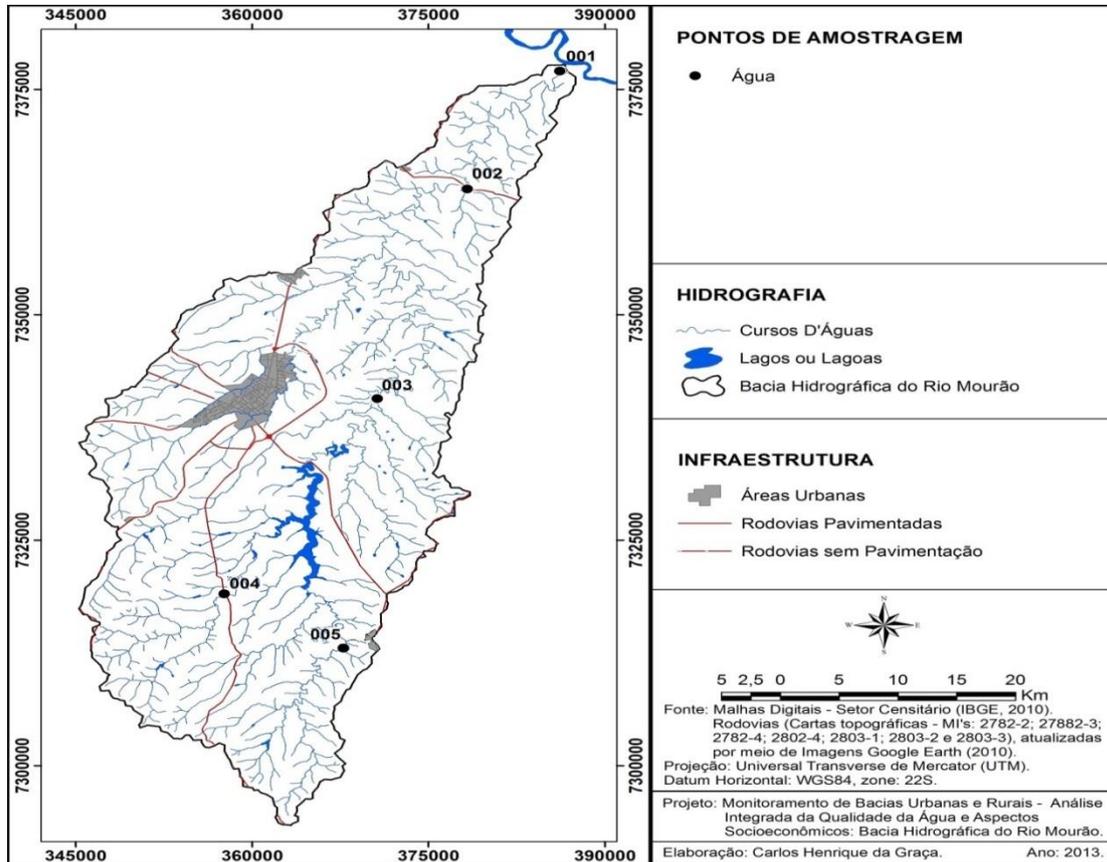


Figura 2 - Croqui da Bacia do Rio Mourão com identificação dos pontos de coleta de água
 Fonte: Graça (2013).

As nascentes estão localizadas principalmente ao sul e sudoeste da bacia, nos territórios do município de Luiziana e Mamborê. Em direção a foz (sentido nordeste), a bacia corta o município de Peabiru e, na sequência, faz limite natural entre os municípios de Engenheiro Beltrão e Quinta do Sol, desaguando no rio Ivaí (MEZZOMO, 2013).

4.2 COLETA DO MATERIAL E PROCEDIMENTOS ADOTADOS

As amostras de água foram coletadas mensalmente nos 5 pontos, no período de Outubro de 2012 a Setembro de 2013 (exceto no mês de Maio de 2013), totalizando 11 coletas. Após cada coleta, as amostras eram encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia e para o Laboratório de Solos e Hidráulica Computacional da UTFPR-CM para realização das determinações dos parâmetros físico-químicos e biológicos.

A coleta, transporte e conservação das amostras foram realizados de acordo com procedimentos descritos na NBR 9898 (ASSOCIAÇÃO...,1987).

4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

Os parâmetros temperatura da água (T), potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}), nitrogênio total (N), fósforo total (P), turbidez, coliformes termotolerantes (CT) e resíduos sólidos totais (ST) foram determinados para possibilitar o cálculo do IQA de acordo com os métodos apresentados no Quadro 4.

Parâmetros	Método de Análise	Referência
Ph	Potenciométrico	-
Temperatura da água (°C)	Termométrico	-
Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹)	Oximétrico	-
Turbidez (UNT)	Turbidimétrico	-
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L ⁻¹)	Oxidação	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Fósforo Total (mgPO ₄ ⁻³ .L ⁻¹)	Espectrofotométrico	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Nitrogênio total (mgN-NH ₄ ⁺ .L ⁻¹)	Titulométrico	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Sólidos totais (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	Eaton <i>et al.</i> (2005)
Coliformes Termotolerantes	Número Mais Provável	Eaton <i>et al.</i> (2005)

Quadro 4 - Métodos utilizados para a realização das análises físico-químicas e biológicas.

O pH, OD, temperatura das amostras e turbidez foram determinados *in loco* com pHmetro da Instrutherm modelo PH-1900, oxímetro da Instrutherm modelo MO-

900-04417, termômetro com filamento de mercúrio e turbidímetro. Os demais parâmetros foram avaliados em laboratório por métodos analíticos adaptados do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON *et al.*,2005).

4.4 CÁLCULO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)

A partir das análises laboratoriais, o cálculo do IQA foi realizado por meio do produtório ponderado dos nove parâmetros de acordo com Sperling (2007) (Equação 1).

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

Em que:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1 (Equação 2).

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

Em que sendo n o número de parâmetros usados no cálculo do IQA e pesos W_i atribuídos (Tabela 2).

Tabela 1 - Pesos W_i utilizados no cálculo do IQA

Parâmetros	Pesos W_i
Coliformes Termotolerantes	0,15
Ph	0,12
DBO _{5,20}	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Temperatura	0,10
Sólidos totais	0,08
Turbidez	0,08
Oxigênio Dissolvido	0,17

Fonte: Adaptado de Sperling (2007)

A partir destes cálculos, o Índice de Qualidade da Água obtido para cada ponto foi analisado conforme as faixas de qualidade da água utilizadas no estado do Paraná (Tabela 3), que tornam possível classificar a água em péssima, ruim, razoável, boa ou ótima.

Tabela 2 - Padrões para a classificação da qualidade da água usados no Paraná.

Faixas de IQA utilizadas no Paraná	Avaliação da Qualidade da Água
91 – 100	Ótima
71 – 90	Boa
51 – 70	Razoável
26 – 50	Ruim
0 – 25	Péssima

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (2009).

Com o auxílio da Tabela 3 é possível ter um panorama prévio da qualidade da água nos pontos estudados antes da análise estatística.

Conforme a Política Estadual dos Recursos Hídricos instituída pela Lei nº 12.726 de 26 de novembro de 1999, o enquadramento dos corpos d'água é dividido em classes, estabelecidas nos termos da legislação ambiental pela Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo os da Bacia do Rio Mourão de Classe II.

