



Modelagem da dependência do consumo de coagulante dos parâmetros brutos da água: ajuste de um modelo de regressão linear

Modeling the dependence of coagulant consumption on gross water parameters: fitting a linear regression model

B. J. Leite*; N. E. K. Zimmermann; V. L. D. Ferreira; F. L. Dias

Universidade Federal do Pampa, 96413-172, Bagé, RS, Brasil

**brunajannleite@gmail.com*

(Recebido em 20 de abril de 2023; aceito em 13 de setembro de 2023)

O crescimento da demanda por água potável vem aumentando gradativamente e conseqüentemente a necessidade de melhorias no tratamento também. Um dos fatores determinantes da qualidade da água potável, tanto no ponto de vista de saúde quanto no ambiental, é a quantidade de coagulante utilizada no processo de tratamento da água, visto que a dosagem pode variar de acordo com características físico-químicas da água bruta. Neste sentido, este trabalho apresenta o desenvolvimento inicial de um modelo capaz de prever quantidades de coagulante para um determinado volume de água bruta, contemplando como variáveis independentes características específicas da água. Adotou-se como estratégia metodológica a análise de regressão linear múltipla realizada via software R em três etapas principais: coleta e separação dos dados, modelagem e validação do modelo. Os dados foram disponibilizados pela empresa CORSAN/RS, com recorte temporal do ano de 2015 a 2019 correspondentes a duas cidades. Os resultados mostraram a existência de uma relação estatisticamente considerável entre a variável dependente, consumo do coagulante (sulfato de alumínio) e as variáveis independentes (turbidez, cor, alcalinidade, matéria orgânica e volume aduzido). O valor de R^2 ajustado de 0,95 indica que modelo de predição está estatisticamente satisfatório. Ou seja, as facilidades de ajuste aliadas ao bom desempenho dos fenômenos estudados mostra que o modelo apresentado inicialmente pode ser aplicado para melhorar os processos de tratamento de água em estações de porte e processos similar.

Palavras-chave: parâmetros da água bruta, regressão linear múltipla, dosagem de sulfato de alumínio.

The growing demand for drinking water has been gradually increasing and consequently the need for improvements in treatment as well. One of the determining factors of the quality of drinking water, both from a health and environmental point of view, is the amount of coagulant used in the water treatment process, since the dosage can vary according to the physical-chemical characteristics of the raw water. In this sense, this work presents the initial development of a model capable of predicting amounts of coagulant for a given volume of raw water, considering specific water characteristics as independent variables. The methodological strategy adopted was multiple linear regression analysis performed via R software in three main stages: data collection and separation, modeling and model validation. The data were provided by the company CORSAN/RS, with a time frame from 2015 to 2019 corresponding to two cities. The results showed the existence of a statistically considerable relationship between the dependent variable (coagulant aluminum sulfate consumption) and the independent variables (turbidity, color, alkalinity, organic matter and added volume). The adjusted R^2 value of 0.95 indicates that the prediction model is statistically satisfactory. That is, the ease of adjustment combined with the good performance of the studied phenomena shows that the model presented initially can be applied to improve water treatment processes in stations of similar size.

Keywords: raw water parameters, multiple linear regression, aluminum sulfate dose.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por água potável vem aumentando pela ação antrópica sobre os mananciais de captação de água doce e globalmente por fatores como o uso de combustíveis fósseis e o aumento populacional nos centros urbanos [1]. O desenvolvimento industrial e tecnológico sem o pleno cumprimento dos objetivos propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em relação à qualidade da água pode acarretar no aumento de inúmeros problemas

como, por exemplo, aumento da poluição, despejos e liberação de produtos químicos e materiais perigosos [2]. Especificamente, em relação ao crescimento populacional, aumentam-se as demandas relacionadas ao saneamento básico [3]. Sabe-se que apenas 1% de toda água existente no planeta é doce, sendo boa parte desta água contaminada ou inapropriada para o consumo humano. Portanto, existe a necessidade de “potabilizar” a água, ou seja, torná-la própria para consumo [2].

