

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

CAMILA DAL PONT DALL'AGNOL

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS EM RESERVATÓRIOS
DE ABASTECIMENTO: ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM DO RIO SÃO
BENTO**

**CRICIÚMA
2015**

CAMILA DAL PONT DALL'AGNOL

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS EM RESERVATÓRIOS
DE ABASTECIMENTO: ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM DO RIO SÃO
BENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheira Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro José Back

**CRICIÚMA
2015**

CAMILA DAL PONT DALL'AGNOL

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS EM RESERVATÓRIOS
DE ABASTECIMENTO: ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM DO RIO SÃO
BENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenharia Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 25 de Junho de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Álvaro José Back - Doutor - (UNESC) - Orientador

Prof^a. Nadja Zim Alexandre - Mestre - (UNESC)

Prof. Sergio Luciano Galatto - Mestre - (UNESC)

Dedico este trabalho àqueles que sempre se fizeram presentes neste percurso, principalmente a meus pais, que não mediram esforços para me deixar a maior herança: meus estudos! A vocês, muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

No decorrer dos anos que pareciam não passar e que estão no final, gostaria de ter a lembrança viva para agradecer a cada um que de alguma forma estiveram comigo. Nesta impossibilidade, gostaria de agradecer, desde já, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização e finalização deste estudo.

Não poderia deixar de agradecer primeiramente a Deus, pai todo poderoso, que permitiu que tudo isso acontecesse, não somente nestes anos de universitária, mas ao longo da minha vida, por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades durante este percurso.

Aos meus pais, João Carlos e Marlei, que me apoiaram e incentivaram, para a conclusão deste curso. À meu pai, porque passava dias e dias nestas estradas, para poder me proporcionar os estudos e para que não nos faltasse nada. À minha mãe, porque com todo seu carinho e atenção, sempre tentou trazer a paz nos dias mais desesperadores.

Ao meu irmão Ricardo, por sempre ter me apoiado.

Ao meu esposo Diego, que está ao meu lado antes mesmo da escolha da minha profissão, e mesmo com todas as dificuldades que estamos vivenciando, permanecemos juntos. E também por suprir toda a ausência que tive durante esses meses, como mãe, para nosso amado filho Igor.

Agradeço também a ele, meu filho Igor, que tão pequenino não possui o entendimento do porquê de tamanha ausência, e com muita dor no coração tive que muitas vezes negar seus pedidos de colo, seus pedidos para brincar, ou simplesmente só para ficar ao seu lado assistindo seus vídeos favoritos.

À minha tia Mari, que ajudou tanto em relação ao meu filho, perdendo suas manhãs livres e dando o seu melhor para que ele não sentisse tanta carência na minha ausência.

Agradeço ao meu professor orientador Álvaro José Back, com quem partilhei o que era broto daquilo que veio a ser esse trabalho. Obrigada por toda sua paciência, compreensão, dedicação e principalmente por sempre tentar me tranquilizar.

A todos aos professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica. Em especial aos professores Mário Ricardo Guadagnin e Sérgio

Bruchchen, pelos conselhos valiosíssimos e amizade, que jamais esquecerei. Aos que também me auxiliaram para a conclusão deste trabalho, como o professor Gustavo Zambrano e a professora Nadja Zim Alexandre, por esclarecerem diversas dúvidas durante este processo.

Aos colegas de faculdade, onde fiz grandes amizades e que as levarei sempre comigo, obrigada pelos bons momentos que passamos juntos.

Agradeço também a Gerência de Operações (GOPS) da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN por terem me recebido tão bem, e principalmente ao meu supervisor de estágio Antonio Adilio da Silveira, pela compreensão nos meus momentos de angústia e também pelos ensinamentos. Agradeço por me passar um pouquinho dos seus 30 anos de experiência, durante esses 8 meses de estágio.

MUITO OBRIGADA!

As dificuldades não foram poucas...
Os desafios foram muitos...
Os obstáculos, muitas vezes, pareciam intransponíveis.
Muitas vezes nos sentimos sós, e, assim, o estivemos...
O desânimo quis contagiar, porém, a garra e a tenacidade foram mais fortes, sobrepondo esse sentimento, fazendo-nos seguir a caminhada, apesar da sinuosidade do caminho.
Agora, ao olharmos para trás, a sensação do dever cumprido se faz presente e podemos constatar que as noites de sono perdidas e visitas realizadas; o cansaço dos encontros, os longos tempos de leitura, digitação, discussão; a ansiedade em querer fazer e a angústia de muitas vezes não o conseguir, por problemas estruturais; não foram em vão.
Aqui estamos, como sobreviventes de uma longa batalha, porém, muito mais fortes e hábeis, com coragem suficiente para mudar a nossa postura, apesar de todos os percalços...

Como dizia Antoine Saint Exupéry em sua obra prima "O Pequeno Príncipe":

"Foi o tempo que perdeste com a tua rosa, que fez a tua rosa tão importante".

RESUMO

Diante da crescente urbanização, os problemas ambientais vêm tornando-se cada vez mais preocupantes, dentre eles, estão os recursos hídricos, onde a demanda torna-se cada vez maior e escassez mais presente. Com a instalação da Barragem do Rio São Bento, em Siderópolis - SC, a demanda hídrica da região de Criciúma teve seus conflitos minimizados, contribuindo para o abastecimento humano, industrial e agrícola. Justificando a importância da Barragem do Rio São Bento para a região, o monitoramento da qualidade da água é de extrema importância. Como monitoramento, tem-se o Índice de Qualidade das Águas (IQA), que informa a qualidade da água em um único resultando. O trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água do reservatório da Barragem do Rio São Bento e verificar a variação espacial, temporal e sazonal da qualidade da água. Foram usados os dados do monitoramento do período de 2005 a 2014. As amostras foram coletadas em pontos a montante do reservatório (Ponto 1 e Ponto 2), quatro pontos no reservatório (Ponto 3.0, Ponto 3.1, Ponto 3.2 e Ponto 3.3) na profundidades de Superfície (S), Meio (M) e Fundo (F). Ainda foi coletada amostra a jusante da barragem (Ponto 5). Foram calculados o Índice de Qualidade das Águas (IQA) e o Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR). A avaliação da variação espacial e sazonal foi realizada por meio da Análise de Variância (ANOVA) de uma Via seguido de post hoc com teste de Tukey. Tanto para a ANOVA como para o teste de Tukey adotou-se o nível de significância de 5%. Na avaliação sazonal agrupou-se os dados por estação do ano. A variação temporal do IQA foi realizada com base na análise de regressão linear dos valores de IQA ao longo dos anos de monitoramento, com o intuito de avaliar a tendência significativa do coeficiente angular da equação ajustada. Os resultados evidenciam que há variação do IQA nos pontos de amostragens. Os Pontos 1, 2, 5, 3.0.S, 3.1.S, 3.2.S e 3.3.S não apresentaram diferenças significativas no IQA médio, classificando a qualidade da água em "Ótima". Os menores valores médios de IQA foram observados nos pontos 3.1.F e 3.3.F classificados como qualidade "Boa". Também foi observado que nos pontos 1, 2, 3.0.S, 3.1.S, 3.3.S e 5 não houve variação sazonal do IQA, enquanto que para os demais pontos os maiores valores de IQA foram observados no inverno e primavera e menores no outono e verão. A análise temporal apresentou tendência significativa de aumento do IQA para os pontos 3.0.M e 3.0.F e para os demais pontos não houve tendência significativa. Com base nos dados do monitoramento conclui-se que não existem diferenças significativas entre a qualidade da água a montante e a jusante de barragem. Os pontos de monitoramento de água na superfície do reservatório apresentam qualidade da água semelhante aos pontos a montante. O ponto de monitoramento mais profundo foi observado tendência significativa de aumento do IQA.

Palavras-chave: Índice de Qualidade da Água (IQA), Monitoramento, Reservatórios de abastecimento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.	31
Figura 2 - Curva de qualidade padrão para as variáveis ISTO.....	34
Figura 3 - Pontos de amostragens à montante e jusante da Barragem do Rio São Bento e dentro do reservatório.	43
Figura 4 - Variação Espacial do IQA do reservatório da Barragem do Rio São Bento.	53
Figura 5 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 1, localizado a montante do reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	56
Figura 6 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 2, localizado a montante do reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	57
Figura 7 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 5, localizado a jusante do reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	58
Figura 8 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.0.S, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	60
Figura 9 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.0.M, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	61
Figura 10 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.0.F, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	62
Figura 11 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.1.S, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	64
Figura 12 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.1.M, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	65
Figura 13 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.2.S, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	66
Figura 14 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.2.M, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	67
Figura 15 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.3.S, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	68
Figura 16 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.3 M, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	69

Figura 17 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.3.F, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	71
Figura 18 - Variação Temporal do IQA no Ponto 1.	72
Figura 19 - Variação Temporal do IQA no Ponto 2.	73
Figura 20 - Variação Temporal do IQA no Ponto 5.	74
Figura 21 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.0 S.	74
Figura 22 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.0 M.	75
Figura 23 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.0 F.	75
Figura 24 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.1.S.	76
Figura 25 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.1.M.	77
Figura 26 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.2.S.	77
Figura 27 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.2.M.	78
Figura 28 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.3.S.	78
Figura 29 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.3.M.	79
Figura 30 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.3.F.	79
Figura 31 - Variação Espacial do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento.....	81
Figura 32 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no Ponto 3.0.S.	82
Figura 33 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no Ponto 3.0.M.....	84
Figura 34 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.0.F.	85
Figura 35 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.1 S.	86
Figura 36 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.1 M.....	87
Figura 37 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.2.S.	88
Figura 38 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.2 M.....	89
Figura 39 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.3 S.	90

Figura 40 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.3.M.....	91
Figura 41 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.3.F.	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Nível de qualidade da água.....	31
Tabela 2 - Nível de qualidade da água.....	32
Tabela 3 - Classificação de qualificação.	33
Tabela 4 - Limites Superiores e Inferiores dos metais e PFTHM.	35
Tabela 5 - Faixas de número de células de cianobactérias e a respectiva taxaço para o cálculo do ISTO.....	36
Tabela 6 - Classificação da qualidade da água.....	37
Tabela 7 - Coordenadas geográficas dos Pontos de coleta da Barragem do Rio São Bento.....	44
Tabela 8 - Peso dos parâmetros.	45
Tabela 9 - Nível de qualidade da água.....	49
Tabela 10 - Classes de qualidade da água.	49
Tabela 11 - Pesos em função da importância da qualidade da água do reservatório.	50
Tabela 12 - Classificação de qualificação.	50
Tabela 13 - Pontos de coleta, IQA médio e Teste de Tukey.	54
Tabela 14 - Valores de IQA do Ponto 1.....	55
Tabela 15 - Valores de IQA do Ponto 2.....	56
Tabela 16 - Valores de IQA do Ponto 5.....	58
Tabela 17 - Valores de IQA do Ponto 3.0.S.	59
Tabela 18 - Valores de IQA do Ponto 3.0.M.....	60
Tabela 19 - Valores de IQA do Ponto 3.0.F.	62
Tabela 20 - Valores de IQA do Ponto 3.1.S.	64
Tabela 21 - Valores de IQA do Ponto 3.1.M.....	65
Tabela 22 - Valores de IQA do Ponto 3.2.S.	66
Tabela 23 - Valores de IQA do Ponto 3.2.M.....	67
Tabela 24 - Valores de IQA do Ponto 3.3.S.	68
Tabela 25 - Valores de IQA do Ponto 3.3.M.....	69
Tabela 26 - Valores de IQA do Ponto 3.3.F.	70
Tabela 27 - Pontos de coleta, IQA médio e Teste de Tukey.	80
Tabela 28 - Valores de IQAR do Ponto 3.0.S.....	82
Tabela 29 - Valores de IQAR do Ponto 3.0.M.	83

Tabela 30 - Valores de IQAR do Ponto 3.0.F.....	84
Tabela 31 - Valores de IQAR do Ponto 3.1.S.....	85
Tabela 32 - Valores de IQAR do Ponto 3.1 M.	87
Tabela 33 - Valores de IQAR do Ponto 3.2 S.....	88
Tabela 34 - Valores de IQAR do Ponto 3.2 M.	89
Tabela 35 - Valores de IQAR do Ponto 3.3.S.....	90
Tabela 36 - Valores de IQAR do Ponto 3.3 M.....	91
Tabela 37 - Valores de IQAR do Ponto 3.3.F.....	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 LAGOS E RESERVATÓRIOS.....	18
2.2 QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO	19
2.2.1 Parâmetros de Qualidade da Água	21
2.2.1.1 Temperatura.....	21
2.2.1.2 Turbidez	21
2.2.1.3 Potencial Hidrogeniônico – pH	22
2.2.1.4 Nitrogênio	23
2.2.1.5 Fósforo	24
2.2.1.6 Oxigênio Dissolvido – OD.....	24
2.2.1.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	25
2.2.1.8 Coliformes Termotolerantes	26
2.2.1.9 Sólidos Totais	27
2.3 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA	27
2.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS – IQA.....	29
2.4.1 Cálculo do Índice de Qualidade das Águas – IQA	30
2.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR)	32
2.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTAS PARA FINS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO - IAP	33
2.6.1 ISTO – Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas	33
2.6.2 Cálculo do ISTO	37
2.6.3 Cálculo do IAP	37
3 METODOLOGIA	38
3.1 ESTUDO DE CASO	39
3.2 ÁREA DE ESTUDO.....	40
3.2.1 Amostragens	41
3.2.2 Pontos de Coletas	42
3.3 CÁLCULO DO ÍNDICE QUALIDADE DA ÁGUA – IQA	44
3.3.1 Percentual de oxigênio dissolvido - % O₂	45
3.3.2 Coliformes Fecais	46

3.3.3 Potencial Hidrogeniônico – pH	46
3.3.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	46
3.3.5 Fósforo Total	47
3.3.6 Nitrogênio Total	47
3.3.7 Turbidez	47
3.3.8 Variação da Temperatura	48
3.3.9 Sólidos Totais	48
3.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR)	49
3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA – IQA	52
4.1.1 Variação Espacial	52
4.1.2 Variação Sazonal	55
4.1.3 Variação Temporal	71
4.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR)	80
4.2.1 Variação Espacial	80
4.2.2 Variação Sazonal	82
5 CONCLUSÃO	93

1 INTRODUÇÃO

Diante da crescente urbanização, a humanidade vem sofrendo uma série de problemas ambientais. Entre estes, está à preocupação com os recursos hídricos, onde a demanda torna-se cada vez maior, adquirindo uma importância especial devido ao impacto do aumento populacional.

Visando não somente o desenvolvimento sustentável, como também o abastecimento humano, a qualidade da água é vista em todos os campos de atuação da engenharia, sendo que, a avaliação da mesma, é de grande importância, podendo ser realizada por meio de monitoramentos do Índice de Qualidade das Águas (IQA) e pelo Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR).

O principal objetivo do IQA é informar a qualidade de um determinado corpo hídrico de forma mais acessível e de fácil entendimento pelas pessoas envolvidas no gerenciamento dos recursos hídricos, convertendo as várias informações em um único resultado.

Com o aumento da demanda hídrica e a escassez no Brasil, a poluição dos recursos hídricos torna-se cada dia mais agravante, exigindo que o planejamento e o manejo desses recursos sejam implantados para a minimização dos impactos. A região de Criciúma, por muitos anos, teve como principal atividade econômica a mineração de carvão, atividade esta, que provoca até os dias atuais a degradação dos recursos hídricos.

Diante dos inúmeros impactos quantitativos e qualitativos, a necessidade de atender a demanda de água durante os períodos de estiagem na região, fez surgir à necessidade da implantação da Barragem do Rio São Bento que contribui para o abastecimento humano, industrial e agrícola.

Justificando a importância que a Barragem do Rio São Bento possui para a região de Criciúma como fonte de abastecimento, a análise da qualidade da água torna-se um instrumento de monitoramento extremamente indispensável, apresentando por meio do IQA, por exemplo, o grau de poluição desse recurso.

Localizada no município de Siderópolis – SC, a Barragem do Rio São Bento possui uma acumulação de água, com volume útil de 53,2 hm³, possibilitando o abastecimento até o ano de 2033, para uma população de 730.000, como também para o abastecimento industrial e para a resolução dos problemas conflitantes na irrigação de lavouras.

O objetivo geral do trabalho de conclusão de curso é avaliar a qualidade da água do reservatório da Barragem do Rio São Bento. E os seus objetivos específicos: a) Avaliar a variação espacial da qualidade da água no reservatório da Barragem do Rio São Bento; b) Avaliar a variação sazonal da qualidade da água no reservatório da Barragem do Rio São Bento; c) Avaliar a evolução temporal da qualidade da água no reservatório da Barragem do Rio São Bento; d) Aplicar Índices de Qualidade das Águas (IQA); e) Aplicar Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR).

Para a análise da qualidade da água do reservatório, foram levantados dados de monitoramento da Barragem do Rio São Bento, entre o período de 2005 a 2014 para a realização dos cálculos do Índice de Qualidade das Águas (IQA) e Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LAGOS E RESERVATÓRIOS

A natureza dos problemas da qualidade da água em lagos e reservatórios, ditos *habitats lênticos*, difere-se dos problemas dos rios e estuários (*habitats lóticos*). Ainda que os elementos que contribuem para a existência dos problemas sejam basicamente os mesmos, a escala temporal-espacial dos fenômenos que ocorrem no corpo hídrico é distinta das escalas dos rios e estuários (BRANCO et al., 1991).

“Os lagos são formados quando a água dos rios encontra algum obstáculo para continuar seu percurso normal e áreas com relevo deprimido acumulam estas águas, dando origem a um lago.” (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Por outro lado, os reservatórios são:

Lagos feitos pelo homem – merecem esta designação porque são lagos artificiais criados pelo homem para atender finalidades específicas. Sua criação torna os reservatórios diferentes dos lagos de muitas maneiras, logo, diversos aspectos relativos a seu gerenciamento são diferentes. Eles são lagos porque podem ser descritos como um volume de água, com composição específica, contendo várias formas de vida. Entretanto, lagos naturais preenchem depressões naturais, enquanto reservatórios normalmente enchem vales de rios barrados. Semelhante aos lagos, os reservatórios são variáveis; não apresentam uniformidade de localização, tamanho ou forma. (STRASKRABA; TUNDISI, 2000).

Os ecossistemas lênticos são ditos como águas estacionárias e podem variar em função da sazonalidade (ÁGUAS E GESTÃO, 2014). As principais características de ecossistemas lênticos são:

Alta capacidade de solubilização de compostos orgânicos, gradientes verticais, baixo teor de sais dissolvidos, alta densidade e viscosidade da água, capacidade de sedimentação, seiches internos, temperatura e radiação subaquática. (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

De acordo com Henderson-Sellers (1984 apud BRANCO et al. 1991), nos rios, a dominância das velocidades longitudinais tornam-se desprezíveis à influência dos fenômenos que ocorrem nas direções verticais e transversais. Já nos lagos e reservatórios, o tamanho e a profundidade fazem com que as vazões afluentes e defluentes sejam de pouca importância, possibilitando que as análises se deem ao longo da direção vertical.

Para Branco et al. (1991), a diferença fundamental entre lagos e reservatórios é no controle das vazões defluentes. Nos reservatórios, destinados ao abastecimento d'água ou para geração de energia, permite ser controlado o nível da água com bastante rapidez.

A qualidade da água destes ecossistemas varia em função dos fenômenos naturais e da ação antrópica. O uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica é um dos fatos mais importantes que influenciam a qualidade de um determinado corpo d'água. (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

A profundidade em lagos e reservatórios possui uma grande importância na qualidade das águas. Os lagos rasos, por exemplo, são capazes de sofrerem maiores processos de eutrofização. Já os profundos, apresentam dificuldades para a circulação vertical das massas de água (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Em relação à radiação solar que atinge a superfície dos lagos e reservatórios, parte dela é absorvida e parte refletida (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

A quantidade de radiação refletida é influenciada pelas condições da superfície da água e pelo ângulo de incidência da radiação na superfície. A radiação solar, ao penetrar na coluna d'água, sofre profundas alterações, tanto na sua intensidade como na sua qualidade. (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Vários fatores são os responsáveis por estas alterações, como exemplo a quantidade de material dissolvido e particulado em suspensão. Devido à refração ocasionada pela redução da velocidade da radiação no meio líquido, a mudança de direção é a primeira alteração sofrida. Parte da radiação é absorvida, transformando-a em outras formas de energia, como: energia química, pela fotossíntese, e calorífica pelo aquecimento da água. E a outra parte sobre dispersão, promovida devido à colisão de partículas suspensas ou dissolvidas na água (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

2.2 QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO

A qualidade da água é caracterizada segundo Tundisi (1986 apud BREDA, 2011), como uma integral espacial e temporal que depende das propriedades físicas, químicas e biológicas de um corpo hídrico. Os diversos

processos no espaço e no tempo deve ser um somatório objetivando exclusivamente em obter a qualidade da água.

De acordo com Mihelcic e Zimmerman (2015), as condições de qualidade da água nos reservatórios são influenciadas:

Pela magnitude e rota dos fluxos de energia e compostos químicos que passam através dos ciclos biogeoquímicos. A perturbação cultural de dois desses ciclos, fósforo e nitrogênio, resulta em um problema de qualidade de água de interesse amplo: *eutrofização*.

Segundo Zadra et al. (2011), a instalação de barragens em rios altera o fluxo da água, o que pode provocar modificações na qualidade da água. Devido às alterações antrópicas, a vulnerabilidade do reservatório aumenta e conseqüentemente a redução da qualidade da água pode ocorrer por meio do aumento de nutrientes, podendo ocorrer o processo de eutrofização.

O monitoramento das variáveis físicas e químicas, segundo Goulart e Callisto (2003 apud BREDA, 2011), tem como vantagem a avaliação de impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos, como: “identificação imediata de modificações nas propriedades físicas e químicas da água; detecção precisa variável modificada; e determinação das concentrações alteradas.”

No entanto, de acordo com Goulart e Callisto (2003 apud BREDA, 2011), o sistema apresenta algumas desvantagens, como: a descontinuidade temporal e espacial das amostragens.

De acordo com Straskraba e Tundisi (2000), as variáveis básicas que avaliam a qualidade da água de um reservatório podem ser divididas em:

- a) Vazões por ocasião da amostragem complementada por informações sobre as retiradas de água;
- b) Variáveis de qualidade da água que indicam estratificação, tais como a temperatura, oxigênio dissolvido, pH, sulfetos de hidrogênio, ferro e manganês;
- c) Variáveis de qualidade hídrica indicadoras de eutrofização, quais sejam o fósforo, nitrogênio, transparência, clorofila A, produção primária, composição de fitoplâncton, zooplâncton e estoques pesqueiros;
- d) Variáveis que caracterizam a quantidade de matéria orgânica (DQO, DBO, cor);
- e) Variáveis microbiológicas;
- f) Balanço mineral (condutividade, alcalinidade, sulfatos, clorados).

Além dessas variáveis, segundo Straskraba e Tundisi (2000), os dados hidrometeorológicos também são úteis na determinação da qualidade da água.

Para a maioria das variáveis há uma relação entre vazões e concentrações. Por esse motivo, as variações sazonais na qualidade da água devem ser estudadas em função das mudanças nas vazões. Em reservatórios grandes, contribuições laterais representadas pela chuva ou pelas bacias hidrográficas podem diferir daquelas recebidas através dos rios principais, podendo causar diferenças espaciais e irregularidade sazonal. (STRASKRABA; TUNDISI, 2000, p.129).

2.2.1 Parâmetros de Qualidade da Água

Segundo Von Sperling (1996), diversos parâmetros representam a qualidade da água, sendo de características físicas, químicas e biológicas.

2.2.1.1 Temperatura

A temperatura da água é o resultado da radiação solar que incide sobre o corpo hídrico. Grande influente nas atividades biológicas, sendo que, é determinante para o tipo de organismo que habita o local e para o crescimento do mesmo, por possuírem uma faixa de temperatura ideal para o seu desenvolvimento (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

A temperatura causa influência na tensão superficial, viscosidade, entre outros parâmetros físico-químicos, e quando ultrapassam do limite de tolerância térmica, afetam organismos aquáticos, causando impactos no crescimento e reprodução. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, 2015).

Para Straskraba e Tundisi (2000), a temperatura medida em diferentes profundidades indica a mistura e estratificação da massa hídrica e das correntes existentes no reservatório. E geralmente, apresenta uma ampla variação, o que indica uma sazonalidade marcada, com os valores mais elevados durante o período do verão e temperaturas com valores mais baixas durante o inverno (KRUPEK; BRANCO; PERES, 2010).

2.2.1.2 Turbidez

A redução que um feixe de luz sofre ao atravessar a água é denominada de turbidez. Esta redução é devida à absorção e ao espalhamento da luz pelos

sólidos em suspensão, como argila, matéria orgânica, silte, entre outros organismos microscópicos (ANA, 2015).

As partículas em suspensão variam de tamanhos dependendo do grau turbulento do ambiente. Quando presentes, essas partículas causam a dispersão e absorção da luz, deixando a água com aparência turva (BRANCO et al. 1991).

A elevação da turbidez faz com que a quantidade de produtos químicos, como exemplo, os coagulantes, seja utilizada nas estações de tratamento de águas. A turbidez, além de trazer maiores custos para o tratamento, o aumento dela afeta a preservação dos organismos aquáticos, o uso industrial e as atividades recreativas (ANA, 2015).

De acordo com Straskraba e Tundisi (2000), a transparência é determinada pela combinação da cor das águas, pela turbidez mineral e pela presença de algas. O fitoplâncton, por exemplo, ocasiona grandes variações sazonais na transparência.

A erosão dos solos é a principal fonte de turbidez, quando ocorre às épocas de chuvas, as águas pluviais trazem consigo uma quantidade significativa de material sólido para os corpos hídricos. Assim como a erosão dos solos, as minerações, os lançamentos de esgotos e efluentes industriais, são grandes fontes de turbidez (ANA, 2015).

Em localizações com balanços hídricos bem distribuídos e com precipitações regulares ao longo do tempo, a turbidez fica reduzida aos períodos de chuvas mais intensas, que aumentam a erosão (STRASKRABA; TUNDISI, 2000).

Nas regiões temperadas, ocasionadas pelas cheias, a turbidez desaparece após esses eventos, em pouco tempo. Enquanto nas regiões áridas e semi-áridas, a granulometria fina dos sólidos em suspensão impede a sedimentação rápida, reduzindo a penetração da luz, portanto, a fotossíntese do fitoplâncton interfere com a filtragem do zooplâncton, o que ocasiona a redução da visibilidade (STRASKRABA; TUNDISI, 2000).

2.2.1.3 Potencial Hidrogeniônico – pH

Segundo Águas e Gestão (2014), o pH é a medida que determina se a água é ácida ou alcalina, com valores de 0 a 14. Quando uma solução aquosa for

ácida, seu pH será <7 , neutra $=7$, e alcalina o pH será >7 (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

No tratamento de água e efluentes, durante o processo de neutralização, precipitação, coagulação, desinfecção e controle de corrosão dependem dos valores do pH. Corpos hídricos encontrados na natureza possuem valores aproximados de 4 a 9, sendo a maioria básica (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Os valores de pH alterados, podem aumentar os efeitos de substâncias químicas, como os metais pesados, que são tóxicos para os organismos aquáticos (ANA, 2015).

Segundo Straskraba e Tundisi (2000), o valor do pH nos reservatórios em períodos de baixa atividade fotossintética, é de 6,0 e 7,2. O pH menor que 6,0 pode indicar águas distróficas, que possuem cor marrom, ou ser resultado do processo de acidificação, pois geralmente a cor das águas são claras.

2.2.1.4 Nitrogênio

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes ao metabolismo de ecossistemas aquáticos, por participar da formação das proteínas, componente básico para a biomassa (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

O nitrogênio pode ocorrer de diversas formas, como: nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. Em altas concentrações, os nitratos causam doenças aos seres humanos, como exemplo a metahemoglobinemia infantil, letal para as crianças por serem tóxicos (ANA, 2015).

É um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em lagos e represas, pode conduzir a um crescimento exagerado desses organismos (processo denominado *eutrofização*). (VON SPERLING, 1996 p. 31).

Uma pequena queda nas concentrações nas camadas superficiais dos reservatórios durante a fase do crescimento do fitoplâncton indica sua utilização de forma intensiva. Concentrações baixas é o resultado de um consumo e abastecimento equilibrado, incluindo a excreção de amônia e fosfatos pelo zooplâncton e peixes, transporte de nutrientes, entre outros (STRASKRABA; TUNDISI, 2000).

Em um corpo d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio pode fornecer informações sobre o estágio da poluição (poluição recente está associada ao nitrogênio na forma orgânica ou de amônia, enquanto uma poluição mais recente está associada ao nitrogênio na forma de nitrato). (VON SPERLING, 1996 p. 32).

2.2.1.5 Fósforo

O fósforo é importante no sistema biológico devido à participação em processos do metabolismo dos seres vivos. Por ser limitador da produtividade, o fósforo é um dos principais responsáveis pelo crescimento excessivo das algas, ocorrendo então, o processo de eutrofização artificial dos corpos hídricos (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Encontra-se na água na forma de fosfato, originados de fontes naturais, como: rochas das bacias de drenagem, material particulado presente na atmosfera e na decomposição da matéria orgânica. São originados também de fontes artificiais, como: esgotos domésticos e industriais e material particulado de origem industrial (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Nos esgotos domésticos, as fontes de fósforo estão na presença de detergentes superfosfatados e da matéria fecal. Entre os efluentes industriais, destacam-se como fonte de fósforo as indústrias de fertilizantes, alimentícias, de laticínios, frigoríficos e os abatedouros (ANA, 2015).