4.5 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP)

O tratamento estatístico é embasado na distribuição normal dos resultados das análises físico-químicas e biológicas. Esse tratamento estatístico pode ser feito através das cartas de controle, as quais têm por objetivo avisar que existem anomalias em algum ponto da bacia do rio em estudo.

Após a obtenção dos valores do IQA da Bacia do Rio Mourão, os dados foram avaliados por meio do CEP. A forma mais comum de fazer os gráficos de controle é fixando limites de controle, ou seja, limites de controle inferior (LCI) e limites de controle superior (LCS), que são posteriormente comparados com os valores estabelecidos na Resolução N° 357/2005 do CONAMA, na qual estão dispostas a classificação e diretrizes ambientais para enquadramento dos corpos de água superficiais.

Segundo Montgomery (2004), no gráfico de controle mostra-se o desempenho do processo que estará “sob controle” quando os pontos do gráfico estiverem dentro dos limites de controle, e “fora de controle” quando houver tendência de pontos direcionados nitidamente para cima ou para baixo ou também quando a maioria dos pontos estiver acima ou abaixo da linha central, ou fora dos limites de controle (figura 3). Os gráficos que apresentam valores que ultrapassam o que é estabelecido pela legislação também podem ser considerados como processo fora de controle visto que estes valores não são permitidos para caracterizar a qualidade requerida no processo.

Assim, foi possível identificar os locais em que a qualidade da água da Bacia do Rio Mourão está alterada e verificar quais parâmetros estão influenciando na mesma, apenas interpretando os gráficos gerados.

Para realizar o CEP, utilizou-se o *software* gratuito *Action 2.6*, disponibilizado pela Estatcamp no Portal *Action®*, juntamente com o *Microsoft Excel® 2010*. Os gráficos empregados foram do tipo *Shewhart* ou I-MR-S, para valores individuais com variação entre e dentro dos subgrupos, que retratam situações a serem analisadas em que se pode medir a mesma característica do produto em diversos pontos, sendo que os resultados das coletas foram analisados em todos os pontos para cada parâmetro de qualidade da água.

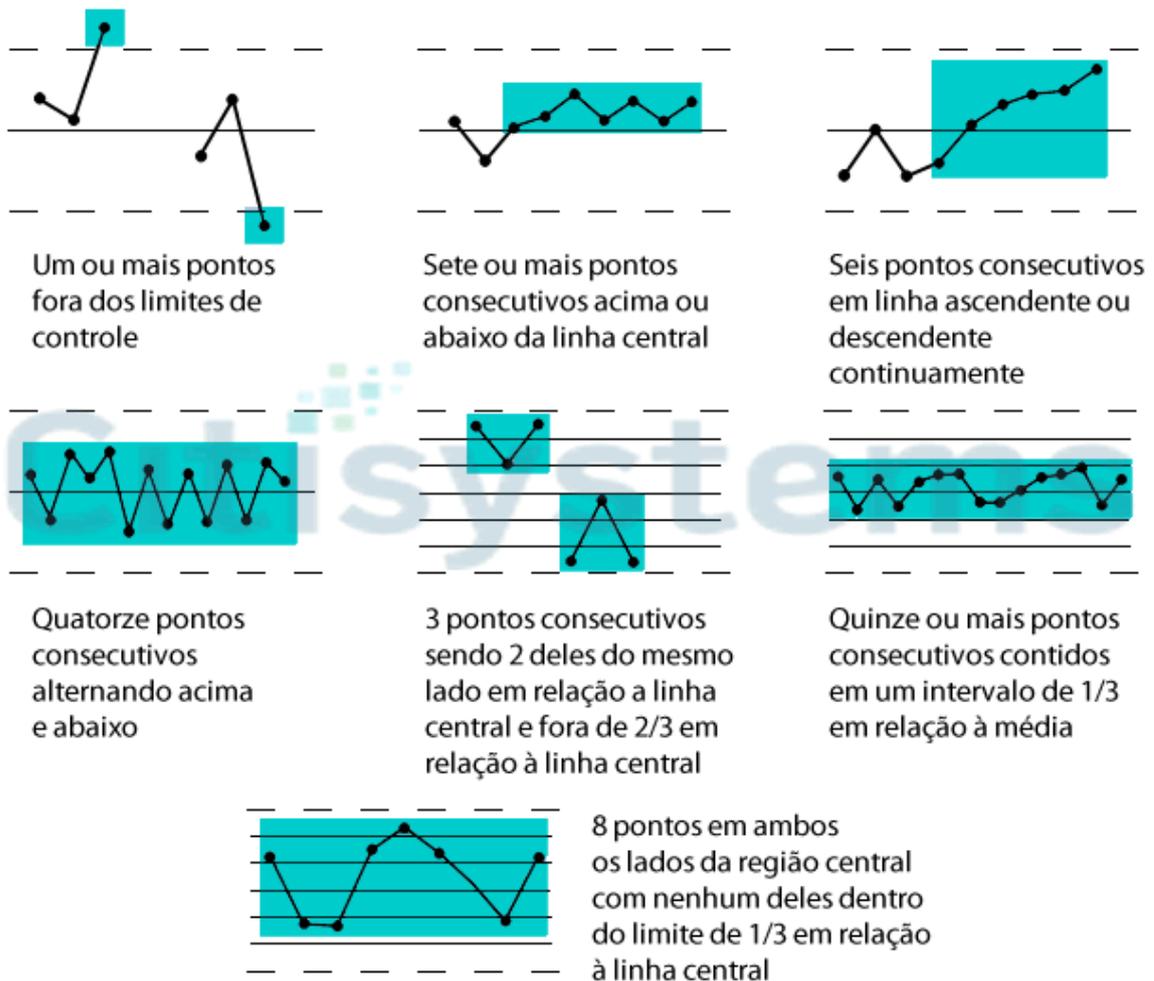


Figura 3 – Características de gráficos de processos fora de controle.
 Fonte: Qualidade Online (2014)

4.6 LEVANTAMENTO DE DADOS SOCIOECONÔMICOS

A poluição e a não potabilidade da água são resultantes de diversas influências antrópicas e de fenômenos naturais que ocorrem direta ou indiretamente nos rios. Por isso, após o tratamento estatístico dos dados pelo CEP, foi feito estudo das imagens de alta resolução disponibilizadas no *Google Earth®*, que foram capturadas para verificar se pode haver influência da ação antrópica na qualidade

das águas dos pontos analisados na Bacia do Rio Mourão, como indústrias, agricultura, e habitação próximos aos pontos de coleta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nas análises laboratoriais e correspondem ao período de 10/2012 a 09/2013, que com o auxílio do corpo técnico dos laboratórios foram obtidos e tabulados para cada parâmetro (Tabela 3):

Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas e biológicas realizadas em cada coleta.

