

ESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Ana Luísa de Castro Pereira MARTINS¹

Paulo César de Resende ANDRADE²

José Izaquiel Santos da SILVA³

¹ Graduanda em Ciência e Tecnologia da Univ. Fed. dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina – MG, Brasil

^{1,2} Professores da Univ. Fed. dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina – MG, Brasil

E-mails para contato: analuisadecastro@yahoo.com.br; paulo.andrade@ict.ufvjm.edu.br; izaquiel@ict.ufvjm.edu.br

Recebido em: 07/05/2015 - Aprovado em: 18/09/2015 - Disponibilizado em: 30/10/2015

RESUMO

Este trabalho visa a implementação de uma modificação no teste de Tukey para comparações múltiplas, através da utilização de dados apresentados por Gonçalves (2009). No trabalho de Gonçalves foi realizada a avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha, localizado em Uberlândia - MG. Gonçalves analisou diversos parâmetros de qualidade da água em cinco pontos localizados ao decorrer do rio, e assim, pode classificar o rio Uberabinha quanto a qualidade de sua água. Para as análises estatísticas Gonçalves empregou o teste de Tukey. Os mesmos dados foram utilizados neste trabalho para que se pudesse comparar as análises estatísticas feitas por Gonçalves com as análises estatísticas feitas pelo teste de tukey modificado, proposto por Andrade & Ferreira (2010). Utilizou-se de dois parâmetros para fazer tal comparação. As análises estatísticas foram feitas através do programa R. Após comparar os resultados de Gonçalves com os resultados obtidos utilizando o teste de Tukey modificado, pode-se concluir que este é satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da água. Parâmetros de qualidade da água. Teste de Tukey. Análise estatística. Comparações múltiplas.

ABSTRACT

This work aims to implement a modification of Tukey test for multiple comparisons, using data presented by Gonçalves (2009). In Gonçalves' work was to performed the assessment of water quality of Uberabinha river. This river is located in Uberlândia - MG. Gonçalves analyzed several parameters of water quality in five points located all over the river, and thus he could classify the river Uberabinha according to the quality of its water. Gonçalves used the Tukey test to run statistical analysis. The same data were used in this study; therefore, it is possible to compare the statistical analysis made by Tukey test with statistical analyzes made by the modified Tukey test, proposed by Andrade & Ferreira (2010). Two parameters were used to make this comparison. Statistical analyzes were made through the program R. After comparing the results of Gonçalves with the results obtained using the modified Tukey test, it can be concluded that this is satisfactory.

KEYWORDS: Water quality. Water quality parameters. Tukey test. Statistical analysis. Multiple comparisons.

INTRODUÇÃO

A água é um bem abundante no planeta Terra. Contudo os meios que esta é encontrada na natureza, 97% água salgada, 2% de geleiras e 1% doce, faz com que a

quantidade que pode ser consumida por humanos e animais seja de acesso restrito (ANA, 2003; Gonçalves, 2005). Essa pequena quantidade que está disponível para consumo nem sempre é aproveitada, devido à qualidade que esta água apresenta.

De acordo com a RESOLUÇÃO CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Nº 20, de 18 de junho de 1986, a água é classificada em doces, salobras e salinas. As águas doces devem conter salinidade inferior ou igual a 0,5%, as águas salobras 0,5% a 30% de salinidade, e as águas salinas devem ser igual ou superior a 30% de salinidade. A qualidade dessas águas leva em consideração o uso mais importante que essa água é destinada.

Para que se caracterize a qualidade da água, é necessária a obtenção de alguns parâmetros. A partir desses parâmetros pode-se calcular índices da qualidade da água para, assim, definir em qual categoria ela se

encontra. Este Índice de Qualidade das Águas (IQA) foi criado em 1970, nos Estados Unidos, pela *National Sanitation Foundation* e começou a ser utilizado no Brasil em 1975, pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). Nos dias atuais, é o principal índice de qualidade utilizado no país. De acordo com a *National Sanitation Foundation*, o IQA depende de nove parâmetros, que possuem os seus respectivos pesos(w) que foram adotados em função da sua importância para a qualidade da água, como pode ser visualizado na Tabela 1

Tabela 1- Parâmetros de Qualidade da Água do IQA e respectivo peso.

