



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Análise estatística de correlação e de variância do monitoramento da água bruta da Estação de Tratamento de Água Terras Baixas - Pelotas/RS***Correlation and variance statistical analysis of raw water monitoring at the Terras Baixas Water Treatment Plant - Pelotas/RS***

Marlon Heitor Kunst Valentini¹, Gabriel Borges dos Santos², Henrique Sanches Franz³, Larissa Loebens⁴, Hugo Alexandre Soares Guedes⁵, Bruno Muller Vieira⁶, Adriana Gonçalves da Silva Manetti⁷, Rúbia Flores Romani⁸

RESUMO

A qualidade das águas de um corpo hídrico influencia diretamente em seu uso, assim como no tipo de tratamento ao qual uma determinada Estação de Tratamento de Água (ETA) utilizará para tornar as águas potáveis. Este trabalho tem por objetivo a utilização de métodos estatísticos de correlação, de análise de variância e gráficos de dispersão de médias para avaliar a qualidade da água bruta do manancial de captação da ETA Terras Baixas, no período de 2013 a 2018, através das análises de ferro, manganês, Coliformes totais, Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. De posse dos resultados das análises estatísticas de cada um dos métodos pode-se concluir que há variabilidade significativa, mensal, sazonal e anual, no que concerne as variáveis ferro e manganês. Além disso, para esse estudo, constatou-se que através da realização dos métodos estatísticos não paramétricos de correlação, foi possível determinar que as variáveis químicas, ferro e manganês, apresentam forte correlação entre si, mostrando a existência de um fator de origem em comum entre elas. Já com relação às variáveis microbiológicas foi possível demonstrar que há significância estatística em suas correlações.

Palavras-chave: Água; monitoramento; métodos estatísticos.

¹ Universidade Federal de Pelotas - UFPel, Pelotas/RS - Brasil. E-mail: marlon.valentini@hotmail.com

² E-mail: gabrielwxsantos@hotmail.com

³ E-mail: franzhenrique@yahoo.com.br

⁴ E-mail: laryloebens2012@gmail.com

⁵ E-mail: hugo.guedes@ufpel.edu.br

⁶ E-mail: bruno.prppg@hotmail.com

⁷ E-mail: didialimentos@yahoo.com.br

⁸ E-mail: fgrubia@yahoo.com.br



ABSTRACT

The water quality of a water body directly influences its use, as well as the type of treatment that a particular Water Treatment Plant (WTP) will use to make it potable. This work aims to use statistical correlation methods, analysis of variance and mean scatter plots to evaluate the raw water quality of the ETA Terras Baixas catchment, from 2013 to 2018, through of iron, manganese, total coliforms, thermotolerant coliforms and Escherichia coli. With the results of the statistical analyzes of each method, it can be concluded that there is significant variability, monthly, seasonal and annual, regarding the variables iron and manganese. In addition, for this study, it was found that by performing nonparametric statistical methods of correlation, it was possible to determine that the chemical variables, iron and manganese, have a strong correlation with each other, showing the existence of a common origin factor. between them. Regarding microbiological variables, it was possible to demonstrate that there is statistical significance in their correlations.

Keywords: Water; monitoring; statistical methods.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação precisa do tipo e extensão da poluição da água é uma tarefa difícil e complicada. (HUANG *et al.*, 2010). Neste contexto, um dos problemas enfrentados no monitoramento da qualidade da água é a complexidade em se analisar grande número de variáveis. (ISCEN *et al.*, 2008).

A aplicação de métodos estatísticos pode facilitar a análise dos dados. De acordo com ZHAO *et al.* (2012) o emprego de técnicas estatísticas pode ser uma ferramenta valiosa no gerenciamento dos recursos hídricos, ajudando a identificar possíveis fontes de poluição que influenciam a qualidade dos mesmos. Esses métodos são vantajosos por fornecerem interpretações simples a partir de um conjunto de dados complexos, as quais auxiliam no entendimento dos efeitos dos processos que ocorrem ao longo dos corpos hídricos. (HAIR JR. *et al.*, 2009).

ZHAO *et al.* (2011) reportam que a aplicação de métodos estatísticos avançados, utilizando conjuntos de dados, são úteis e essenciais para extrair informações significativas sem que as informações percam a exatidão. De acordo com WANG *et al.* (2007), as ferramentas estatísticas multivariadas podem ser utilizadas para avaliar os efeitos das atividades humanas na qualidade da água de corpos hídricos. Essas ferramentas são amplamente utilizadas para identificar problemas ambientais e têm-se mostrado úteis para lidar com conjuntos de dados ambientais complexos.

Análises de correlação e de variância permitem a identificação dos possíveis fatores ou fontes responsáveis pelas variações na qualidade da água do manancial, bem como podem oferecer interpretações simples a partir da análise de dados complexos, o que auxiliaria na compreensão do comportamento do corpo hídrico estudado. Um método comumente usado para estudos relacionados a qualidade de recursos hídricos é a análise de variância (ANOVA), com a qual pode-se verificar se há variação significativa dos dados analisados, indicando como se comporta o corpo hídrico. (BILGIN, 2015).



As águas superficiais podem conter diversos tipos de poluentes em sua composição, fazendo com que seja necessária a redução da concentração desses poluentes aos valores máximos permitidos para que se enquadre no padrão de potabilidade, estabelecido pela Portaria de Consolidação n. 5 de 2017. (BRASIL, 2017). A presença de microrganismos patogênicos de origem entérica, animal e/ou humana é frequentemente reportada em mananciais (SANTOS *et al.*, 2013), assim como a presença de metais dissolvidos na água, tais como ferro e manganês. Os metais de um modo geral podem ser tanto tóxicos quanto benéficos ao meio ambiente, dependendo das suas concentrações no meio ao qual estão dispostos. (RICHTER, 2009).