(continua)

Data da coleta	Ponto	T (°C)	pH	OD (mg/L)	DBO _{5,20} (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Turbidez (UNT)	CT (NMP/100mL)	ST (mg/L)
10/2012	1	24	7,6	8,1	1	0,5	0,05	27	198	43
	2	23	7,5	8,5	1,3	0,5	0,01	33	1084	28
	3	22	6,8	9,4	1,4	1,1	0,03	19	1363	76
	4	20	7,0	8,1	1,1	1,1	0,05	26	199	51
	5	20	7,6	7,9	0,9	1,1	0,04	17	199	45
11/2012	1	26	6,2	8,1	2,8	0,6	0,01	7	450	14
	2	26	5,9	8,5	4,4	0,8	0,03	11	1084	23
	3	26	6,4	8,1	2,9	0,6	0,00	4	1084	11
	4	26	6,5	8,4	4	1,4	0,07	15	1084	50
	5	25	6,4	8,0	1,6	2,0	0,06	9	2059	26

Legenda: T=Temperatura; pH=Potencial Hidrogeniônico; OD=Oxigênio Dissolvido; DBO_{5,20}=Demanda Bioquímica de Oxigênio; N=Nitrogênio; P=Fósforo; CT=Coliformes Termotolerantes; ST=Sólidos Totais

Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas e biológicas realizadas em cada coleta.

(continua)

Data da coleta	Ponto	T (°C)	pH	OD (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Turbidez (UNT)	CT (NMP/100mL)	ST (mg/L)
12/2012	1	26	7,5	7,9	0,9	1,9	0,06	14	1084	65
	2	28	7,7	7,8	1,2	0,9	0,01	12	2191	22
	3	27	8,2	9,3	0,5	2,5	0,06	9	7798	41
	4	23	6,6	5,0	2,9	1,9	0,09	13	199	68
	5	22	7,2	7,2	1,2	2,2	0,02	10	1363	41
01/2013	1	26	5,7	5,2	0,3	0,7	0,15	16	1	31
	2	27	7,4	7,3	1	1,4	0,21	17	1	30
	3	25	7,4	7,2	2,2	1,8	0,17	11	1	18
	4	21	6,6	8,1	1,6	1,9	0,24	23	1	28
	5	21	7,0	8,6	1,5	1,9	0,17	24	1	53
02/2013	1	26	7,1	6,0	2,3	1,0	0,06	63	2191	87
	2	26	6,7	7,6	3,7	1,4	0,10	95	1358	108
	3	26	7,0	7,8	3,6	1,8	0,01	74	8850	62
	4	22	5,8	7,8	3,8	1,3	0,00	101	915	83
	5	21	6,8	8,4	3,4	1,2	0,03	116	915	110

Legenda: T=Temperatura; pH=Potencial Hidrogeniônico; OD=Oxigênio Dissolvido; DBO_{5,20}=Demanda Bioquímica de Oxigênio; N=Nitrogênio; P=Fósforo; CT=Coliformes Termotolerantes; ST=Sólidos Totais

Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas e biológicas realizadas em cada coleta.

(continua)

Data da coleta	Ponto	T (°C)	pH	OD (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Turbidez (UNT)	CT (NMP/100mL)	ST (mg/L)
03/2013	1	23	7,3	10,0	3,9	1,0	0,04	101	2566	66
	2	22	7,3	11,6	8,1	1,2	0,07	93	9863	121
	3	23	7,4	8,6	2,5	0,9	0,01	37	8850	40
	4	20	5,8	8,0	1,7	0,9	0,09	49	9863	55
	5	19	6,3	8,9	1,6	1,7	0,13	115	5022	90
04/2013	1	20	7,4	7,4	1,1	1,1	0,03	34	7798	33
	2	20	6,9	8,0	1,7	3,7	0,12	33	6855	45
	3	21	6,7	7,7	2,1	1,1	0,03	25	1363	44
	4	18	6,4	8,3	1,9	1,1	0,04	35	1	42
	5	18	7,0	8,5	2,3	1,1	0,05	48	1762	60
06/2013	1	22	7,4	6,9	2,6	1,7	0,12	102	3796	150
	2	20	6,9	6,9	4,2	1,3	0,13	78	1384	131
	3	20	6,7	6,7	4,2	1,4	0,12	93	1762	119
	4	18	6,8	9,9	4,1	1,4	0,07	85	685	98
	5	19	6,8	9,6	3,7	1,4	0,05	67	2191	71

Legenda: T=Temperatura; pH=Potencial Hidrogeniônico; OD=Oxigênio Dissolvido; DBO_{5,20}=Demanda Bioquímica de Oxigênio; N=Nitrogênio; P=Fósforo; CT=Coliformes Termotolerantes; ST=Sólidos Totais

Tabela 3 - Resultados das análises físico-químicas e biológicas realizadas em cada coleta.

(conclusão)

Data da coleta	Ponto	T (°C)	pH	OD (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Turbidez (UNT)	CT (NMP/100mL)	ST (mg/L)
07/2013	1	19	7,0	8,4	1,3	3,3	0,15	80	1762	95
	2	19	7,6	8,6	2,8	4,1	0,16	84	1084	118
	3	18	8,0	13,5	5,7	4,9	0,07	88	2191	67
	4	18	6,7	8,8	5,5	3,8	0,05	47	676	48
	5	18	7,6	8,8	6,0	6,5	0,19	124	1762	114
08/2013	1	20	8,5	11,7	11,4	1,0	0,06	38	2657	47
	2	19	8,2	10,5	3	1,0	0,06	40	2861	51
	3	18	7,3	11,6	4,2	2,1	0,13	37	7974	106
	4	20	8,2	9,0	1,6	1,5	0,04	31	797	35
	5	21	8,7	9,7	2,7	0,8	0,05	38	9863	48
09/2013	1	19	6,3	18,0	5,1	0,7	0,07	32	198	61
	2	20	6,3	11,5	2,5	0,9	0,01	23	198	52
	3	19	6,8	12,3	1,3	1,0	0,01	25	1	46
	4	19	5,6	10,3	1,4	1,1	0,04	20	1	42
	5	19	6,3	9,5	2,0	1,6	0,02	13	1	35

Legenda: T=Temperatura; pH=Potencial Hidrogeniônico; OD=Oxigênio Dissolvido; DBO_{5,20}=Demanda Bioquímica de Oxigênio; N=Nitrogênio; P=Fósforo; CT=Coliformes Termotolerantes; ST=Sólidos Totais

Os indicadores de qualidade da água apresentam variáveis que se correlacionam com as alterações que ocorrem na bacia (TOLEDO & NICOLELLA, 2002).

A temperatura da água depende da intensidade da luz solar, salvo em casos de contaminação. A alteração momentânea de valor da temperatura nos corpos d'água superficiais é promovida, principalmente, por despejos industriais (FOLLADOR, 2010). Esta característica física da água é importante, pois, com o aumento de temperatura da água as reações químicas e biológicas e a taxa de transferência de gases também aumentam, podendo gerar odores (BRAGA *et al.*, 2005). Os resultados obtidos apresentaram variações de temperatura de 19 a 28°C nos meses mais quentes, e de 18 a 21°C nos meses mais frios.

O pH relaciona-se à poluição e a relação entre íons. Pode variar entre 0 a 14, sendo 7,0 o valor para pH neutro. Na predominância dos íons H^+ o pH é ácido e quando predominam os íons OH^- tem-se pH básico. As águas superficiais apresentam pH variando entre 6,0 e 8,5 considerado adequado para a vida aquática (LIBÂNIO, 2008), sendo os valores obtidos nas análises variando de 6,2 a 8,2.