As concentrações de fósforo, via de regra, são sempre muito menores no trecho a jusante dos reservatórios, devido ao seu consumo pelas algas e pela sedimentação, maiores em seu trecho final. Durante a fase de crescimento das algas, a concentração de fósforo pode se reduzir a poucos mg/l, especialmente nas camadas superficiais. (STRASKRABA; TUNDISI, 2000, p.111).

2.2.1.6 Oxigênio Dissolvido – OD

Segundo Von Sperling (1996), o oxigênio dissolvido (OD) é um parâmetro de grande importância para os organismos aeróbios, que vivem na presença de oxigênio.

Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias fazem uso do oxigênio nos seus processos respiratórios, podendo vir a causar uma redução da sua concentração no meio. Dependendo da magnitude deste fenômeno, podem vir a morrer diversos seres aquáticos, inclusive os peixes. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, tem-se as condições anaeróbias (ausência de oxigênio), com geração de maus odores. (VON SPERLING, 1996 p. 33).

De acordo com Branco et al. (1991), os organismos vivos independente da forma necessitam do oxigênio para manter os processos metabólicos de produção, energia e reprodução. O oxigênio é um gás pouco solúvel em água e depende da pressão e dos sais dissolvidos para a variação da solubilidade.

Em corpos d'água, o OD é essencial para as condições aeróbias (oxidantes), degradam a matéria orgânica e mantém o fósforo no sedimento dos lagos, por exemplo. Quando ausentes no fundo dos lagos, utilizam-se nitratos como fonte de OD para as bactérias facultativas, mantendo-se as ações oxidantes aos sedimentos (BRANCO et al. 1991).

Para Straskraba e Tundisi (2000) um dos mais graves problemas que afetam a qualidade de um reservatório é a falta de oxigênio próximo ao fundo. A falta de oxigênio faz com que algumas substâncias, como o fósforo, ferro e manganês, sejam liberados rapidamente pelos sedimentos do fundo. Se a concentração de oxigênio ficar muito baixa, torna-se crítica a sobrevivência dos organismos aquáticos.

2.2.1.7 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

A DBO é a quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica presente na água por meio da decomposição microbiana aeróbia (ANA, 2015). Segundo Branco et al. (1991), o teste da $DBO_{5,20}$ é realizado a uma temperatura de 20°C, com quantidade de oxigênio consumido em um período de 5 dias.

Valores altos da $DBO_{5,20}$ em um corpo hídrico são ocasionados normalmente pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente por esgotos domésticos. Valores altos da $DBO_{5,20}$ causam a minimização dos valores de oxigênio dissolvido, provocando a mortalidade de peixes e eliminação de outros organismos (ANA, 2015).

A matéria orgânica presente nos corpos d'água é uma característica de extrema importância, causando o principal problema de poluição das águas:

O consumo de oxigênio dissolvido pelos microorganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica. Os principais componentes orgânicos são os compostos de proteína, os carboidratos, a gordura e os óleos, além da ureia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros em menor quantidade. (VON SPERLING, 1996 p. 34).

2.2.1.8 Coliformes Termotolerantes

Os coliformes termotolerantes são bactérias que ocorrem no trato intestinal dos animais de sangue quente, causadoras da poluição por esgotos domésticos, entrando no reservatório por meio de fontes externas. Não causam doenças, porém a sua presença em grandes quantidades possibilitam a existência de microorganismos responsáveis por emitir doenças como desintéria bacilar, febre tifoide, cólera, entre outras (ANA, 2015).

Durante os períodos mais frios, o número de coliformes cai devido à morte, sedimentação ou eliminação pelo zooplâncton, o que torna esses processos mais lentos com a queda da temperatura (STRASKRABA; TUNDISI, 2000).

As contagens de bactérias fecais são sempre menores na camada superficial dos reservatórios, e nos reservatórios profundos e estratificados, com o tempo de retenção aproximado a um mês, as concentrações caem de uma a duas vezes (STRASKRABA; TUNDISI, 2000).

Ainda de acordo com Straskraba e Tundisi (2000), “as concentrações perto da barragem são comumente tão baixas que tornam inútil sua medição por meios não-precisos”.

Em contraste, reservatórios rasos não-estratificados, com curto tempo de retenção e receptores de águas poluídas, caracterizam-se após terem seus sedimentos remexidos (natação). Em reservatórios rasos é desprezível a diferença entre as concentrações de coliformes no local de entrada dos rios no reservatório e dentro do mesmo. Em reservatórios profundos e estratificados são raras as concentrações elevadas de coliformes perto da barragem. (STRASKRABA; TUNDISI, 2000 p.113).

2.2.1.9 Sólidos Totais

Os sólidos totais são as matérias que permanecem na água após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra durante um determinado tempo e temperatura (ANA, 2015).

A medição dos sólidos totais é importante para definir as condições ambientais, baseado na premissa de que estes sólidos podem causar danos à vida aquática em geral, como por exemplo, a diminuição da incidência de luz, aumento da sedimentação no leito dos rios destruindo organismos que fornecem alimentos, ou também danificar no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Com exceção dos gases dissolvidos, todas as impurezas da água contribuem para a carga de sólidos presentes no corpo hídrico, podendo ser classificados por seu tamanho e características químicas (BRANCO et al. 1991).

Com relação ao seu tamanho, classifica-se em sedimentáveis, suspensão, coloides e dissolvidos.

Na prática, a classificação é feita separando-se os sólidos apenas em dois grupos: em suspensão e dissolvidos. Os sólidos em suspensão dividem-se em sedimentáveis e não sedimentáveis. Sólidos sedimentáveis são aqueles que se depositam quando se deixa a amostra de água em repouso durante uma hora. (BRANCO et al. 1991 p.40).

Quando os resíduos sólidos depositam-se nos leitos dos corpos d'água, pode-se causar o assoreamento do mesmo, gerando problemas para a navegação, como também pode aumentar os riscos de enchentes (ANA, 2015).

2.3 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A água é um elemento vital para a natureza e para todas as atividades que envolvem o homem. Mostra-se necessária aos processos biológicos, como os alimentos, irrigação e matéria-prima, como também nas atividades de navegação, geração de energia, refrigeração de máquinas, processos químicos industriais e construtivos, limpeza de ruas, resíduos, entre outras (BRANCO et al. 1991).

Ainda de acordo com Branco et al. (1991), o uso da água em qualquer dessas atividades, requer características diferentes, ou seja, exigem o grau de pureza absoluta ou relativa, variando de acordo com o que será feito com a água,

referindo-se a um padrão mais próximo possível de suas características naturais, como encontradas nos rios e nascentes.

Com a necessidade de um equilíbrio sustentável, a implantação de um programa de monitoramento da qualidade da água qualitativo e quantitativo é fundamental para “que forneça subsídios para o diagnóstico e avaliação das condições dos ecossistemas aquáticos e para a tomada de decisões associadas ao gerenciamento dos recursos hídricos.” (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

A necessidade de melhorar a qualidade de vida e a conscientização de que o recurso hídrico disponível para as atividades humanas não é um bem inesgotável, como até então era considerado, levaram ao homem a analisar a água em termos qualitativos uma vez que esta, quando poluída, veicula inúmeras doenças e inviabiliza uma série de usos. (BRANCO et al. 1991 p.391).

Ainda de acordo com Branco et al. (1991), um Programa de Monitoramento da qualidade da água de caracterização espacial e temporal, deve ser diferenciado, de acordo com o propósito de utilização dos dados gerados, definidos nos objetivos do programa.

Dentre os principais objetivos do monitoramento, estão:

1) Detectar a violação de padrões de qualidade, previstos na legislação; 2) Analisar a tendência de uma variável; 3) Avaliar a eficácia de programas e ações conservacionistas em áreas isoladas ou realizadas nas bacias hidrográficas; 4) Documentar os impactos resultantes de uma ação proposta; 5) Alertar para impactos adversos não previstos, ou mudanças nas tendências previamente observadas; 6) Oferecer informações imediatas, quando um indicador de impactos se aproximar de valores críticos; 7) Oferecer informações que permitam avaliar medidas corretivas para modificar ou ajustar técnicas utilizadas. (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Quando a qualidade da água tiver uma aplicação específica, exigindo rigor a um padrão de qualidade, em um período de tempo curto, a intensidade do programa de amostragem deverá ser maior. E se o uso não for prejudicado por períodos com baixa qualidade da água, não serão necessários grandes detalhamentos no programa de amostragem (BRANCO et al. 1991).

Ainda para Branco et al. (1991), os programas de monitoramento podem ser classificados por meio do uso que se pretende dar aos dados gerados, como sendo de planejamento e de controle.

O planejamento, traz propósitos que:

- Fornecimento de informações sobre a qualidade d'água disponível potencialmente para satisfazer necessidades futuras.
- Prognóstico dos efeitos de novas captações ou lançamento de despejos sobre a qualidade da água.
- Auxílio na avaliação dos efeitos de variações hidrológicas sobre o regime de escoamento do curso d'água, provocadas por obras hidráulicas (barramento de um rio, regras operativas de usinas hidrelétricas, manejo de reservatório, etc).
- Considerações preliminares na formulação de modelos matemáticos. Informações sobre casos e tendências do surgimento de substâncias perigosas. (BRANCO et al. 1991 p.393).

E o controle, de acordo com Branco et al. (1991), inclui os propósitos:

- Identificação de áreas críticas e avaliação da urgência de ações, que visem melhorar sua qualidade;
- Proteção dos usuários do sistema hídrico, avaliando a eficácia das medidas de controle na manutenção ou melhoria da qualidade d'água;
- Determinação de variações da qualidade d'água em períodos específicos, para detectar e medir tendências, e propor ações preventivas.

2.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS – IQA

Devido à crescente urbanização e industrialização, o comprometimento da qualidade das águas dos rios e reservatórios torna-se consequência da complexidade dos poluentes lançados no meio ambiente e falta do sistema de coleta e tratamento dos esgotos gerados pela população (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB, 2008).

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta para o abastecimento público, após seu tratamento. A estruturação do IQA foi desenvolvida nos Estados Unidos, na década de 70, pela “*National Sanitation Foundation – NSF*” (ANA, 2015).

De acordo com Branco et al. (1991), o IQA é muito utilizado para transmitir informações relacionadas à qualidade da água ao público que não possui conhecimento sobre recursos hídricos, dando ideia de como será a tendência evolutiva da qualidade da água ao longo do tempo e possibilitando a comparação entre diferentes cursos d'água.

Além de transmitir informações ao público geral, o IQA também possui a vantagem de expor os seus resultados combinando unidades de medidas diferentes

em uma única unidade. Como desvantagem, o IQA tem a perda de informação das variáveis individuais e interatividade (CETESB, 2008).

Para caracterizar a qualidade da água, nove parâmetros físico-químicos e biológicos representam as impurezas, quando os mesmos ultrapassam valores estabelecidos. Os parâmetros considerados mais representativos pela “*National Sanitation Foundation – NSF*” para caracterizar a qualidade da água, foram: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2005).

A avaliação do IQA não analisa vários parâmetros que são importantes para o abastecimento público, como as substâncias tóxicas (metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água (ANA, 2015).

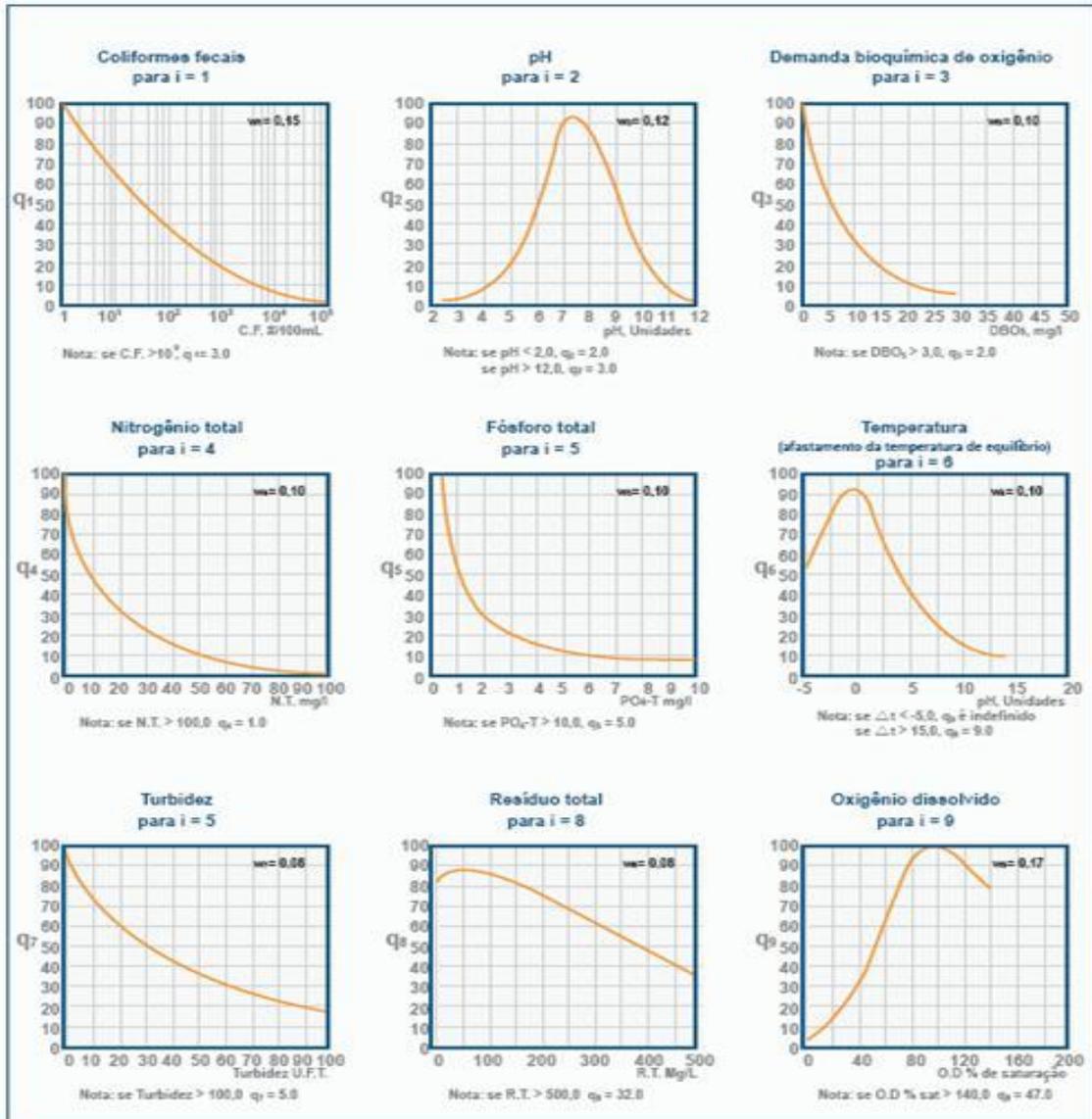
2.4.1 Cálculo do Índice de Qualidade das Águas – IQA

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) é o produto ponderado das notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade da água: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais, e turbidez (CETESB, 2008).

Cada parâmetro de qualidade da água é atribuído um peso específico (w), diante da sua importância no cálculo de IQA, variando de 0,08 a 0,17 (CETESB, 2008).

Os parâmetros possuem valores de qualidade (q), obtidos nos gráficos de qualidade. Nesses gráficos, são traçadas curvas médias de variação da qualidade das águas em função da concentração (ANA, 2015), como apresenta a Figura 1:

Figura 1 - Curvas médias de variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.



Fonte: ANA, 2015.

Após o cálculo, os valores finais variam de 0 a 100. MMA (2005) segue a metodologia do NSF, o nível de qualidade, a faixa e cor da qualidade da água são classificados da seguinte forma:

Tabela 1 - Nível de qualidade da água.

Nível de Qualidade	Faixa	Cor
Excelente	$90 < IQA \leq 100$	Azul
Bom	$70 < IQA \leq 90$	Verde
Médio	$50 < IQA \leq 70$	Amarelo
Ruim	$25 < IQA \leq 50$	Laranja
Muito Ruim	$0 \leq IQA \leq 25$	Vermelho

Fonte: MMA, 2005.

De forma adaptada, o nível de qualidade, a faixa e cor (CETESB 2008):

Tabela 2 - Nível de qualidade da água.

Nível de Qualidade	Faixa	Cor
Ótima	$80 < IQA \leq 100$	
Boa	$51 < IQA \leq 79$	
Aceitável	$37 < IQA \leq 50$	
Ruim	$20 < IQA \leq 36$	
Péssima	$0 \leq IQA \leq 19$	

Fonte: CETESB, 2008.

Segundo Branco et al. (1991), quanto maior forem os resultados obtidos do cálculo o IQA, melhor é a qualidade da água. As informações contidas nos resultados do cálculo do IQA direcionam ações de planejamento, buscando melhorias dos recursos hídricos, estabelecendo medidas corretivas para sua possível recuperação de qualidade.

2.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR)

O Índice de Qualidade da Água de Reservatórios (IQAR) foi criado pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) para verificar a degradação da qualidade da água dos reservatórios (ANA 2015).

O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) desenvolveu uma matriz que apresenta seis classes de qualidade da água, estabelecendo cálculos a partir dos percentuais de 10%, 25%, 50%, 75% e 90% (ANA, 2015).

Para a realização do cálculo IQAR, as variáveis recebem pesos em função do seu nível de importância para a avaliação da qualidade da água do reservatório, variando de 6 a 17. A partir da obtenção das classes de qualidade (q) e dos pesos em função da importância da qualidade da água do reservatório, calcula-se o IQAR (ANA, 2015).

Os valores do IQAR são divididos em 6 faixas de qualificação, obtendo, a classificação final da qualidade da água, de acordo com ANA (2015):

Tabela 3 - Classificação de qualificação.

Qualificação	Valor do IQAR
Não impactado a muito pouco degradado	0 – 1,50
Pouco degradado	1,51 – 2,50
Moderadamente degradado	2,51 – 3,50
Criticamente degradado a poluído	3,51 – 4,50
Muito poluído	4,51 – 5,50
Extremamente poluído	>5,51

Fonte: ANA, 2015.

2.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTAS PARA FINS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO - IAP

O IAP é calculado nos pontos de amostragens dos rios e reservatórios utilizados para abastecimento público. É o produto da ponderação dos resultados do IQA e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), composto pelo grupo de substâncias que afetam a qualidade da água (CETESB, 2008).

O índice é composto por:

- Índice de Qualidade das Águas (IQA): temperatura d'água, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez;
- Parâmetros que avaliam a presença de substâncias tóxicas (teste de mutagenicidade, potencial de formação de trihalometanos, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio e níquel); e
- Parâmetros que afetam a qualidade organoléptica da água (fenóis, ferro, manganês, alumínio, cobre e zinco). (ANA, 2015).

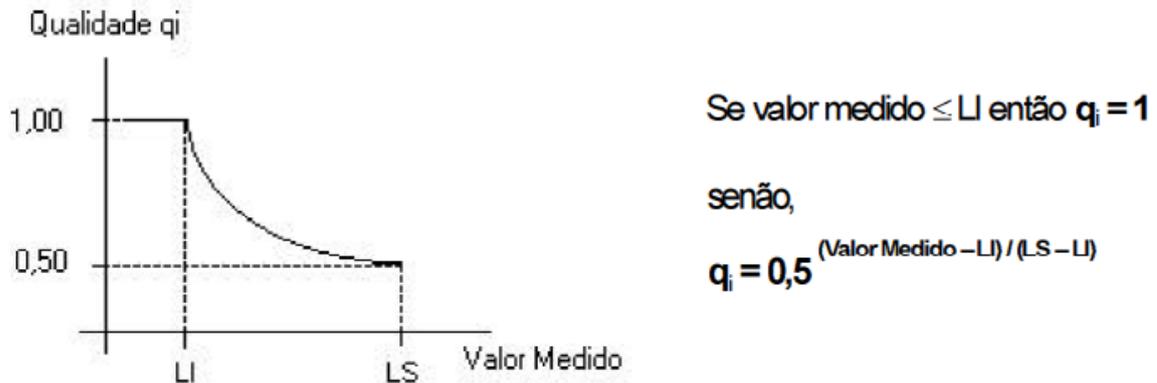
2.6.1 ISTO – Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas

Utilizado para determinar o IAP a partir do IQA original, o Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO), são variáveis que indicam presença de substâncias tóxicas que alteram a qualidade organoléptica agrupada (CETESB, 2008).

Cada parâmetro incluído no ISTO é estabelecido curvas de qualidade, atribuindo valores variando de 0 a 1. As curvas de qualidade são elaboradas utilizando-se dois níveis de qualidade (qi), que associam valores numéricos 1,0 e 0,5, ao limite inferior (LI) e ao limite superior (LS) (ANA, 2015).

A Figura 2 apresenta a curva de qualidade padrão para as variáveis incluídas no ISTO:

Figura 2 - Curva de qualidade padrão para as variáveis ISTO.



Fonte: CETESB, 2008.

As faixas de variação de qualidade (q_i) condicionam a qualidade da água bruta para o abastecimento público como:

Valor medido \leq LI: águas adequadas para o consumo humano. Atendem aos padrões de potabilidade da Portaria 518/04 do Ministério da Saúde em relação às variáveis avaliadas;

LI < Valor medido \leq LS: águas adequadas para tratamento convencional ou avançado. Atendem aos padrões de qualidade da classe 3 da Resolução CONAMA 357/05 em relação às variáveis determinadas;

Valor medido > LS: águas que não devem ser submetidas apenas a tratamento convencional. Não atendem aos padrões de qualidade da classe 3 da Resolução CONAMA 357/05 em relação às variáveis avaliadas. (CETESB, 2008).

O limite inferior de cada variável é considerado como sendo a dos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, e para o limite superior, consideram-se os padrões de qualidade da água doce Classe III da Resolução CONAMA 357/05 (CETESB, 2008).

A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde foi revogada, entrando em vigor a Portaria 2914/2011, que “Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade”. Apesar a alteração da portaria, a estrutura do Índice não modifica, uma vez que os padrões de qualidade estabelecidos para os parâmetros de interesse do IQA não foram alterados.

Para o Cromo, “a CONAMA 357/05 estabelece um padrão de qualidade igual ao padrão de potabilidade a Portaria 518/04”, adotando um nível de concentração para o LS que fosse possível remover por meio de tratamento convencional. De acordo com Drinking Water and Health (1977 apud CETESB, 2008), “o Cromo possui uma taxa de remoção no tratamento convencional variando de 0 a 30%”. Aplicando-se uma taxa de remoção média de 15% ao LI, obtendo um LS de 0,059 mg/L.

O Zinco, também foi estabelecido o mesmo padrão de potabilidade pelas duas legislações, de 5,0 mg/L. Da mesma forma que o Cromo, a taxa de remoção para o tratamento convencional, varia de 0 a 30%. Utilizando-se novamente 15% ao LI, obteve-se um LS de 5,9 mg/L (CETESB, 2008).

Não existe um padrão de potabilidade para o Níquel, sendo assim, utilizou-se como referência a Organização Mundial de Saúde, que estabelece um valor de 0,02 mg/L (CETESB, 2008).

O LS do PFTHM foi estimado para a concentração de THM da Portaria 1469, de 100 µg/L e o LI, a partir do nível de THM estabelecido na Legislação Norte Americana, de 80 µg/L. O LS forneceu um valor de 461 µg/L e o inferior de 373 µg/L (CETESB, 2008).

Na Tabela 4, são relacionados os limites inferiores e superiores adotados para os metais e o potencial de formação de trihalometanos (PFTHM).

Tabela 4 - Limites Superiores e Inferiores dos metais e PFTHM.

Grupo	Variáveis	Unid.	Limite Inferior	Limite Superior
Tóxicos	Cádmio	mg/L	0,005	0,01
	Chumbo	mg/L	0,01	0,033
	Cromo Total	mg/L	0,05	0,059
	Níquel	mg/L	0,02	0,025
	Mercúrio	mg/L	0,001	0,002
	PFTHM	µg/L	373	461
Organolépticos	Alumínio Dissolvido	mg/L	0,2	2
	Cobre Dissolvido	mg/L	2	8
	Ferro Dissolvido	mg/L	0,3	5
	Manganês	mg/L	0,1	0,5
	Zinco	mg/L	5	5,9

Fonte: CETESB, 2008.

Em ambientes lênticos, as algas, são características importantes da qualidade da água para abastecimento público. A Portaria 518/04 e CONAMA

357/05, estabeleceram padrões de qualidade para o número de células de cianobactérias, incluindo-as como variável no grupo ISTO (CETESB, 2008).

A Tabela 5 apresenta a taxa adotada para o número de células de cianobactérias:

Tabela 5 - Faixas de número de células de cianobactérias e a respectiva taxa para o cálculo do ISTO.

Níveis	Taxação (q_{NCC})
Nº. de células = 20.000	1,00
20.000 < Nº. de células = 50.000	0,80
50.000 < Nº. de células = 100.000	0,70
100.000 < Nº. de células = 200.000	0,60
200.000 < Nº. de células = 500.000	0,50
Nº. de células > 500.000	0,35

Fonte: CETESB, 2008.

O número de células de cianobactérias, é uma variável obrigatória para o cálculo do IAP nos pontos de amostragem (CETESB, 2008).

Através das curvas de qualidade, determina-se os valores de qualidade, q_i , que varia de 0 e 1, para cada uma das variáveis do ISTO. A ponderação do grupo das Substâncias Tóxicas (ST) é obtida por meio de multiplicação dos dois valores mínimos mais críticos do grupo de variáveis que indicam a presença dessas substâncias na água (CETESB, 2008). A equação 1 apresenta a ponderação do grupo das Substâncias Tóxicas:

$$ST = \text{Mín} - 1 (q_{TA}; q_{THMFP}; q_{Cd}; q_{Cr}; q_{Pb}; q_{Ni}; q_{Hg}; q_{NCC})^* \quad (1)$$

$$\text{Mín} - 2 (q_{TA}; q_{THMFP}; q_{Cd}; q_{Cr}; q_{Pb}; q_{Ni}; q_{Hg}; q_{NCC})$$

A ponderação do grupo de Substâncias Organolépticas (SO) é obtida por meio da média aritmética das qualidades padronizadas das variáveis pertencentes a este grupo (CETESB, 2008). A equação 2, representa o grupo das Substâncias Organolépticas:

$$SO = \text{Média Aritmética} (q_{Al}; q_{Cu}; q_{Zn}; q_{Fe}; q_{Mn}) \quad (2)$$

2.6.2 Cálculo do ISTO

O ISTO é o resultado do produto dos dois grupos de substâncias tóxicas e as que alteram a qualidade organoléptica da água (CETESB, 2008), representada pela equação 3:

$$ISTO = ST * SO \quad (3)$$

2.6.3 Cálculo do IAP

Calcula-se o IAP a partir do produto entre o antigo IQA e o ISTO, por meio da seguinte equação (CETESB, 2008):

$$IAP = IQA * ISTO \quad (4)$$

Após calcular o IAP, classifica a qualidade da água de acordo com os critérios da Tabela 6 (CETESB, 2008):

Tabela 6 - Classificação da qualidade da água.

Categoria	Ponderação	Cor
Ótima	$79 < IAP \leq 100$	
Boa	$51 < IAP \leq 79$	
Regular	$36 < IAP \leq 51$	
Ruim	$19 < IAP \leq 36$	
Péssima	$IAP \leq 19$	

Fonte: CETESB, 2008.

Para que se possa calcular o ISTO, são necessárias as variáveis de alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês e potencial de formação de trihalometanos. As demais variáveis em que os dados históricos relatam concentrações baixas nas águas e que a frequência das amostras é semestral, não são utilizadas para o cálculo. Nos meses que não possuem resultados para essas variáveis, o ISTO será calculado desconsiderando tais ausências (CETESB, 2008).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso consistiu, em uma primeira etapa, na revisão bibliográfica, para melhor compreensão dos assuntos abordados.

Na segunda etapa, foram levantados os dados das coletas das amostras realizadas por técnicos do Laboratório de Controle de Qualidade da Água da CASAN – Superintendência Sul/Serra do Reservatório da Barragem do Rio São Bento entre o período de 2005 a 2014, levando em consideração, os aspectos físicos, químicos e microbiológicos. Estes dados foram primeiramente digitados em planilha eletrônica Excel onde foram organizados para posterior utilização no programa estatístico, conforme recomendado por Ribeiro Junior (2013).

Na terceira etapa foram calculados os valores de Índice de Qualidade das Águas (IQA) e o Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR). A quarta etapa consistiu das análises estatísticas e a quinta etapa foi à análise e discussão dos resultados.

Segundo Gerhardt, e Silveira (2015) a natureza da pesquisa deu-se de forma aplicada, visando à junção da teoria com a prática, solucionando problemas específicos envolto de dados reais.

A abordagem do problema envolveu as formas qualitativas e quantitativas, visto que, a abordagem qualitativa não envolve representatividade numérica, e sim, busca explicar o porquê, o que convém a ser feito. Já a abordagem quantitativa, diferentemente da qualitativa, pode ser quantificada, recorrendo à linguagem matemática para descrever as causas de fenômenos e relações entre variáveis, focando na objetividade (GERHARDT; SILVEIRA, 2015).

Ainda de acordo com Gerhardt, e Silveira (2015), o objetivo da pesquisa deu-se de forma descritiva, pois envolveu uma série de informações, descrevendo fatos, fenômenos que ocorreram na realidade e análises de documentos.

3.1 ESTUDO DE CASO

O devido trabalho se enquadra ao método de estudo de caso, segundo Coelho Cesar (2015), por ser uma abordagem qualitativa, utilizando coleta de dados na área dos estudos organizacionais.