A presença de metais nas águas pode estar associada tanto aos despejos de efluentes quanto ao próprio ambiente onde se encontra. No que concerne ao ferro e manganês, esses podem ser decorrentes, em águas naturais, da interação da água com o solo. (MARCELINO *et al.*, 2017). Ambos os elementos possuem comportamento geoquímico e origem semelhantes podendo ocorrer sob diversas formas químicas. (FILHO, 2000). O manganês pode obter diferentes tipos de estado de oxidação, porém o manganês bivalente Mn^{+2} é comumente solúvel em águas naturais. (GHAZI; QOMI, 2015). O ferro geralmente é encontrado sob dois estados de valência Fe^{3+} que é a sua forma insolúvel e Fe^{2+} que é a sua forma solúvel. (MARSIDI *et al.*, 2018).

Conforme RICHTER (2009), o ferro e o manganês são necessários à nutrição humana, porém podem causar problemas quando presentes em excesso na água para abastecimento público. O excesso de manganês em águas naturais tem sido associado a doenças neurológicas como: letargia, tremores e infecções respiratórias. (FRISBIE *et al.*, 2012). O Ferro, por sua vez, quando em elevadas concentrações em águas naturais pode causar risco de doenças cardíacas, câncer e hemocromatose. (KHATRI *et al.*, 2017).

Além de afetarem a saúde, os constituintes podem causar problemas nas tubulações devido ao depósito de sedimentos causando diminuição na vazão de abastecimento. (ZENG *et al.*, 2019). Para remover as concentrações de ferro e manganês é necessário aplicar tratamento físico-químico com produtos como, por exemplo, o ozônio, dióxido de cloro e permanganato de potássio, o que aumenta os custos envolvidos. (WOLOWIEC *et al.*, 2019). Ainda, quando elementos oxidantes como o dióxido de cloro são aplicados em excesso ocorre a formação de subprodutos carcinogênicos. (HU *et al.*, 2018). O ferro e o manganês podem conferir sabor, odor, coloração e turbidez na água, bem como causar manchas em roupas e aparelhos sanitários. Outros problemas encontrados estão associados ao aparecimento de bactérias ferruginosas nocivas nas redes de abastecimento. (MORUZZI; REALI, 2012).

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo utilizar métodos estatísticos de correlação, de análise de variância (ANOVA) e gráficos de dispersão de médias para avaliar a qualidade da água bruta do manancial de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) Terras Baixas, através das análises de ferro, manganês, Coliformes totais, Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, no período de 2013 a 2018.

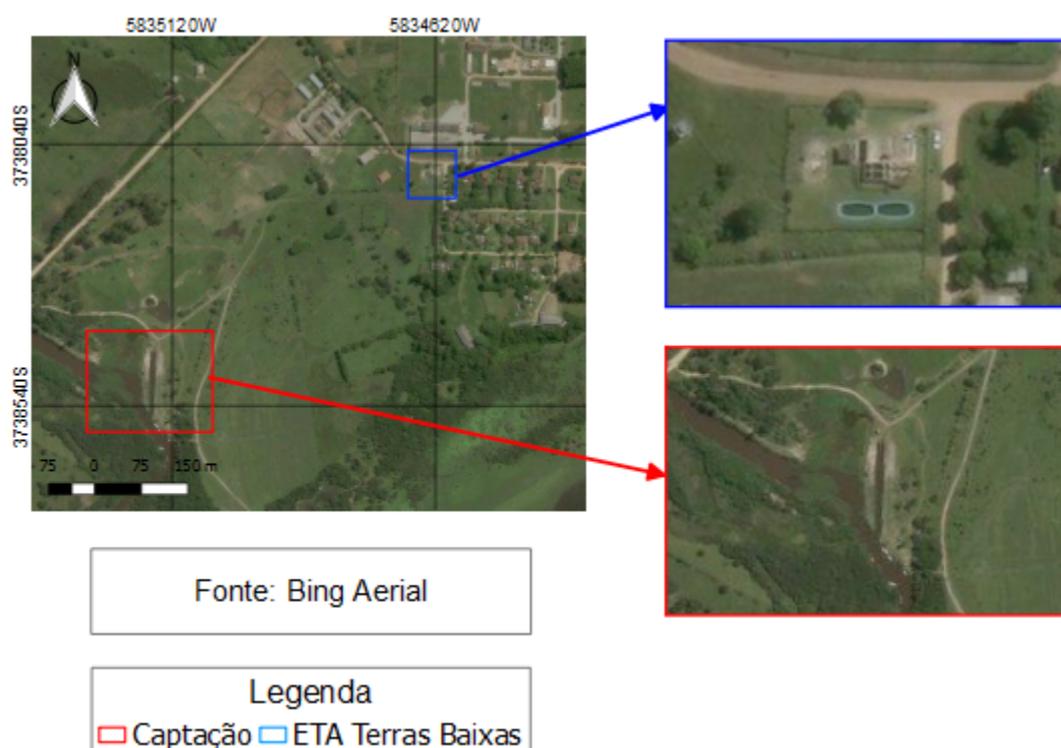


2. METODOLOGIA

2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado a partir dos dados de monitoramento da água proveniente do Arroio Padre Doutor, manancial de captação da Estação de Tratamento de Água (ETA) - Terras Baixas, administrado pela empresa Embrapa Clima Temperado, a qual está integrada ao campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas, localizado no município do Capão do Leão. A localização da referida ETA bem como do Arroio Padre Doutor pode ser visualizada na Figura 1.

Figura 1 - Localização da Estação de Tratamento de Águas - Terras Baixas e do ponto de captação de água no arroio Padre Doutor.



Fonte: Elaborada pelos autores.

2.2. ANÁLISES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS

Os resultados do monitoramento dos parâmetros de ferro, manganês, Coliformes totais, Coliformes termotolerantes e Escherichia coli, conforme Tabela 1, foram disponibilizados pelo responsável técnico da ETA - Terras Baixa, para realização deste estudo. Esses resultados correspondem a coletas realizadas semanalmente no período de 2013 a 2017, para as variáveis ferro e manganês e, de 2013 a 2018, para as variáveis Coliformes totais, Coliformes termotolerantes e E.coli. Vale destacar que a coleta, transporte, conservação e análise das amostras seguiram os padrões descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (APHA, 2017).