Parâmetro De Qualidade Da Água	Peso (W)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO5,20	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: Portal da Qualidade das Águas

A descrição de cada parâmetro listado acima pode ser encontrada no site da Agência Nacional de Águas (ANA).

O IQA resume os dados paramétricos obtidos de uma determinada água, facilitando assim o entendimento sobre a qualidade desta,

e possibilitando maiores informações em relação às possíveis necessidades de um tratamento por motivos de contaminação. De acordo com cada estado brasileiro, os valores do IQA são divididos em faixas, e estas são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2- Faixas de classificação do IQA

Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS	Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	Avaliação da Qualidade da Água
91-100	80-100	Ótima
71-90	52-79	Boa
51-70	37-51	Razoável
26-50	20-36	Ruim
0-25	0-19	Péssima

Fonte: Portal da Qualidade das Águas

Devido ao avanço da tecnologia e ao surgimento de indústrias em todo o mundo, a água está sendo utilizada abundantemente. Com este aumento do consumo, a água está perdendo sua qualidade devido ao uso inadequado. Com isso, há uma crescente preocupação com a qualidade da água, ocasionando numa necessidade de normas que busquem a preservação dos corpos hídricos.

Os padrões nacionais de qualidade a serem utilizados são definidos de acordo com cada país. As normas de qualidade da água no Brasil são descritas em resoluções apresentadas pelo Conselho Nacional do Meio

Ambiente (CONAMA). Estas resoluções possuem padrões tanto para os corpos receptores quanto para o lançamento de efluentes nos corpos d'água. E ambos buscam garantir a preservação da qualidade da água. Estes padrões estão inter-relacionados, já que os padrões de lançamentos devem garantir também os padrões do corpo receptor. Para garantir esses padrões deverão ocorrer estudos que analisem os impactos ambientais.

Empregando alguns métodos estatísticos, pode-se fazer análises que comprovem os verdadeiros impactos a

determinado corpo d'água, utilizando para isto, dados coletados no mesmo.

Será utilizada a análise de variância (ANOVA) para avaliar se há diferenças entre os tratamentos, por meio do teste F (Machado *et al.*, 2005).

A rejeição da hipótese H_0 nos leva a buscar procedimentos para testar se existem diferenças reais entre os tratamentos, utilizando de procedimentos de comparações múltiplas (PCM) (Hochberg & Tamhane, 1987; Machado *et al.*, 2005; Ramalho,

Ferreira & Oliveira, 2000; Andrade & Ferreira, 2010).

Este trabalho tem por objetivo avaliar a significância de alguns parâmetros importantes (Oxigênio Dissolvido e Potencial Hidrogeniônico) para verificar a qualidade da água, utilizando o teste modificado de Tukey, proposto por (Andrade & Ferreira, 2010) e confrontar com os resultados de Gonçalves (2009), usando a linguagem de programação R (R. Development Core Team, 2015).