O Oxigênio Dissolvido – OD está relacionado à temperatura e a altitude. Quanto maior a temperatura, menor os níveis de OD, e mais poluída a água, devendo-se principalmente ao despejo de origem orgânica no curso d'água. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo d'água natural em manter a vida aquática (CETESB, 2009). A quantidade de OD nos pontos de coleta variou entre 5,0 mg/L e 18,0 mg/L.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia. No caso das análises realizadas neste estudo, quando referido como $DBO_{5,20}$, significa a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias, numa temperatura de incubação de 20°C (CETESB, 2009). Foram obtidos níveis de DBO de 0,3 a 11,4 mg/L.

O nitrogênio aparece na água como sólido em suspensão ou dissolvido. Sua origem antropogênica deve-se a despejos domésticos, industriais, excrementos de animais e fertilizantes (FOLLADOR, 2010). A importância de sua medição está associada a processos de eutrofização, toxicidade a peixes e causas de doenças em seres humanos (BRAGA *et al.*, 2005). Os valores obtidos de nitrogênio variaram entre 0,5 e 6,5 mg/L.

O fósforo ocorre naturalmente pela decomposição de matéria orgânica e pela presença de partículas de solo dissolvidas na água (BRAGA *et al.*, 2005). Os valores de fósforo obtidos nas análises foram menores que 0,24 mg/L, chegando a serem nulos em algumas coletas.

A turbidez é a análise do material presente na água que impede ou dificulta a passagem de luz. O aumento da turbidez pode ocorrer devido à poluição dos rios por meio de descartes domésticos, industriais, partículas de solo, rochas, silte, algas, entre outros (LIBÂNIO, 2008). Na maioria das análises realizadas (Tabela 3), as amostras da jusante aparecem mais turvas, e os valores aparecem entre 4 e 24 UNT, não ultrapassando o que é permitido pelo CONAMA.

Os coliformes termotolerantes – CT, são oriundos de matéria fecal (*E. coli*), estando sempre presente, em densidades elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e pássaros (CETESB, 2009). Os valores obtidos nas análises de coliformes pelo número mais provável em 100 mL variaram entre 1 e 9.863 no mesmo ponto em datas diferentes, sendo a maioria dos resultados com valores acima de 1000 NMP/100mL, que é o valor permitido para águas destinadas ao consumo humano para rios de classe 2.

Sólidos totais expressam a quantidade de matéria dos minerais dissolvidos ou em suspensão na água. Podem causar danos aos peixes e à vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia (CETESB, 2009). Os sólidos totais não ultrapassaram de 150 mg/L.

Com base nos dados da Tabela 4, foi possível calcular os valores do IQA no período de monitoramento.

5.1 INDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os valores obtidos com o cálculo do IQA para cada ponto e data de coleta são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de IQA obtidos para cada ponto por coleta realizada.

Data da Coleta	IQA				
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
10/2012	76,4	70,4	70,2	70,5	69,2
11/2012	72,1	65,7	70,0	73,4	69,2
12/2012	71,5	69,7	64,2	60,7	69,4
01/2013	79,4	89,0	88,2	86,2	88,3
02/2013	62,1	60,9	57,3	52,9	56,9
03/2013	55,2	54,5	61,5	55,6	51,2
04/2013	61,7	68,3	68,1	85,6	65,7
06/2013	52,5	61,9	59,7	63,9	62,1
07/2013	62,0	61,8	60,1	67,9	53,4
08/2013	64,2	63,8	66,7	70,1	57,6
09/2013	72,4	73,6	89,6	82,6	88,1

Os resultados foram representados por cores, sendo que os valores em amarelo se encaixam na faixa de IQA de 51 – 70, considerada com qualidade razoável, e os valores em verde na faixa de IQA de 71 – 90, considerada com qualidade boa.

Das 55 amostras analisadas, 40 (72,7%) enquadraram-se como com qualidade razoável e 15 (27,3 %) com qualidade boa.

Nota-se também que a qualidade da água foi melhorando da montante para a jusante na maioria das coletas, porém, verificou-se que a qualidade boa em certo ponto a montante, não significa a melhora sucessiva dos pontos seguintes. Vale ressaltar que isso pode ocorrer devido a correlação entre os parâmetros, como por exemplo, no estudo de Ribeiro *et al.* (2005), quando relacionam que os baixos resultados obtidos nas análises de turbidez correspondem ao baixo valor obtido nas análises de sólidos totais.

Santos *et al.* (2010), utilizaram o IQA para analisar a qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Sergipe-SE, e se deparou com 83% dos resultados apresentando boa qualidade da água, embora já apresentasse indícios de contaminação por esgoto devido à presença de altos teores de coliformes termotolerantes.

Villas-Boas *et al.* (2011) calcularam o IQA de uma bacia experimental de uso agrícola e os valores encontrados variaram entre bom e médio, porém, afirmam que

os resultados não foram representativos pois correspondem apenas à uma vertente da situação.

Nenhuma faixa foi considerada ruim ou péssima, porém esses resultados podem ser “mascarados”, pois conforme os valores obtidos pelas análises laboratoriais é visível que existem alguns parâmetros com valores elevados ao que é permitido pelo CONAMA N° 357/2005, podendo do mesmo modo a qualidade da água estar comprometida em algum trecho do rio, interferindo assim na saúde humana ou do meio ambiente. Com base nisso, foram elaboradas as cartas de CEP para estudar estes parâmetros em não conformidade. A elaboração dos gráficos possibilitou analisar ponto a ponto cada parâmetro de qualidade e sua variabilidade no decorrer das coletas, sendo os parâmetros analisados conforme o padrão estabelecido pela legislação vigente.

5.2 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO E AVALIAÇÃO SOCIOECONÔMICA

Os gráficos de valores individuais para monitoramento dos parâmetros para obter a característica da qualidade da água da bacia do Rio Mourão por meio do CEP, estão representados a partir da Figura 4, a qual demonstra a carta de controle dos valores de pH.

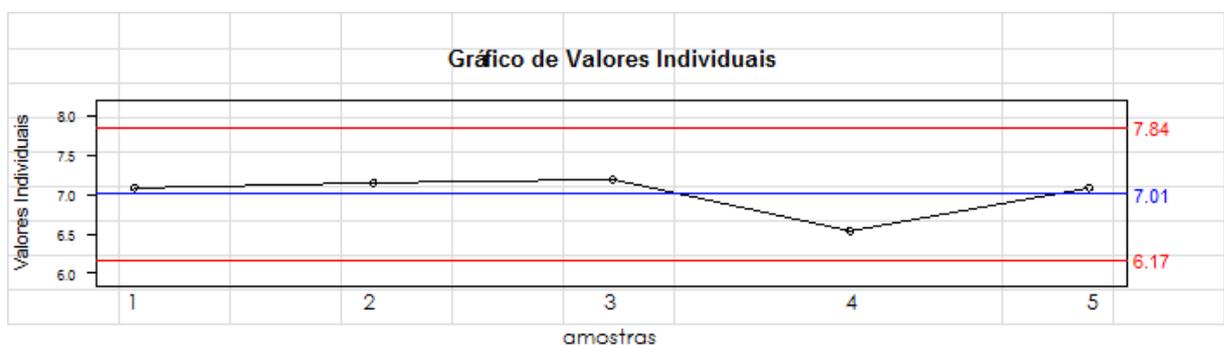


Figura 4 – Carta de controle dos limites de controle do Potencial Hidrogeniônico (pH) ao longo do trecho estudado.