No método do Estudo de Caso a ênfase está na compreensão, fundamentada basicamente no conhecimento tácito que, segundo o autor, tem uma forte ligação com a intencionalidade, o que não ocorre quando o objetivo é meramente explanação, baseada no conhecimento proposicional. (COELHO CESAR, 2015).

Segundo Stake, In Denzin e Lincoln (2001 apud COELHO CESAR, 2015), o caso é uma unidade de análise, podendo ser um indivíduo ou uma organização [...]

[...] um pequeno grupo, uma comunidade ou até mesmo uma nação. Todos esses tipos de caso são unidades sociais. Entretanto casos também podem ser definidos temporariamente (eventos que ocorreram num dado período), ou espacialmente (o estudo de um fenômeno que ocorre num dado local). Portanto, um caso pode ser um fenômeno simples ou complexo, mas para ser considerado caso ele precisa ser específico.

Ao comparar o Método de Estudo de Caso com outros métodos, Yin (1989 apud BRESSAN, 2000) afirma que:

[...] Para se definir o método a ser usado é preciso analisar as questões que são colocadas pela investigação. De modo específico, este método é adequado para responder às questões "como" e "porque" que são questões explicativas e tratam de relações operacionais que ocorrem ao longo do tempo mais do que frequências ou incidências.

Ainda para Yin (1989 apud BRESSAN, 2000), o Método de Estudo de Caso apresenta quatro aplicações:

1. Para explicar ligações causais nas intervenções na vida real que não são muito complexas para serem abordadas pelos 'surveys' ou pelas estratégias experimentais;
2. Para descrever o contexto da vida real no qual a intervenção ocorreu;
3. Para fazer uma avaliação, ainda que de forma descritiva, da intervenção realizada; e
4. Para explorar aquelas situações onde as intervenções avaliadas não possuam resultados claros e específicos.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A Barragem do Rio São Bento foi implantada pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN, com o intuito de solucionar problemas de conflitos pelo uso da água na região de Criciúma (CASAN, 1995).

Em outubro de 1982 foi concluído o “Relatório Técnico Preliminar dos Recursos Hídricos disponíveis da Região de Criciúma”. Esse trabalho envolve um amplo inventário sobre os recursos disponíveis na região, as demandas projetadas, os sistemas de abastecimento das comunidades, as alternativas de captação e o respectivo cotejo técnico-econômico. A partir da análise de diferentes alternativas, foi indicada como solução definitiva para o abastecimento de água, de Criciúma e região, a implantação de uma barragem de regularização no rio São Bento, sendo que em 1983 o anteprojeto da barragem foi elaborado (CASAN, 2001, apud SILVEIRA, 2007, p. 28).

Localizada no bairro de São Pedro, município de Siderópolis, região Sul de Santa Catarina, a Barragem do Rio São Bento de acordo com Seduma (1998 apud COSTA, 2008), pertence à sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, que juntamente com Urussanga, Mampituba e Araranguá, formam a Região Hidrográfica do Extremo Sul Catarinense – RH10.

Segundo CASAN (2001, apud SILVEIRA, 2007), a bacia hidrográfica do rio São Bento é composta de 200 km², sendo que a área de drenagem na seção de barramento é de 112,12 km². Ainda de acordo com CASAN (2001, apud SILVEIRA, 2007), “essas áreas possuem declividades altas, principalmente no trecho superior, sendo o desnível dos limites da bacia até a seção de barramento de 1280,0 m.”

O rio São Bento, afluente da margem direita do rio Mãe Luzia, nasce na Serra Geral e desenvolve-se pelos municípios de Siderópolis e Nova Veneza, até próximo de Forquilha, local da confluência. Seus formadores principais são os rios da Serra e da Mina, recebendo ainda a contribuição dos rios da Serrinha e Guarapari. O rio São Bento possui o leito coberto de seixos rolados e polidos. Apresenta bom aspecto, com águas claras e límpidas, em especial, do ponto atual de captação para montante. (SILVEIRA, 2007).

Para Silveira (2007), “a área de contribuição do rio São Bento, no local de captação, apresenta-se coberta por vegetação abundante, o que contribui para uma boa qualidade das águas.”

A principal finalidade da construção da barragem foi para atender o abastecimento público de água dos municípios: Criciúma, Siderópolis, Morro da Fumaça, Forquilha, Treviso, Içara, Nova Veneza e Maracajá, como também para irrigação de áreas de cultivo de arroz (COSTA, 2008).

Tem-se como benefícios adicionais do aproveitamento, a laminação de cheias no reservatório formado pelos barramentos, a proteção das florestas integrantes das escarpas da Serra Geral, além de outras vantagens ligadas à formação do lago artificial, visto que trata-se de uma obra de engenharia incorporada à beleza local, promovendo desta forma o incremento do turismo na localidade de São Pedro no município de Siderópolis (COSTA, 2008).

Com volume útil de 53,2 hm³, a acumulação de água no reservatório possibilitará o abastecimento para uma população de até 730.000, no ano de 2033, que será final de seu plano, como também, solucionar os conflitos pelo uso da água em abastecimento de indústrias e irrigação (CASAN, 2003).

A Barragem do Rio São Bento foi concebida para regularizar a vazão necessária para que atenda as demandas: abastecimento público, industrial e agrícola (CASAN 1995).

Seu enchimento iniciou-se no ano de 2003, completando-se no mês de maio do ano de 2004, mês pelo qual ocorreu o primeiro vertimento, tendo-se a partir de agosto do mesmo ano o início de sua efetiva operação, processando-se desde o final de sua construção, uma operação estritamente técnica efetuada por equipe de servidores do quadro efetivo da CASAN. (COSTA, 2008).

3.2.1 Amostragens

As amostras foram realizadas mensalmente, em todos os pontos de coletas, possuindo falhas em alguns meses, por motivos técnicos.

Considerando os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da qualidade da água, e foram analisados ao todo 30 parâmetros, conforme a relação abaixo:

- Parâmetros químicos: pH, alcalinidade e fenolftaleína, alcalinidade total, gás carbônico livre, dureza total, dureza cálcio, dureza magnésio, cloretos, oxigênio consumido, oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio total, nitrogênio amoniacal,

nitrito, fósforo total, sulfetos, alumínio dissolvido, ferro dissolvido e manganês total.

- Parâmetros físicos: temperatura da água, cor verdadeira, turbidez, condutividade específica a 25 °C, sólidos totais.
- Parâmetros microbiológicos: coliformes totais, coliformes fecais, contagem de colônias.

3.2.2 Pontos de Coletas

Até o ano de 2011 as coletas eram realizadas em três pontos fora do reservatório, sendo eles P01, P02 e P05. Com as exigências do Órgão Ambiental – FATMA acrescentou-se mais um ponto de coleta, 1000m à jusante do P05, o ponto P06. Entretanto, o ponto P06, não foi incluído nos cálculos por não possuir o monitoramento de todos os parâmetros necessários. As amostragens à montante e à jusante do reservatório são representadas pelos pontos:

- P01 – Rio São Bento (à montante do reservatório), coletado na superfície;
- P02 – Rio Serrinha (à montante do reservatório), coletado na superfície;
- P05 – Rio São Bento (à jusante do reservatório), coletado na superfície;
- P06 – 1000m após o ponto P05 do Rio São Bento (à jusante do reservatório), coletado na superfície.

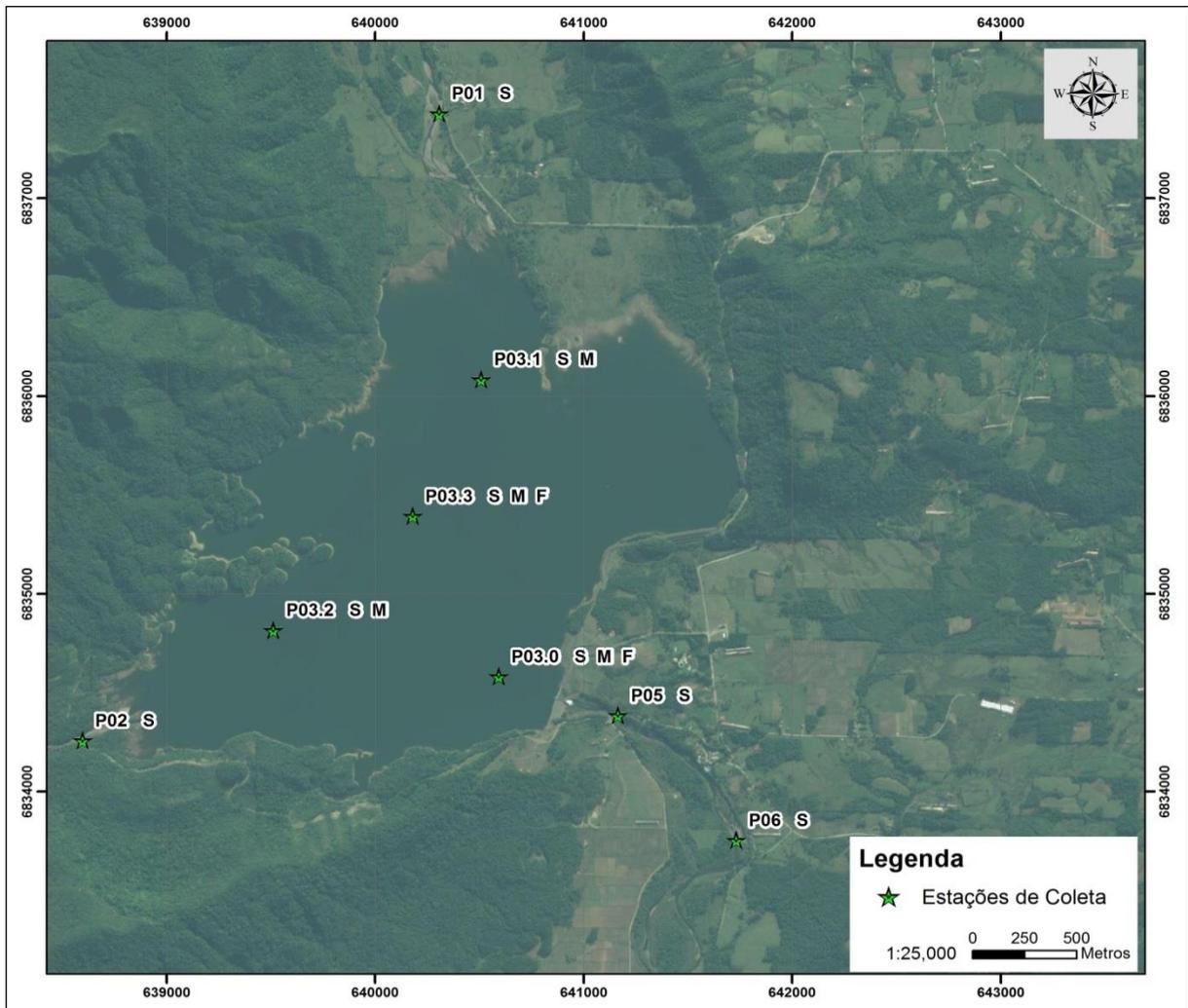
Dentro do reservatório, os pontos são coletados em diferentes níveis de profundidades:

- P3.0.S – Próximo a captação – Profundidade I (Superfície) - $\pm 0,5$ m;
- P3.0.M - Próximo a captação – Profundidade II (Médio) - ± 8 m;
- P3.0.F - Próximo a captação – Profundidade III (Fundo) - ± 19 m;
- P3.1.S – Ponto 01 – Profundidade I (Superfície) - $\pm 0,5$ m;
- P3.1.M - Ponto 01 – Profundidade II (Médio) - ± 8 m;
- P3.2.S - Ponto 02 – Profundidade I (Superfície) - ± 1 m;
- P3.2.M - Ponto 02 - Profundidade II (Médio) - ± 8 m;
- P3.3.S - Ponto 03 – Profundidade I (Superfície) - $\pm 0,5$ m;

- P3.3.M - Ponto 03 – Profundidade II (Médio) - ± 8 m;
- P3.3.F - Ponto 03 – Profundidade III (Fundo) - ± 19 m.

Na figura 3 estão representados os pontos de amostragens da Barragem do Rio São Bento:

Figura 3 - Pontos de amostragens à montante e jusante da Barragem do Rio São Bento e dentro do reservatório.



Fonte: Do autor, 2015.

As coordenadas geográficas dos pontos de coletas estão apresentadas na Tabela 7 :

Tabela 7 - Coordenadas geográficas dos Pontos de coleta da Barragem do Rio São Bento.

Pontos de Coleta	Coordenadas Geográficas	
P01	28°34'54.16" S	49°33'55.18" O
P02	28°36'40.10" S	49°34'57.48" O
P3.0	28°36'34.54" S	49°33'38.14" O
P3.1	28°35'49.18" S	49°33'47.22" O
P3.2	28°36'30.60" S	49°34'23.22" O
P05	28°36'35.30" S	49°33'22.63" O

Em cada amostra foram calculados o Índice de Qualidade das Águas (IQA), e o Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR). Para cada índice apresentou-se a classificação da qualidade da água conforme descrito em CETESB (2008) e ANA (2015).

3.3 CÁLCULO DO ÍNDICE QUALIDADE DA ÁGUA – IQA

Para a realização do cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA), foi utilizada a metodologia citada pela CETESB (2008), onde o IQA é o produto ponderado das notas atribuídas a cada parâmetro de qualidade da água utilizando a equação:

$$\prod_{i=1}^n qi^{wi} \quad (5)$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas;

qi: qualidade do parâmetro i, entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função da concentração ou medida;

wi: peso atribuído parâmetro, entre 0 e 1, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (6)$$

Onde:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA, ou seja, 9.

Cada parâmetro atribuiu-se um peso (w), de acordo com sua importância no cálculo de IQA (CETESB, 2008). A Tabela 8 apresenta o peso dos parâmetros:

Tabela 8 - Peso dos parâmetros.

Parâmetro	Peso - w_i
Oxigênio dissolvido – OD (% OD)	0,17
Coliformes fecais (NMP/100 mL)	0,15
Potencial Hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (mg/L)	0,10
Temperatura (°C)	0,10
Nitrogênio Total (mg/L N)	0,10
Fósforo Total (mg/L PO ₄)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduos Totais (mg/L)	0,08

Fonte: CETESB, 2008.

De acordo com Grunitzki et al. (2015), foram utilizadas equações ajustadas para descrever as curvas médias de variação do IQA, como também valores dos parâmetros ajustados em cada caso. Para os casos onde houve limites superiores, consideraram-se os critérios estabelecidos pelo MMA (2005).

A seguir, estão apresentadas as equações ajustadas utilizadas para descrever as curvas médias de variação dos indicadores de qualidade da água:

3.3.1 Percentual de oxigênio dissolvido - % O₂

Para o cálculo do percentual de oxigênio dissolvido % O₂, segundo Grunitzki et al. (2015), foi utilizada a seguinte equação:

$$q_9 = A * \exp\left(\frac{(\%O_2 + B)^2}{C}\right) \quad (7)$$

Onde:

$$A = 100,8$$

$$B = -106$$

$$C = -3745$$

3.3.2 Coliformes Fecais

De acordo com Grunitzki et al. (2015), a seguinte equação foi utilizada para o cálculo dos coliformes fecais:

$$q_1 = A + B * \log 10(CF) + C * \log 10(CF)^2 + D * \log 10(CF)^3 \quad (8)$$

Onde:

$$A = 98,03$$

$$B = -36,45$$

$$C = 3,138$$

$$D = 0,06776$$

3.3.3 Potencial Hidrogeniônico – pH

O cálculo do pH foi desenvolvido pela equação segundo Grunitzki et al. (2015):

$$q_2 = A * pH^{(B * pH + C * pH^2)} + 5,213 \quad (9)$$

Onde:

$$A = 0,05421$$

$$B = 1,23$$

$$C = -0,09873$$

3.3.4 Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO

Para o cálculo da DBO, utilizou-se a equação estabelecida pelo MMA (2005):

✓ Para $DBO \leq 30$ mg/L

$$q_s = 100,9571 - 10,7121 x DBO + 0,49544 x DBO^2 - 0,011167 x DBO^3 + 0,0001 x DBO^4 \quad (10)$$

3.3.5 Fósforo Total

Para calcular o fósforo total, utilizou-se o critério do MMA (2005):

✓ Para o fósforo ≤ 10 mg/L

$$q_s = 79,7 \times (PO_4 + 0,821) \quad (11)$$

3.3.6 Nitrogênio Total

Para o cálculo do nitrogênio total, utilizou-se a equação segundo Grunitzki et al. (2015):

$$q_4 = A * NT^{(B+C*NT)} \quad (12)$$

Onde:

$$A = 98,96$$

$$B = -0,2232$$

$$C = -0,006457$$

3.3.7 Turbidez

Segundo Grunitzki et al. (2015), o cálculo da turbidez é realizado por meio da seguinte equação:

$$q_7 = A * \exp(B * TU + C * \sqrt{TU}) \quad (13)$$

Onde:

$$A = 97,34$$

$$B = -0,01139$$

$$C = -0,04917$$

3.3.8 Variação da Temperatura

Para o cálculo da variação da temperatura, segundo Grunitzki et al. (2015) utilizou a equação:

$$q_6 = \frac{1}{(A * (DT + B)^2 + C)} \quad (14)$$

Onde:

$$A = 0,0003869$$

$$B = 0,1815$$

$$C = 0,01081$$

3.3.9 Sólidos Totais

De acordo com Grunitzki et al. (2015), a equação utilizada para o cálculo dos sólidos totais foi:

$$q_8 = A * \exp(B * ST + C * \sqrt{ST} + D * ST) \quad (15)$$

Onde:

$$A = 80,26$$

$$B = -0,00107$$

$$C = 0,03009$$

$$D = -0,1185$$

Os valores finais do IQA variam entre 0 a 100 e devem classificar a qualidade da água de “Péssima” a “Ótima”, conforme a Tabela 9 estabelecida pela CETESB (2008):

Tabela 9 - Nível de qualidade da água.

Nível de Qualidade	Faixa	Cor
Ótima	80 < IQA ≤ 100	
Boa	51 < IQA ≤ 79	
Aceitável	37 < IQA ≤ 50	
Ruim	20 < IQA ≤ 36	
Péssima	0 ≤ IQA ≤ 19	

Fonte: CETESB, 2008.

3.4 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR)

O Instituto Ambiental do Paraná (IAP) desenvolveu uma matriz que apresenta seis classes de qualidade da água, onde se estabeleceu cálculos a partir dos percentuais de 10%, 25%, 50%, 75% e 90%, (ANA, 2015). A Tabela 10 apresenta as classes de qualidade da água.

Tabela 10 - Classes de qualidade da água.

Variáveis	Classes de Qualidade (q)					
	1	2	3	4	5	6
Déficit de Oxigênio dissolvido (%)	≤5	6 - 20	21 - 35	36 - 50	51 - 70	>70
Clorofila a (µg/L)	≤1,5	1,5 - 3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 10,0	11,0 - 32,0	>32
Fósforo total (PO ₂ – mg/L)	≤0,010	0,011 - 0,025	0,026 - 0,040	0,041 - 0,085	0,086 - 0,210	>0,210
Profundidade – Disco de Secchi (m)	≥3	3 - 2,3	2,2 - 1,2	1,1 - 0,6	0,5 - 0,3	<0,3
Demanda química de oxigênio – DQO (mg/L)	≤3	3 - 5	6 - 8	9 - 14	15 - 30	>30
Tempo de residência (dias)	≤10	11 - 40	41 - 120	121 - 365	366 - 550	>550
Nitrogênio inorgânico total (N-mg/L)	≤0,15	0,16 - 0,25	0,26 - 0,60	0,61 - 2,00	2,00 - 5,00	>5,00
Cianobactérias (nº de células /mL)	≤1.000	1.001 - 5.000	5.001 - 20.000	20.001 - 50.000	50.001 - 100.000	>100.000
Profundidade média (metros)	≥35	34 - 15	14 - 7	6 - 3,1	3 - 1,1	<1

Fonte: ANA, 2015.

Para a realização do cálculo IQAR, as variáveis receberam pesos em função do seu nível de importância para a avaliação da qualidade da água do reservatório (ANA 2015). Os pesos em função da importância da qualidade da água no reservatório são apresentados pela Tabela 11:

Tabela 11 - Pesos em função da importância da qualidade da água do reservatório.

Parâmetro de Qualidade da Água	Peso (w)
Déficit de Oxigênio dissolvido (%)	17
Clorofila a (µg/L)	15
Fósforo total (PO ₂ – mg/L)	12
Profundidade – Disco de Secchi (m)	12
Demanda química de oxigênio – DQO (mg/L)	12
Tempo de residência (dias)	10
Nitrogênio inorgânico total (N-mg/L)	8
Cianobactérias (nº de células /mL)	8
Profundidade média (metros)	6

Fonte: ANA, 2015.

A partir da obtenção das classes de qualidade (q) e dos pesos em função da importância da qualidade da água do reservatório calculou-se o IQAR, por meio da seguinte equação (ANA 2015):

$$IQAR = \frac{\sum (w_i \cdot q_i)}{\sum w_i} \quad (16)$$

Onde:

w_i = peso da variável i;

q_i = classe de qualidade em relação a variável i (pode variar de 1 a 6).

Os valores do IQAR são divididos em 6 faixas de qualificação, obtendo, a classificação final da qualidade da água, apresentada pela Tabela 12 (ANA 2015):

Tabela 12 - Classificação de qualificação.

Qualificação	Valor do IQAR
Não impactado a muito pouco degradado	0 – 1,50
Pouco degradado	1,51 – 2,50
Moderadamente degradado	2,51 – 3,50
Criticamente degradado a poluído	3,51 – 4,50
Muito poluído	4,51 – 5,50
Extremamente poluído	>5,51

Fonte: ANA, 2015.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para avaliar a variação espacial, sazonal dos dados do IQA e IQAR foram realizadas as Análises de Variância (ANOVA) de uma Via (*One Way Anova*) considerando o nível de significância de 5% de acordo com Vieira (2006).

Para a avaliação sazonal os dados foram agrupados por estação do ano, em que as coletas dos meses de dezembro a fevereiro foram classificadas como “Verão”, as coletas realizadas em março a maio foram classificadas como “Outono”, de junho a agosto classificadas como “Inverno” e as coletas realizadas de setembro a novembro foram classificadas como “Primavera”.

Quando a ANOVA apontou diferenças significativas entre as médias foi realizado o teste de comparações múltiplas de médias “*post hoc*” de Tukey, também adotando nível de significância de 5% (PIMENTEL GOMES, 2009).

Para a avaliação da variação temporal do Índice de Qualidade da Água (IQA) foram realizadas análises de regressão linear com objetivo de avaliar a existência de tendência significativa do coeficiente angular da equação ajustada. Dessa forma sempre que o coeficiente angular foi significativo ao nível de 5% indicava a tendência significativa de aumento (se positivo) ou diminuição (se negativo) do IQA ao longo do período de monitoramento.

Todas as análises foram realizadas com o programa Statistical Package for Social Sciences - SPSS (MAROCO, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA – IQA

Como referência para o presente estudo, utilizou-se a metodologia da CETESB (2008) e MMA (2005). A CETESB adaptou a metodologia da “*National Sanitation Foundation – NSF*” e o Ministério do Meio Ambiente segue a metodologia original do *NSF*.

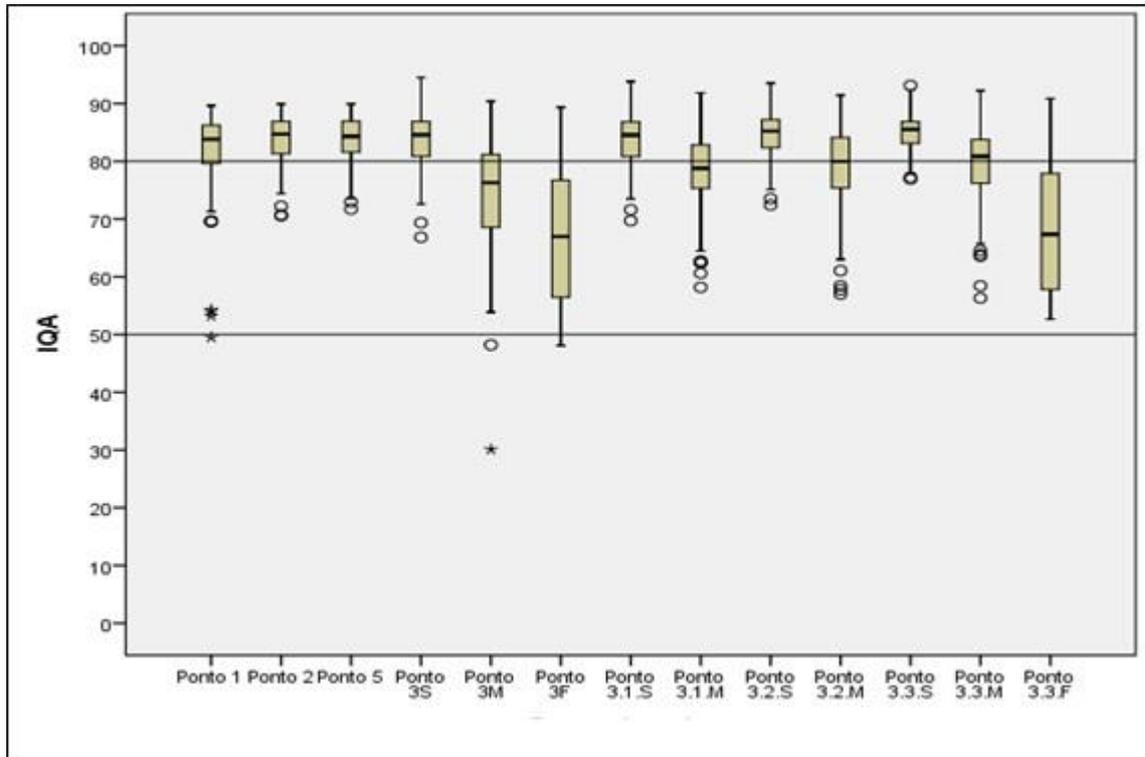
4.1.1 Variação Espacial

A variação espacial é analisada por meio da localização entre os pontos de coleta. Segundo Straskraba e Tundisi (2000), o grau de heterogeneidade horizontal e vertical de um reservatório, é influenciado pela latitude, longitude, vazões e condições de estratificação.

A análise da variação espacial é importante para “identificar os trechos mais críticos, ou seja, é necessário que se faça uma análise completa da bacia para verificação dos locais necessários ao bom monitoramento da qualidade da água.” (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Na Figura 4 estão representados os Box Plot dos valores de IQA para cada ponto de coleta. O Box Plot representa cinco pontos da distribuição dos dados que são o valor mínimo, o primeiro quartil, o segundo quartil, o terceiro quartil e o maior valor, podendo ainda indicar a presença de valores extremos.

Figura 4 - Variação Espacial do IQA do reservatório da Barragem do Rio São Bento.



Para os pontos de coleta Ponto 1, Ponto 2, Ponto 5, Ponto 3.0.S, Ponto 3.1.S, Ponto 3.2.S, Ponto 3.3.S e 3.3.M., observa-se que o primeiro quartil se encontra na faixa de IQA acima de 80, o que permite concluir que mais de 75% das amostras desses pontos tiveram IQA classificado como “Ótima”. Para os pontos 3.0.M, 3.0.F, 3.1.M, 3.2.M e Ponto 3.3.F a maioria das análises apresentaram IQA classificado como “Boa”.

Ainda é possível observar a presença de algumas amostras com valores de IQA extremos abaixo do valor mínimo esperado. Este fator foi observado em todos os pontos de coletas, com exceção dos dois pontos no fundo (Ponto 3.0.F e Ponto 3.3.F). A presença destes valores pode estar associada à ocorrência de eventos extremos de precipitação em que as enxurradas e o escoamento superficial podem prejudicar a qualidade da água. A presença destes pontos discrepantes requer uma análise posterior para identificar as causas e quais os parâmetros responsáveis para a redução do IQA.

Na Tabela 13 constam as médias dos valores de IQA para cada ponto de coleta, onde a análise de variância mostrou que houve diferenças significativas entre as médias, mostrando assim que há variação espacial dos valores de IQA. As maiores médias de IQA foram observadas nos pontos de coleta Ponto 1, Ponto 2, Ponto 3.1.S, Ponto 3.2.S, Ponto 3.3.S, e Ponto 5, cujas médias foram acima de 80, classificadas como “Ótima”.

Tabela 13 - Pontos de coleta, IQA médio e Teste de Tukey.

Ponto de Coleta	IQA médio	Teste Tukey
1	81,85	b c
2	84,03	a b
3.0.S	83,75	a b
3.0.M	74,29	e
3.0.F	67,63	f
3.1.S	83,85	a b
3.1.M	78,28	d
3.2.S	84,03	a b
3.2.M	78,54	d
3.3.S	84,91	a
3.3.M	79,19	c
3.3.F	68,12	f
5	83,76	a b

Esses pontos apresentaram uma melhor qualidade da água, segundo Straskraba e Tundisi (2000), pelo possível curto tempo que a água passa pelo reservatório, mesmo que o tempo de retenção seja longo no resto do corpo hídrico. Deve-se ressaltar que os Pontos 1 e 2 representam as entradas de água no reservatório, em que as condições hidráulicas são de baixa profundidade, velocidade relativamente alta e escoamento turbulento, que favorece a oxigenação e a manutenção da boa qualidade da água. O Ponto 5 é relativo a saída da água do reservatório, que se dá por uma válvula dispersora, jorrando sob a forma de leque, que também favorece a oxigenação da água.

Os piores valores de IQA médio foram observados no Ponto 3.0.F e no Ponto 3.3.F, que não diferiram entre si. Neste o IQA médio foi respectivamente de 67,63 e 68,12, ainda assim classificados como qualidade “Boa”. A pior qualidade da água nos pontos mais profundos explica em parte, pelo fato de estarem mais suscetíveis ao fenômeno de eutrofização que os ambientes rasos.