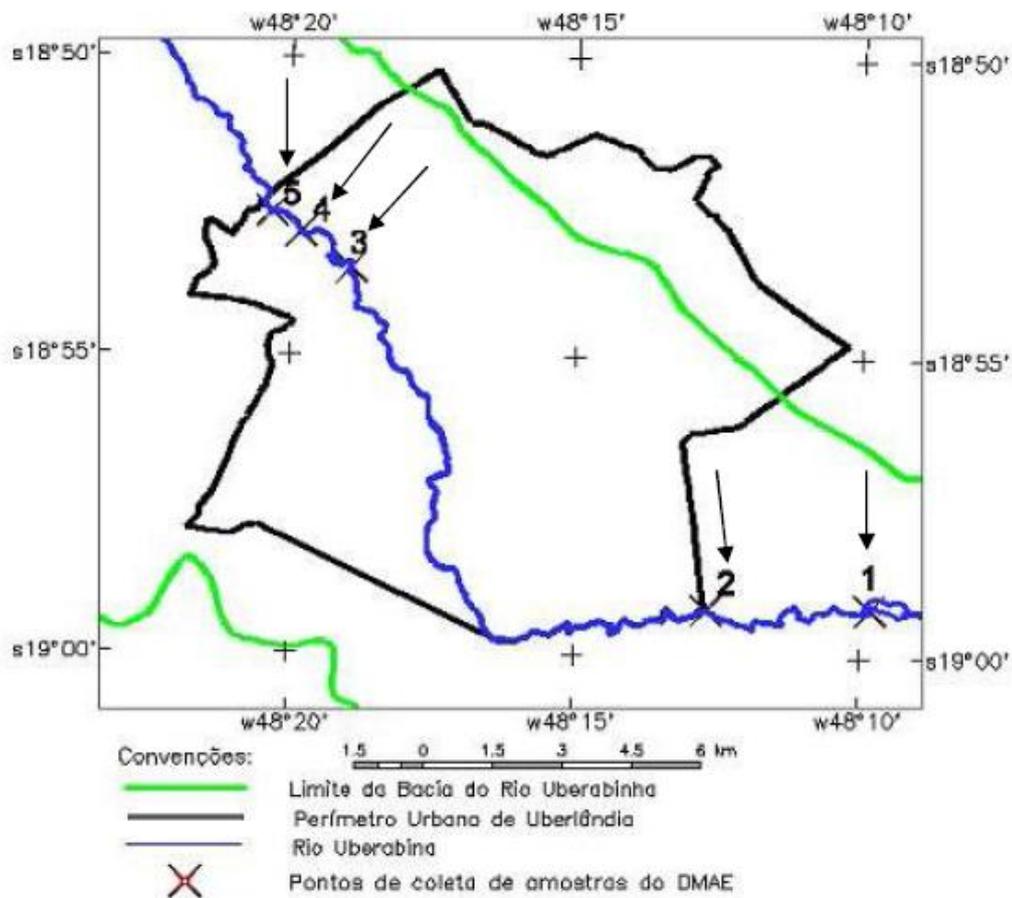
MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se o trabalho de Gonçalves (2009), que visa analisar a qualidade da água do Rio Uberabinha, que passa através da cidade de Uberlândia no estado de Minas Gerais, para que fosse possível a comparação de testes estatísticos. Os dados contidos no trabalho de Gonçalves foram fornecidos pelo Departamento de Águas e Esgotos de Uberlândia (DMAE). Esses dados foram

obtidos por meio de análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos feitas em amostras de águas retiradas do Rio Uberabinha durante o período de 2007 e 2008.

Realizaram-se análises em 5 pontos diferentes ao decorrer do rio. Os pontos de coleta de amostras estão apresentados no mapa na Figura 1.

Figura 1- Pontos de coleta de amostras do Rio Uberabinha



Fonte: Gonçalves (2009)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizando as análises de variância no programa R, empregando a modificação do teste de Tukey, obtiveram-se alguns importantes resultados sobre os parâmetros oxigênio dissolvido e potencial hidrogeniônico. Estes estão descritos a seguir.

Oxigênio Dissolvido:

Estão apresentados na Tabela 3 os dados sobre oxigênio dissolvido, contidos no trabalho de Gonçalves (2009).

A análise de variância considerando todos os meses dos anos de 2007 e 2008 para o oxigênio dissolvido está apresentada na Tabela 4.

Tabela 3 – Oxigênio Dissolvido (mg/L), durante o monitoramento realizado pelo DMAE.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Fev/07	6,80	5,10	5,20	5,60	5,40
Mai/07	6,80	7,20	6,50	6,40	6,00
Ago/07	7,50	8,50	7,90	7,50	7,50
Nov/07	7,30	7,40	5,20	6,50	6,00
Fev/08	5,80	6,10	6,30	6,60	6,10
Mai/08	5,30	6,20	6,80	6,90	6,20
Ago/08	6,80	8,00	6,30	6,50	5,40
Nov/08	5,80	7,60	7,70	8,00	7,50