Para o pH, o padrão estabelecido é de 6,0 a 9,0. Os resultados obtidos no gráfico de controle de valores individuais para o pH (Figura 3) demonstram que os valores estão entre 6,17 (LCI) e 7,84 (LCS), sendo a média 7,01 (LC).

Pela Figura 4 é possível notar que os valores de pH estão entre 6,17 (LCI) e 7,84 (LCS), sendo a média de 7,01 (LC), ou seja, de acordo com o padrão estabelecido de 6,0 a 9,0 na Resolução 357/2005 do CONAMA para rios Classe II. Os dados apresentam normalidade, e estão dentro dos padrões de qualidade, porém é possível perceber que o ponto 4 apresenta tendência para baixo enquanto os outros pontos estão acima do limite central, caracterizando um processo fora de controle.

Na Figura 5 é apresentada a carta de controle da variável Demanda Bioquímica de Oxigênio.



Figura 5 – Carta de controle dos limites de controle da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}).

Na Figura 5 é possível verificar que os resultados da DBO_{5,20}, variaram de 1,66 mg/L (LCI) a 3,41 mg/L (LCS), com média de 2,53 mg/L (LC). Os pontos que apresentaram menor e maior valor para DBO_{5,20} foram o Ponto 1 e o Ponto 3, porém de acordo com o valor de até 5 mg/L de O₂ estabelecido na Resolução nº 357/2005 do Conama, caracterizando assim um processo sob controle.

Na Figura 6 é apresentado a carta de controle do nitrogênio total.



Figura 6 – Carta de controle dos limites de controle do Nitrogênio (N).

Para as análises de nitrogênio total (N), tem-se que deve haver 3,7 mg/L de N quando o pH for menor ou igual a 7,5, valor correspondente aos resultados da análise do pH (Figura 3). Os resultados obtidos (Figura 6) variaram entre os limites 0.04 mg/L (LCI) e 0,49 mg/L (LCS), com média de 0,26 mg/L (LC), e os pontos são apresentados de forma ascendente, caracterizando um processo fora de controle.

Analisando o gráfico de nitrogênio, pode-se perceber que os valores estão muito baixos com relação ao pH. Essa quantidade de nitrogênio corresponderia à uma faixa de pH maior que 8,5 conforme o CONAMA N° 357/2005. Segundo a CETESB (2009), nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas. Ou seja, se for coletada uma amostra de água de um rio contaminado e as análises demonstrarem predominância das formas reduzidas significa que o foco de poluição se encontra próximo; se prevalecerem o nitrito e o nitrato denota que as descargas de esgotos se encontram distantes.

Na Figura 7, mostra-se a carta de controle para a variável fósforo.

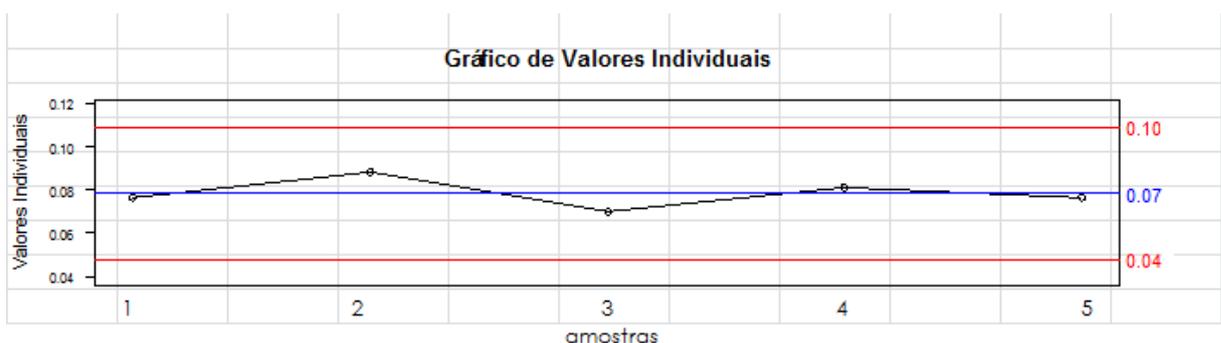


Figura 7 – Carta de controle dos limites de controle do Fósforo (P).

No parâmetro Fósforo (P), o padrão ideal é de até 0,050 mg/L. Os valores obtidos (Figura 7) foram de 0.04 mg/L (LCI) à 0.10 mg/L (LCS), sendo a média de 0.07 mg/L (LC). Os valores para fósforo permaneceram aproximados à média, apresentando pequenas variações no ponto 2 e no ponto 3, porém os valores estão acima do padrão estabelecido pelo conselho, assim, caracteriza-se como um processo fora de controle.

Na Figura 8 é apresentado a carta de controle para a turbidez.



Figura 8 – Carta de controle dos limites de controle da Turbidez.

O padrão estabelecido para a turbidez é de até 100 UNT. Os valores obtidos (Figura 8) apresentaram conformidade variando entre 3.08 UNT (LCI) e 3.94 UNT (LCS), com média de 3.51 UNT (LC). Todos apresentaram resultados conforme a Resolução nº 357/2005 do Conama, apesar do ponto 3 caracterizar um processo fora de controle.

Na Figura 9 é demonstrada a carta de controle para os sólidos totais.

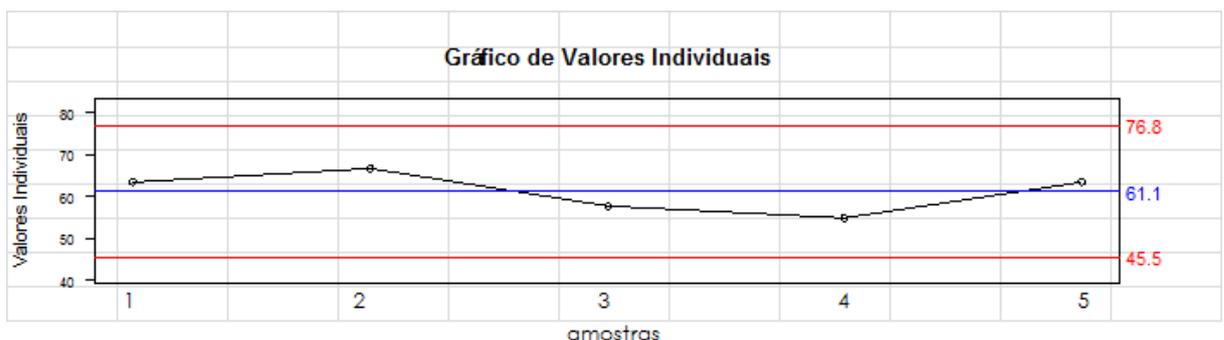


Figura 9 – Carta de controle dos limites de controle dos Sólidos Totais (ST).