Em se tratando do nível local, os processos para potabilização da água são realizados em Estações de Tratamento de Água (ETAs), responsável por uma variedade de procedimentos destinados a clarificar, descontaminar e fluoretar a água para consumo humano [3]. O tratamento depende basicamente das características da água bruta, adequação de tecnologias e controles operacionais diários e rigorosos [4]. Em outras palavras, o controle de operação não é apenas efetuar a verificação do processo, mas sim, executar análises específicas e obter conhecimentos de parâmetros de funcionamento e normas estabelecidas pela legislação [2].

Para que a clarificação e desinfecção da água sejam efetivas, é necessário que ocorram processos químicos e físicos entre coagulante, água e impurezas nela presentes, causando a desestabilização das partículas coloidais e em suspensão [5]. Nesse processo, comumente utiliza-se o sulfato de alumínio como coagulante visto que seu valor de investimento é menor, maior facilidade de acesso e também por apresentar uma faixa de pH mais efetiva para que a coagulação ocorra [3].

Atualmente, existe um número muito grande de ETAs em suas mais diversas formas, sendo estruturadas de acordo com a necessidade e características de cada cidade. Contudo, apesar do objetivo ser o mesmo em todas as estações, existe diferentes procedimentos para realizá-los, não havendo na maioria dos casos um estudo prévio que possibilite a determinação da dosagem efetiva sem desperdícios e excessos [5]. De forma análoga, surgem problemas relacionados a resíduos originados nos processos de tratamento da água bruta. O uso do sulfato de alumínio, como um agente coagulante químico, altera as águas que seguem ao abastecimento e também os resíduos oriundos do processo de tratamento [6]. Almeida et al. (2016) [6] destacam que a grande concentração de alumínio contido nesses resíduos possuem elevado potencial de impactar negativamente o meio ambiente e seus ecossistemas.

Em consonância, pontua-se que a presença de alumínio na água pode estar relacionada a determinadas doenças degenerativas [7]. Sendo assim, a busca por medidas de prevenção para minimizar o teor de alumínio nos resíduos gerados no tratamento, bem como na água tratada, tem sido uma preocupação em inúmeras pesquisas científicas.

Neste estudo, é apresentada uma modelagem computacional da dosagem de sulfato de alumínio via regressão linear múltipla no contexto de dados de duas ETAs da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). A aplicação de modelos matemáticos adequados aos diferentes setores relacionados ao tratamento de água é favorável para identificação e aplicação de medidas para melhorias de sistemas [8].

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos dados

Os dados empregados para a elaboração da modelagem foram disponibilizados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) no ano de 2019 com solicitação via Ofício seguindo as normas da empresa. As análises físico-químicas de água bruta bem como o controle de consumo de sulfato de alumínio são realizadas diariamente pelas ETAs, porém os dados disponibilizados foram referentes à média mensal dos registros efetuados no Sistema de Tratamento CORSAN (STC) pelos responsáveis do setor, compreendido no período entre Janeiro de 2015 a Dezembro de 2019.

Para este estudo, foram utilizadas informações de duas cidades atendidas pela Superintendência Regional do Pampa (CORSAN/SURPA), nomeadas cidade A e cidade B. As estações de tratamento analisadas apresentam um sistema convencional de tratamento, compostas pelas etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, cloração e fluoretação. A água

captada na cidade A é proveniente de manancial superficial (barragem) sendo tratada com sulfato de alumínio, cloro gás e fluossilicato de sódio.

Por outro lado, a água na cidade B é oriunda de duas fontes, a saber: manancial superficial (barragem) e poço artesiano. Contudo, nessa cidade o tratamento de água utiliza cal hidratada, fluossilicato de sódio e cloro gasoso, além do sulfato de alumínio. É importante salientar que se optou pela utilização de unidade de captação em cidades diferentes, a fim de identificar eventuais impactos das características de água bruta na quantificação de sulfato adicionado no processo de coagulação.

2.2 Parâmetros de qualidade da água bruta

O processo de coagulação via adição de sulfato de alumínio é responsável pela formação de flocos que desencadeiam reações físico-químicas que conduzem ao aprisionamento de impurezas presentes na água resultando na sua clarificação [5]. Esse fenômeno de aglomeração pode ser explicado levando em consideração as cargas eletromagnéticas das partículas de impurezas presentes na água [6]. No entanto, vale ressaltar que nos mecanismos de coagulação-floculação algumas condições podem alterar a eficiência desse processo [9]. Características de água bruta (Quadro 1), eficiência do sulfato em reagir com tais, a preparação do coagulante bem como a idade da solução concentrada, além da temperatura, gradiente de velocidade e tempo de agitação são os principais fatores que influenciam no consumo do coagulante [5].