De acordo com Branco (1986 apud RUAS, 2006), o oxigênio dissolvido na coluna d’água inferior, possuem fortes déficits. “[...] Nesta parte do lago se acumula

o material orgânico sedimentável que, além de constituir substrato para grande atividade biológica, é de mais difícil acesso ao oxigênio que penetra através da superfície.”

Outra possível justificativa para os valores baixos do IQA deve-se ao tempo de residência ser maior no fundo do reservatório, onde há uma baixa renovação das águas, propiciando a retenção de nutrientes e sólidos em suspensão.

O tempo de retenção hidráulica ou tempo de residência é um outro importante fator para a eutrofização, associando características hidrológicas (vazão afluente), morfométricas (volume do reservatório) e de operação do sistema (vazão defluente). A importância desse fator reside no fato de as algas necessitarem de um determinado período de tempo para atingirem o seu desenvolvimento ideal, ficando assim na dependência de tempo de residência favorável. (BRANCO et al., 1991, p.183).

4.1.2 Variação Sazonal

“A variação sazonal está relacionada ao monitoramento em determinados períodos do ano, podendo, por exemplo, ser obtida com base nas estações do ano.” (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

Para a avaliação da variação sazonal, foram analisadas as quatro estações do ano, dos 9 anos amostrados, contendo nas Tabela 13 a 25, as médias, desvios padrões, limites inferiores e superiores do intervalo de confiança de 95% para a média.

No Ponto 1 (Tabela 14) observa-se que o IQA médio foi classificado como “Ótima” em todas estações do ano, não havendo diferenças significativas entre as estações ($p = 0,4030$).

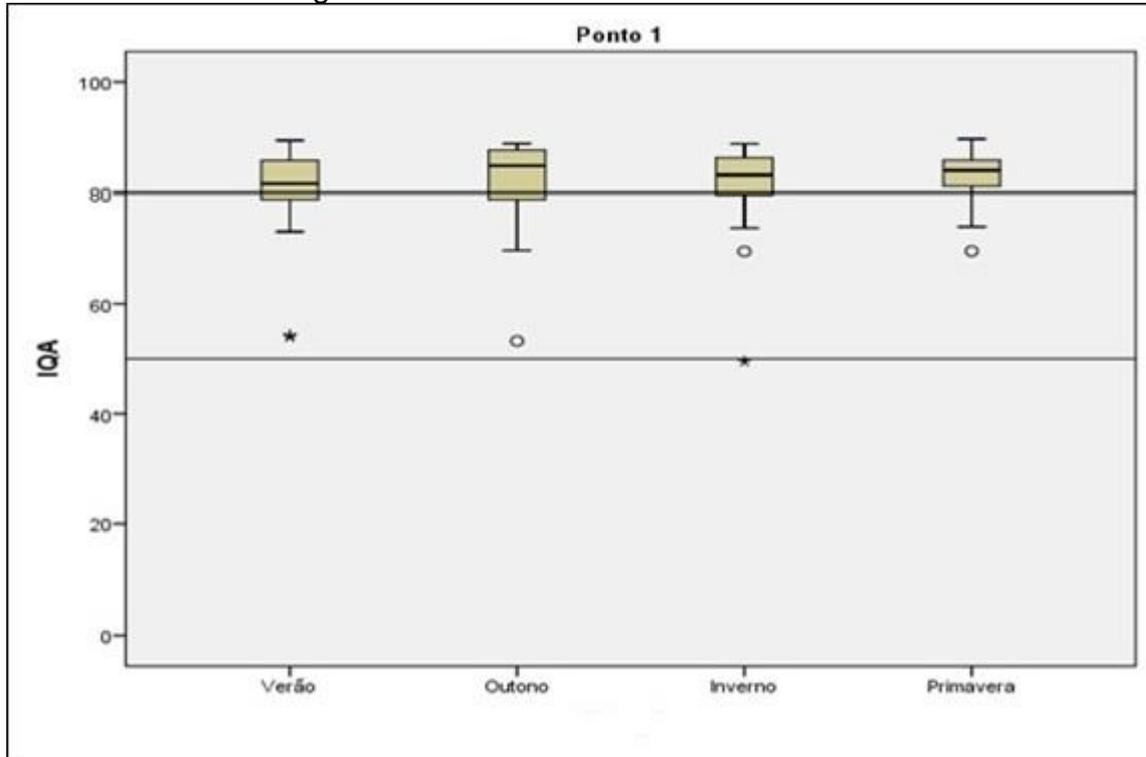
Tabela 14 - Valores de IQA do Ponto 1.

Estação	N	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	30	80,3	8,2	77,2	83,4
Outono	30	82,2	7,7	79,3	85,0
Inverno	30	81,6	7,5	78,7	84,4
Primavera	30	83,4	4,4	81,8	85,0

A Figura 5 representa a variação sazonal do Ponto 1, visto que sua amostra é coletada na superfície do rio São Bento, a montante do reservatório, onde observa-se pequena, porém não significativa, variação sazonal, onde todas as

estações do ano predominam valores de IQA na faixa ponderada de 80 a 100, resultando em classificação da qualidade da água em “Ótima”.

Figura 5 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 1, localizado a montante do reservatório da Barragem do Rio São Bento.



Para o Ponto 2 (Tabela 15) os resultados foram semelhantes ao Ponto 1, onde também não foi verificada variação sazonal do IQA ($p = 0,092$). Os valores médios com seus respectivos intervalos de confiança de 95% foram todos acima de 80 mostrando qualidade “Ótima”.

Tabela 15 - Valores de IQA do Ponto 2.

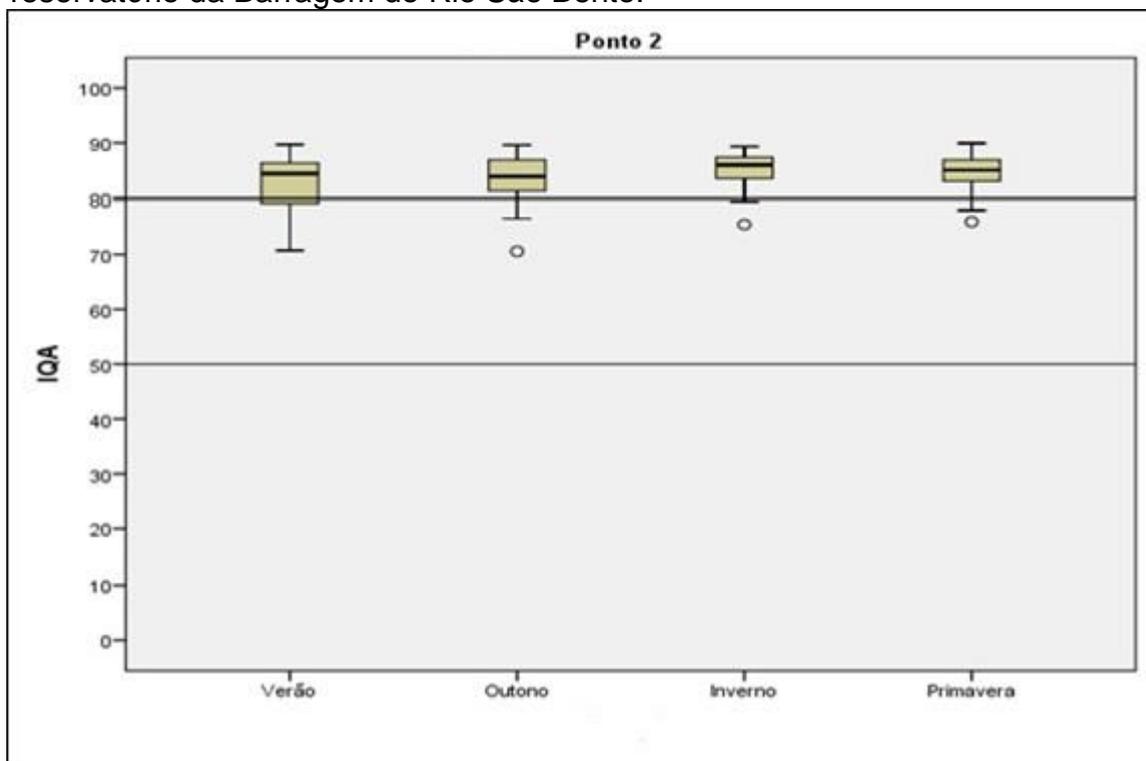
Estação	N	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	30	82,8	5,1	80,9	84,7
Outono	30	83,5	4,0	82,0	85,0
Inverno	30	85,1	3,3	83,8	86,3
Primavera	30	84,8	3,4	83,5	86,1

Na Figura 6 está representada a variação sazonal do IQA do Ponto 2, coletada no rio Serrinha, à montante do reservatório. Este rio drena a área de contribuição de aproximadamente 40% da bacia de contribuição da barragem do rio São Bento, enquanto o Ponto 1 é referente ao rio São Bento com 60% da área de

contribuição (COSTA, 2008). Ambos são rios de vazão e profundidade médias baixas, alta declividade e com tempo de concentração relativamente pequeno.

Dessa forma as respostas aos eventos de chuvas intensas são muito rápidas, de modo que as características de qualidade da água influenciadas por esses eventos devem ter variação rápida, e somente ser detectado se a coleta da amostra de água for realizada imediatamente após estes eventos de chuvas intensas.

Figura 6 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 2, localizado a montante do reservatório da Barragem do Rio São Bento.



Durante o verão o IQA obteve um valor mais baixo comparado às demais estações, embora a diferença não seja significativa nas médias. Esse valor pode estar relacionado às maiores precipitações que ocorrem nesta época do ano.

As chuvas podem provocar alterações sazonais do IQA, justificando que quanto mais intensa for a chuva, a quantidade de material particulado e nutrientes das áreas adjacentes são carregados para dentro do rio, e conseqüentemente, ao aumento da turbidez, causando a alteração do ambiente (ÁGUAS E GESTÃO, 2015).

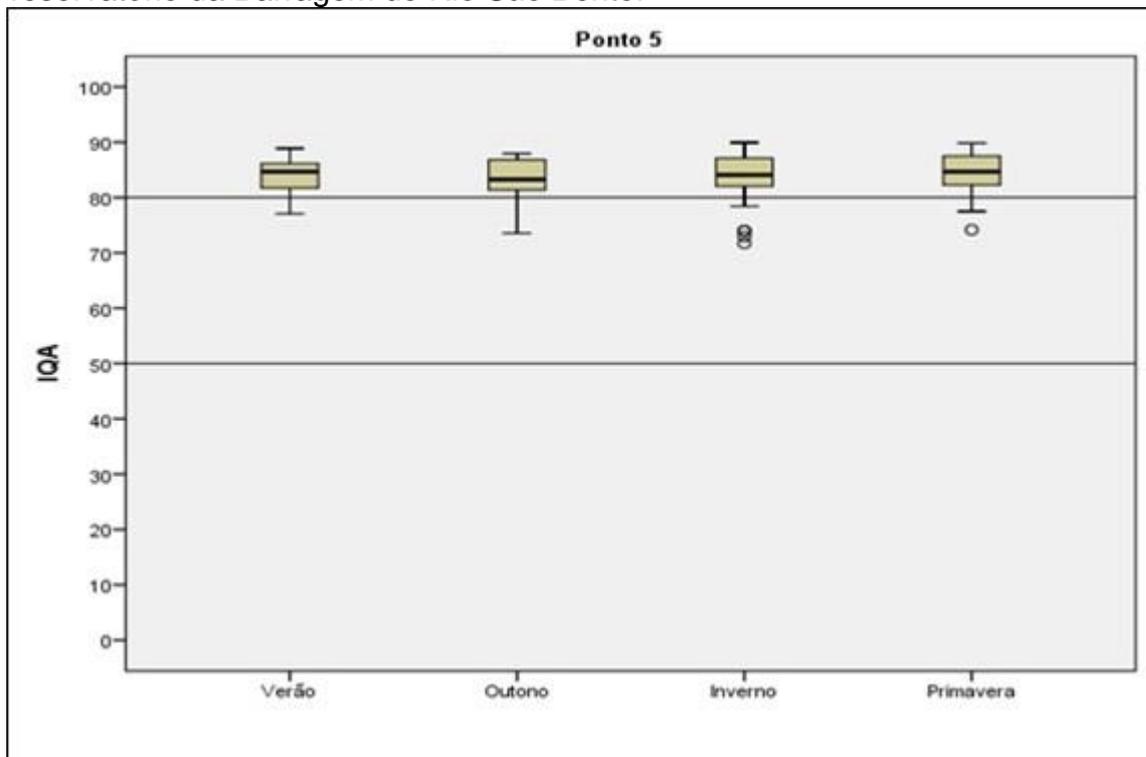
Os valores obtidos dos cálculos médios de IQA do Ponto 5, são apresentados na Tabela 16. Também não houve diferença significativa entre as estações ($p = 0,4623$).

Tabela 16 - Valores de IQA do Ponto 5.

Estação	N	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	30	84,3	3,0	83,2	85,4
Outono	30	83,1	3,8	81,7	84,6
Inverno	30	83,2	4,8	81,4	85,0
Primavera	30	84,4	4,0	82,9	85,9

No gráfico Box Plot (Figura 7), visualiza-se que o primeiro quartil para todas as estações do ano que ficou na faixa de IQA acima de 80, concluindo-se que mais de 75% das amostras foram classificadas como “Ótima” qualidade da água.

Figura 7 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 5, localizado a jusante do reservatório da Barragem do Rio São Bento.



Como observado na Tabela 13 não houve diferença significativa entre os Pontos 1 e 2 com o Ponto 5, isto é, o IQA a jusante da barragem é equivalente ao IQA a montante. Assim, podemos constatar que a barragem do Rio São Bento não altera a qualidade da água em relação aos parâmetros que constituem o IQA.

Para pH e temperatura não era esperada alteração nos valores. Quanto aos valores de Coliformes, DBO, Nitrogênio e Fósforo, poderiam ocorrer alterações, no entanto como a bacia a montante apresenta pouca ação antrópica, e no reservatório da barragem não é realizada nenhuma outra atividade como piscicultura, atividades recreativas que poderiam comprometer a qualidade, estes parâmetros se mantêm em níveis baixos refletindo na ótima qualidade da água.

Quanto aos parâmetros de Turbidez e Sólidos totais causados pelos processos erosivos e de arraste em grandes eventos de chuva, as condições hidrodinâmicas da barragem tendem a reduzir os valores destes parâmetros, pois a tendência é ocorrer a sedimentação na barragem.

No caso de proliferação de algas ou decomposição de matéria orgânica poderia ocorrer aumento da turbidez e redução do IQA. Também em relação ao oxigênio dissolvido é esperada uma redução dos valores em relação aos pontos a montante, no entanto o Ponto 5 está localizado abaixo da válvula dispersora que escoar sob a forma de leque aumentando a oxigenação da água.

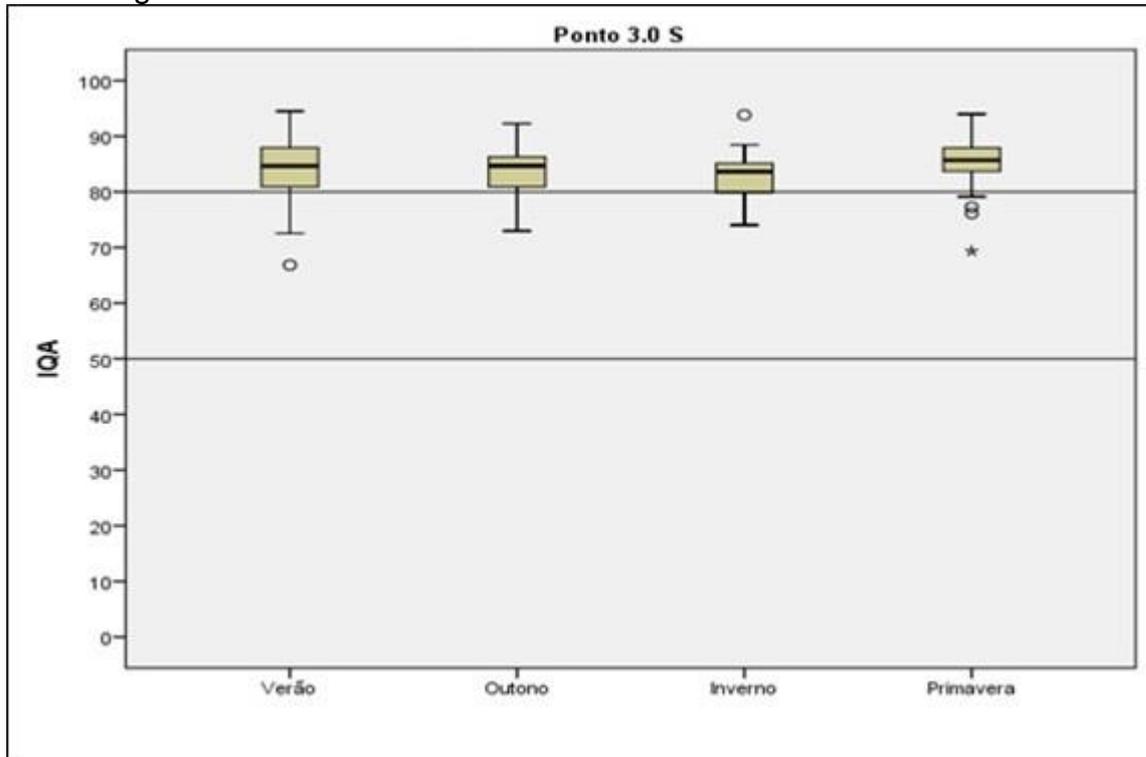
Na Tabela 17 consta o resumo estatístico dos valores do IQA do Ponto 3.0.S, localizado dentro do reservatório, próximo ao vertedouro da barragem.

Tabela 17 - Valores de IQA do Ponto 3.0.S.

Estação	N	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	30	83,7	6,0	81,4	85,9
Outono	30	83,7	4,4	82,0	85,3
Inverno	30	82,7	4,3	81,1	84,3
Primavera	30	85,0	5,0	83,1	86,9

Na Figura 8 representa a variação sazonal através do gráfico de Box Plot, do ponto de coleta 3.0.S, do qual a amostragem é realizada próxima a captação, na superfície, com uma profundidade média de 0,5m.

Figura 8 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.0.S, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



Não houve variação sazonal significativa nas médias ($p = 0,3512$) e os valores foram semelhantes aos valores de IQA para os Pontos 1, 2 e 3. Os valores das médias com seus respectivos intervalos de confiança ficaram acima do limite 80, classificados como “Ótima”. Também na Figura 8 percebe-se que o primeiro quartil também está acima de 80 para todas as estações indicando que mais de 75% das amostras foram classificadas como “Ótima”.

A Tabela 18, apresenta os valores de IQA médio do Ponto 3.0.M para a avaliação da sazonalidade, onde mostra que as médias obtidas tiveram uma variação sazonal significativa ($p < 0,05$).

Tabela 18 - Valores de IQA do Ponto 3.0.M.

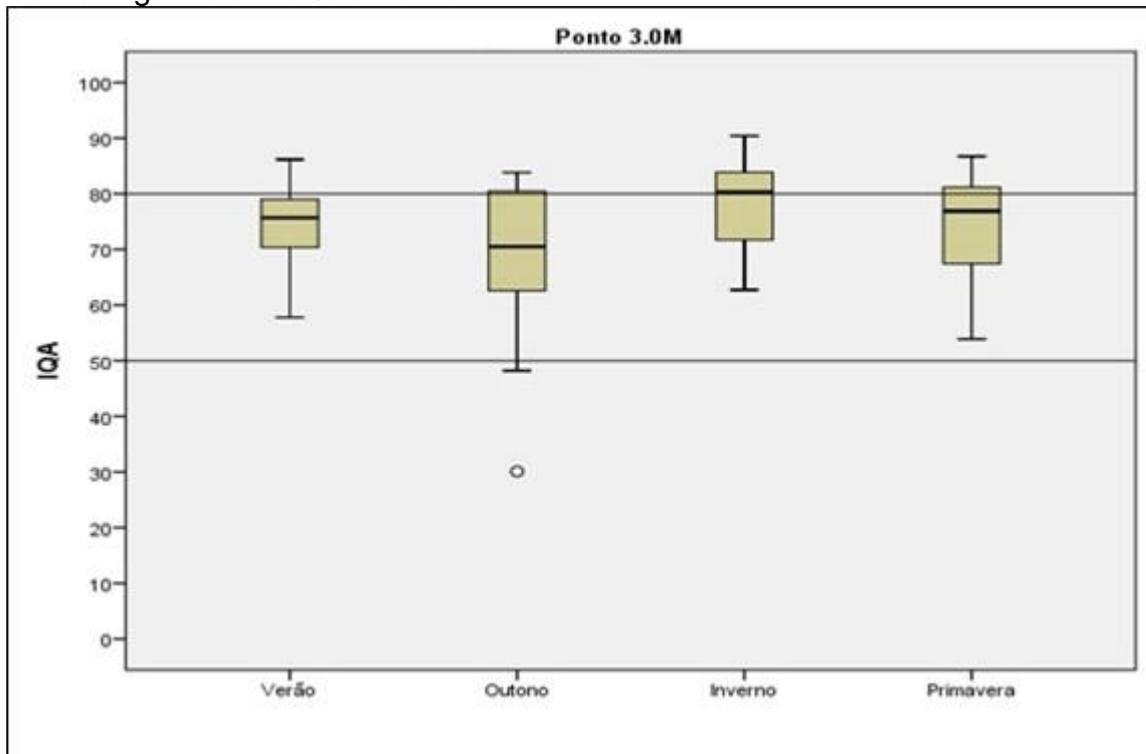
Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	30	74,6 ab	6,8	72,1	77,1
Outono	30	70,2 b	12,0	65,8	74,7
Inverno	30	77,8 a	7,3	75,0	80,5
Primavera	30	74,6 ab	9,0	71,2	77,9

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de Significância de 5 %.

Pelo teste Tukey constata-se que houve diferença significativa entre as médias do IQA do outono (IQA = 70,2) e inverno (IQA = 77,8), e entre as demais comparações não houve diferenças entre as médias.

Com o auxílio do gráfico de Box Plot, representado pela Figura 9, a variação sazonal do Ponto 3.0.M, será melhor visualizado. O ponto é coletado próximo a captação, com uma profundidade de aproximadamente 8m. Observa-se que neste ponto uma amostra coletada no outono apresentou IQA próximo de 30, classificado como qualidade “Ruim”, que pode estar refletindo na média mais baixa para esta estação. Este valor pode ser relativo ao início do período de operação da barragem, em que logo após o enchimento houve decomposição da vegetação (gramíneas) que estavam na área do lago, causando odor na água. Isto pode ter afetado o teor de oxigênio dissolvido e a turbidez, no entanto este ponto deverá ser melhor investigado a posterior.

Figura 9 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.0.M, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



O gráfico do Ponto 3.0.M, representado pela Figura 9, observa-se que a maioria das amostras das estações verão, outono e primavera apresentaram IQA na faixa de 51 a 80, classificadas como qualidade “Boa”. Para a estação inverno, como

a mediana está no limite de IQA 80, significa que se distribuem em 50% de qualidade “Ótima” e 50% de qualidade “Boa”.

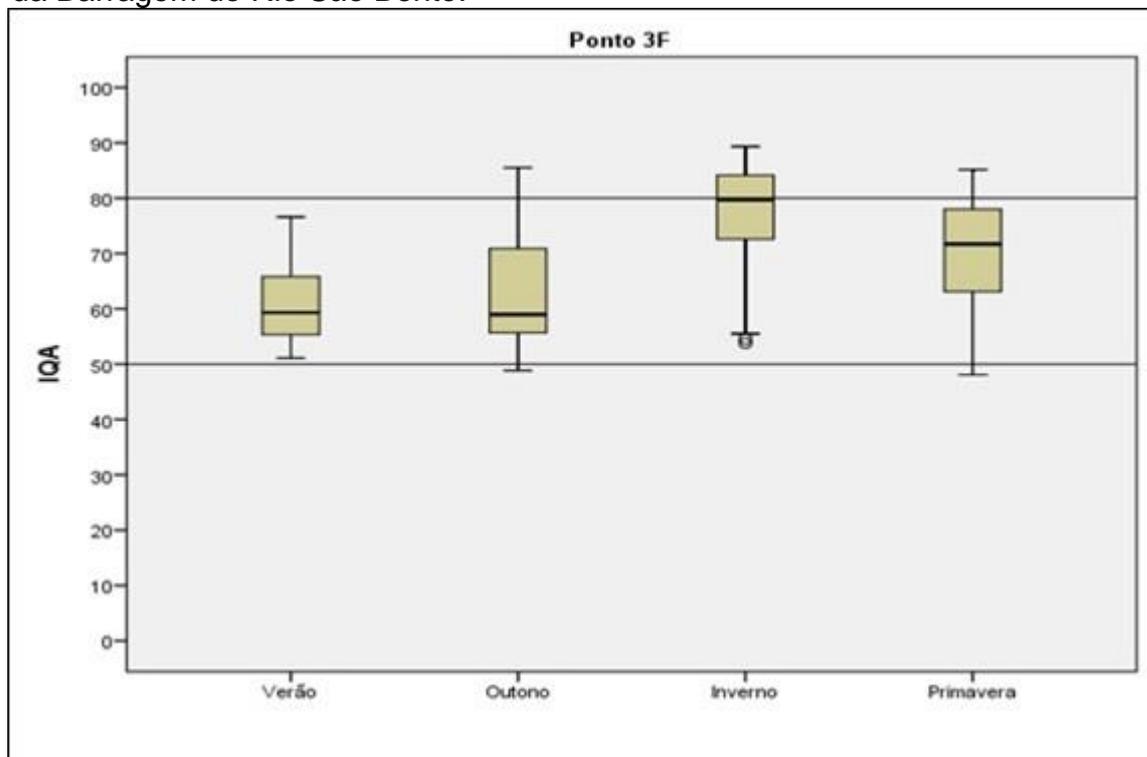
Na Tabela 19 consta o resumo estatístico dos valores IQA sazonal do Ponto 3.0.F, coletado no reservatório próximo à captação, com uma profundidade média de 19m. No verão, a média do IQA foi a mais baixa de 61,5, e no inverno apresentou a maior média de 76,0. Na Figura 10 estão representados, por meio de Box Plot, os valores do IQA de cada estação.

Tabela 19 - Valores de IQA do Ponto 3.0.F.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	30	61,5 b	7,2	58,8	64,2
Outono	30	62,7 b	9,4	59,2	66,3
Inverno	30	76,0 a	10,5	72,1	79,9
Primavera	30	70,3 a	10,0	66,5	74,0

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de Significância de 5 %.

Figura 10 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.0.F, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



De acordo com as médias estabelecidas na Tabela 19, foi observada variação sazonal significativa ($p < 0,05$) nas médias de IQA. Observa-se que as médias de IQA de inverno e primavera foram significativamente superiores as médias do verão e outono. Entre as médias de inverno e primavera não houve diferença significativa assim como entre verão e outono.

Na Figura 10 constata-se no verão que todas as amostras estavam com IQA na faixa de 51 a 79, classificadas como qualidade “Boa”, e para outono e primavera foi observada uma amostra classificada como “Ótima” ($IQA > 80$) e uma amostra com qualidade “Aceitável” ($50 \leq IQA < 80$). No inverno pode-se observar que ocorreu uma distribuição aproximadamente igual de amostras de qualidade “Ótima” e “Boa”.

A temperatura no fundo dos reservatórios torna-se a cair devido à baixa concentração de radiação solar incidente sobre as águas (ÁGUAS E GESTÃO, 2014).

“Corpos de água fria tem maior capacidade de reter o oxigênio dissolvido do que a água quente” (ÁGUAS E GESTÃO, 2014), o que possivelmente indica que a queda do índice de qualidade pode estar relacionada a baixas concentrações de oxigênio dissolvido apresentadas ao fundo do reservatório.

A variação sazonal do IQA também tem sido relacionada com o regime pluviométrico. Carvalho et al. (2000) utilizaram o IQA para avaliar os impactos da atividade pecuária e agrícola na qualidade da água nas microbacias do Ribeirão da Onça e do Feijão, na região oeste do Estado de São Paulo, verificando variação sazonal da qualidade da água, com melhores resultados no período chuvoso. Bilich e Lacerda (2005) também utilizando o IQA para trinta pontos de abastecimento do Distrito Federal (Brasília) verificaram que o padrão de qualidade da água foi bom ao longo de dez anos de estudo, ocorrendo redução da qualidade no período de chuva, em função do intenso escoamento superficial.

Por outro lado, Jacintho (2006) relacionou a redução do IQA no período de estiagem, em função da menor vazão de água e concentração de poluentes. No caso da Barragem do Rio São Bento, os menores valores de IQA são observados no verão e outono que é o período com maiores precipitações, no entanto esta observação só ocorreu para os pontos de maior profundidade. Isto poderia ser explicado em parte pela sedimentação do material para as camadas mais profundas

e também pela maior renovação da água superficial, no entanto requer estudos mais aprofundados.