Os sólidos totais (ST) podem variar ao longo do rio, não ultrapassando 500 mg/L. Os valores analisados variaram de 45.5 mg/L (LCI) à 76.8 mg/L (LCS), apresentando a média de 61.1 mg/L (LC) de sólidos totais, caracterizando um processo sob controle. Esses valores tem grande significância na qualidade da água e são diretamente relacionados com a turbidez, pois quanto menor a quantidade de sólidos, menor a turbidez das águas.

A carta de controle para o oxigênio dissolvido é demonstrado na Figura 10.



Figura 10 – Carta de controle dos limites de controle do Oxigênio Dissolvido (OD).

O padrão estabelecido para o oxigênio dissolvido (OD), deve ser a uma quantidade superior a 5 mg/L. Ao analisar o OD, foram obtidos valores (Figura 9) de 58.2 mg/L (LCI) a 89.8 mg/L (LCS), com média de 74 mg/L (LC) de OD nas águas. Sendo assim, os valores de oxigênio estão dentro do permitido.

Na Figura 11 é apresentado a carta de controle dos coliformes termotolerantes.

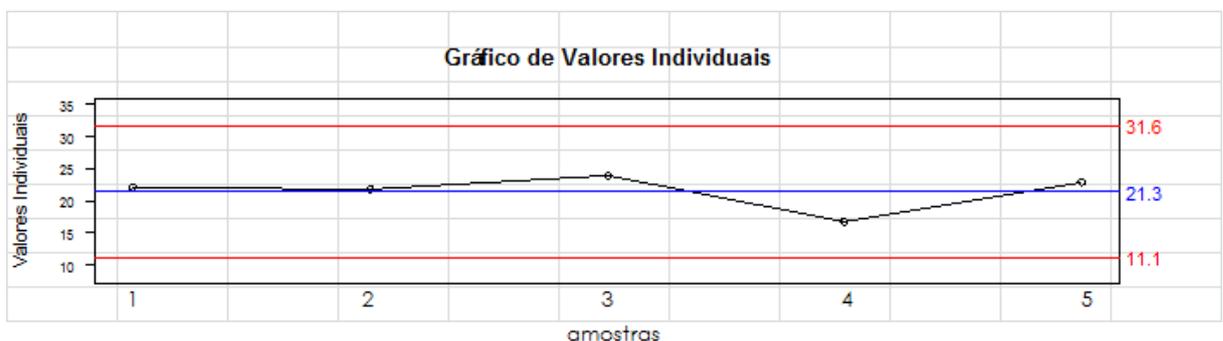


Figura 11 – Carta de controle dos limites de controle dos Coliformes Termotolerantes (CT).

Para os coliformes termotolerantes (CT), o valor admitido é de no máximo 1000 coliformes a cada 100 mL. Os resultados (Figura 11) das análises de coliformes totais apresentaram bons resultados, os quais variaram entre 11.1 (LCI) a 31.6 (LCS), com média de 21.3 (LC) coliformes a cada 100 mL de água analisada, porém o gráfico tem características de carta fora de controle por o ponto 4 apresentar menor valor em relação aos outros.

Embora no CONAMA N° 357/2005 não tenha indicativo de valor específico para a faixa de temperatura, os corpos d'água apresentam variações de temperatura ao longo do dia e das estações do ano. No entanto, o lançamento de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nos corpos d'água. Segundo Queiroz (2003), a temperatura da água é um dos parâmetros físicos mais importantes nos estudos dos ecossistemas aquáticos, uma vez que influencia diretamente a cinética dos processos metabólicos oxidativos vitais, a solubilidade dos gases dissolvidos, a densidade da água que interfere na mistura e movimentos das massas de água e interage com todas as demais propriedades da água. Os resultados obtidos para a temperatura (T) variaram de 20,2 °C a 23,3 °C, com temperatura média de 21,8 °C.

Percebeu-se que a utilização do CEP confirmou os resultados anteriormente apresentados do IQA, ressaltando que foi possível observar os pontos em que os valores estão fora de controle, os quais não são notados quando a qualidade é avaliada somente pelo cálculo do IQA, existindo diversos motivos para atribuir a essas variações visto que os parâmetros sofrem correlação.

Portanto, após estudar os gráficos, levantou-se que algumas variabilidades dos parâmetros da qualidade da água podem sofrer interferências locais pela presença de indústrias, propriedades rurais, atividades agrícolas e habitações localizadas nas proximidades dos pontos de coleta. Pode-se conferir isto visualizando as imagens dos pontos capturadas pelo *software* Google Earth® (Anexo I).

Segundo Mezzomo (2013), o uso predominante do solo no trecho superior da bacia hidrográfica do rio Mourão, é feito pelas atividades agropecuárias que somam 79,04%. As demais categorias envolvem a vegetação natural, que ocupa 16,15% da área, a silvicultura, representando 2,24%, as áreas urbanizadas somando 0,08% e as massas d'água, com 1,17%. O solo exposto apresenta total de 1,32% e

está associado às áreas de agricultura, uma vez que representa períodos de pousio do solo entre as safras ou áreas recém plantadas.

O uso do solo pela silvicultura ocorre devido à presença de uma empresa de celulose (em Luiziana) que trabalha com arredamento de outras propriedades no trecho superior da bacia. Uma empresa agroindustrial (em Campo Mourão) também trabalha com silvicultura nesta área para manutenção de suas atividades industriais. A estrutura fundiária das atividades agropecuárias ocorre em diferentes situações, sendo que na porção centro-sul do trecho superior da bacia elas predominam em grandes propriedades, enquanto que na porção norte-nordeste, a maioria das propriedades são pequenas e médias (MEZZOMO, 2013).

Vale ressaltar que entre os pontos 2 e 3, há a contribuição do Rio do Campo carregando a água que passa pela área urbanizada do município de Campo Mourão, podendo influenciar nos resultados das análises destes pontos. Segundo o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social – IPARDES (2014), de 36.096 unidades abastecidas pela Sanepar (sendo residências, comércio, prédios, propriedades), 27.910 possuem atendimento de rede de esgoto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O homem utiliza a água de diferentes fontes na natureza para satisfazer diversas necessidades. Com isso, a qualidade da água deve ser entendida como um padrão relativo, ou seja, de acordo com cada uso da água as exigências físico-químicas e biológicas são diferentes. Para tanto, existem legislações específicas que estabelecem os limites dos parâmetros permitidos e adequados para os diferentes usos da água. Os resultados da análise da água servem ainda para avaliar o dano deste uso da água sobre o ambiente aquático e subsidiar ações de gerenciamento e mitigação de impactos ambientais.

Nota-se assim a importância da realização de análises de água, visando não só adequar a legislação específica de cada uso requerido, como também prevenir danos à saúde humana e ao meio ambiente. Com isso, evitam-se sérios problemas econômicos e ambientais e possibilita o uso sustentável da água para as gerações atuais e futuras, considerando que a água é um bem finito e cada vez mais escasso.

A análise dos parâmetros físico-químicos da água permitiu verificar que existem alguns destes que não estão dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA N° 357/2005 para rios de classe 2, com águas destinadas ao abastecimento humano.