Quadro 1: Parâmetros de análise físico-químicas de água bruta analisados para determinação da dosagem de coagulante.

PARÂMETROS	FUNÇÃO
1. Turbidez	É responsável pela quantificação da resistência encontrada pela luz no meio em análise, causada pelas partículas em dispersão.
2. pH	Determina a concentração de íons no meio analisado, ou seja, determina teor ácido ou alcalino da água.
3. Cor	É responsável pela medição de padrões estéticos da qualidade de água, utilizado também para verificação de compostos orgânicos no meio.
4. Alcalinidade	Determina a capacidade do meio de neutralizar os ácidos presentes.
5. Oxigênio Dissolvido (O.D)	É responsável basicamente pela quantificação do oxigênio presente no meio.
6. Demanda Bioquímica de Oxigênio (D.B.O)	Indica a quantidade de oxigênio consumido em decorrência da atuação de bactérias e outros organismos sobre a matéria orgânica presente na água num período de cinco dias.
7. Matéria Orgânica	Permite a avaliação da quantidade de matéria passível de oxidação por um agente químico orgânico, seja ele proveniente de indústrias, excremento de animais ou vegetais em decomposição.

Dentro deste contexto, existe outro aspecto analisado para a escolha do coagulante a ser utilizado, referindo-se à quantidade e as características resultantes no lodo gerado pelo tratamento [10]. Vários autores afirmam que os principais componentes na formação de resíduos são os materiais contidos na água bruta e também resquícios de produtos químicos utilizados [10-12].

Na Figura 1, adaptada de Guia da Engenharia (2018) [9], é apresentado de modo esquemático o processo de tratamento da água.

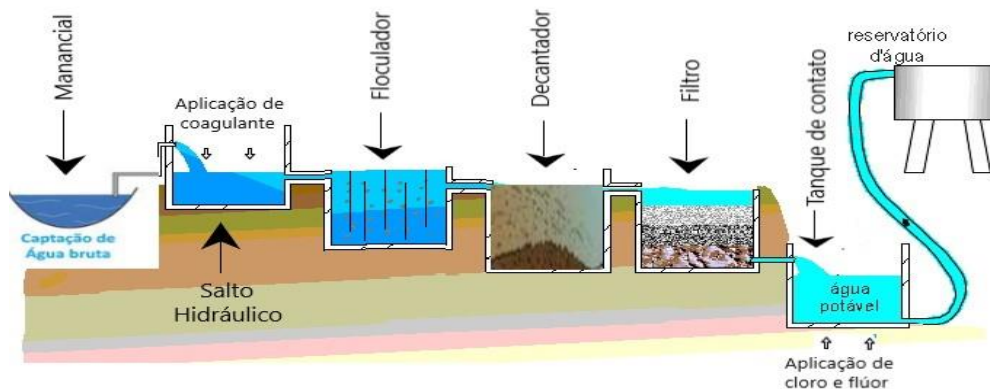


Figura 1: Esquema de tratamento convencional. Fonte: Guia da Engenharia (2018) [9].

É durante o processo de clarificação que se busca maior eficiência. O cuidado na aplicação do coagulante e a quantidade aplicada em prol de melhorar a qualidade no tratamento da água e a geração de resíduos sem excesso de produtos, são pontuais para otimização do processo.

2.3 Obtenção do Modelo

Para investigar a influência dos parâmetros da água na dosagem de sulfato de alumínio foram adotadas algumas variáveis independentes. Nesse sentido, visando acoplar a dependência da dosagem do coagulante com as variáveis independentes foi utilizado um modelo de Regressão Linear Múltipla – RLM [13], conforme Equação 1:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + \varepsilon_i, i = 1, \dots, n \quad (1)$$

Onde y_i representa o valor resposta da observação (ou dosagem do coagulante), x_{in} são os valores da i -ésima observação das p variáveis explicativas (parâmetros da água bruta), β_n são os coeficientes de regressão e ε_i correspondem aos erros aleatórios.

Para a implementação do modelo, foi utilizado o *software* R [14] com a extensão facilitadora do Rstudio [15].