Tabela 1 - Parâmetros de monitoramento da água bruta da ETA - Terras Baixas, utilizados no estudo.

Parâmetro	Abreviação	Unidade de Medida
Ferro	Fe	mg/L
Manganês	Mn	mg/L
Coliformes totais	Coli. Totais	NMP em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Coli. Termotolerantes	NMP em 100 mL
Escherichia Coli	E. coli	NMP em 100 mL

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como ressaltado anteriormente, as análises seguiram os padrões descritos no Standart, sendo a análise de Fe e Mn realizadas através do método colorimétrico (espectroscopia de UV-Visível) já Coli. Totais, Coli. Termotolerantes e E.coli foram realizados por meio do método de tubos múltiplos. (APHA, 2017).

No que compete à escolha dos parâmetros Fe e Mn para a realização deste estudo, isso se deu pelo fato de que a presença dessas substâncias em águas destinadas ao abastecimento público é muito comum no Brasil, tanto nas suas formas solúveis e/ou iônicas. (DAVIS; MASTEN, 2016). De acordo com Golçalves *et al.* (2011), os solos de várzea no Rio Grande do Sul são oriundos de diferentes materiais de origem (basalto, arenito, siltito e granito), os quais contribuem para variações nos teores totais de óxidos de Fe e de Mn. Em altas concentrações, óxidos de Fe e Mn, promovem cor à água, dificultando o tratamento de água convencional realizado por métodos físico-químicos, os quais demandam de substâncias químicas secundárias para melhor remoção, conseqüentemente aumentam os custos do tratamento. (MARSIDI *et al.*, 2018). Logo, o monitoramento das concentrações de Fe e Mn é imprescindível para a escolha da melhor estratégia de tratamento.

No tocante aos parâmetros biológicos (Coli. Totais, Coli. Termotolerantes e E.coli), esses foram escolhidos pois representam uma situação de risco à saúde dos consumidores, onde segundo Coelho *et al.* (2007) a maioria das doenças que ocorrem em países em desenvolvimento como o Brasil são veiculadas pela água contaminada por micro-organismos patogênicos. Destaca-se também que os parâmetros aqui analisados são exigidos na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. (BRASIL, 2011).

2.3. DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados pluviométricos utilizados neste estudo, para o período de 2013 a 2017, foram retirados do site da Estação Agroclimatológica de Pelotas (EAP) que se localiza no município do Capão do Leão. (EAP, 2020). Os dados de precipitação diária e mensal são disponibilizados pela estação através de boletins mensais, assim, para o desenvolvimento deste estudo, após tabular a média mensal, constituiu-se a série de totais anuais.



2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A análise de variância (ANOVA) foi realizada com a finalidade de confirmar se existe diferença significativa entre os períodos estudados para os parâmetros analisados. Para melhorar a interpretação dos resultados obtidos com essa análise estatística, foram gerados gráficos das médias das variáveis analisadas, de modo a avaliar seu comportamento. Para a análise de variância ANOVA, foram considerados como fatores de análise as variações mensais, sazonais e anuais dos dados de monitoramento.

Com o intuito de avaliar qual coeficiente de correlação seria o mais adequado para estes dados, primeiramente foi testada a distribuição amostral através do teste de normalidade de *Kolmogorov-smirnov* (K-S).

Posteriormente, empregou-se a análise de correlação, a fim de identificar quais variáveis estão fortemente correlacionadas entre si. É importante frisar que ao correlacionar variáveis podem-se encontrar problemas acerca das ordens de grandezas de seus resultados, bem como da normalidade amostral. Uma metodologia comumente utilizada para resolver estes problemas é a padronização dos dados sugerida por. (WILKS, 2006).

Vale destacar que, todas as análises apresentadas aqui nesse tópico 2.4 foram realizadas por meio do software de estatística IBM SPSS® Statistics, versão 22.0 free. Já as análises descritivas dos dados foram realizadas através da planilha eletrônica Excel 2019.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse dos dados a serem estudados, realizou-se a análise de variância ANOVA para cada um dos fatores estipulados, conforme p-valores de significância descritos na Tabela 2. Para essa análise estatística considerou-se um intervalo de confiança de 95% e nível de significância de 0,05, ou seja, para p-valores inferiores a 0,05 pode-se considerar a variância como significativa de um ponto de vista estatístico.

Observa-se nas Tabelas 2 e 3, que somente as variáveis ferro e manganês variam de forma significativa nos diferentes intervalos de tempo avaliados (mensal, sazonal e anualmente), enquanto os coliformes totais variam significativamente somente entre as estações do ano e a variável coliformes termotolerantes demonstrou variabilidade significativa unicamente entre os anos estudados.

Tabela 2 – ANOVA dos dados das análises químicas.

ANOVA	Significância (p-valor)		
	Mensal	Sazonal	Anual
Ferro	0,000	0,000	0,023
Manganês	0,000	0,000	0,017

Fonte: Elaborada pelos autores.