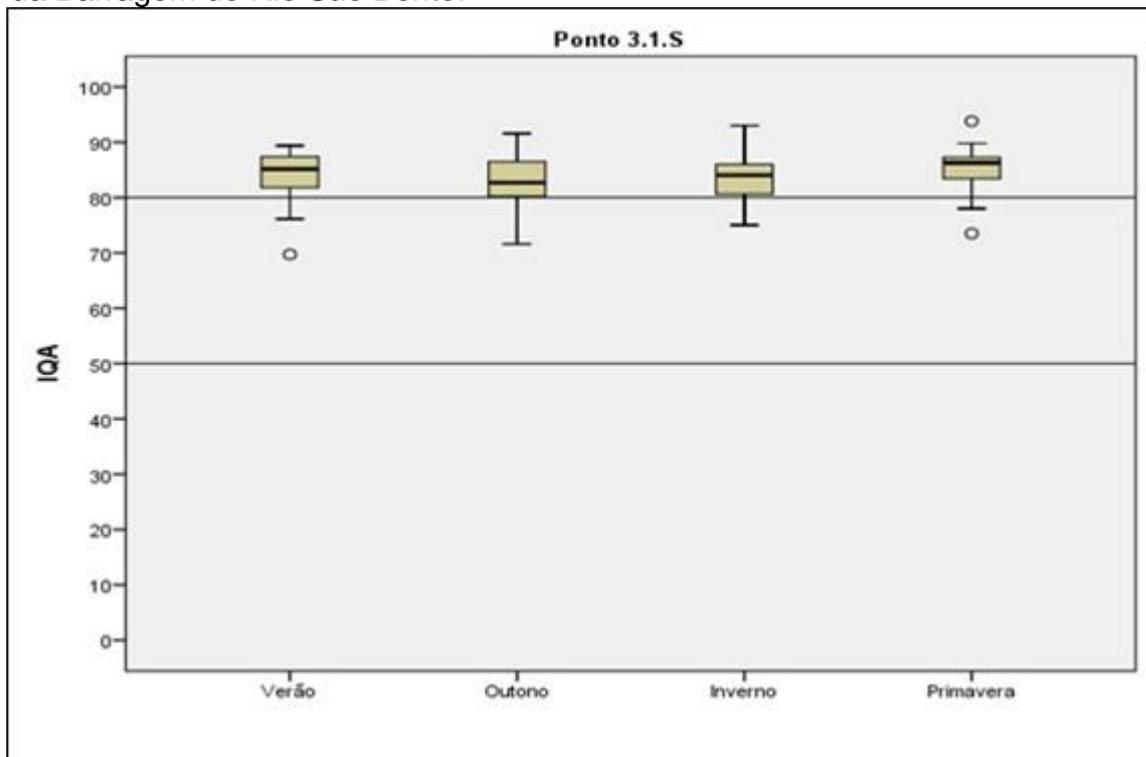
Os valores do IQA, referente ao Ponto 3.1.S, são exibidas na Tabela 20 junto com as demais estatísticas descritivas. Este ponto é coletado próximo ao Ponto 1 do Rio São Bento, na superfície, com uma profundidade média de 0,5m.

Tabela 20 - Valores de IQA do Ponto 3.1.S.

Estação	N	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	27	84,2	4,4	82,4	85,9
Outono	27	82,9	4,3	81,2	84,6
Inverno	27	83,3	4,0	81,8	84,9
Primavera	27	85,0	4,2	83,4	86,7

Na Figura 11 constam os Box Plot com a distribuição das amostras.

Figura 11 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.1.S, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



Não foram constatadas diferenças significativas nas médias de IQA entre as estações do ano ($p = 0,2491$). Observa-se na Figura 11 que mais de 75% das amostras apresentam IQA acima de 80, indicando qualidade “Ótima”.

A Tabela 21 apresenta o resumo estatístico dos valores de IQA do Ponto 3.1.M, coletado na profundidade média. Este ponto está localizado próximo ao Ponto 1, do rio São Bento, em uma profundidade média de 8m. Constata-se que houve diferenças significativas ($p < 0,5$) nas médias entre as estações do ano. Na primavera e outono ocorreram as maiores médias, com valores acima de 80 indicando qualidade “Ótima”. No verão e inverno foram registrados as menores médias, com valores abaixo 80, indicando qualidade “Boa”.

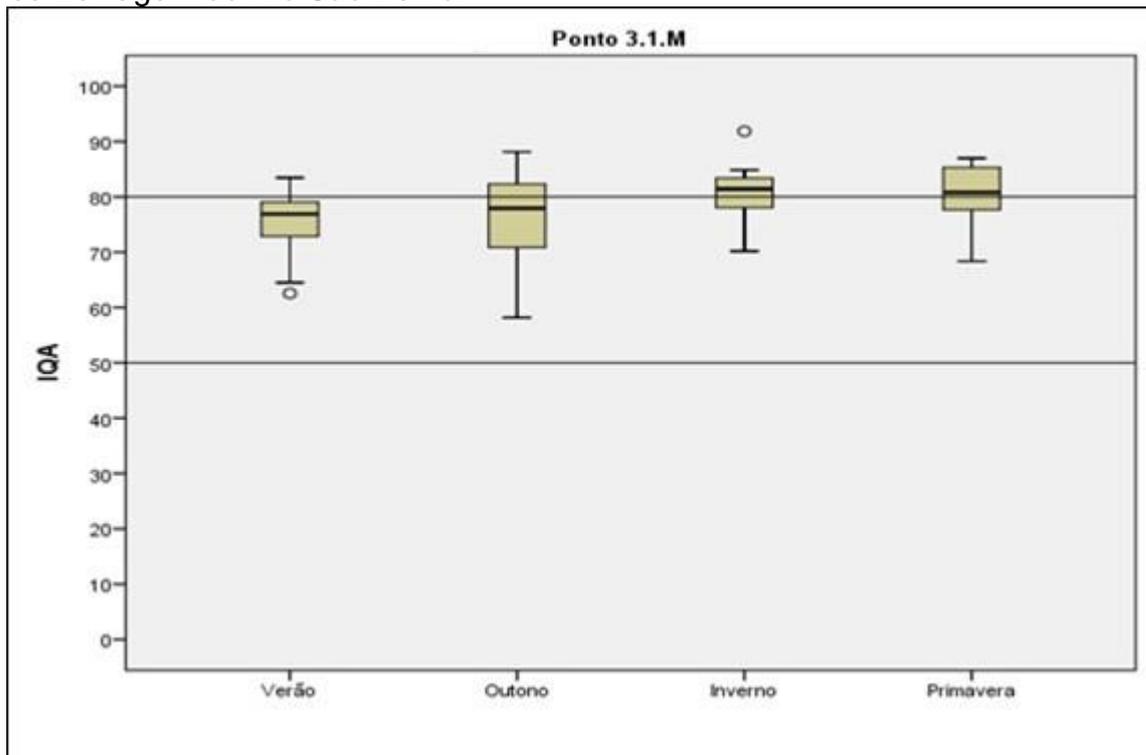
Tabela 21 - Valores de IQA do Ponto 3.1.M.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	27	75,5 c	5,5	73,3	77,7
Outono	27	76,3 bc	8,5	73,0	79,7
Inverno	27	80,9 a	4,1	79,3	82,5
Primavera	27	80,3 ab	5,2	78,3	82,4

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de Significância de 5 %.

Analisando os Box Plot (Figura 12) para cada estação observa-se que no verão e outono predominam as amostras com qualidade “Boa” e no inverno e primavera predominam as amostras com qualidade “Ótima”.

Figura 12 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.1.M, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



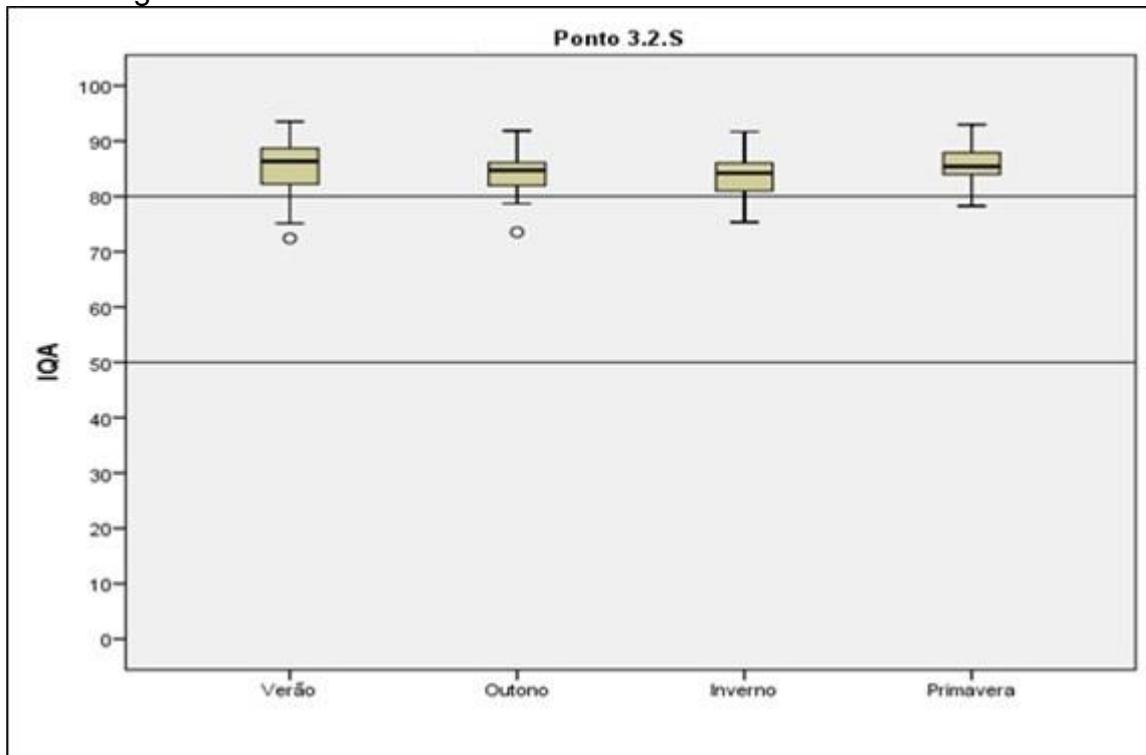
Os valores do IQA no Ponto 3.2.S está representado pela Tabela 22. De acordo com as médias estabelecidas, constatou-se não haver uma diferença significativa entre as mesmas ($p = 0,1218$).

Tabela 22 - Valores de IQA do Ponto 3.2.S.

Estação	N	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	27	85,1	5,0	83,1	87,1
Outono	27	84,2	3,8	82,7	85,8
Inverno	27	83,3	3,9	81,7	84,9
Primavera	27	85,8	3,2	84,6	87,1

Analisando a Figura 13, observa-se que praticamente todas as amostras apresentam IQA acima de 80, classificadas como qualidade “Ótima”. Somente para as estações de verão e outono ocorreu uma amostra com IQA na faixa de 51 a 79 e qualidade “Boa”.

Figura 13 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.2.S, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



A Tabela 23, apresenta o resumo estatístico dos valores do IQA do Ponto 3.2.M, em que as amostras são coletadas dentro do reservatório em nível médio, com uma profundidade de aproximadamente 8m. Foram observadas diferenças significativas, sendo que no verão foi registrada a menor média apresentando um IQA de 75,2, e o inverno, a maior média com IQA de 81,2.

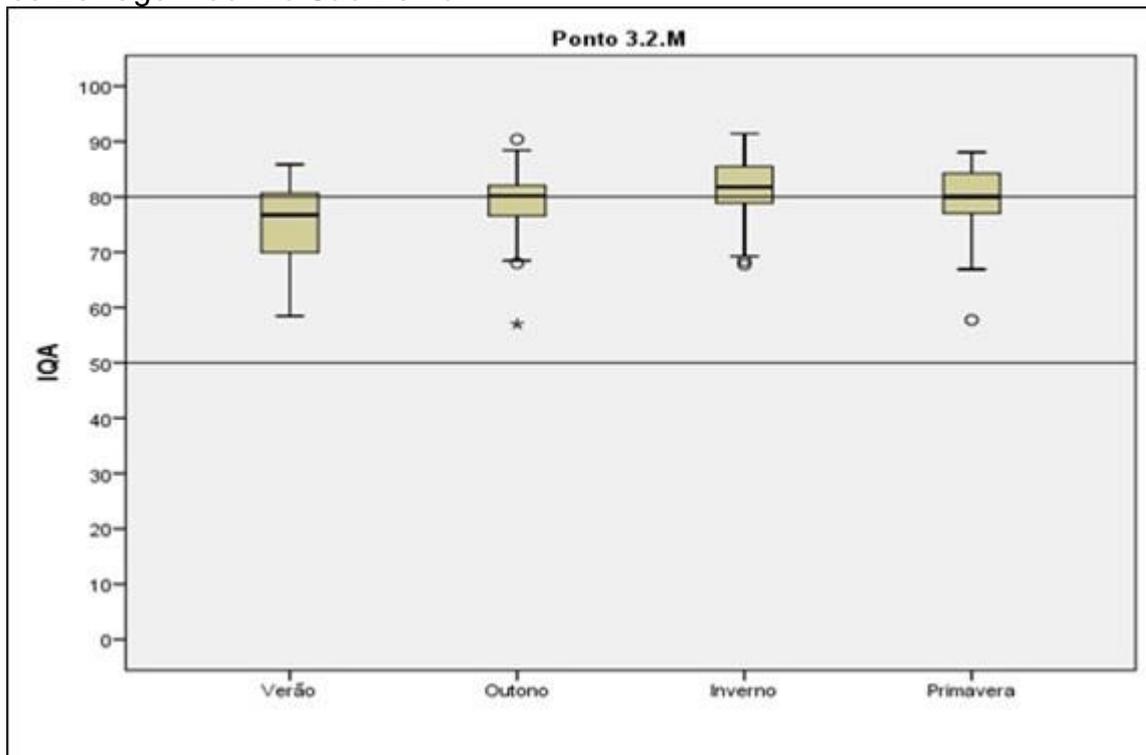
Tabela 23 - Valores de IQA do Ponto 3.2.M.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	27	75,2 b	7,4	72,3	78,1
Outono	27	78,6 ab	7,2	75,8	81,5
Inverno	27	81,2 a	6,2	78,7	83,6
Primavera	27	79,2 ab	6,8	76,4	81,9

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de Significância de 5 %.

Segundo o gráfico apresentado pela Figura 14, torna-se perceptível, que apenas no inverno predominaram amostras com IQA superior a 80, o que classifica a qualidade da água em “Ótima”. Para outono e primavera houve aproximadamente 50% das amostras com qualidade “Ótima” e 50% com qualidade “Boa”. No verão aproximadamente 75% das amostras apresentaram qualidade “Boa”.

Figura 14 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.2.M, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



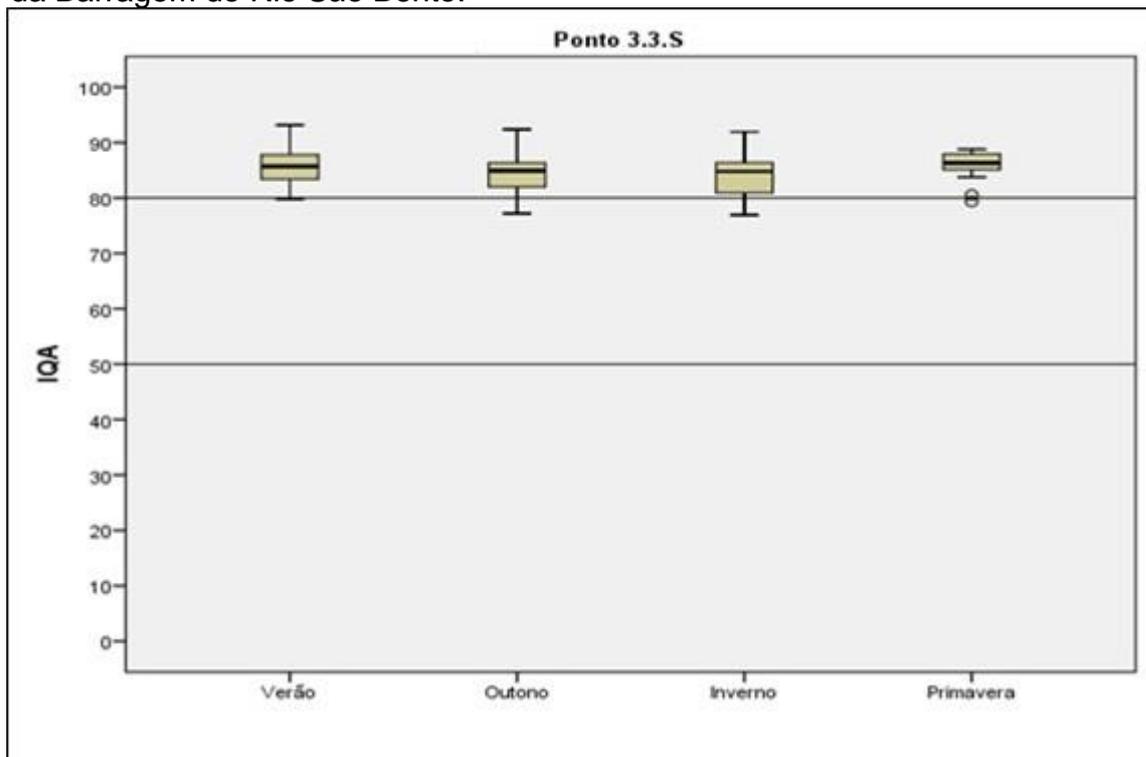
Para a análise dos valores de IQA do Ponto 3.3.S, a Tabela 24 apresentam seus respectivos valores:

Tabela 24 - Valores de IQA do Ponto 3.3.S.

Estação	N	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	27	85,4	3,5	84,0	86,8
Outono	27	84,3	3,5	83,0	85,7
Inverno	27	84,0	3,7	82,5	85,4
Primavera	27	86,0	2,3	85,1	86,9

O gráfico representado pela Figura 15 ilustra os valores obtidos, para verificação da variação sazonal. O Ponto 3.3.S, é coletado na superfície do reservatório, com uma profundidade de aproximadamente 0,5m.

Figura 15 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.3.S, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



Conforme apresentado na Tabela 24, não houve diferença sazonal significativa ($p = 0,0913$). Observa-se na Figura 15, que mais de 75% das amostras apresentaram IQA acima de 80, indicando qualidade “Ótima”.

Na Tabela 25 consta o resumo estatístico dos valores de IQA para o Ponto 3.3.M, em que as amostras são coletadas dentro do reservatório em nível médio, com uma profundidade de 8m.

Tabela 25 - Valores de IQA do Ponto 3.3.M.

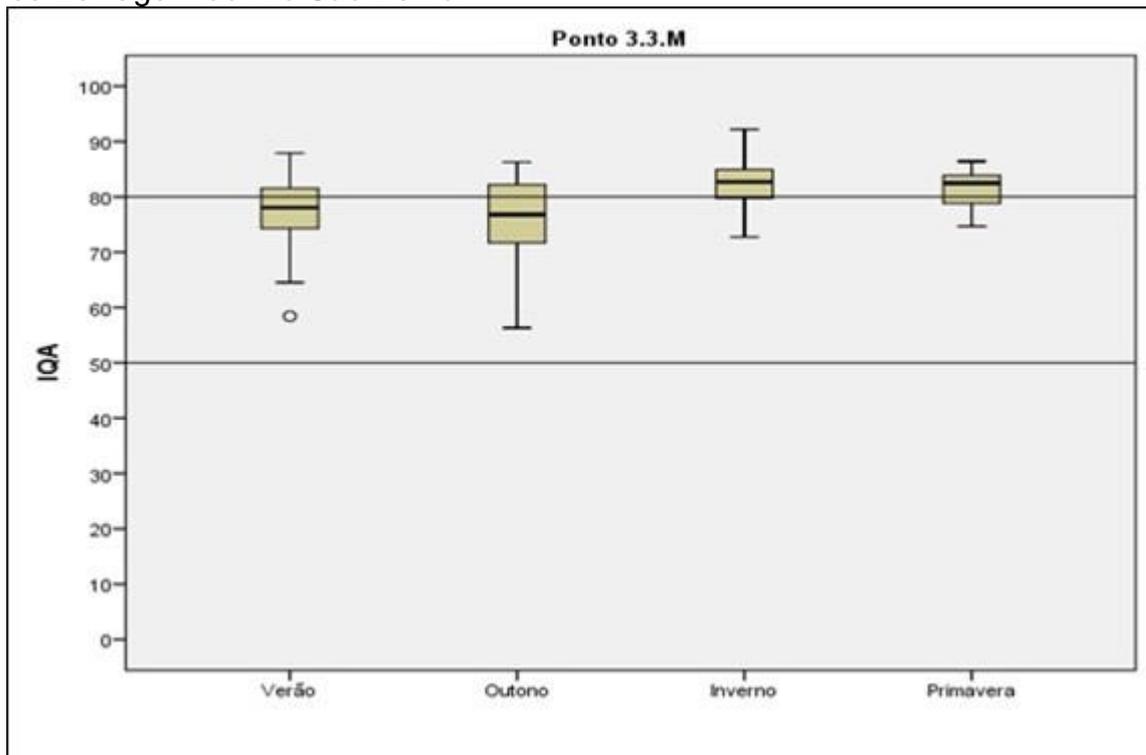
Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	27	77,2 b	7,3	74,3	80,1
Outono	27	75,9 b	7,5	72,9	78,9
Inverno	27	82,1 a	4,4	80,3	83,8
Primavera	27	81,7 a	3,4	80,3	83,0

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de Significância de 5 %.

De forma semelhante aos Pontos 3.1.M e 3.2.M foram observadas diferenças significativas nas médias de IQA entre as estações do ano. Nas estações do verão e outono apresentaram as médias mais baixas, sendo que no verão o IQA apresentou 77,2 e no outono 75,9, não havendo diferenças significativas entre elas. Já o inverno e a primavera, elevaram os índices para 82,1 e 81,7 significativamente superior as médias de verão e outono.

A Figura 16, apresenta a variação sazonal do Ponto 3.3.M.

Figura 16 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.3 M, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



Ao analisar a Figura 16, verifica-se que as medianas do verão e outono predominam valores de IQA na faixa de 51 a 79, classificando a qualidade da água como “Boa”, e as estações de inverno e primavera, ocorrem maior frequência de valores de IQA entre 80 a 100, classificando a água em “Ótima”.

Na Tabela 26 consta o resumo do IQA para o Ponto 3.3.F e na Figura 17 constam os Box Plot para cada estação. Este ponto é coletado dentro do reservatório, com uma profundidade aproximada de 19m.

Tabela 26 - Valores de IQA do Ponto 3.3.F

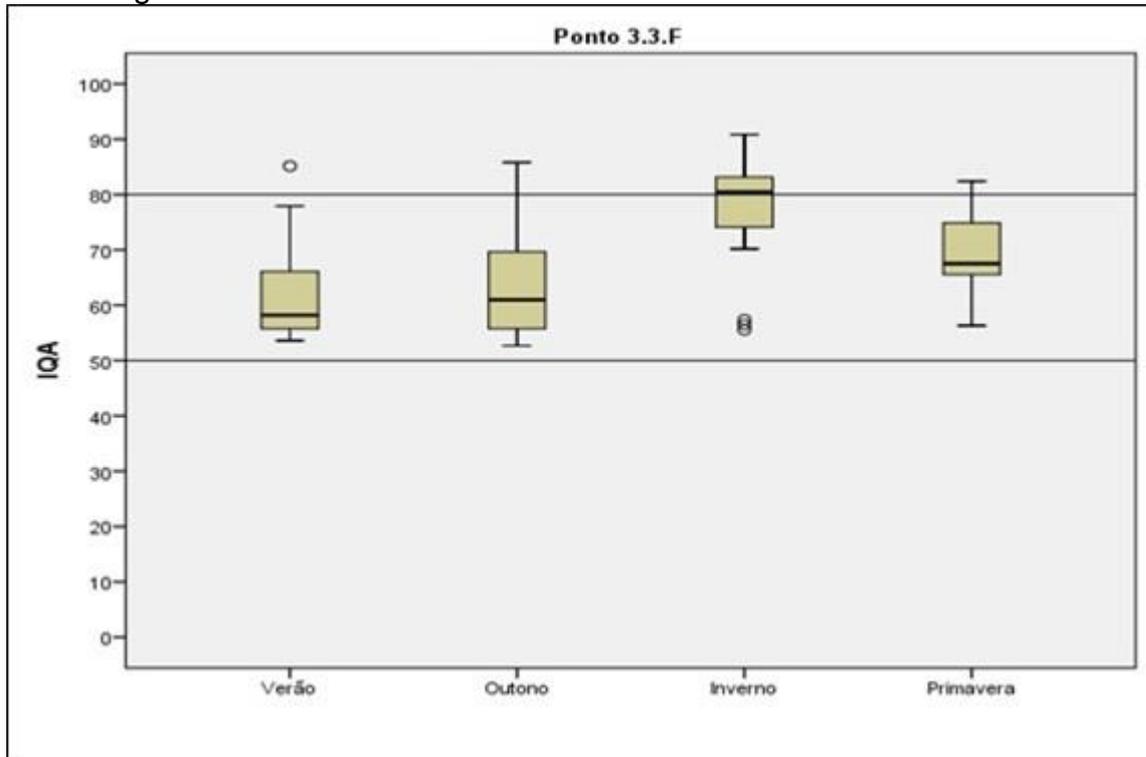
Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	27	62,1c	8,8	58,6	65,6
Outono	27	63,7bc	9,3	60,0	67,4
Inverno	27	77,5 a	9,1	73,9	81,1
Primavera	27	69,2 b	7,2	66,3	72,0

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de Significância de 5 %.

De acordo com a Tabela 26, houve diferenças significativas entre os valores médios de IQA nas estações do ano. No verão e outono foram observados as menores médias, com 62,1 e 63,7, respectivamente. Na primavera o IQA médio foi de 69,2, significativamente superior ao valor médio do verão. No inverno obteve-se a maior média com IQA de 77,5, significativamente ($p < 0,05$) superior aos demais.

A Figura 17 apresenta essa diferença por meio do gráfico Box Plot. Observa-se que nas estações de verão, outono e primavera mais de 75% das amostras apresentaram IQA na faixa de 51 a 79, com qualidade “Boa”, enquanto no inverno aproximadamente 50% das amostras tiveram IQA acima de 80, com qualidade “Ótima”.

Figura 17 - Variação Sazonal do IQA no Ponto 3.3.F, localizado no reservatório da Barragem do Rio São Bento.



O parâmetro que possivelmente fez com reduzisse o valor de IQA das estações de verão e outono pode estar relacionado a baixos valores de oxigênio dissolvidos presentes na água, e de acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, este valor não pode ser inferior a 5mg/L. Também pode estar relacionada com a temperatura do fundo do reservatório, que geralmente são mais baixas que da superfície, devido à baixa incidência de radiação solar.

Para Branco et al. (1991), essa região caracteriza-se:

[...] mais por processos de decomposição do que de produção de matéria orgânica. Ordinariamente, o oxigênio dissolvido é extremamente escasso ou inexistente. Gases como metano e dióxido de carbono são abundantes. A região profunda não consegue sustentar o crescimento de vegetais superiores e, frequentemente, nem mesmo de algas.

4.1.3 Variação Temporal

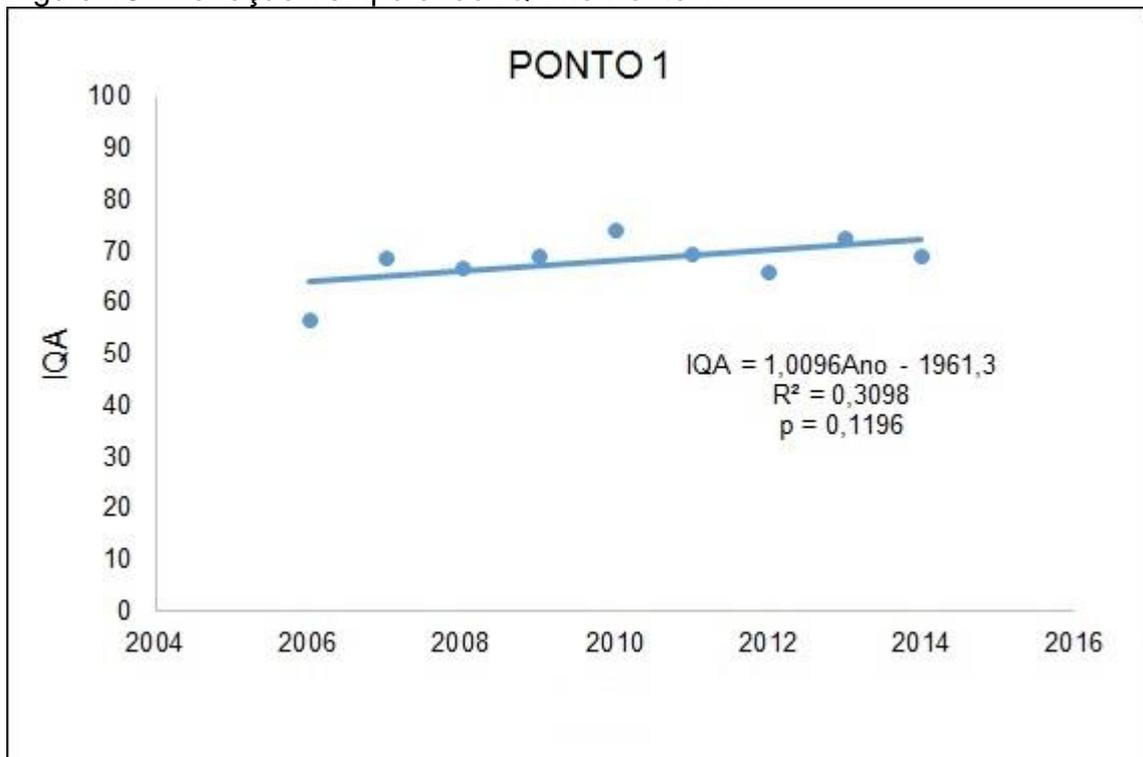
Segundo Straskraba e Tundisi (2000), a qualidade da água durante os primeiros anos de enchimento do reservatório torna-se prejudicada por ocorrer alta

produção biológica, denominando esse período de explosão trófica, o que torna o processo de envelhecimento muito importante.