2.4 Validação do Modelo

Para avaliar a coerência no sentido de ajuste do modelo ao fenômeno estudado, bem como a relevância das variáveis explicativas, foram tomados os pressupostos de normalidade, homocedasticidade e autocorrelação dos resíduos [16]. Utilizou-se um nível de significância estatística de 5% em todos os estudos matemáticos realizados.

A força da relação entre as variáveis foi avaliada pela Correlação de Pearson e para a análise de correlação foi realizado ajuste dos dados via transformação logarítmica, corroborando com Gazola et al. (2011) [17].

No intuito de investigar possível multicolineariedade analisou-se o fator de inflação da variância - *Variance Inflation Factor* (VIF), o qual quantifica a extensão da correlação entre uma variável explicativa e as outras em um modelo [18]. O teste para o cálculo do referido fator considerou $VIF < 10$ [10, 19], Para determinar a influência dos discrepantes nos resíduos avaliou-se o coeficiente determinação ajustado de R^2 .

Aplicou-se a avaliação de aderência via teste não-paramétrico *Jarque-Bera* para confirmação da normalidade no pressuposto em estudo. Para a confirmação da homocedasticidade dos resíduos

aplicou-se teste de *Breush Pagan*. Por fim, o teste de *Durbin Watson* para verificar a independência dos resíduos.

Além disso, todos os resultados foram analisados individualmente levando em consideração as demais variáveis e também situações anormais que poderiam ser importantes para explicar os dados destoantes a fim de aplicar as correções necessárias [16]. Buscas na literatura (Quadro 2) foram fundamentais para auxiliar no embasamento da discussão e justificativa dos resultados obtidos.

Quadro 2: Estudo da Arte na otimização dos processos de tratamento de água

<p>Título: Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos [20]</p>	<p>Resumo: Tratamento de água cinza proveniente de lavatório e chuveiro com aplicação de sulfato de alumínio e cloreto férrico para reaproveitamento. Foi feita a caracterização da água, avaliação e otimização das concentrações da mistura dos coagulantes e estudo da eficiência do processo. Os resultados indicaram que associar o sulfato de alumínio ao cloreto férrico em concentrações específicas potencializou a remoção da turbidez, de coliformes termotolerantes e do cloro residual.</p>
<p>Título: <i>Assessing water quality of Paraopeba River after the rupture of tailings dam</i> [21]</p>	<p>Resumo: Estudo do impacto do rompimento da barragem Brumandinho no rio Paraopeba através do estudo de fatores físico-químicos da água. Os dados indicam que, inicialmente após o desastre do rompimento da barragem, os resíduos impactaram significativamente a qualidade da água do rio. No entanto, ao longo do tempo houve diminuição desses impactos.</p>
<p>Título: Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de água em relação à turbidez, cor e pH da água [22]</p>	<p>Resumo: Estudo dos procedimentos operacionais e qualidade da água para verificar o desempenho de uma estação de tratamento de água. Execução de análises estatísticas de turbidez, cor e pH com observação das características climáticas e sua influencia na utilização dos coagulantes. Os resultados obtidos demonstraram que são necessárias adequações para melhorias na qualidade da água tratada e desempenho dos processos.</p>
<p>Título: Avaliação da coagulação/floculação como pós- tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando coagulantes químico e natural. [23]</p>	<p>Resumo: Estudo das análises físico-químicas para avaliar a qualidade do cloreto férrico e moringa como coagulantes para lixiviado de aterro sanitário. Os resultados de ambos os coagulantes mostram elevada eficiência para remoção de cor e turbidez, porém o coagulante derivado da moringa apresentou ineficiência para remoção de demanda química de oxigênio sendo necessário um melhor preparo do coagulante.</p>
<p>Título: Avaliação da eficiência de coagulantes comerciais para aplicação em sistemas de tratamento de água [24]</p>	<p>Resumo: Comparação do desempenho de diferentes coagulantes comerciais buscando melhor custo benefício para remoção de turbidez da água bruta em período de estiagem. Foram utilizados diagramas de coagulação para verificar eficiência no processo de clarificação.</p>

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos em cada etapa descrita na metodologia, no intuito modelar a relação de dependência da dosagem do coagulante com os parâmetros da água bruta.