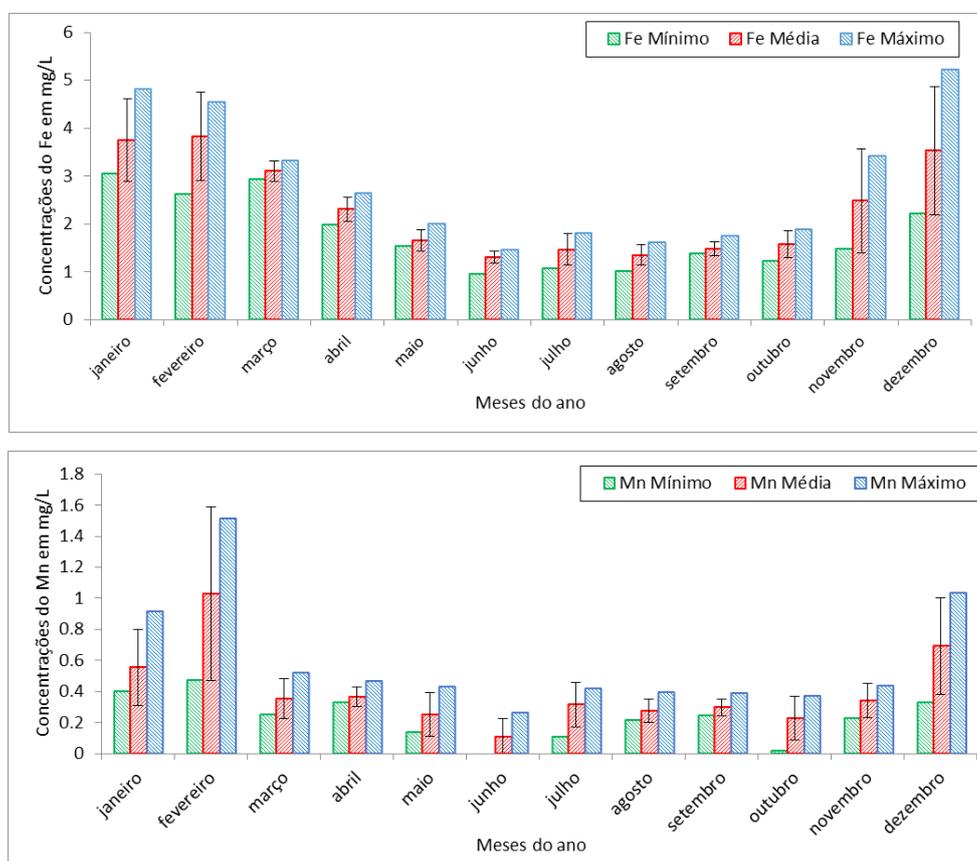
Tabela 3 – ANOVA dos dados das análises químicas.

ANOVA	Significância (p-valor)		
	Mensal	Sazonal	Anual
	Coliformes totais	0,090	0,031
Coliformes termotolerantes	0,191	0,127	0,049
E.coli	0,767	0,583	0,242

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os comportamentos dos parâmetros ferro e manganês, mensal, sazonal e anual, podem ser observados nas Figuras 2, 3 e 4, respectivamente.

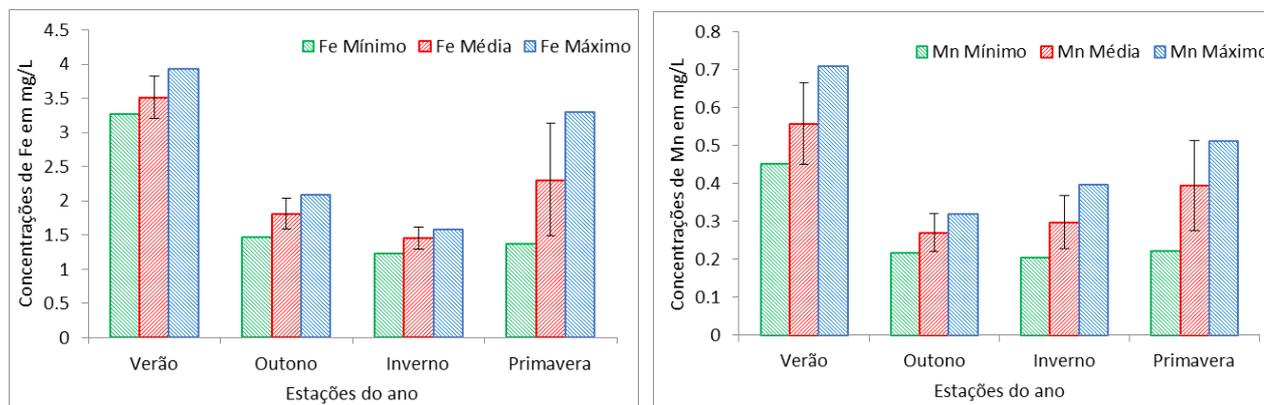
Figura 2 – Variação Mensal da Concentração do Fe e Mn.



Fonte: Elaborada pelos autores.