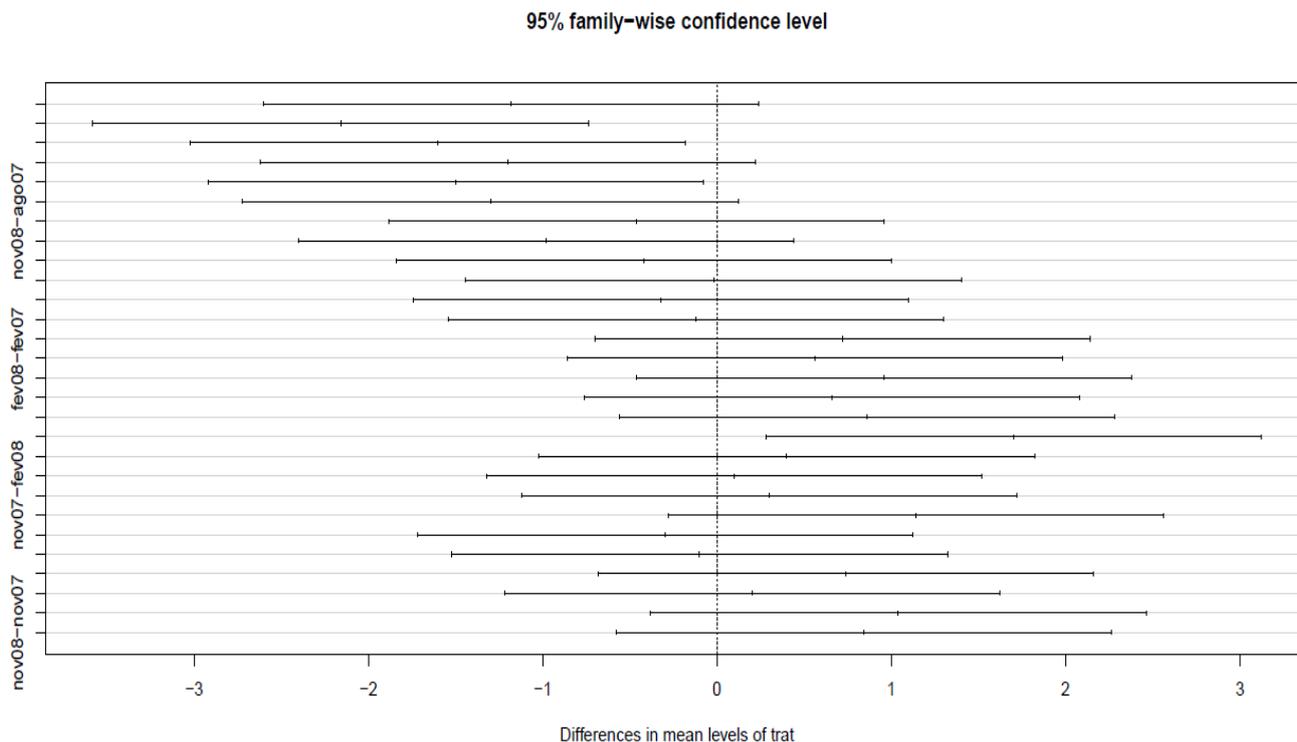
Tabela 4 - Análise de variância geral para OD

	GL	SQ	QM	F	Pr
Trat	7	15.82	2.2604	4.698	0.00103
Resíduos	32	15.40	0.4811		
Total	39	31.22	00		

Através dos resultados acima, observa-se uma diferença significativa entre os meses, pois a probabilidade foi menor que 5% ($Pr = 0.00103$). Esse resultado difere um dos apresentados por Gonçalves (2009). Assim,

para descobrir onde está esta diferença, utilizou-se o teste de comparações múltiplas modificado de Tukey, via software R. O resultado pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Comparação entre as médias



Fonte: Programa R

Observando a figura acima, conclui-se que houve diferença entre os meses de fevereiro e agosto de 2007, fevereiro de 2008 e agosto de 2007, maio de 2008 e agosto de 2007, novembro de 2008 e fevereiro de 07.

Foi feita uma análise também por ano. Para o ano de 2007, a análise de variância está representada da Tabela 5.