Para ilustrar o comportamento das variáveis nas duas ETAs estudadas, foram elaboradas as Figuras 2 e 3. Para efeito de ajuste do modelo considerou-se apenas os parâmetros que contêm “outliers”, pois possibilitam identificar dados destoantes e assim determinar possíveis erros e/ou situações anormais que devam ser consideradas [16].

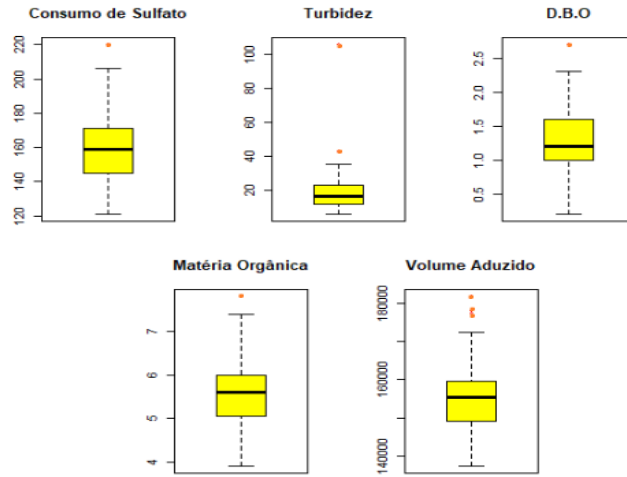


Figura 2: Diagrama de caixas da Cidade A. Sendo: D.B.O= demanda bioquímica de oxigênio.

Considerando-se os resultados obtidos, tem-se o valor de 220 para consumo de sulfato, 43 e 106 para turbidez, 2.7 para demanda bioquímica de oxigênio, 7.8 para matéria orgânica e 177289, 178127 e 181779 para volume aduzido. Respectivamente, optou-se pela permanência dos valores 220, 43, 7.8 e 177289, pois apesar de seus valores serem maiores que o Limite Superior do conjunto de dados estes podem ser explicados pelas alterações das características de água bruta dependentes do fator clima [25]. Em contra partida, as linhas que continham os valores 106, 2.7, 178127 e 181779, foram descartadas visto que não existiam informações suficientes que justificassem tais discrepâncias. Gazola et al. (2011) [17] aludem que pontos discrepantes podem ser retirados devido erro de medida e/ou transcrição de valor ou devido decisões do investigador o qual é conhecedor dos motivos reais destas observações discrepantes.

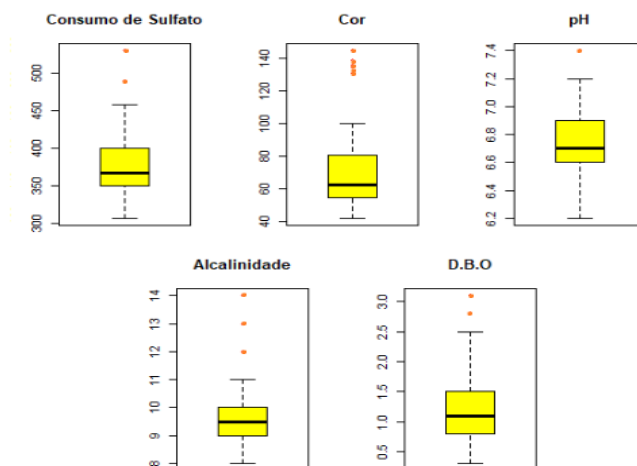


Figura 3: Diagrama de caixas da Cidade B. Sendo: D.B.O= demanda bioquímica de oxigênio.

Analisando-se os resultados obtidos para a cidade B (Figura 3), percebe-se que das 10 variáveis estudadas, cinco delas apresentaram “outliers”. Para o consumo de sulfato foram apresentados

dois “outliers”, sendo eles: 490 e 530. Ao analisar o banco de dados seria importante mantê-los, pois os mesmos podem ser explicados pelas alterações ocorridas nas características de água bruta bem como do volume utilizado devido variações do clima como citado anteriormente. Na variável cor, os valores são: 135, 139, 145, 136, 131. Tais valores podem ser mantidos, pois os mesmos relacionam-se intrinsecamente com o aumento relativo na média da turbidez da água bruta.