De acordo com o cálculo de IQA para cada campanha de amostragem, comprovou-se que a qualidade da água da Bacia do Rio Mourão varia entre razoável e boa, porém, são necessários estudos mais aprofundados para saber em quais pontos a qualidade está comprometida.

As implicações socioeconômicas intervenientes ao IQA da Bacia do Rio Mourão podem estar ligadas a presença de indústrias, propriedades rurais, atividades agrícolas e habitações localizadas nas proximidades dos pontos de coleta, e pela influência da área urbanizada do município de Campo Mourão principalmente entre os pontos 2 e 3.

Sendo assim, com base nos estudos realizados neste trabalho, pode-se concluir que a aplicação da ferramenta de Controle Estatístico do Processo pode complementar as análises de qualidade da água, pelo fato de demonstrar onde são causadas as variações do processo.

Sugere-se a realização deste trabalho com a utilização dos gráficos de controle de soma cumulativa (CUSUM) e média móvel exponencialmente ponderada (EWMA), pois conforme Montgomery (2004) estes podem ser mais eficientes quando o deslocamento na média do processo é pequena.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Portal da Qualidade das Águas: Indicadores de Qualidade: Índice de Qualidade das Águas.** [S.l.]: 2009. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>>. Acesso em: 5 mai. 2014.

ALMEIDA, C. S.; RODRIGUES, J. D.; BARBOSA, L. C. R.; SOUZA, R. S.; MALDONADO, M. R. **Controle Estatístico do Processo (CEP)**, CEUNSP, 2011. Itu, SP. Disponível em: <http://fgh.escoladenegocios.info/revistaalumni/artigos/ed04/Ed04%20_Art_05_Contr ole_Estatistico_Do_Processo.pdf> . Acesso em: 09 jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898:1987:** Preservação e Técnicas de Amostragem de Afluentes líquidos e Corpos receptores. 1987.

BRASIL. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde.** Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. 251 p.

_____. **Cuidando das Águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos.** Brasília, DF: Agência Nacional das Águas, 2011. 160 p.

_____. **Resolução CONAMA n°357**, de 17 de março de 2005.

CETESB. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **IQA - Índice de Qualidade das Águas.** Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-\(iqa\)>](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guasSuperficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das%C3%81guas-(iqa)>)>. Acesso em 15 abr. 2014.

CORBETT, C.; PAN, J. N. **Evaluating environmental performance using statistical process control techniques.** European journal of operational research, n. 139, p. 68-83, 2002. Disponível em: <http://www.stat.ncku.edu.tw/faculty_private/jnpan/publication/2002_139_1_EJOR.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2015.

EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E.W.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21a ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation. 2005.

FOLLADOR, F. A. C., VILAS BOAS, M. A., MALMANN, L., SCHOENHALS, M., VILLWOCK, R. Controle de Qualidade da Água medido através de Cartas de Controle de Shewhart, Cusum e MMEP. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 3, p. 183-197, jul/set 2012. Disponível em: <<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=2281&article=746&mode=pdf>>. Acesso em: 2 ago. 2014.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Observando os Rios: O Retrato da Qualidade da Água em rios da região Sul e Sudeste do Bioma Mata Atlântica**. [S.l.]: Março, 2014. Disponível em: <http://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2014/03/relatorio_rios_2014_sosmataatl.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2014.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da Análise Estatística Multivariada no estudo da Qualidade da Água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 16, n. 5, p. 558-563, fev. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n5/v16n05a12.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2014.

HENNING, E.; WALTER, O. M. C.; SOUZA, N. S.; SAMOHYL, R. W. Um Estudo para a aplicação de Gráficos de Controle Estatístico de Processo em Indicadores de Qualidade da Água Potável. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELENCIA EM GESTÃO, 7, 2011. **Anais...** Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11_0330_1774.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**: Paraná: Campo Mourão. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=410430&search=parana|campo-mourao>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

_____. **Cidades**: Paraná: Engenheiro Beltrão. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=410750&search=parana|engenheiro-beltrao>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

_____. **Cidades**: Paraná: Peabiru. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=411880&search=parana|peabiru>>. Acesso em 23 jul. 2014.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Perfil avançado do município de Campo Mourão**. 2013. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/perfil_municipal/MontaPerfil.php?codlocal=332&btOk=ok>. Acesso em: 10 fev. 2015.

_____. **Caderno estatístico município de Peabiru**. 2013. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/Montapdf.php?Municipio=87250&btOk=ok>>. Acesso em: 22 jun. 2014.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2. ed. Campinas: Átomo, v. 1, 444 p, 2008.

LIMA, I. P. A. **Aplicação Do Controle Estatístico De Qualidade De Água Em Cisternas Instaladas Em Comunidades Na Região Do Sertão Do Pajeú – Semiárido Pernambucano**. 2014. 69p. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

MELO NETO, J. de O.; LISBOA, J. P. N.; SANTANA, L. L.; SANTOS, C. Z. A.; SANTANA, C. L.; CHAGAS, R. M., JUNIOR, A. V. M. Aplicação de técnicas de geoprocessamento na análise da supressão da cobertura vegetal no baixo curso do rio Poxim. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 2008, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2008.

MEZZOMO, M. M. Caracterização Geoecológica do Trecho Superior da Bacia Hidrográfica do Rio Mourão-PR: Subsídio Ao Planejamento da Paisagem. **Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**. Maringá, v.5, n.1, p.18-38, 2013.

MONTGOMERY, Douglas, C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. Arizona State University. Copyright © by Editora LTC, 4. ed. Rio de Janeiro, 2004.

PORTAL ACTION, Action 2.6, 2013. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/content/download-action>>. Acesso em: 05 mai. 2014.

QUEIROZ, A. M. **Caracterização limnológica do lagamar do Cauípe – Planície Costeira do município de Caucaia – CE**. 2003. 204 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, CE, 2003.

RIBEIRO, J. D. L., TEN CATEN, C. S. **Controle Estatístico do Processo: Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição.** 2012. 172 f.– Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Fundação Empresa Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/388_apostilacep_2012.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2014.

RIBEIRO, T. A. P., AIROLDI, R. P. S., PATERNIANI, J. E. S., SILVA, M. J. M. Variação dos Parâmetros Físicos, Químicos e Biológicos da Água Em Um Sistema De Irrigação Localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.9, n.3, 2005.

SANTOS, A. M. O., SANTOS, M. S., CORREIA, F. O., GOMES, S. S., MARQUES, M. N. **Avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Sergipe-SE através da aplicação do Índice de Qualidade de Água (IQA).** In: III Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe. Aracaju, SE, 2010.

SANTOS, F. R., ARANTES, E. J., KELNIAR, A. R. **Análises Estatísticas Dos Parâmetros De Qualidade Da Água Do Rio Do Campo Na Cidade De Campo Mourão – PR.** In: XVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2011.** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2011. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=101>>. Acesso em: 12 jun. 2014.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** v.7. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007.

VARGAS, V. C. C.; LOPES, L. F. D; SOUZA, A. M. Comparative study of the performance of the CuSum and EWMA control charts. **Computers & Industrial Engineering.** Los Angeles, USA, v.46, n. 4, 2004.