Tabela 5 - Análise de variância para OD em 2007

	GL	SQ	QM	F	Pr
Trat	3	11.834	3.945	9.211	0.000896
Resíduos	16	6.852	0.428		
Total	19	18.686			

Como a probabilidade encontrada foi menor que 5%, conclui-se que há pelo menos uma diferença significativa entre os meses do ano de 2007. Para encontrá-la realizou o teste

modificado de Tukey, no programa R, considerando 5% de significância, cujos resultados estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 - Intervalos de confiança a 95%

	lwr	upr	p adj
fev07-ago07	-3.344	-	0.0004
		0.975	
mai07-ago07	-2.384	-	0.0464
		0.015	
nov07-ago07	-2.484	-	0.0289
		0.115	
mai07-fev07	-0.224	2.144	0.1349
nov07-fev07	-0.324	2.044	0.2022
nov07-mai07	-1.284	1.084	0.9948

Observa-se que houve diferença entre o mês de agosto de 07 e os demais meses (fevereiro, maio e novembro de 07) pois o

intervalo de confiança não contém o valor zero e a probabilidade foi menor que 5%.

Para o ano de 2008, a análise de variância está representada da Tabela 7.

Tabela 7 - Análise de variância para OD em 2008

	GL	SQ	QM	F	Pr
Trat	3	3.986	1.329	2.488	0.0976
Resíduos	16	8.544	0.534		
Total	19	12.530			

Como a probabilidade encontrada é igual a 0.0976, ou seja, maior que 5%, não há diferença significativa entre os meses dentro

do ano de 2008. Foi feita também uma análise comparando as médias de oxigênio dissolvido entre os anos de 2007 e 2008, por meio do

teste t de comparação de médias e não foi constatada diferença significativa.

Além disso, fez-se uma comparação de cada mês dentro dos anos de 2007 e 2008,

utilizando-se também o teste t de comparação de duas médias. Foi verificado que houve diferença significativa somente para o mês de agosto, conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Análises mensais para OD, nos anos de 2007 e 2008.

	Pr	Significância
Fevereiro	0.9337	ns
Maio	0.2075	ns
Agosto	0.01729	5%
Novembro	0.9118	ns

ns significa não significativo

Potencial Hidrogeniônico:

Os dados do potencial hidrogeniônico (pH) (Gonçalves, 2009), estão na Tabela 9.

Tabela 9 – Potencial Hidrogeniônico durante o período de monitoramento realizado pelo DMAE.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5
Fev/07	6,31	6,50	6,50	6,60	6,60
Mai/07	6,80	6,40	6,60	6,60	6,70
Ago/07	6,87	7,50	7,30	7,40	7,30
Nov/07	6,20	6,10	6,20	6,40	6,20
Fev/08	6,07	6,40	6,70	6,80	6,70
Mai/08	6,48	7,20	6,90	7,00	7,10
Ago/08	6,85	7,30	6,60	6,50	5,40
Nov/08	6,47	6,20	6,30	6,20	6,80

Fonte: Gonçalves (2009)

A análise de variância considerando todos os meses dos anos de 2007 e 2008

para o potencial hidrogeniônico está apresentada na Tabela 10.