A ocorrência desta relação é dada pelo fato de que a cor aparente, análise realizada nas estações de tratamento nada mais é que um método de determinação aplicado sob amostras com turbidez, ou seja, com a presença de materiais coloidais ou em suspensão [26]. Cabe salientar que a maior decorrência para aumento destes fatores são as precipitações pluviométricas. O “outlier” presente nas observações de pH é 7,4. Analisando-se as demais variáveis, percebe-se que não existem indícios suficientes para garantir que o mesmo deve ser mantido no conjunto de dados, podendo causar discrepâncias consideráveis para os resultados futuros. Para a variável alcalinidade, percebe-se a presença de três “outliers” porém, numericamente são demonstrados seis “outliers” com valores repetidos, sendo eles: 4 com o valor 12, um de valor 13 e um de valor 14.

Ao estudar o conjunto de análises, decidiu-se manter tais valores. Compreende-se que houve uma elevação da média aritmética também do pH nos mesmos meses em que houve o aumento da alcalinidade o que já era esperado. De acordo com Bartiko e de Júlio [4] a alcalinidade auxilia no controle das variações de pH através do seu poder de tamponamento. Por fim, na DBO encontrou-se os valores 3,1 e 2,8. Como não se encontrou indícios suficientes para manter tais resultados, optou-se pela retirada da linha de análises destes valores, evitando assim, erros estatísticos nos estudos posteriores.

Os resultados obtidos no estudo da correlação linear entre as variáveis independentes e a variável dependente, sulfato de alumínio são descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Correlação linear entre variáveis independentes e o consumo de sulfato. Sendo: OD= demanda bioquímica de oxigênio, DBO= demanda bioquímica de oxigênio, MO= matéria orgânica e VO= volume aduzido.

Variáveis Independentes	Coefficiente de Correlação	p-valor
Turbidez	0,4649	1.1e ⁻⁰⁶
Cor	0,5399	6.736e ⁻⁰⁹
pH	0,0776	0,429
Alcalinidade	-0,9487	2.2e ⁻¹⁶
OD	0,5465	4.044e ⁻⁰⁹
DBO	0,0303	0,7650
MO	0,7860	2.2e ⁻¹⁶
VA	0,9236	2.2e ⁻¹⁶

**considerou-se para p-valor uma confiabilidade de 95%*

Em face dos resultados obtidos na Tabela 1, percebe-se facilmente a falta de linearidade para pH e DBO em relação ao consumo de coagulante, bem como seus, respectivos p-estatísticos 0,05. Sabe-se ainda que existe uma íntima relação entre regressão e correlação, sendo responsáveis respectivamente, pela medição de intensidade de associação linear de variáveis duas a duas e estimação da média das variáveis com base nos valores fixados de outras variáveis [17]. Desta forma, as variáveis pH e DBO foram descartadas visto que não estão significativamente correlacionadas com a variável consumo.

No estudo da multicolinearidade obteve-se como valor VIF < 10 (Figura 4) para todas as variáveis indicando ausência de multicolinearidade severa [10].

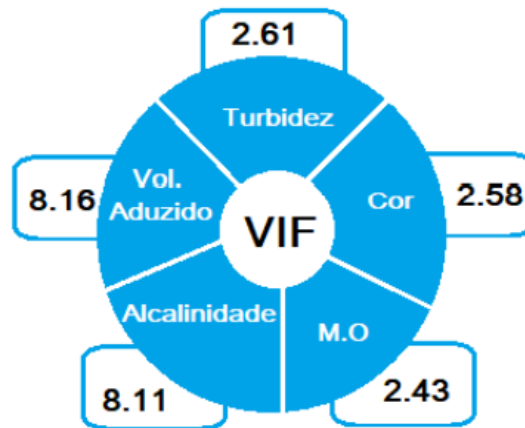


Figura 4: Representação gráfica dos ViF's. Sendo: Vol. Aduzido=volume aduzido e MO= matéria orgânica.

O teste gráfico de normalidade dos resíduos (Figura 5) apresentou resultados favoráveis, corroborando com a avaliação de aderência obtida via teste não-paramétrico *Jarque-Bera* para confirmação no pressuposto em estudo.