O envelhecimento do reservatório depende de dois tipos de processos, que são o físico-químico e o biológico. O processo físico-químico é controlado pela latitude, volume, tempo de retenção, total de matéria orgânica acumulada durante o enchimento, atividades existentes nas bacias hidrográficas e o total de matéria em suspensão. (STRASKRABA; TUNDISI, 2000).

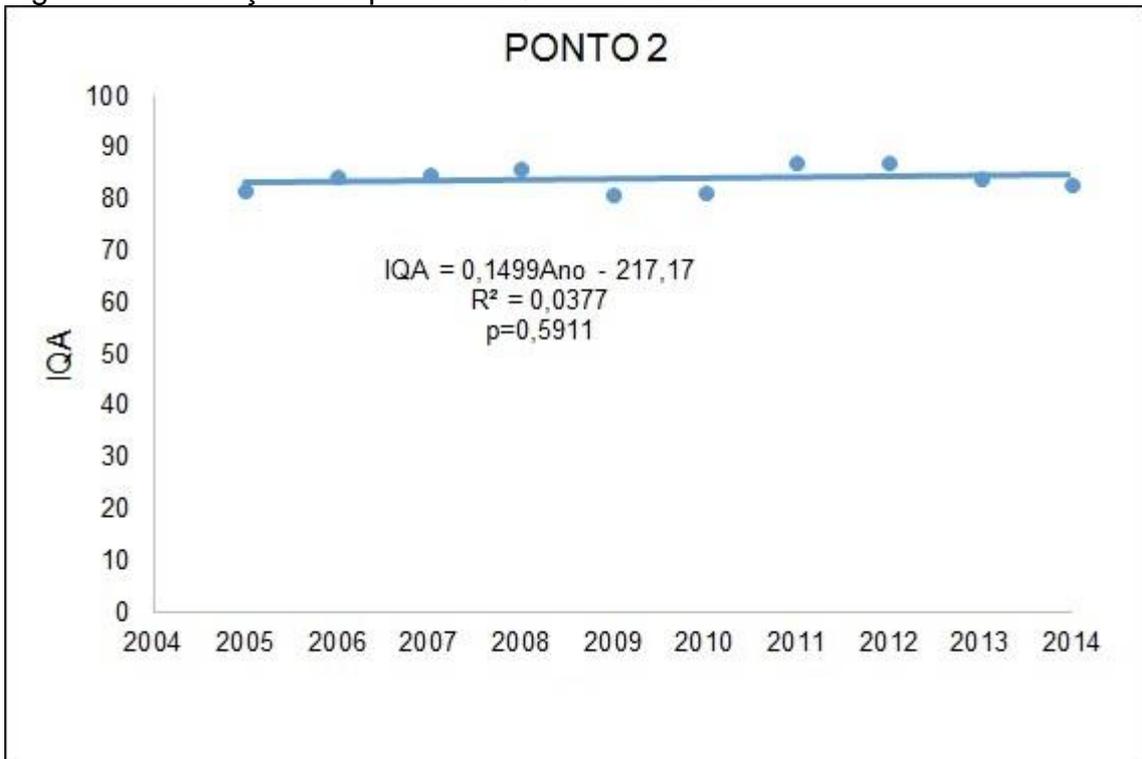
Diante disto, a análise da variação temporal tem por objetivo verificar a existência da tendência de aumento ou diminuição na qualidade da água ao longo dos anos, conforme mostram as Figuras 18 a 30:

Figura 18 - Variação Temporal do IQA no Ponto 1.



De acordo com a análise de regressão, a tendência de aumento do IQA obtida no Ponto 1 (Figura 18) foi de 1,0096 ao longo dos anos. Esse aumento indica não ser significativo ($p = 0,1196$).

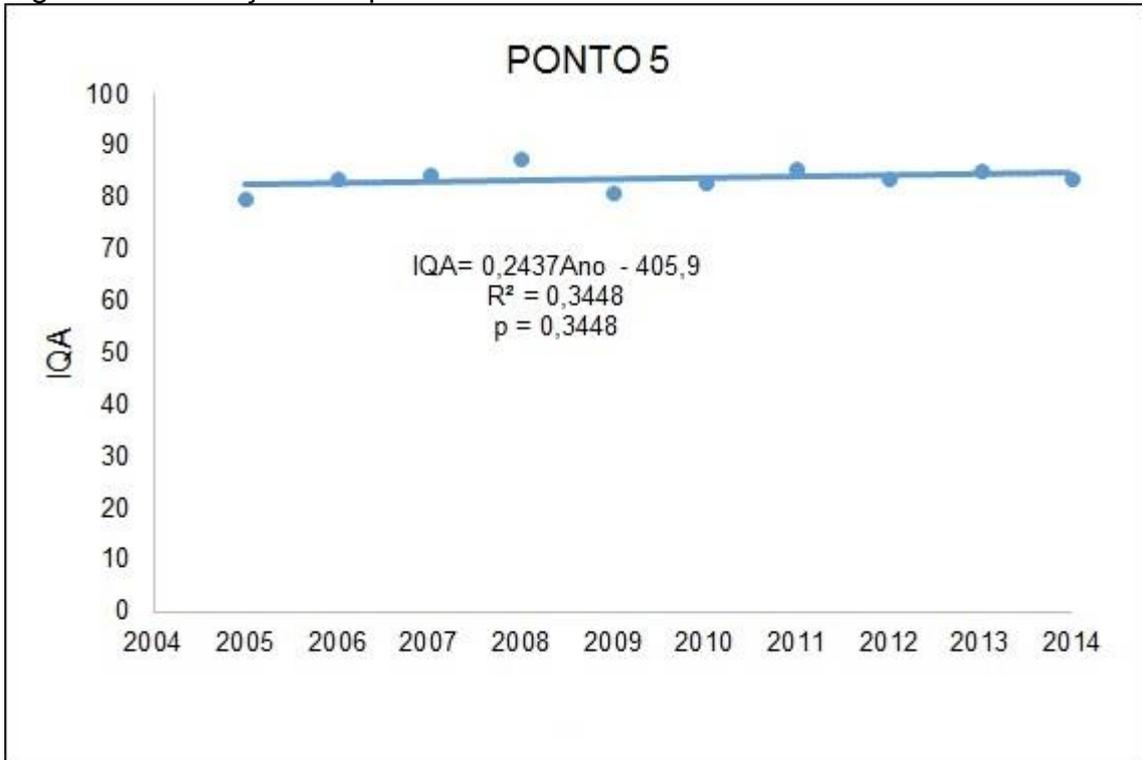
Figura 19 - Variação Temporal do IQA no Ponto 2.



Da mesma forma para o Ponto 2 (Figura 19) também não foi observada tendência significativa ($p = 0,5911$). Estes valores eram esperados, pois como não foram constatadas alterações no uso da bacia não eram esperadas modificações do IQA nas entradas de água no reservatório.

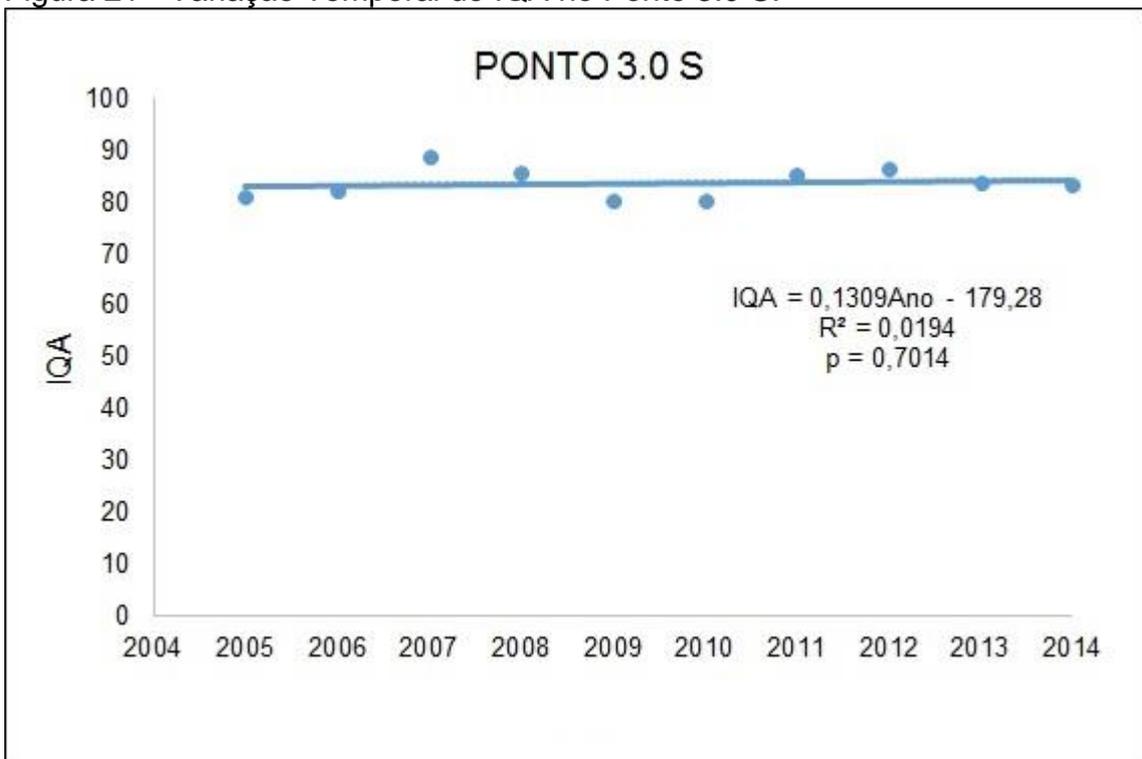
Ao analisar o Ponto 5 (a jusante do reservatório), representado pela Figura 20, nota-se que não houve diferença significativa ($p = 0,3448$) ao longo dos anos, onde a tendência do aumento do IQA é de 0,24.

Figura 20 - Variação Temporal do IQA no Ponto 5.



Ao observar a análise de regressão no Ponto 3.0.S, percebe-se que não houve tendência significativa no IQA ($p = 0,7014$) (Figura 21).

Figura 21 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.0 S.



Para o Ponto 3.0.M (Figura 22) houve tendência significativa ($p = 0,0056$) de aumento do IQA a uma taxa média de 1,57 por ano.

Figura 22 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.0 M.

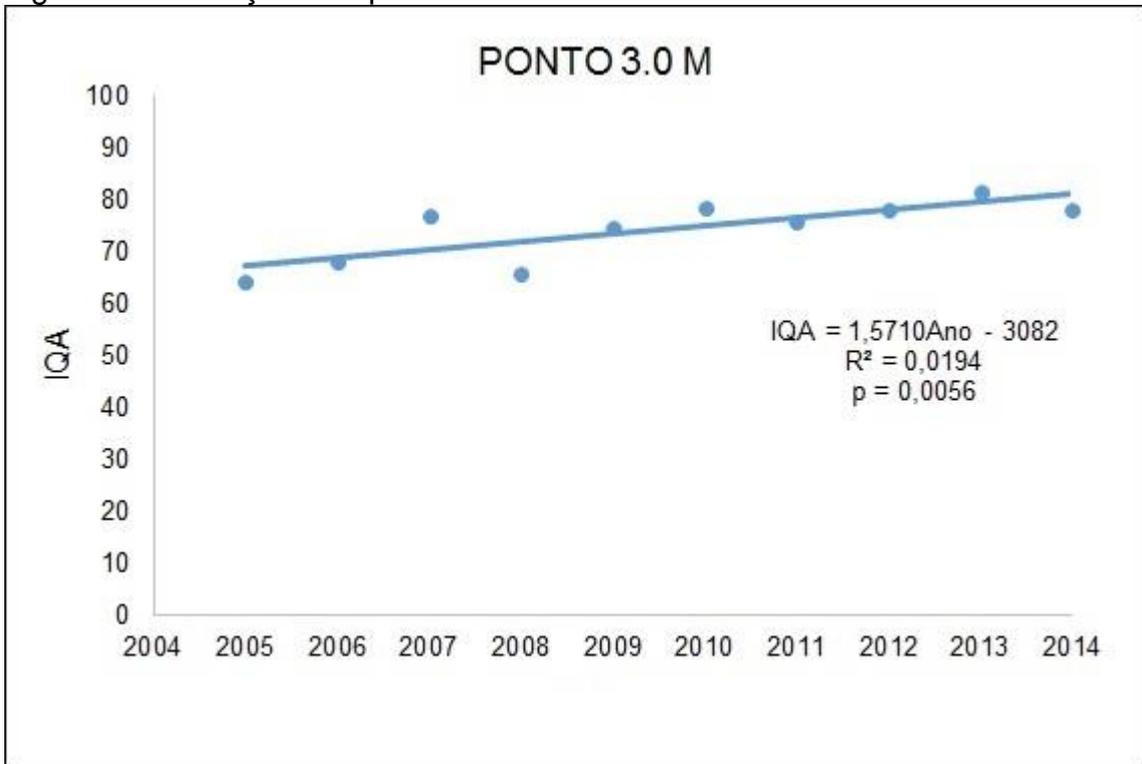
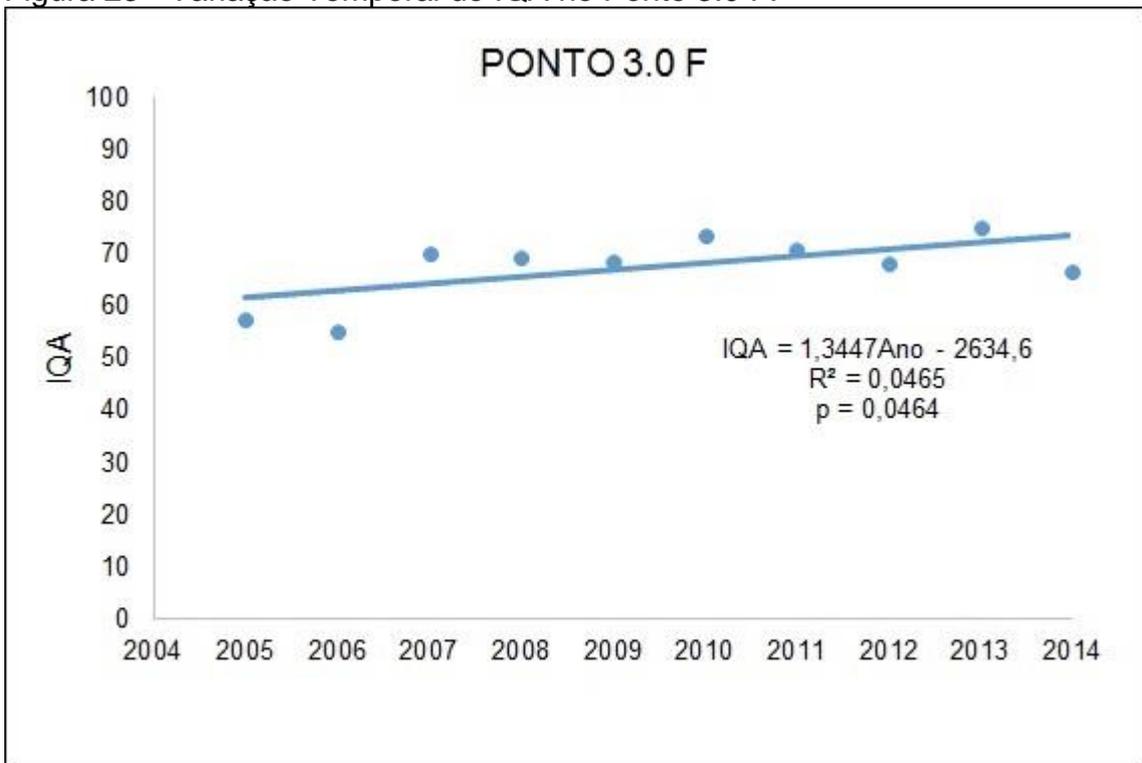


Figura 23 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.0 F.



De forma semelhante para o Ponto 3.0.F (Figura 23) houve tendência significativa ($p = 0,0469$) de aumento do IQA a uma taxa de 1,34 por ano.

Este aumento do IQA e conseqüente melhoria da qualidade da água podem ser explicados pelo fato de que no início do período de operação da barragem ter ocorrido a decomposição da matéria orgânica da vegetação existente na superfície do solo. Como os constantes vertimentos esta água de pior qualidade tende a ser substituída melhorando os valores de IQA.

Também pode-se observar que os piores valores de IQA ocorrem no Ponto 3 que é a área próxima ao vertedor, com maior profundidade e também possivelmente ter o maior tempo de residência no reservatório.

Para o Ponto 3.1, tanto na superfície (Figura 24) como no meio (Figura 25) não foi identificada tendência significativa no IQA durante o período de monitoramento ($p = 0,9978$ e $p = 0,2012$). No Ponto 3.1.S o aumento do IQA ao longo dos anos foi praticamente constante (-0,001) e para o Ponto 3.1.M, aumentou 0,42.

Figura 24 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.1.S.

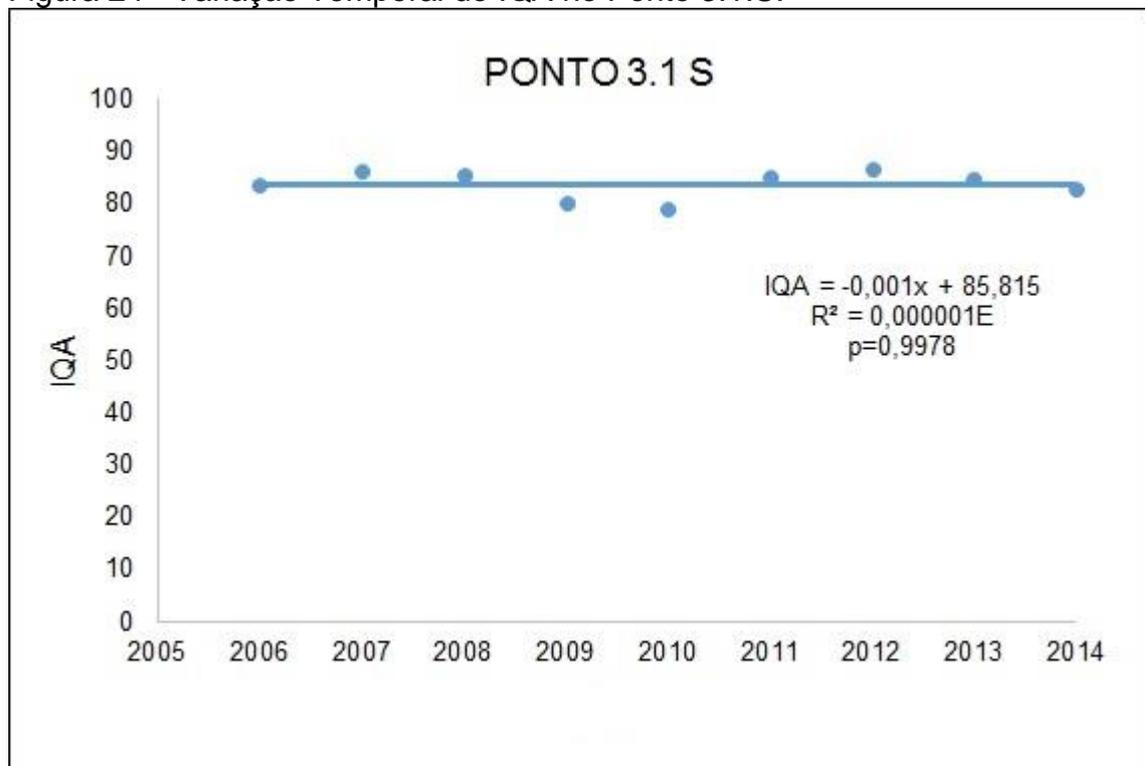
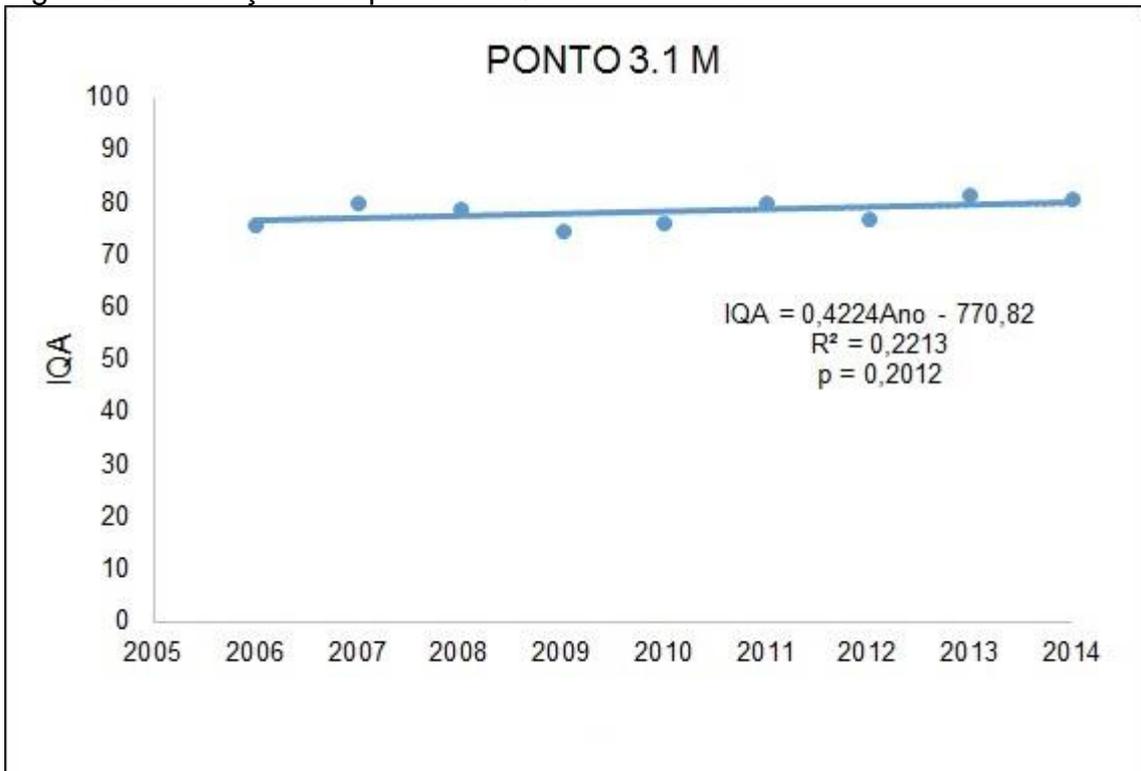
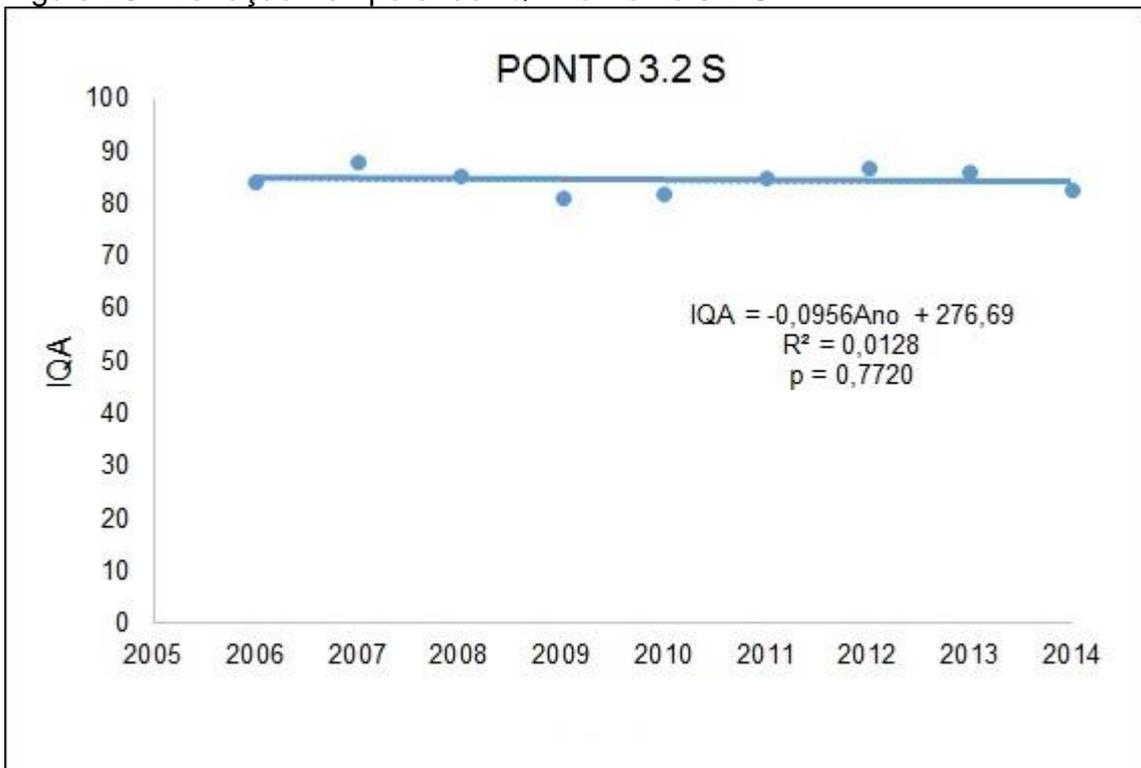


Figura 25 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.1.M.



Da mesma forma que os pontos 3.1, o Ponto 3.2.S (Figura 26), não identificou tendência significativa no IQA ao longo dos anos ($p = 0,7720$).

Figura 26 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.2.S.



O Ponto 3.2.M (Figura 27) também não apresentou tendências significativas no período de monitoramento ($p = 0,0870$).

Figura 27 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.2.M.

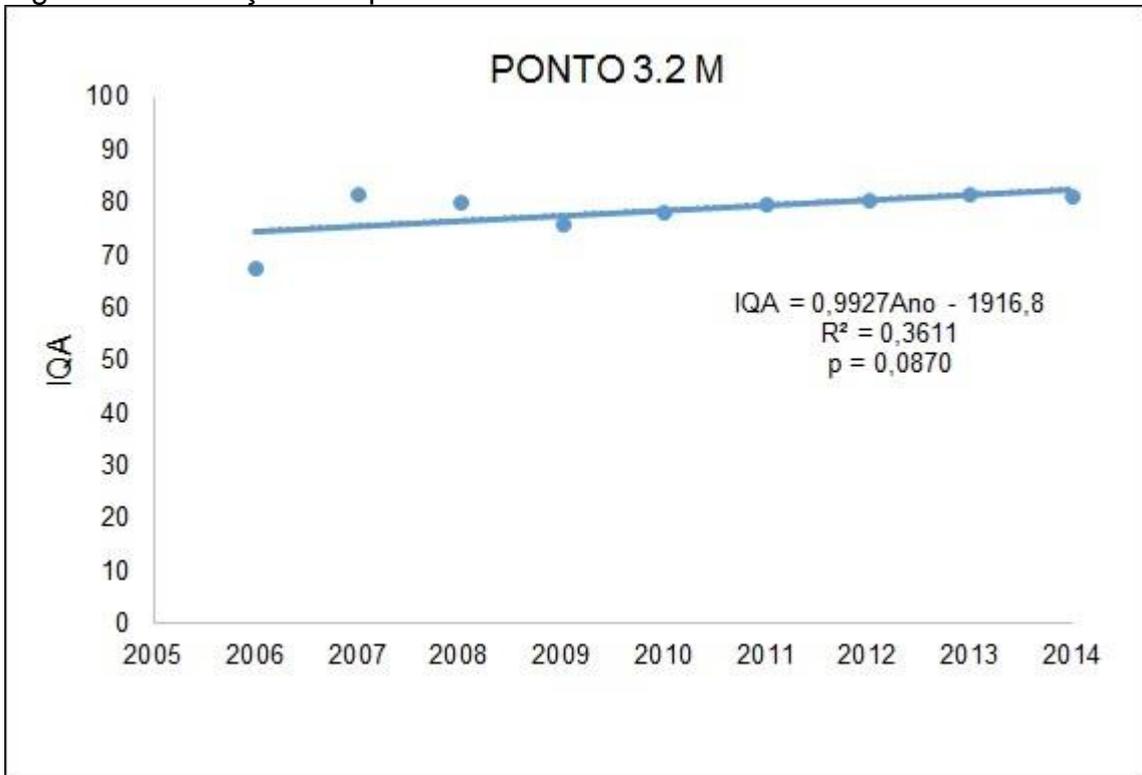
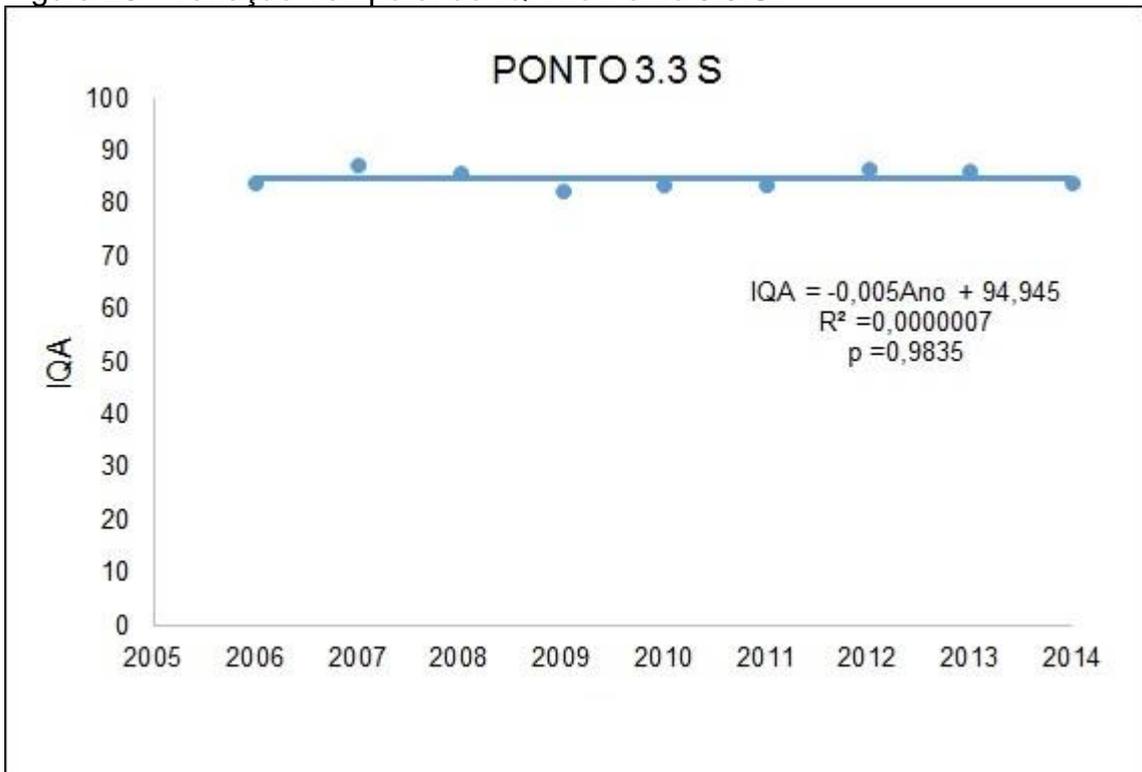


Figura 28 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.3.S.