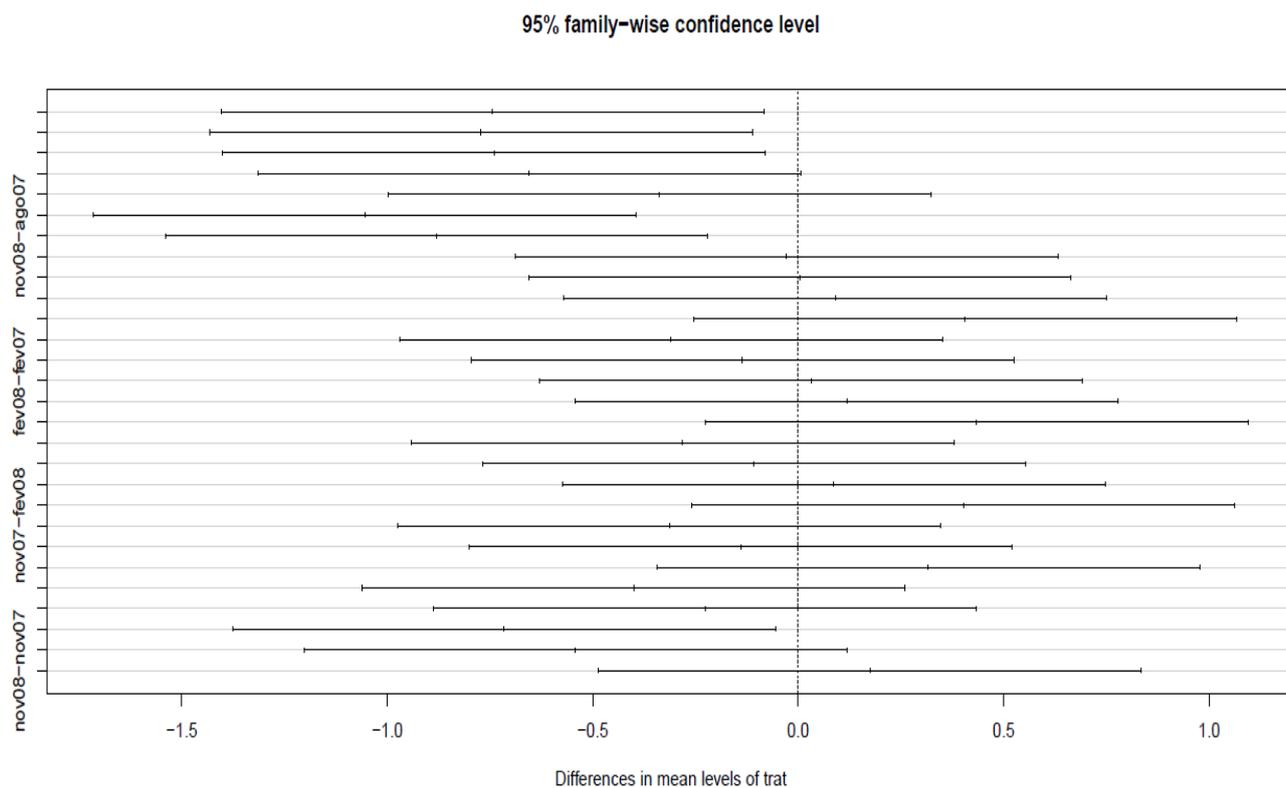
Tabela 10 - Análise de variância geral para pH

	GL	SQ	QM	F	Pr
Trat	7	3.839	0.5484	5.277	0.000442
Resíduos	32	3.325	0.1039		
Total	39	7.164			

Há diferença significativa entre os meses, pois a probabilidade foi menor que 5%, Para encontrar onde está a diferença, usa-

se o teste de comparações múltiplas modificado de Tukey, cujos resultados estão apresentados na Figura 3.

Figura 3: Comparação entre as médias



Fonte: Programa R

Observa-se que houve diferença entre os meses de agosto de 2008 e agosto de 2007, fevereiro de 2007 e agosto de 2007, fevereiro de 2008 e agosto de 2007, novembro de 2007

e agosto de 2007, novembro de 2008 e agosto de 2007, novembro de 2007 e maio de 2008.

Fazendo uma análise por ano, verifica-se que para o ano de 2007, a análise de variância está representada da Tabela 11.

Tabela 11 - Análise de variância para pH em 2007

	GL	SQ	QM	F	Pr
Trat	3	2.9851	0.9950	37.58	1.79e-07
Resíduos	16	0.4236	0.0265		
Total	19	3.4087			

Sendo a probabilidade menor que 5%, há pelo menos uma diferença significativa entre os meses dentro do ano de 2007. Para saber onde está a diferença, aplica-se o teste

modificado de Tukey, no programa R, considerando 5% de significância, conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Intervalos de confiança a 95%

	lwr	upr	p adj
fev07-ago07	-1.066	-0.477	0.0000
mai07-ago07	-0.948	-0.359	0.0001
nov07-ago07	-1.348	-0.759	0.0000
mai07-fev07	-0.176	0.412	0.6672
nov07-fev07	-0.576	0.012	0.0628
nov07-mai07	-0.694	-0.105	0.0064

Pode-se observar que há diferença está entre os meses de agosto de 07 com os demais (fevereiro, maio e novembro de 2007) e novembro de 07 e maio de 07.