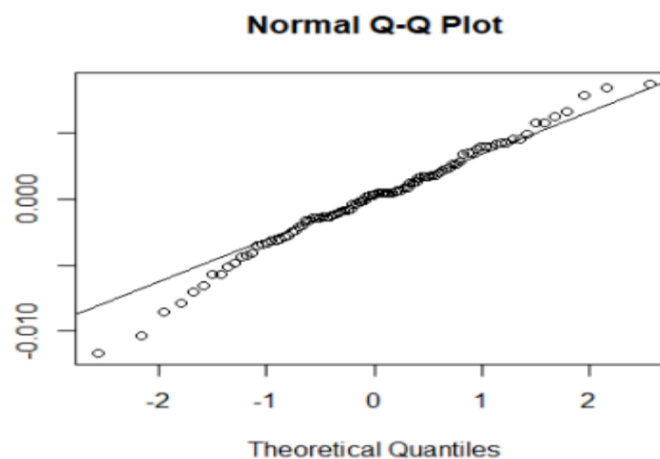


Figura 5: Representação gráfica do teste de normalidade.

Ao realizar a observação gráfica nota-se que existe grande parte dos dados com distribuição normal [16], porém para confirmação estatística, realizou-se o teste de aderência não-paramétrico *Jarque-Bera*, obtendo-se um p-valor = 0,1979. Considerando-se significância estatística de 5% (cinco por cento), confirma-se a normalidade dos resíduos visto que para este teste, H_0 demonstra normalidade e H_a caracteriza distribuição não normal. Como p-valor > 0,05 aceita-se a hipótese H_0 [16].

A confirmação da homocedasticidade dos resíduos cotravés do teste de *Breush Pagan*, obtendo-se p-valor = 0,7074. Por fim, o teste de *Durbin Watson* p-valor= 0,4918 mostrou a independência dos resíduos. Após análises dos resíduos para validação do modelo obtivemos o resultado apresentado na Equação 2:

$$\text{Cons} = 0,127 + 1,71^{-4}Tu - 5,1e^{-5}cor + 3,105e^{-4}alca - 6,236e^{-3}mo - 5,429e^{-8}va \quad (2)$$

Onde: Cons representa o consumo de sulfato gasto em quilogramas (kg) para um determinado volume em função das características físico-químicas da água bruta; Tu representa a turbidez da água com transformação logarítmica; Cor representa a coloração da água em mg/L PtCo; Alca

significa a alcalinidade em mg/L CaCO₃; Mo indica a matéria orgânica da água bruta em mg/L O₂; va representa o volume aduzido em m³.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um estudo de ajuste de um modelo de regressão linear múltipla compatível a duas estações de tratamento de água localizadas em duas cidades do Rio Grande do Sul, para explicar a dependência do consumo de sulfato de alumínio dos parâmetros brutos da água.

Ao analisarem-se as variáveis explicativas pertencentes ao modelo final, estatisticamente, podemos afirmar que existe uma relação considerável entre a variável dependente (consumo) e as variáveis independentes (turbidez, cor, alcalinidade, matéria orgânica e volume aduzido), confirmando algumas previsões teóricas iniciais esperadas. Além disso, as análises mostraram que variáveis físico-químicas, pH e DBO exercem pouca influência no consumo do coagulante, sendo assim desconsideradas no conjunto de regressões do modelo.

As facilidades de ajuste aliadas ao bom desempenho na descrição do fenômeno estudado mostram que o modelo apresentado pode ser aplicado às demais ETAs de mesmo porte. Contudo, salienta-se que, a pesquisa continua em andamento com o intuito de melhor compreender os fatores responsáveis pela obtenção de um modelo de predição mais completo, capaz de abranger demais procedimentos existentes no tratamento de água.