Para o Ponto 3.3.S (Figura 28) observa-se um valor praticamente constante (tendência -0,005 por ano), portanto, não houve diferença significativas.

Figura 29 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.3.M.

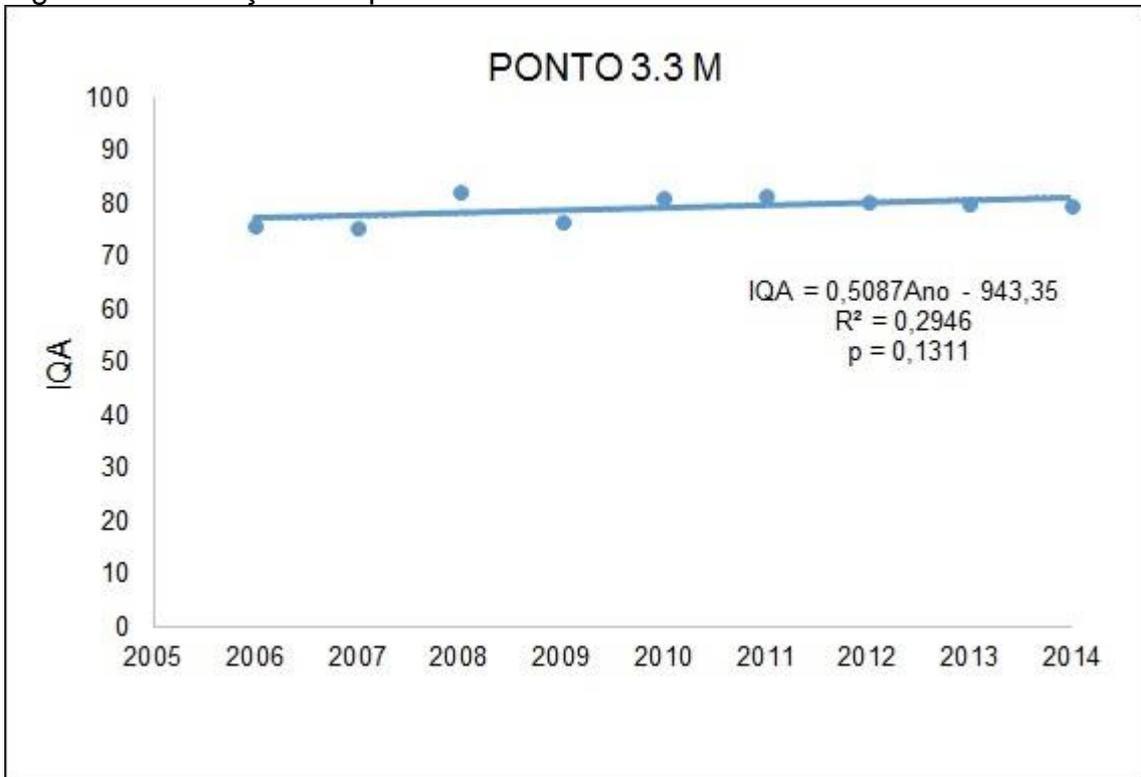
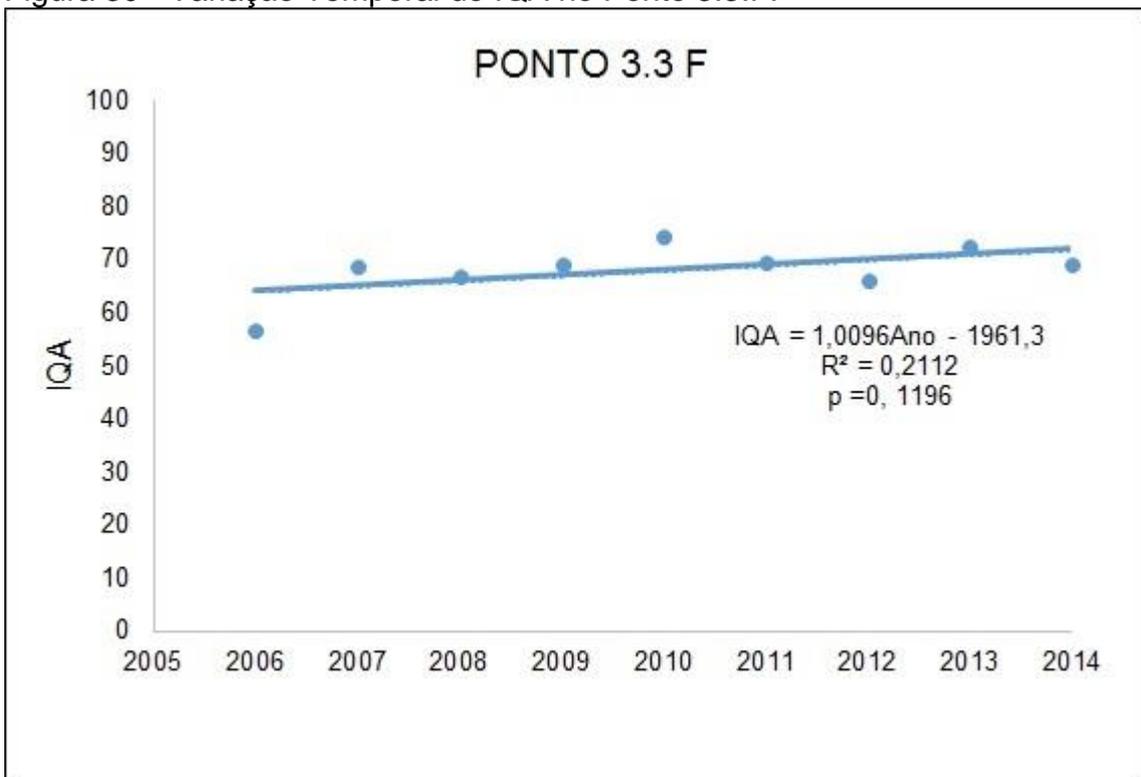


Figura 30 - Variação Temporal do IQA no Ponto 3.3.F.



No Ponto 3.3.M (Figura 29) e Ponto 3.3.F (Figura 30) indica tendência de aumento embora não significativa ($p = 0,1311$ e $p = 0,1196$).

4.2 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS (IQAR)

4.2.1 Variação Espacial

Na Tabela 27 constam os valores médios do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento para os diversos pontos de coleta. Observa-se que existem diferenças significativas entre as médias.

As menores médias foram obtidas nos Pontos 3.1.M, 3.2.S, 3.2.M, 3.3.S, 3.3.M e 3.3.F, que não apresentaram diferenças significativas entre estes pontos. Os valores de IQAR nestes pontos foram abaixo de 2,30, sendo classificados como “Pouco degradado”.

A média do IQAR do Ponto 3.0.M foi de 2,49, e embora no limite da classificação como “Pouco degradado”, não apresentou diferenças significativas com as médias dos pontos 3.0.F e 3.1.S, classificados como “Moderadamente degradado”. A maior média de IQAR foi obtida no Ponto 3.0.S, com IQAR de 2,66, classificados como “Moderadamente degradado”.

Tabela 27 - Pontos de coleta, IQA médio e Teste de Tukey.

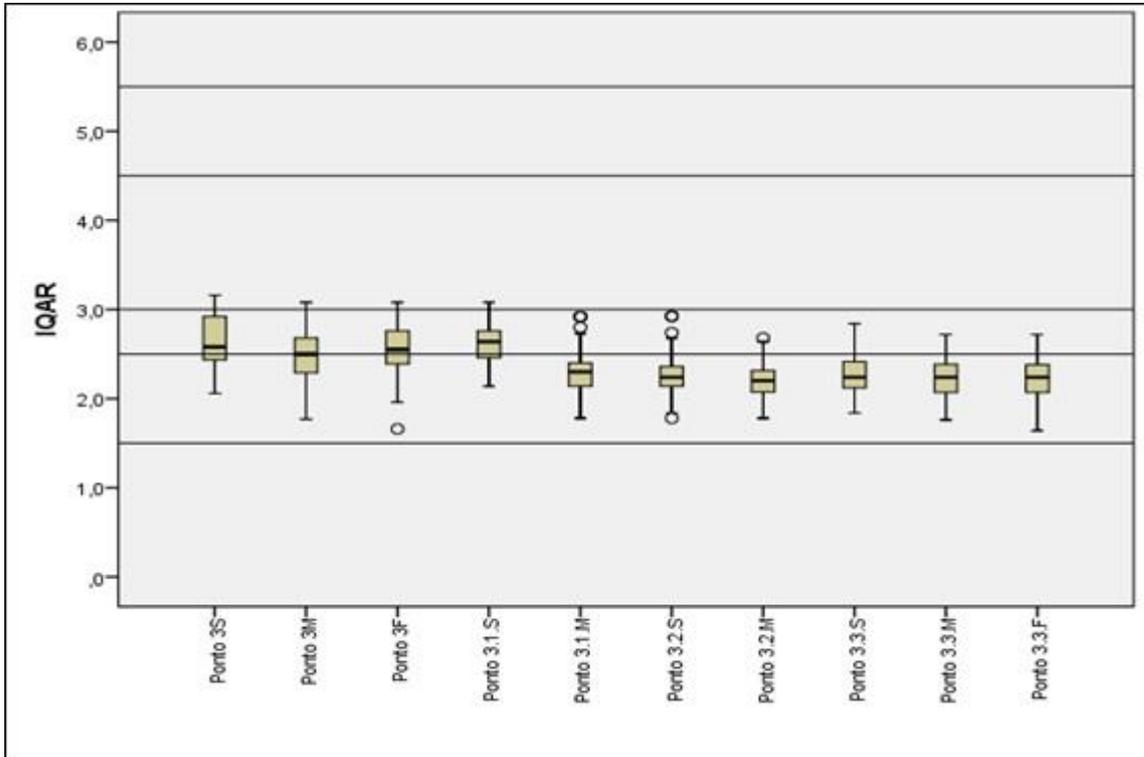
Ponto	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95 %	
				LI	LS
3.0.S	95	2,66 a	0,283	2,60	2,71
3.0.M	84	2,49 b	0,284	2,43	2,55
3.0.F	84	2,55 ab	0,287	2,48	2,61
3.1.S	97	2,61ab	0,219	2,56	2,65
3.1.M	83	2,30 c	0,232	2,25	2,35
3.2.S	61	2,26 c	0,239	2,20	2,32
3.2.M	96	2,19 c	0,180	2,16	2,23
3.3.S	72	2,27 c	0,214	2,22	2,32
3.3.M	60	2,23 c	0,205	2,18	2,28
3.3.F	108	2,23 c	0,218	2,19	2,27

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %

Na Figura 31 estão representados os Box Plot dos valores de IQAR para cada ponto de coleta. Nos Pontos 3.0.S, 3.0.M, 3.0.F, 3.1.S predominam amostras

classificados como “Moderadamente degradado”, enquanto que nos demais pontos predominaram amostras classificadas como “Pouco degradado”.

Figura 31 - Variação Espacial do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento.



“Pouco degradado” para IAP (2004), é representado pela Classe II, sendo:

Corpos de água com pequeno aporte de nutrientes orgânicos e inorgânicos e matéria orgânica, pequena depleção de oxigênio dissolvido, transparência das águas relativamente alta, baixa densidade de algas, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média.

E “Moderadamente degradado” de acordo com IAP (2004), são representados pela Classe III, onde:

Corpos de água que apresentam um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna d’água podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo em determinados períodos. Médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e densidade de algumas espécies de algas, sendo que algumas espécies podem ser predominantes. Tendência moderada a eutrofização. Tempo de residência das águas considerável.

4.2.2 Variação Sazonal

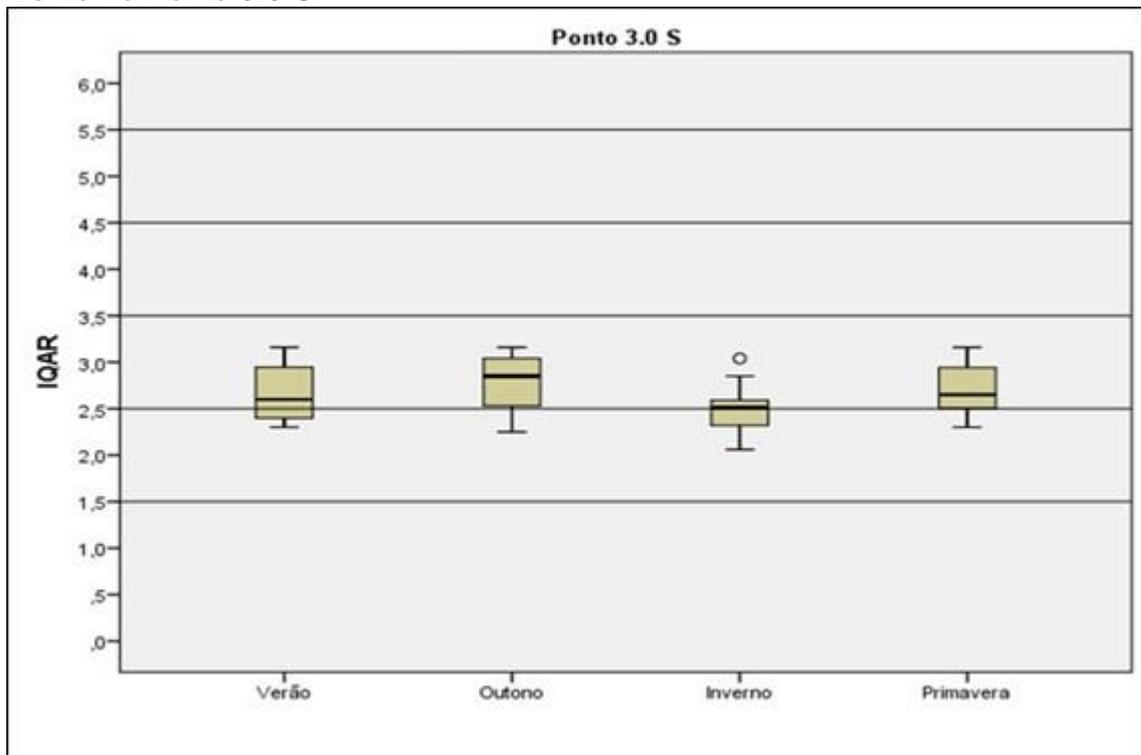
Na Tabela 28 consta o resumo estatístico do IQAR do Ponto 3.0.S nas diferentes estações do ano. Observa-se que existe diferença sazonal do IQAR, sendo os menores valores observados no inverno, com média IQAR de 2,49 no limite da classificação “Pouco degradado”. Nas demais estações o IQAR médio variou de 2,65 no verão a 2,79 no outono, todos classificados como “Moderadamente degradado”. Na Figura 32 pode-se visualizar a dispersão dos valores de IQAR nas diversas coletas por estação do ano.

Tabela 28 - Valores de IQAR do Ponto 3.0.S.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	23	2,65 ab	0,288	2,53	2,78
Outono	24	2,79 a	0,285	2,67	2,91
Inverno	24	2,49 b	0,226	2,39	2,58
Primavera	24	2,70 a	0,254	2,59	2,80

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Figura 32 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no Ponto 3.0.S.



Tancon et al. (2015), avaliou a qualidade da água na região da UHE Apucarana no reservatório de Fiú e durante os anos de monitoramento, foram observados os perfis de oxigênio dissolvido e de temperatura. Nos meses de temperaturas mais baixas, observou-se mais homogêneo da superfície ao fundo, permitindo a circulação total das massas da água do reservatório. Já nos meses com temperaturas mais elevadas, constatou-se que há tendência de duas estratificações no ano, uma no verão e outra na primavera. No verão, a circulação das massas concentra-se apenas na superfície, nos dois primeiros metros e na primavera, entre quatro e seis metros, com circulação da camada superior.

Diante dos resultados obtidos no reservatório de Fiú, compara-se com os resultados do IQAR da Barragem do Rio São Bento, onde o valor mais baixo (inverno) apresentou uma melhor classificação, “Pouco degradado” devido a maior homogeneidade do corpo hídrico e nas demais estações (verão, outono e primavera) os resultados apresentaram “Moderadamente degradado”.

Na Tabela 29 constam os valores do IQAR para o Ponto 3.0.M. Observa-se que houve diferença significativa sendo o menor valor observado no inverno, com IQAR de 2,27, classificado como “Pouco degradado”. Para as demais estações os valores foram significativamente superiores, sem haver diferenças entre eles, sendo todas classificadas como “Moderadamente degradado”.

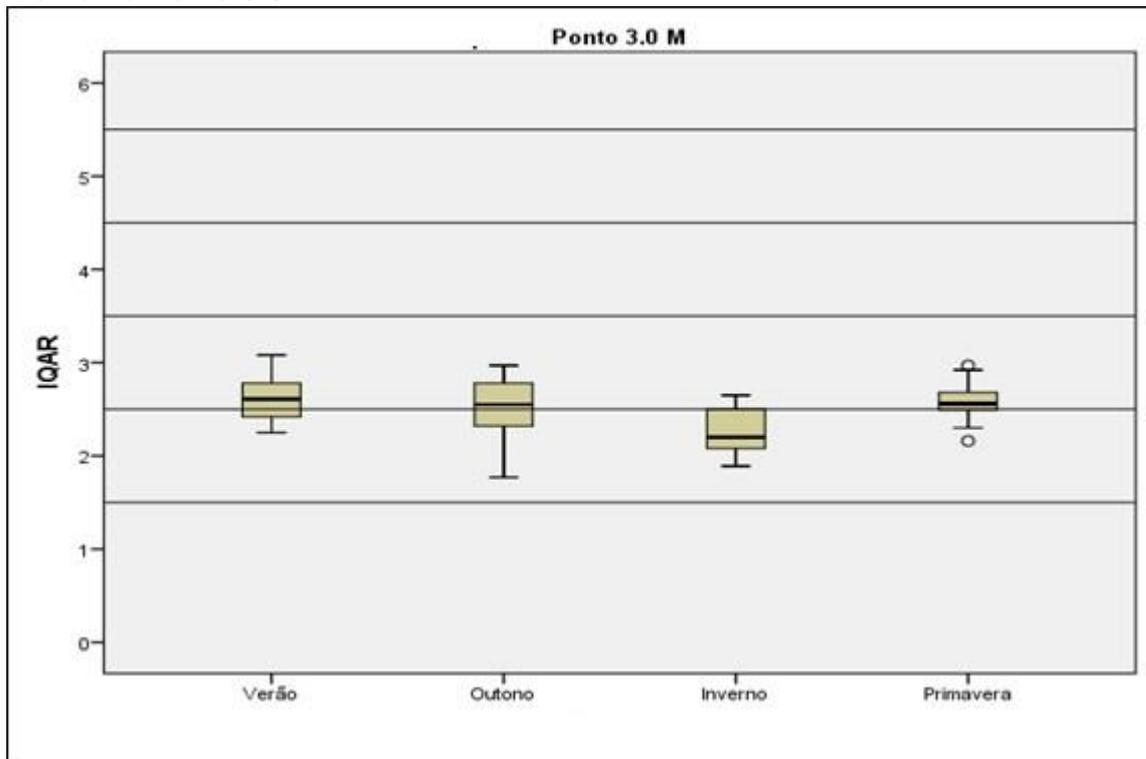
Tabela 29 - Valores de IQAR do Ponto 3.0.M.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	21	2,61 a	0,252	2,49	2,72
Outono	21	2,51 a	0,314	2,37	2,66
Inverno	21	2,27 b	0,230	2,16	2,37
Primavera	21	2,57 a	0,208	2,48	2,67

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Na Figura 33 pode-se visualizar esta variação dos dados, em que no inverno 75% das amostras estão na classe “Pouco degradado”, enquanto para as demais estações predominam amostras com IQAR classificado como “Moderadamente degradado”.

Figura 33 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no Ponto 3.0.M.



Na Tabela 30 constam os valores do IQAR para o Ponto 3.0.F. Observa-se que houve diferença significativa sendo o menor valor observado no inverno, com IQAR de 2,38, classificado como “Pouco degradado”. Para as demais estações os valores foram significativamente superiores, sem haver diferenças entre eles, sendo todas classificadas como “Moderadamente degradado”.

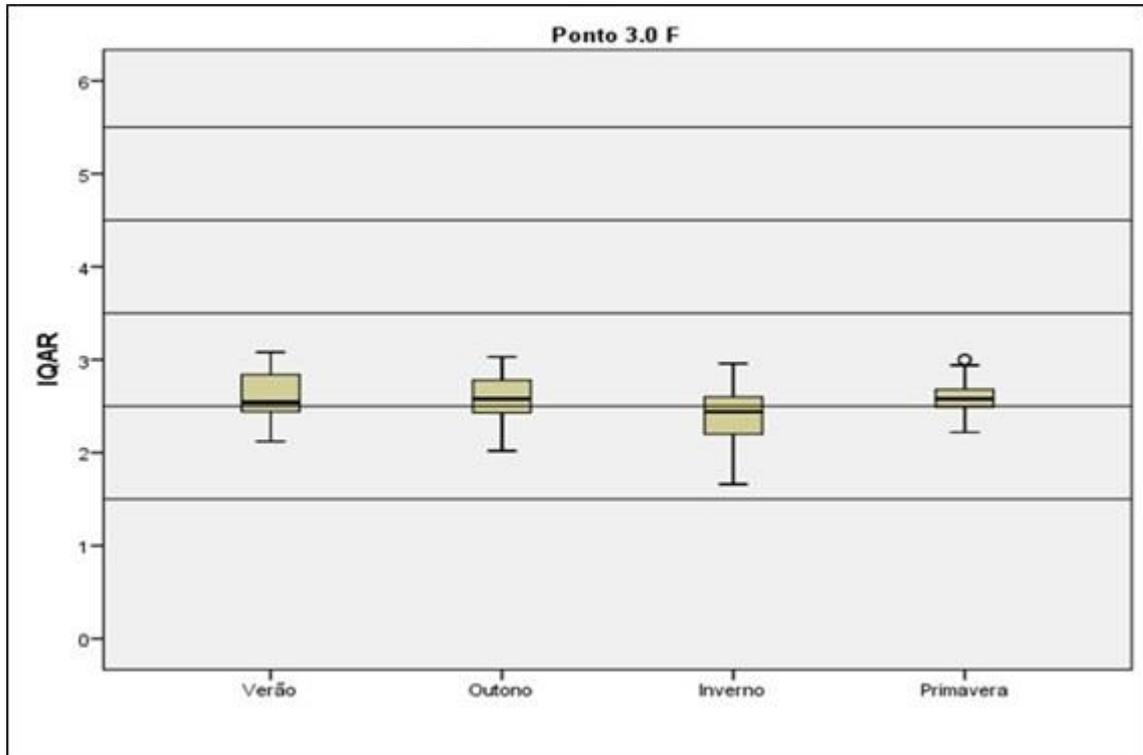
Tabela 30 - Valores de IQAR do Ponto 3.0.F.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	21	2,60 a	0,268	2,47	2,72
Outono	21	2,60 a	0,286	2,47	2,73
Inverno	21	2,38 b	0,325	2,23	2,53
Primavera	21	2,60 a	0,213	2,51	2,70

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Na figura 34 pode-se visualizar esta variação dos dados de IQAR, onde constata-se que a mediana está na classe “Pouco degradado”, enquanto para as demais estações a medianas estão na classificação “Moderadamente degradado”.

Figura 34 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.0.F.



No ponto de coleta 3.1.S houve variação sazonal dos valores de IQAR (Tabela 31), sendo as menores médias observadas nas estações de verão e primavera. Para o outono e inverno os valores foram significativamente superiores, sem haver diferenças entre elas.

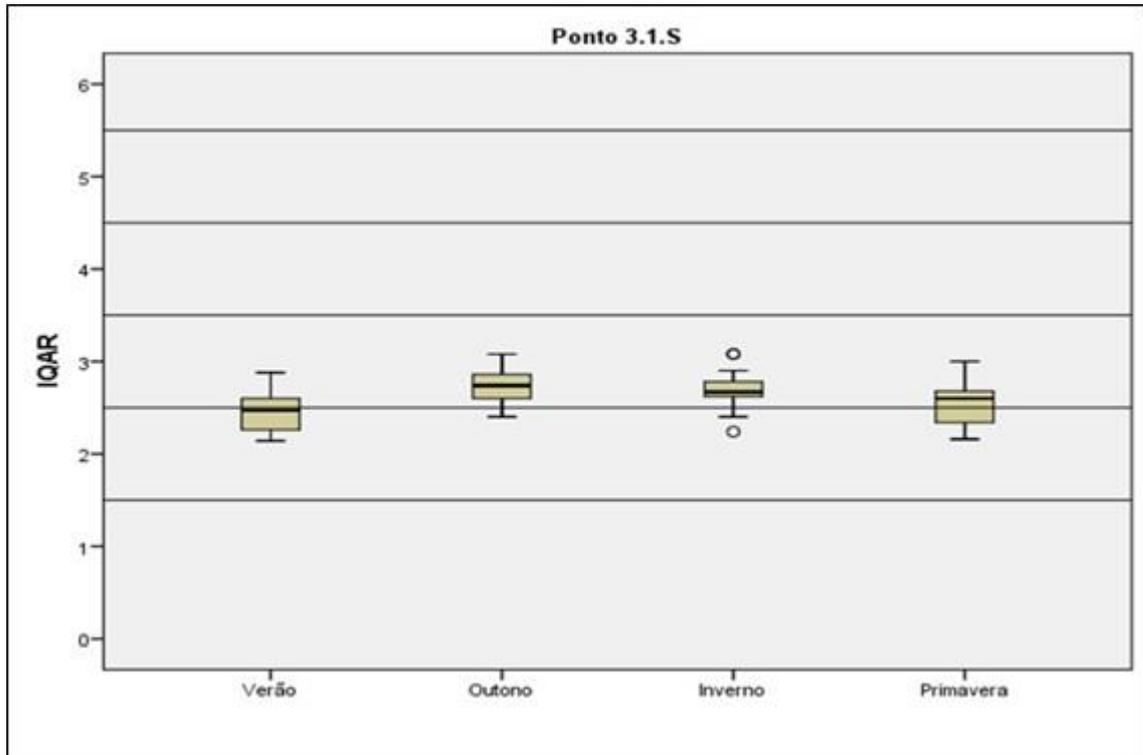
Tabela 31 - Valores de IQAR do Ponto 3.1.S.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	25	2,47 b	0,204	2,39	2,56
Outono	24	2,73 a	0,171	2,66	2,80
Inverno	24	2,69 a	0,185	2,61	2,77
Primavera	24	2,53 b	0,214	2,44	2,62

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Na Figura 35 pode-se observar que no outono e inverno predominam amostras com IQAR na classe “Moderadamente degradado” e no verão e primavera as amostras se distribuem entre a classificação de “Pouco degradado” e “Moderadamente degradado”.

Figura 35 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.1 S.



Menores valores de IQAR no verão também foram observados na UHE São José, resultando na classificação em janeiro do reservatório em “Moderadamente degradado”, devido ao déficit de oxigênio dissolvido, altas concentrações de fósforo e baixa transparência. Nos meses de fevereiro e março, indicou classe “Pouco degradado”, onde houve melhor oxigenação da água e concentrações baixas de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e fósforo total (AMBIENTE, 2011).

No Ponto 3.1.M (Tabela 32) observa-se que houve diferenças sazonais dos valores de IQAR, sendo os menores valores observados na primavera e verão, com médias significativamente inferiores as médias das estações de outono e Inverno.

Com relação à classificação observa-se que todas as médias foram abaixo de 2,50 indicando “Pouco degradado”.