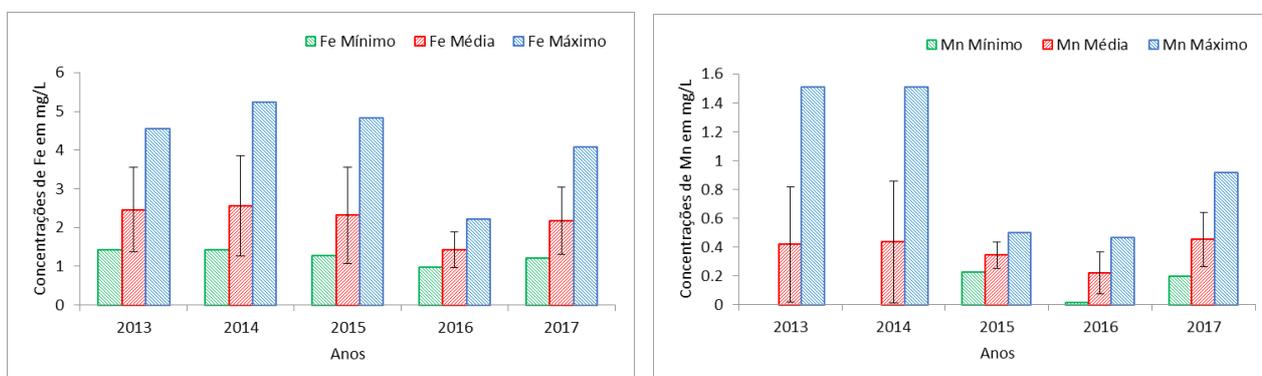


Figura 3 - Variação Sazonal da Concentração do Fe e Mn.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4 - Variação Anual da Concentração do Fe e Mn.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme evidenciado nas Figuras 2, 3 e 4, as variáveis ferro e manganês variam de forma mais uniforme, atingindo valores de maior concentração nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro e nas estações de verão e primavera. Isso indica uma relação destes parâmetros com fatores climáticos como, por exemplo, pluviometria e temperatura. Em águas superficiais, os níveis de ferro e manganês podem aumentar nas estações chuvosas devido ao carreamento de solos e à ocorrência de processos de erosão das margens. Ainda, em eventos de chuvas extremas, pode ocorrer a diminuição das concentrações totais de ferro e manganês uma vez que a chuva pode desempenhar um papel significativo na desestratificação natural do reservatório, onde a concentração de oxigênio dissolvido na água do fundo volta a aumentar, resultando na diminuição da concentração de ferro e manganês nas porções mais baixas do corpo hídrico. (BAHARIM *et al.*, 2011). Já estudos como o de (FRAGA *et al.*, 2012), mostram que a precipitação não foi o fator de maior influência na qualidade da água do manancial por eles abordados. Ou seja, existem diversas formas com que fatores climáticos como a precipitação podem interferir na concentração em água dos metais aqui estudados, entretanto tais relações não foram avaliadas nesse trabalho.

Quanto a dispersão anual destas variáveis, ambas demonstraram menores concentrações no ano de 2016, um dos anos com menor valor de total anual de chuvas. A maior concentração de ferro (6,58 mg/L) ocorreu no ano de 2014, já a de



manganês ocorreu em 2017, conforme demonstrado na Figura 4. Os totais anuais de precipitação nos anos podem ser visualizados na tabela 4.

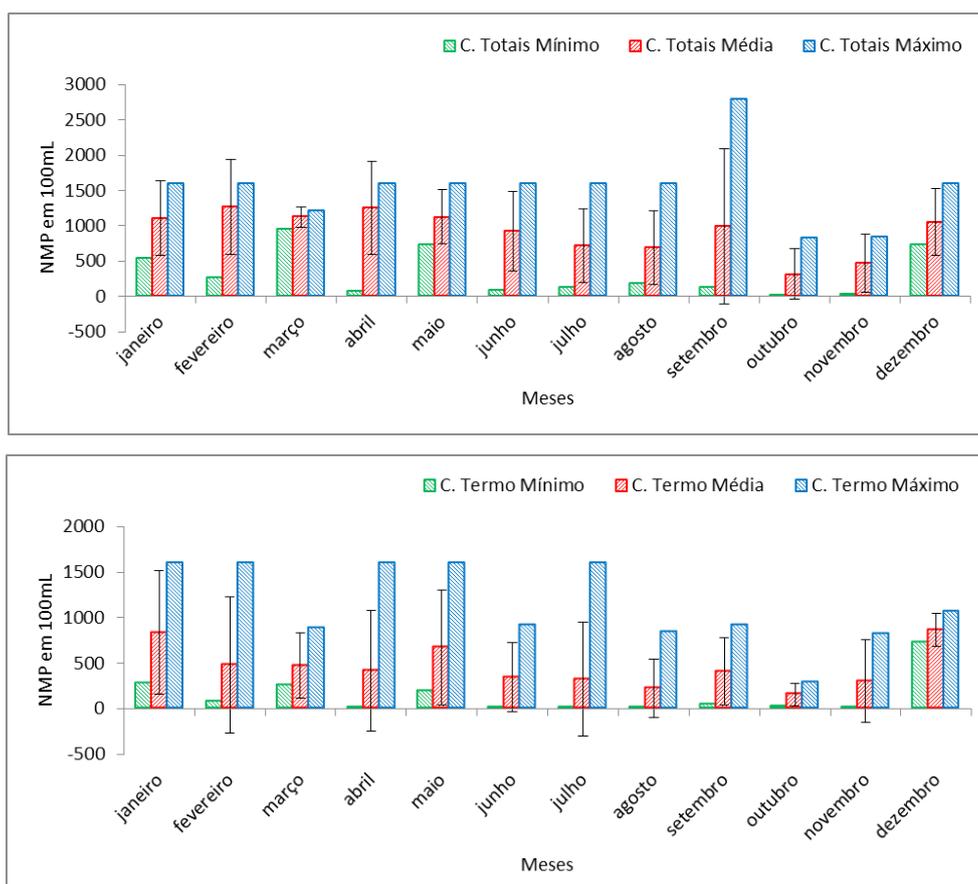
Tabela 4 - Valores de Precipitação Total Anual.

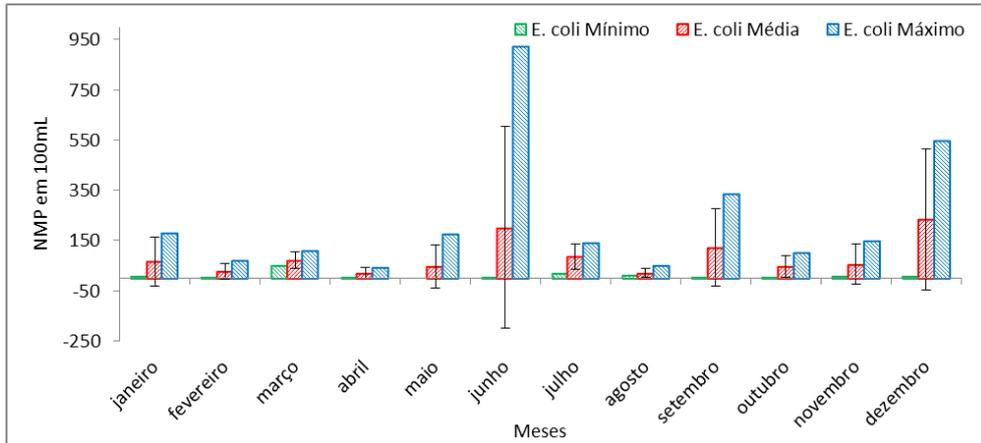
Ano	Precipitação Total Anual (mm)
2013	1295,7
2014	1778,6
2015	1841,4
2016	1303,4
2017	1406,5
2018	1397,9

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os comportamentos de dispersão dos parâmetros microbiológicos são apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente.