VILLAS-BOAS, M. D., CHAVES, C. F. B., SANTOS, F. J., SILVA, J. G. P., HENRIQUES, M. P., MONTEIRO, A. E. G. C. **Avaliação Preliminar Da Qualidade Da Água Nas Bacias Experimentais E Representativa Do Rio Piabanha A Partir Do Cálculo Do Índice De Qualidade De Água – IQA.** In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, AL, 2011.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de Qualidade de Água em Microbacia sob Uso Agrícola e Urbano. **Scientia Agrícola**, v.59, n.1, p. 181-186, jan./mar.2002. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/sa/v59n1/8092.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

ANEXO I



Figura 12 - Ponto de coleta (P1) localizado à jusante do reservatório, próximo a Mandijuba, distrito do município de Engenheiro Beltrão.

Fonte: Adaptado de Google Earth® (2014).



Figura 13 - Ponto de coleta (P2) localizado à jusante do reservatório, próximo ao município de Engenheiro Beltrão.

Fonte: Adaptado de Google Earth® (2014).

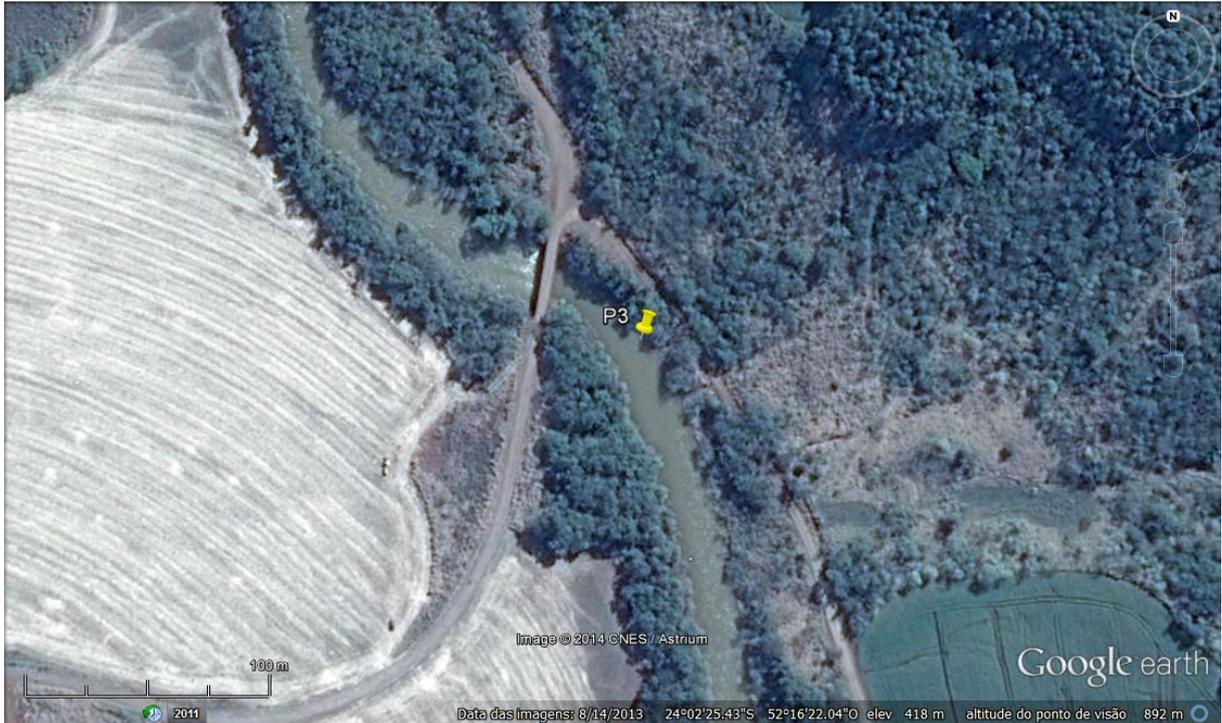


Figura 14 - Ponto de coleta (P3) localizado à jusante do reservatório, na estrada que leva ao Barreiro das Frutas.

Fonte: Adaptado de Google Earth® (2014).



Figura 15 - Ponto de coleta (P4) localizado à montante do reservatório, próximo a Campina do Amoral, distrito de Luiziana.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).

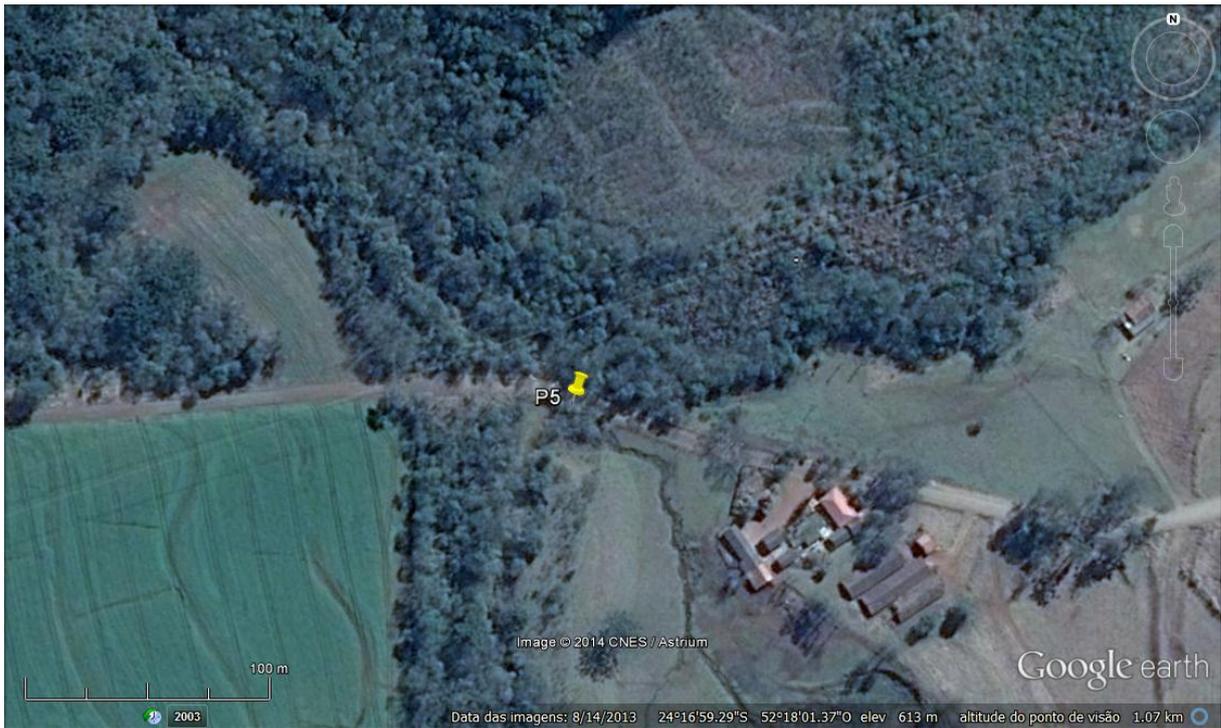


Figura 16 - Ponto de coleta (P5) localizado no Rio Sem Passo, à montante do reservatório, próximo ao município de Luiziana.
Fonte: Adaptado Google Earth® (2014).