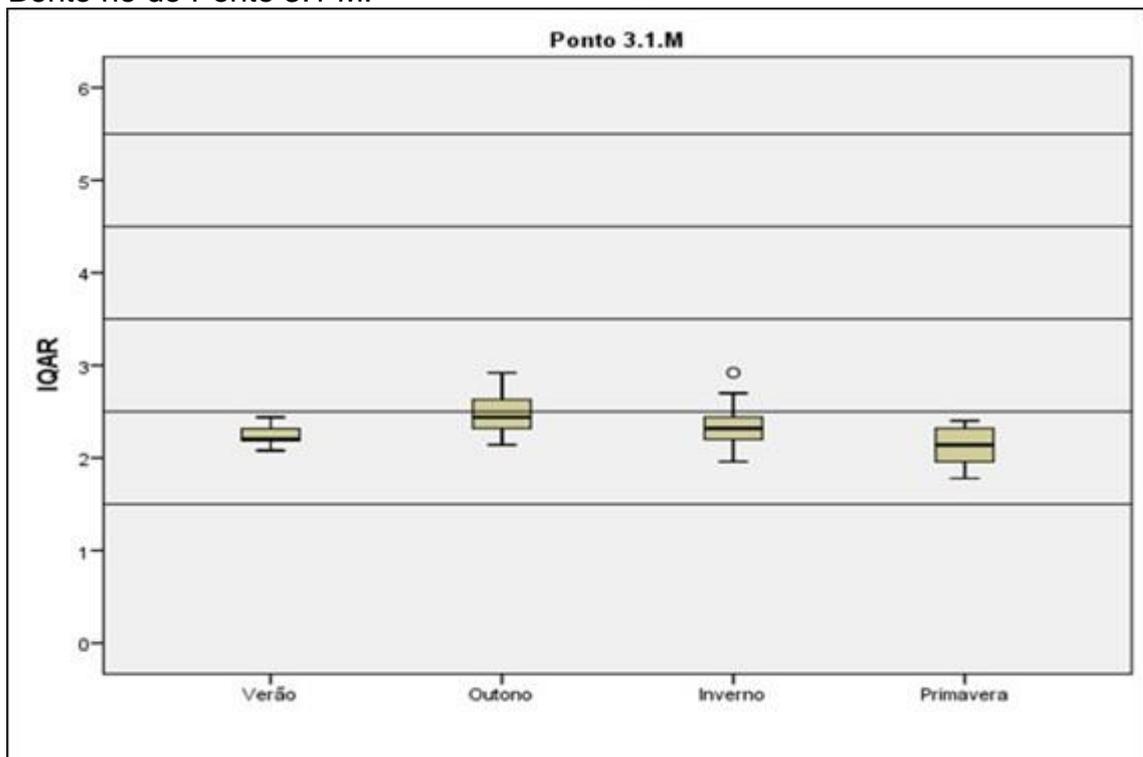
Tabela 32 - Valores de IQAR do Ponto 3.1 M.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	20	2,24bc	0,096	2,19	2,28
Outono	21	2,48 a	0,241	2,37	2,59
Inverno	21	2,34ab	0,211	2,24	2,43
Primavera	21	2,12c	0,189	2,04	2,21

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Na Figura 36 observa-se que para primavera e verão todas as amostras foram classificadas como “Pouco degradado”, e no outono e inverno algumas amostras foram classificadas com “Moderadamente degradado”.

Figura 36 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.1 M.



Para o Ponto 3.2.S (Tabela 33) houve diferenças significativas entre as estações, sendo os menores valores observados no verão e primavera, sem diferenças entre elas.

Tabela 33 - Valores de IQAR do Ponto 3.2 S

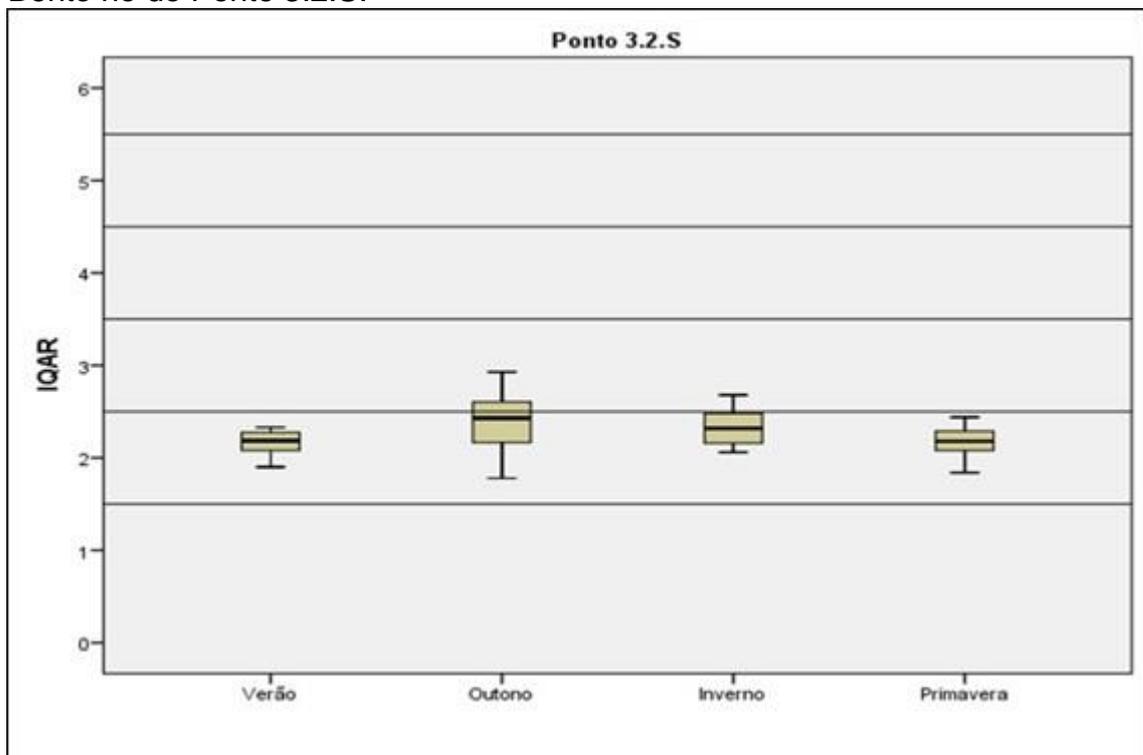
Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	16	2,16 b	0,133	2,09	2,23
Outono	15	2,38 a	0,355	2,19	2,58
Inverno	15	2,33 a	0,183	2,23	2,43
Primavera	15	2,17 b	0,166	2,08	2,27

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Para o outono e inverno as médias foram significativamente superiores e também não diferem entre si. Todos os valores médios foram classificados como Classe II “Pouco degradado”.

Na Figura 37 observa-se que para primavera e verão todas as amostras foram classificadas como “Pouco degradado”, e no outono e inverno algumas amostras foram classificadas com “Moderadamente degradado”.

Figura 37 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.2.S.



No Ponto 3.2.M (Tabela 34) também foram constadas diferenças significativas do IQAR com menores valores no verão e outono, significativamente

inferiores aos valores de inverno e primavera. Todos os valores foram classificados como Classe II “Pouco degradados”.

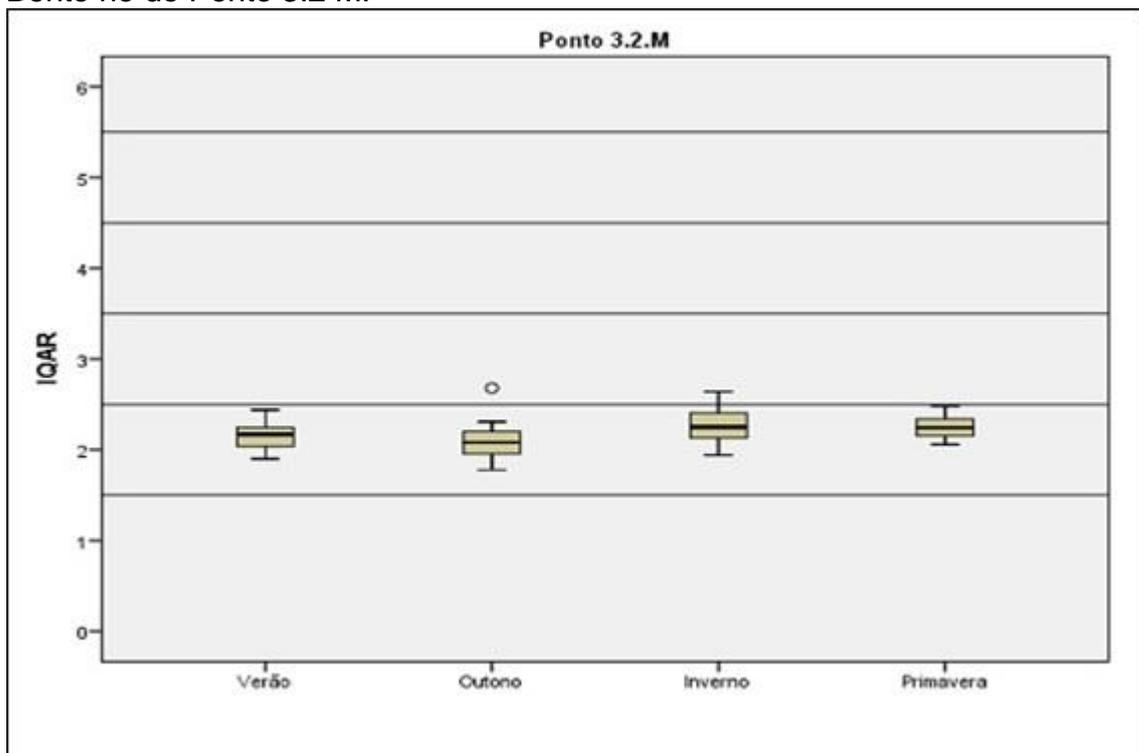
Com exceção de uma amostra coletada no outono e outra no inverno que foram classificadas como “Moderadamente degradada”, todas as demais foram classificadas como classe “Pouco degradadas” (Figura 38).

Tabela 34 - Valores de IQAR do Ponto 3.2 M.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	24	2,16b	0,153	2,09	2,22
Outono	24	2,10b	0,187	2,02	2,18
Inverno	24	2,27a	0,196	2,19	2,36
Primavera	24	2,25 a	0,131	2,19	2,30

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Figura 38 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.2 M.



Para o Ponto 3.3.S (Tabela 35) não foi verificado variação sazonal significativa ($p > 0,05$) do IQAR, sendo todas classificadas como “Pouco degradado”.

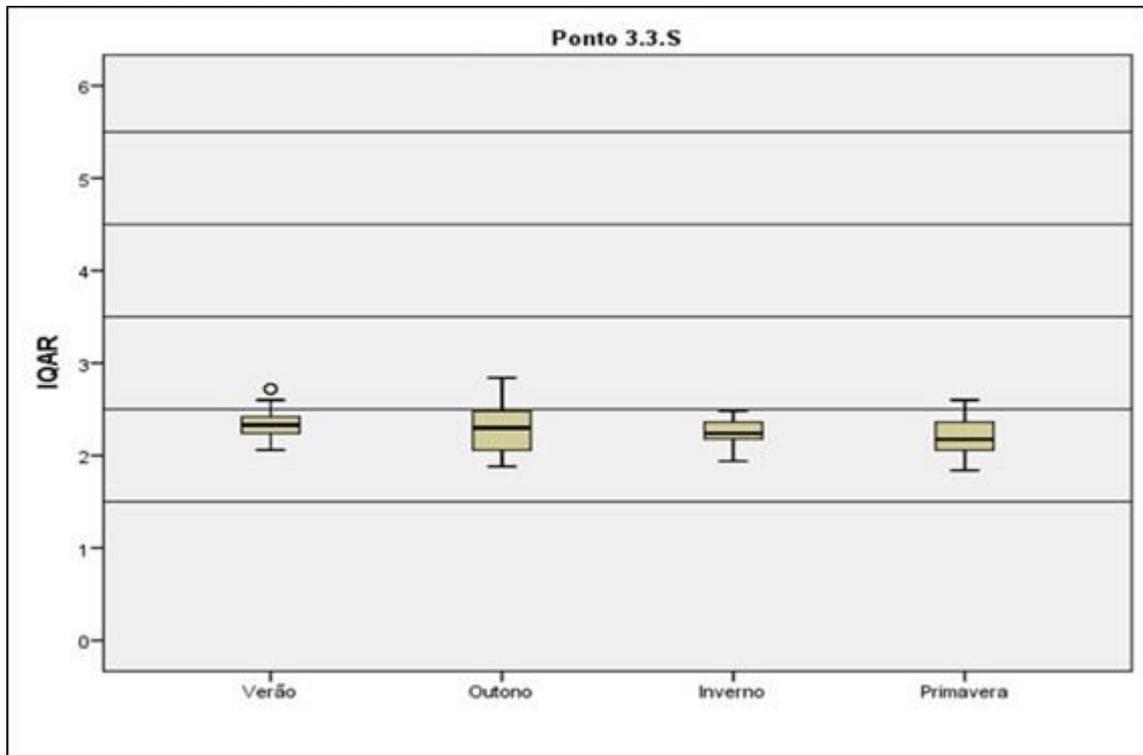
Tabela 35 - Valores de IQAR do Ponto 3.3.S.

Estação	N	Média	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	18	2,36	0,185	2,26	2,45
Outono	18	2,28	0,283	2,14	2,42
Inverno	18	2,25	0,137	2,19	2,32
Primavera	18	2,20	0,210	2,10	2,31

Não houve diferença significativa entre as estações do ano ($p = 0,1731$).

Na Figura 39 observa-se pelos Box Plot de cada estação que houve distribuição semelhante dos valores de IQAR nas diferentes estações.

Figura 39 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.3 S.



Para o Ponto 3.3.M (Tabela 36) houve diferença sazonal do IQAR com menores valores no inverno e primavera, sem haver diferença significativa. Os valores do IQAR no verão e outono foram significativamente superiores sem haver diferença entre elas. Todas as médias com seus intervalos de confiança estão na faixa de “Pouco degradado”.

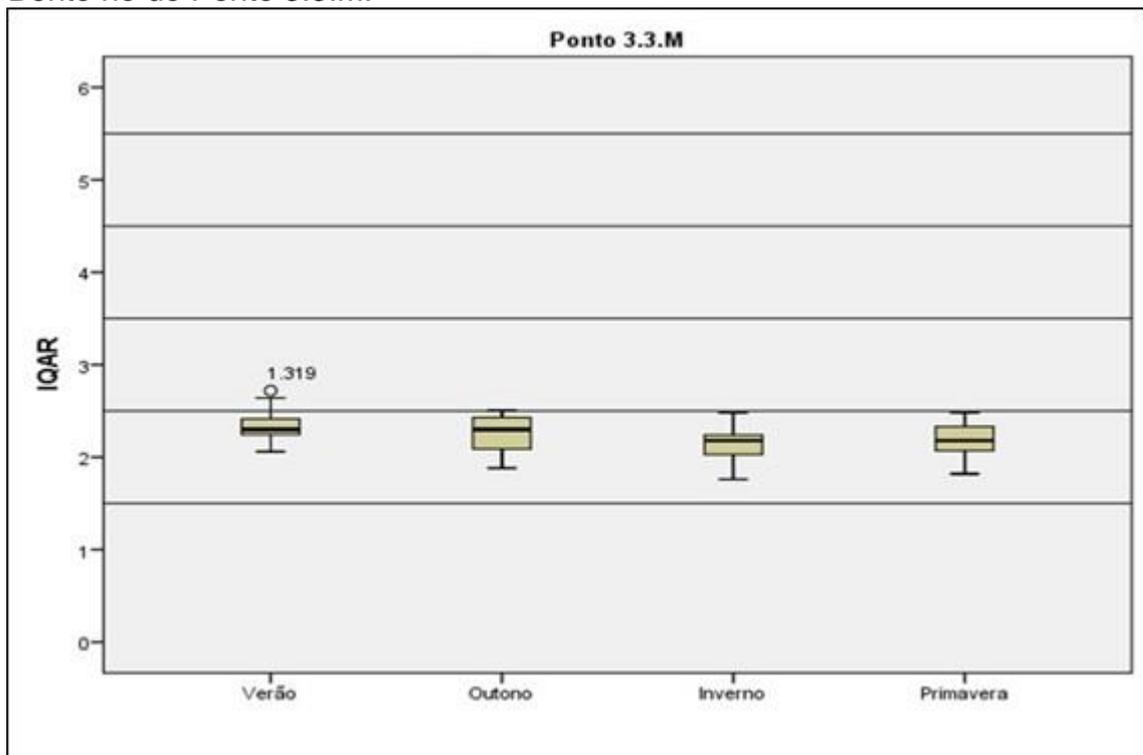
Tabela 36 - Valores de IQAR do Ponto 3.3 M

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	15	2,35 a	0,166	2,26	2,44
Outono	15	2,25 a	0,216	2,13	2,37
Inverno	15	2,15b	0,183	2,05	2,25
Primavera	15	2,17b	0,207	2,05	2,28

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Observa-se também que somente uma amostra coletada no verão (Figura 40) apresentou IQAR acima de 2,50, sendo todas as demais amostras nas diferentes estações apresentaram IQAR abaixo de 2,5, classificado como “Pouco degradado”.

Figura 40 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.3.M.



Para o Ponto 3.3.F (Tabela 37) observa-se que o IQAR médio do inverno foi significativamente inferior à média das demais estações, sendo que entre estas não houve diferenças significativas. No entanto, todas as médias bem com seus intervalos de confiança apresentaram valores abaixo de 2,50, classificados como “Pouco degradado”.

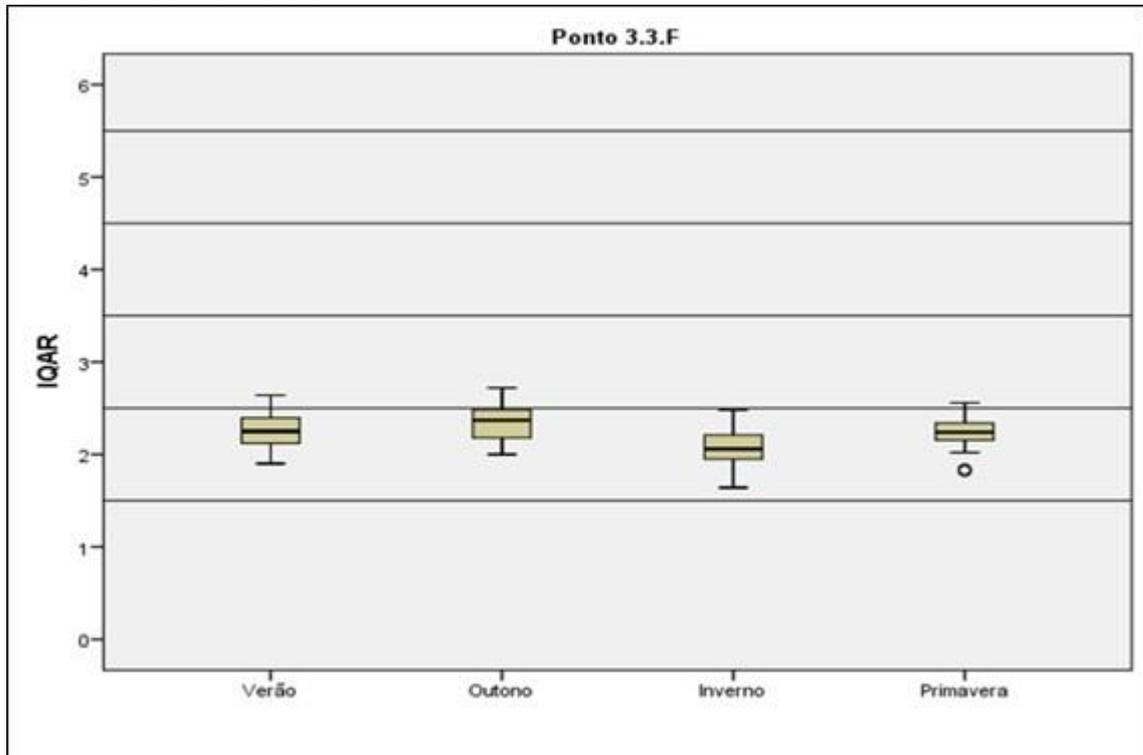
Tabela 37 - Valores de IQAR do Ponto 3.3.F.

Estação	N	Média ¹	Desvio Padrão	Intervalo de confiança de 95%	
				LI	LS
Verão	27	2,27 a	0,200	2,19	2,35
Outono	27	2,34 a	0,187	2,27	2,42
Inverno	27	2,06 b	0,205	1,98	2,14
Primavera	27	2,24 a	0,180	2,17	2,31

¹ Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5 %.

Pela Figura 41 observa-se que praticamente todas as amostras coletadas foram classificadas como “Pouco degradadas”.

Figura 41 - Variação Sazonal do IQAR do reservatório da Barragem do Rio São Bento no do Ponto 3.3.F.



5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, todos os objetivos propostos foram alcançados e conclui-se que:

1) Não existem diferenças significativas na qualidade da água a jusante e a montante do reservatório;

2) Nos pontos de coleta Ponto 3.0.S, Ponto 3.1.S, Ponto 3.2.S, Ponto 3.3.S e 3.3.M, encontrou-se o IQA na ponderação acima de 80, classificando a qualidade da água como “Ótima”.

3) Os pontos de coleta Ponto 3.0.M, Ponto 3.0.F, Ponto 3.1.M e Ponto 3.3.F, apresentaram IQA classificados como “Boa”.

4) Nos pontos de coleta 1, 2 e 5 que representam as entradas e a saída de água do reservatório o IQA médio foi classificado como “Ótima” e não houve variação sazonal.

5) No ponto 3.0.M e 3.0.F, 3.1.M, 3.2.M, 3.3.S, 3.3.M, 3.3.F houve variação sazonal no IQA médio, com maiores valores no inverno e menor no outono, embora todos classificados como “Boa” ou “Ótima”.

6) Nos pontos de coleta 1, 2, 5, 3.0.S, 3.1.S, 3.1.M, 3.3.S, 3.3.M, 3.3.F não houve tendência significativa nos valores médios de IQA.

7) No ponto de coleta 3.0.M e 3.0.F foram detectados tendência significativa de aumento do IQA na taxa de 1,574/ano e 1,3447/ano, respectivamente.

8) Os valores de Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR) apresentaram variação espacial, com menores valores nos pontos 3.1.M, 3.1.F, 3.2.S, 3.2.M, 3.3.S, 3.3.M e 3.3.F, todos classificados como “Pouco degradado”, enquanto os demais pontos foram classificados como “Moderadamente degradado”.

Com base nas limitações observadas neste trabalho, recomenda-se:

1) Continuar com os estudos avaliando quais os parâmetros que estão impactando a qualidade da água, resultados em diminuição do IQA ou aumento do IQAR;

2) Avaliar detalhadamente os pontos extremos observados e relacionar com os eventos hidrológicos;

3) Relacionar os parâmetros de qualidade da água com o nível do reservatório;

4) Correlacionar os resultados obtidos do IQA, com a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS E GESTÃO. **Monitoramento da Qualidade da Água em Rios e Reservatórios**. Bases Conceituais para Monitoramento de Águas Continentais. 2014. 39 p.

ÁGUAS E GESTÃO. **Monitoramento da Qualidade da Água em Rios e Reservatórios**. Variáveis e Parâmetros de Qualidade de Água em Rios e Reservatórios. 2014. 30 p.

AMBIENTE, ABG Engenharia e Meio. **Relatório trimestral de monitoramento da qualidade da água correspondente ao programa de monitoramento limnológico e da qualidade da água superficial na área de influência da UHE São José**. São Paulo: Ijuí - Energia S/a, 2011. Disponível em: <http://www.ijuienergia.com.br/ijuienergia/web/arquivos/anexo_4a_relato_aguas_superficiais.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2015.

ANA. Agência Nacional de Águas. Portal da Qualidade das Águas. **Indicadores de Qualidade – Índice de qualidade das águas (IQA)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-aguas.aspx>>. Acesso em: 14 de fev. 2015.

_____. Agência Nacional de Águas. Portal da Qualidade das Águas. **Indicadores de Qualidade – Índice de qualidade da água bruta para fins de abastecimento público (IAP)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-idade-bruta.aspx>>. Acesso em: 14 de fev. 2015.

_____. Agência Nacional de Águas. Portal da Qualidade das Águas. **Indicadores de Qualidade – Qualidade de Água em Reservatórios (IQAR)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-idade-idade-agua.aspx>>. Acesso em: 11 de mai. 2015.

BILICH, M.R.; LACERDA, M.P.C. **Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal por meio de geoprocessamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais... p. 2059 – 2065.

BRANCO, S. M. et al. **Hidrologia Ambiental**. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 1991. 411 p.

BRASIL. MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA). Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA)**. Jun, 2005. Disponível em: <<http://www.engenhariaambiental.unir.br/admin/prof/arq/calculo-IQA.pdf>>. Acesso 05 de abr. de 2015.

BRASIL. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2015.

BRASIL. **Portaria nº 2014, 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. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 30 jun. 2015.

BREDA, L. S.; **Avaliação Espaço - Temporal da qualidade da água do reservatório da Usina Hidrelétrica de Funil – Região Sul de Minas Gerais.** 2011. 272 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/818M.PDF>>. Acesso em: 09 abr. 2015.

BRESSAN, F. **Método do Estudo de Caso.** Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado. 2000. Disponível em: <http://www.fecap.br/adm_online/art11/flavio.htm> Acesso em: 11 jun. 2015.

CARVALHO, A.R.; SCHLITTLER, FH.M.; TORNISIELO, W.L. **Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos e químicos da água.** Química Nova, São Paulo, v.23, n.5, p.618-622, 2000.

CASAN. Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (MAGNA ENGENHARIA). **Estudo de Impacto Ambiental – EIA da Barragem do Rio São Bento.** Siderópolis, SC, 1995, 223p.

_____. COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO. **Relatório técnico.** Manual de operação do reservatório: barragem do rio São Bento. Santa Catarina, 2003.

COELHO CESAR, A.M.R.V. **Método de Estudos de Caso (Case Studies) ou Método do Caso (Teaching Cases)? Uma análise dos dois métodos no Ensino e Pesquisa em Administração.** Mackenzie. 2015. Disponível em: <http://www.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/CCSA/remac/jul_dez_05/06.pdf>. Acesso em 11 jun. 2015.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índices de qualidade das águas, critérios de avaliação da qualidade dos sedimentos e indicador de controle de fontes.** 2008. 28 p. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/laboratorios/61-publicacoes-e-relatorios---relatorios-de-qualidade>>. Acesso em 21 de mai. 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **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 dá outras providências. Alterado pela Resolução CONAMA 397/2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

COSTA, P.R.; **Processos hidrológicos aplicados ao controle hidráulico-operacional de reservatórios de acumulação de água: O caso da Barragem do Rio São Bento - SC**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2008. Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00003D/00003D06.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

GERHARDT, T.E; SILVEIRA, D.T. **Métodos de Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 05 de mar. 2015.

GRUNITZK, R. et al. **Ferramenta web para determinação do índice de qualidade de água a partir da reestruturação das equações que descrevem as curvas dos indicadores de qualidade**. 2015. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/389fd4d85ad4ebbd09affba6bb4b0443_58521a35054135ab18138a8f37b809a6.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2015.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. **Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004**. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Monitoramento/rel_monit_qual_aguas_reserv_9904%281%29.pdf>. Acesso em: 05 de jun. 2015.

JACINTHO, A.C.B. **Utilização do índice de qualidade da água no monitoramento do Ribeirão Correias, município de Franca, Estado de São Paulo**. 2006. 98 f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

KRUPEK, R. A.; BRANCO, Ciro César Zanini; PERES, Cleto Kaveski. **Variação sazonal das variáveis físicas e químicas em riachos de duas bacias da região centro-sul do estado do Paraná, Sul do Brasil**. *Ambiência*, Guarapuava, v. 6, n. 2, p.297-310, 26 jul. 2010. Trimestral. Disponível em: <<http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/download/355/1036>>. Acesso em: 10 abr. 2015.

MAROCO, J. **Análise estatística com a utilização do SPSS**. Liboa, editira Sílabo, 493p. 2003.

MIHELIC, J. R.; ZIMMERMAN, J. B. **Engenharia Ambiental: Fundamentos, Sustentabilidade e Projeto**. Rio de Janeiro: Ltc, 2015. 617 p. Ramira Maria Siqueira da Silva Pires.

MORETTIN, P. A.; TOLI, C.M.C. **Análise de séries temporais**. Edgard Blucher, São Paulo, 2006. 564p.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística experimental**. Piracicaba. Nobel. 2009. 451 p.

RIBEIRO JUNIOR, J.I. **Análises Estatísticas no Excel**. Viçosa, UFV, 2013,. 311p.

RUAS, A. L. **Avaliação das alterações da qualidade de águas tropicais decorrentes da instalação de barramentos para fins de geração de energia elétrica - Estudo de caso do Rio Pomba**. 2006. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/ENGD-6SWRZM/andreluiz270.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04 jun. 2015.

SILVEIRA, A. A. da. **Educação Continuada: Uma proposta pedagógica para a preservação ambiental do lago da Barragem do Rio São Bento – Siderópolis – Santa Catarina**. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Didática e Metodologia do Ensino Superior., Universidade do Extremo Sul Catarinense - Unesc, Criciúma, 2007.

STRASKRABA, M; TUNDISI, J. G. **Diretrizes para o gerenciamento de lagos: Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 280 p. Tradução Dino Vannucci.

TANCON, A. C. et al. **Avaliação de Qualidade de Água na Região da UHE Apucarana no Reservatório de Fiú: Análise Temporal**. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/e64855472eaf34ae0b1e85cd65e6dc69_8cdb4c6e3b12ac8d62e1de2ea8d03d57.pdf>. Acesso em: 06 de jun. 2015

VIEIRA, S. **Análise de Variância: ANOVA**. Atlas, São Paulo. 2006. 216p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Fco, 1996. 246 p.

ZADRA, W. C. et al. **Implementação do índice de qualidade de água em reservatórios (IQAR) no Sistema de Informação Ambiental – SIA Hidrelétricas**. XIX Encontro de Jovens Pesquisadores. Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2011. Disponível em: <http://www.ucs.br/site/midia/arquivos/Resumo_Willian_Campeol_Zadra.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2015.