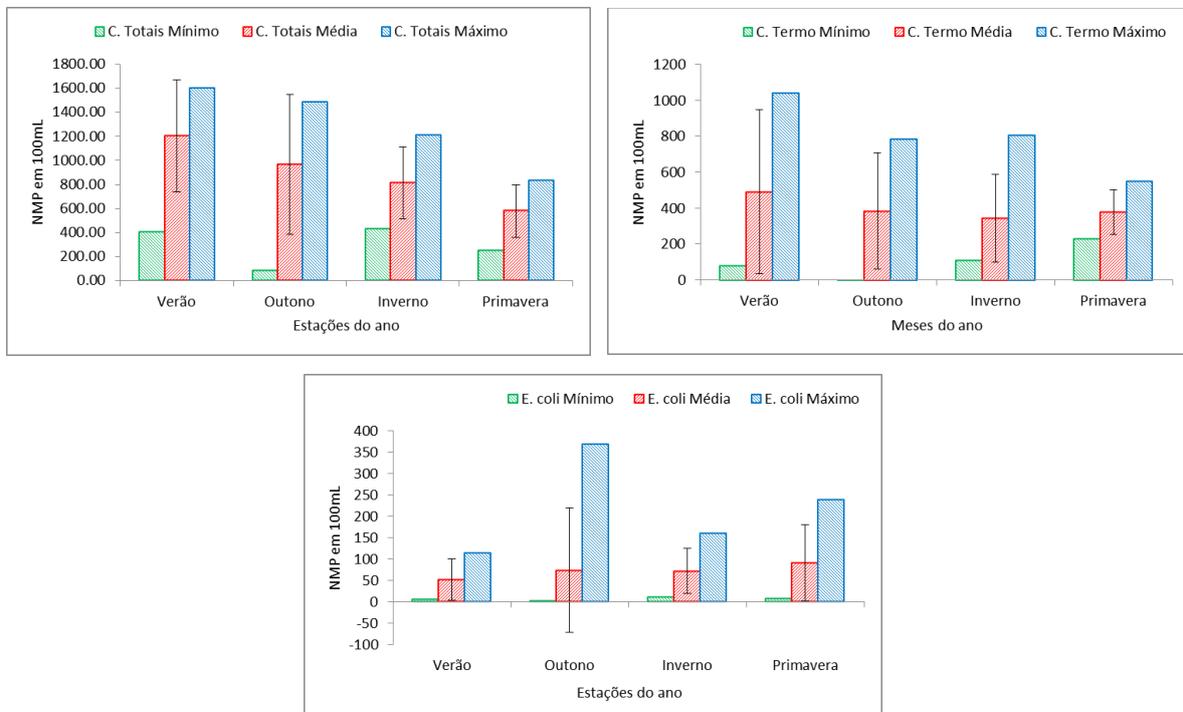
Figura 5 - Variação Mensal das variáveis microbiológicas.





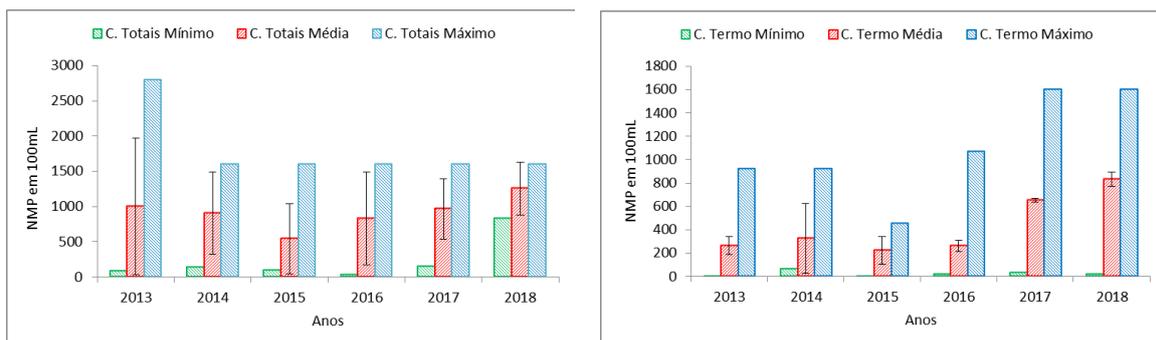
Fonte: Elaborada pelos autores.

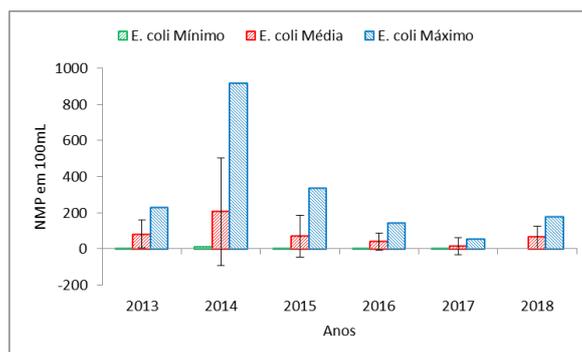
Figura 6 - Variação Sazonal das variáveis microbiológicas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 7 - Variação Anual das variáveis microbiológicas.





Fonte: Elaborada pelo autor.

No que concerne aos parâmetros microbiológicos, não é possível evidenciar uma tendência muito clara para o comportamento desses parâmetros para as suas médias mensais. Porém, para as suas médias sazonais é possível inferir que as concentrações são menores nas estações mais frias. A variação anual destas variáveis também não segue um padrão específico, porém é possível observar que os coliformes totais e termotolerantes atingiram suas maiores concentrações no ano de 2018, conforme demonstrado na Figura 7. Corroborando isso, observa-se na Tabela 4 que o ano de 2018 foi um dos anos estudados com menor quantidade de chuva.

É importante considerar que as condições geoclimáticas do estado do Rio Grande do Sul, onde está inserido o corpo hídrico estudado, possibilitam um clima com as quatro estações bem definidas, influenciando nos regimes de chuva e nas condições de temperatura ao longo do ano. Sendo assim, salienta-se a necessidade de uma análise que deve considerar a correlação destes fatores climáticos com os parâmetros químicos e microbiológicos.