Para o ano de 2008, a análise de variância está representada da Tabela 13

Tabela 13 - Análise de variância para pH em 2008

	GL	SQ	QM	F	Pr
Trat	3	0.8229	0.2743	1.512	0.249
Resíduos	16	2.9018	0.1814		
Total	19	3.7247			

Verifica-se que não há diferença significativa entre os meses dentro do ano de 2008, pois o valor a probabilidade é maior que 5%, ou seja, 0.249.

Foi feita também uma análise comparando as médias de potencial hidrogeniônico, entre os anos de 2007 e 2008, por meio do teste t de comparação de médias e não foi constatada diferença significativa.

Foi feita também uma comparação de cada mês dentro dos anos de 2007 e 2008, utilizando-se também o teste t de comparação de duas médias. Foi verificado que houve diferença significativa somente para o mês de agosto, conforme Tabela 14.

Tabela 14 - Análises mensais para pH, nos anos de 2007 e 2008.

	Pr	Significância
Fevereiro	0.5852	ns
Maio	0.9723	ns
Agosto	0.02778	5%
Novembro	0.9025	ns

ns significa não significativo

CONCLUSÃO

Através das análises feitas utilizando dados de dois parâmetros, oxigênio dissolvido e potencial hidrogeniônico, apresentados por Gonçalves (2009), pode-se concluir que a

modificação do teste de Tukey, proposta por (Andrade & Ferreira, 2010) foi satisfatória.

Os resultados são similares aos apresentados por Gonçalves (2009) para o oxigênio dissolvido e potencial hidrogeniônico, apesar de apresentar algumas

diferenças pontuais, que mostram uma maior capacidade de detecção de diferenças significativas do teste de Tukey modificado.

Outro ponto positivo é a facilidade de interpretação dos resultados, devido à diminuição da ambiguidade. Em todos os casos analisados a alternativa apresentada por Andrade & Ferreira (2010) apresentou melhores resultados em relação ao teste de Tukey convencional.

O poder foi maior, ou seja, o teste modificado é mais eficiente na identificação das diferenças entre as médias dos tratamentos. Sendo assim, realmente apresenta resultados satisfatórios quando comparado com o teste de Tukey.

REFERÊNCIAS

1. ANA. Agência Nacional de Águas. Águas Subterrâneas. Disponível em <www.ana.gov.br/.../aguasSubterr/EstudoAguasSubterraneasANA22-08-02.doc> Acessado em: 15 de maio de 2009.
2. ANDRADE, P. C. R.; FERREIRA, D. F. Comparações múltiplas bayesianas em modelos normais homocedásticos e heterocedásticos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.4, p.845-852, jul./ago., 2010.
3. CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. <<http://www.mma.gov.br/port/conama/principal.cfm>> Acessado em: 15 de abril de 2015.
4. GONÇALVES, E M. *Avaliação da Qualidade da Água do Rio Uberabinha – Uberlândia – MG*. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia dos Processos Químicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.
5. HOCHBERG, Y.; TAMHANE, A.C. *Multiple comparisons procedures*. New York: John Wiley, 1987. 450p.
6. MACHADO, A.A.; DEMÉTRIO, C.G.B.; FERREIRA, D.F.; SILVA, J.G.C. *Estatística experimental: uma abordagem fundamentada no planejamento e no uso de recursos computacionais*. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 50; SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À

- EXPERIMENTAÇÃO
AGRONÔMICA, 11., Londrina, 2005.
Curso... Londrina: ISBN, 2005. 290p.
7. Portal da Qualidade das Aguas.
Disponível em:
<<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> Acessado em: 15 de abril de 2015.
8. RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C.
Experimentação em genética e melhoramento de plantas. Lavras: UFLA, 2000. 303p.
9. R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.
10. SPERLING, Marcos. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos* (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFGM, 452p. 2005.