As formas como se apresentam os comportamentos de dispersão das médias de cada um dos parâmetros, sejam as dispersões mensais, sazonais ou anuais, são corroboradas pela análise de variância ANOVA que, conforme já abordado, mostra que para esses fatores de dispersão somente os parâmetros ferro e manganês apresentaram p-valor inferior a 0,05 para os três períodos analisados. Ou seja, a tendência comportamental para os parâmetros ferro e manganês fica melhor evidenciada pois há variabilidade significativa estatisticamente comprovada.

Existem diversos tipos de correlação, bem como diferentes coeficientes a serem utilizados, alguns assumindo a normalidade amostral, outros não. Para dados que seguem uma distribuição normal, por exemplo, o coeficiente de Pearson é o mais comumente utilizado, já para dados que não possuem uma normalidade amostral recomenda-se outros coeficientes como o de Spearman Rhô. (GUIMARÃES, 2017). Sendo assim, primeiramente foi necessário analisar a distribuição amostral destes parâmetros, o que foi feito através do teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Para os dados trabalhados neste estudo, utilizando o teste de normalidade com um nível de confiança de 95% e um grau de significância de 0,05 obteve-se uma distribuição não normal. Uma vez constatada a não normalidade amostral dos dados, optou-se pelo uso do coeficiente de Spearman Rhô para as análises de correlação. Estas correlações, bem como seus testes de significância, estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5** – Correlação Fe – Mn.

Pares de variáveis correlacionadas	Correlação (Spearman Rhô)	Significância (p-valor)
Fe – Mn	0,643	0,000

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 6 – Correlação das variáveis microbiológicas.

Pares de variáveis correlacionadas	Correlação (Spearman Rhô)	Significância (p-valor)
C.Totais – C.Termotolerantes	0,628	0,000
C. Totais – E.coli	0,308	0,001
C. Termotolerantes – E. coli	0,355	0,000

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme é possível observar na Tabela 5, há forte correlação positiva entre os parâmetros ferro e manganês, o que indica que as concentrações de ambos estão fortemente ligadas. Nisso vê-se um bom indicativo de que esses parâmetros possuem um mesmo fator de origem, como, por exemplo, a dissolução de metais do solo. Considera-se uma correlação forte aqueles que possuem coeficiente superior a 0,5 em módulo. (HELENA, 2000). Ainda na tabela 5, demonstra-se que essa correlação é significativa. Para esse teste de significância, considera-se como significativas aquelas correlações que obtiverem um p-valor inferior a 0,05.

SIMEONOV *et al.*, 2003, estudaram acerca da qualidade da água no norte da Grécia. Ao realizar um agrupamento de parâmetros em componentes principais para estas águas, encontraram em um mesmo componente principal os parâmetros ferro e manganês. O componente ao qual estavam associadas essas variáveis continha, também, elementos como cobre, cromo e níquel. Para esses autores, a associação destes elementos em um mesmo componente principal indica que este componente provavelmente representa processos de lixiviação de solo.

SINGH *et al.* 2005, encontraram, também, as variáveis ferro e manganês dentro do mesmo componente principal, corroborando sua correlação. Em seu estudo no rio Gomti na Índia, os autores também analisaram uma série de outros elementos que incluíam diversos metais que, de forma geral, foram enquadrados dentro do mesmo componente principal. Isso pode indicar que os metais em corpos hídricos possuem, geralmente, a mesma origem.

Na Tabela 5 são demonstradas as correlações dos parâmetros microbiológicos. No que concerne aos coliformes totais e aos coliformes termotolerantes essa correlação ocorre de forma forte e significativa, com um coeficiente de correlação igual a 0,628. Já quanto a *Escherichia coli*, essa não possui correlação com coeficiente superior a 0,5 com nenhum dos outros parâmetros microbiológicos, porém essa correlação ainda obteve um p-valor inferior a 0,05. Isso mostra que há uma correlação significativa, porém em menor intensidade, entre os parâmetros *E.coli* e coliformes totais, bem como entre *E.coli* e coliformes termotolerantes.



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir, para as variáveis aqui estudadas, que há variabilidade significativa, mensal, sazonal e anual, no que concerne as variáveis ferro e manganês. Para estas variáveis, chega-se à conclusão de que suas concentrações são maiores em meses de verão e menores em meses de inverno, para a série temporal analisada. Conclui-se, também, através dos métodos estatísticos não paramétricos de correlação realizados neste estudo, que os elementos químicos, ferro e manganês, apresentam forte correlação entre si, mostrando a existência de um fator de origem em comum entre elas, podendo ser relativo à dissolução desses elementos do solo e a sua lixiviação.

Já no que concernem as variáveis microbiológicas, foi possível demonstrar que há significância estatística em suas correlações, sejam essas correlações em maiores ou menores intensidades. A correlação significativa entre as variáveis microbiológicas – coliformes totais, *E. coli* e coliformes termotolerantes – já era esperada, uma vez que são indicativos de poluição por esgoto ou fontes difusas de dejetos humanos e animais.

Através deste estudo conclui-se como viável o uso de métodos estatísticos de análise de variância e de correlação utilizados para o monitoramento da qualidade das águas do Arroio Padre Doutor, bem como se mostra a importância desses métodos para tal monitoramento.

5. REFERÊNCIAS

APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington, DC, EUA: American Public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF), 2017, 23. ed.

BAHARIM, N. R.; ISMAIL. R.; OMAR, M. H. Effects of Thermal Stratification on the Concentration of Iron and Manganese in a Tropical Water Supply Reservoir. **Sains Malaysian**, v.40, p.821-825, 2011.

BILGIN, A. An assessment of water quality in the Coruh Basin (Turkey) using multivariate statistical techniques. **Environmental monitoring and assessment**, v.187, n.721, p.1-16, 2015.

BRASIL. **Portaria de consolidação de nº 5 de 28 de setembro de 2017**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

BRASIL. **Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021**. Dispõem sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Ministério da Saúde, 2021.

COELHO, D. A.; SILVA, P. M. de F.; VEIGA, S. M. O. M.; FIORINI, J. E. Avaliação da qualidade microbiológica de águas minerais comercializadas em supermercados da cidade de Alfenas, MG. **Revista Higiene Alimentar**, v.21, n.151, p.88-92, 2007.



DAVIS, M. L.; MASTEN, S. J. **Princípios de Engenharia Ambiental**. 3. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda, 2016.

EAP. **Estação agroclimatológica de Pelotas**. Pelotas: Convênio Embrapa/UFPEL, 2020. Disponível em: <http://agromet.cpact.embrapa.br>. Acesso em: 8 de out. 2020.

FEITOSA, Fernando A. C. *et al.* **Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, 2008.

FRAGA, R. S.; TAVARES, V. E. Q.; TIMM, L. C.; ESTRELA, C. C.; BARTELS, G. K. Influência da precipitação sobre parâmetros de qualidade da água utilizada para irrigação do morangueiro no município de Turuçu-RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.18, n.4, p.81-94, 2012.

FRISBIE, S. H.; MITCHELL, E. J.; DUSTIN, H.; MAYNARD, M.; SARKAR, B. World Health Organization Discontinues Its Drinking-Water Guideline for Manganese. **Environmental Health Perspectives**, v.120, p.775-778, 2012.

GHAZI, M. M.; QOMI, H. M. Removal of manganese from an aqueous solution using micellar-enhanced ultrafiltration (MEUF) with SDS surfactants. **Advances in Environmental Technology**, v.1, p.17-23, 2015.

GONÇALVES, G. K.; MEURER, E. J.; BORTOLON, L.; GONÇALVES, D. R. N. Relação entre óxidos de ferro e de manganês e a sorção de fósforo em solos no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.6, p.1633-1639, 2011.

GUIMARÃES, Paulo Ricardo B. **Análise de Correlação e medidas de associação**. Curitiba: UFPR, 2017.

HAIR, Joseph F. *et al.* **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEJA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v.3, n.43, p.807-816, 2000.

HU, J. L.; CHU, W. H.; SUI, M. H. Comparison of drinking water treatment processes combinations for the minimization of subsequent disinfection by-products formation during chlorination and chloramination. **Chemical Engineering Journal**, v.335, p.352-361, 2018.

HUANG, F.; WANG, X. Q.; LOU, L. P.; ZHOU, Z. Q.; WU, J. P. Spatial variation and source apportionment of water pollution in Qiantang River (China) using statistical techniques. **Water Research**, v.44, p.1562-1572, 2010.

ISCEN, C. F.; EMIROGLU, Ö.; ILHAN, S.; ARSLAN, N.; YILMAZ, V.; An application of multivariate statistical techniques in the assessment of surface water quality in Uluabat Lake, Turkey. **Environmental monitoring and assessment**, v.144, n.3, p.269-276, 2008.

KHATRI, N.; TYAGI, S.; RAWTANI D. Recent strategies for the removal of iron from: a review. **Journal of Water Process Engineering**, v.19, p.291-304, 2017.



MARSIDI, N.; HASAN, H. A.; ROZAIMAH, S.; ADBULLAH, S. A review of biological aerated filters for iron and manganese ions removal in water treatment. **Journal of Water Process Engineering**, v.23, p.1-12, 2018.

MARCELINO, K. M.; MELO, A. R.; MARQUES, C. R. M.; BROLESI, T. M.; CAMPOS, D. P. Remoção de ferro em águas subterrâneas de poços tubulares em uma indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Vincci - Periódico Científico da Faculdade SATC**, v.2, n.1, p.161-182, 2017.

MORUZZI, R. B.; REALI, M. A. P. Oxidação e remoção de ferro e manganês em águas para fins de abastecimento público ou industrial: uma abordagem geral. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.4, n.1, p.29-43, 2012.

RICHTER, Carlos A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

SANTOS, J. O.; SANTOS, R. M. S.; GOMES, M. A. D.; DE MIRANDA, R. C.; NÓBREGA, I. G. M. A qualidade da água para o consumo humano: uma discussão necessária. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.7, n.2, p.19-26, 2013.

SIMEONOV, V.; STRATISB, J. A.; SAMARAC, C.; ZACHARIADISB, G.; VOUTSAC, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOUB, M.; KOUIMTZISC, T. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. **Water research**, v.37, n.17, p.4119-4124, 2003.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; SINHA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques—a case study. **Analytica Chimica Acta**, v.538, n.2, p.355-374, 2005.

WANG, X.; LU, Y. L.; HAN, J.; HE, G.; WANG, T. Identification of anthropogenic influences on water quality of rivers in Taihu watershed. **Journal of Environmental Sciences**, v.19, p.475-481, 2007.

WILKS, Daniel S. **Statistical Methods in the atmospheric sciences** second edition. **International geophysics series**, v.91, 2006.

WOLOWIEC, M.; KOMOROWSKA-KAUFMAN, M.; PRUSS, A.; RZEPA, G.; BAJDA. Removal of heavy metals and metalloids from water using drinking water treatment residuals as adsorbents: a review. **Minerals**, v.9, p.2-17, 2019.

ZHAO, J.; FU, G.; LEI, K.; LI, Y. Multivariate analysis of surface water quality in the Three Gorges area of China and implications for water management. **Journal of Environmental Sciences**, v.23, n.9, p.1460-1471, 2011.

ZHAO, Y.; XIA, X. H.; YANG, Z. F.; WANG, F. Assessment of water quality in baiyangdian lake using multivariate statistical techniques. **Procedia Environmental Sciences**, v.13, p.1213-1226, 2012.

ZENG H.; YIN, C.; ZHANG, J.; LI, D. Start-Up of a Biofilter in a Full-Scale Groundwater Treatment Plant for Iron and Manganese Removal. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.16, p.1-12, 2019.

Submetido em: **13/12/2019**

Aceito em: **28/09/2021**