5. AGRADECIMENTOS

À Companhia Riograndense de Saneamento, CORSAN, pela disponibilização dos dados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Antunes CV, Lourenço APN, Silva ELP, Hermenegildo W, Krelling AP, Tonetti EL, et al. A pressão antrópica nas áreas de captação de água no município de Antonina - Estado do Paraná. *Guajú- Rev Bras Desenv Territ Sustent*. 2019 Jul;5(2):42-53. doi: 10.5380/guaju.v5i2.70815
2. Henriques JA, Libânio M, Costa VAF, Oliveira MD. Modelo de predição de desempenho de estações de tratamento de água de pequeno porte usando redes neurais artificiais. *Rev DAE*. 2020 Mar;68(221):87-100. doi: 10.36659/dae.2020.008
3. Michelan DCGS, Batista IF, Batista DF, Santos DG, Mendonça LC, Lima DM. Desempenho das etapas de tratamento de água da estação de tratamento de água Poxim. *Rev Scientia cum Industria*. 2019;7(3):7-14.
4. Bartiko D, de Julio M. Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. *Rev Ambient e Água*. 2014 Oct;10(1):71-81. doi: 10.4136/ambi-agua.1239
5. Libânio, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 4. ed. rev. ampl. Campinas (SP): Átomo; 2016.
6. Almeida AF, Macena IMA, Oliveira JS. Análise da concentração de alumínio residual no Rio Gramame proveniente dos efluentes da ETA- Gramame, João Pessoa-PB. *Rev Ambient*. 2016 Jun;2(1):88-96.
7. Silva ALO, Ramos MS, Luiz MR, Souza NC, Nascimento APS, Silva JEOA, et al. Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada. *Braz J Dev*. 2020 Jan;6(1):1413-20. doi: 10.34117/bjdv6n1-098
8. Silva MMAPM, Faria SD, Moura PM. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). *Rev Eng Sanit Ambient*. 2017 Jan-Feb;22(1):133-43. doi: 10.1590/S1413-41522017134420
9. Guia da Engenharia: Estação de tratamento de água, entenda seu funcionamento. Guia da Engenharia [Internet]; 2018 [citado em 30 ago 2022]. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/estacao-tratamento-agua/>
10. Richter, CA. Tratamento de lodo de estações de tratamento de água. São Paulo: Blucher; 2001.
11. Santos GZB, Melo JÁ, Manzato L. Perspectivas de aplicações tecnológicas de lodo gerado no processo de tratamento de água dos rios Negro e Solimões. *Rev Matéria*. 2018;23(3):14. doi: 10.1590/S1517-707620180003.0501
12. Amâncio DV, Rodrigues FN, Ribeiro, KD, Coelho G. Caracterização do lodo gerado numa estação de tratamento de água. *Rev Sustentare*, 2018;1(1):29-44.doi: 10.5892/st.v1i1.4220

13. Assis JP. Regressão e correlação linear simples e múltipla. 1. ed. Mossoró (RN): EduFERSA; 2013.
14. Oksanen J, Blanchet FG, Friendly M, Legendre RKP, McGlenn D, Minchin PR, et al. *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6. R Core Team. 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=vegan>
15. R Studio Team. *RStudio: Integrated Development for R*. Boston (US): R Studio, PBC; 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>
16. Malaman CS, Amilton A. Método para determinação de valores na avaliação imobiliária: Comparação entre o Modelo de Regressão Linear e Lógica Fuzzy. *Bol Cienc Geod*. 2017 Mar;23(1):87-100. doi: 10.1590/S1982-21702017000100006
17. Gazola S, Scapim CA, Guedes TA, Braccini AL. Proposta de modelagem não-linear do desempenho germinativo de sementes de milho híbrido. *Cienc Rural*. 2011 Apr;41(4):551-6. doi: 10.1590/50103-84782011005000022
18. Capp E, Nienov OH. *Epidemiologia Aplicada Básica*. 1. ed. Porto Alegre (RS): UFRGS; 2020.
19. Hair Jr JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL. *Análise multivariada de dados*. 6. ed. Tradução: Adonai Schlup Sant'anna e Anselmo Chaves Neto. Porto Alegre (RS): Bookman; 2005.
20. Paula HM, Fernandes CE. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. *Rev Engenharia Sanitaria e Ambiental*. 2018;23:951-61. doi: 10.1590/S1413-41522018169155
21. Fonseca FV, Linhares AMF, Silva JRP, Bassini ID, Bassini JP, Kronemberger FA, et al. Assessing water quality of Paraopeba River after the rupture of tailings dam. *Rev Ciência e Tecnologia Ambiental*. 2022;1:1-18. doi: 10.1007/s13762-022-04430-2
22. Almeida MC, Silva MM, De Paula M. Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de água em relação à turbidez, cor e pH da água. *Rev Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*. 2017;25-40. doi: 10.9771/gesta.v5i1.17396
23. Porto CA, Andrade MMA, Silva CM, Silva ES, Rocha EMR. Avaliação da coagulação/floculação como pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando coagulantes químico e natural. *Rev DAE*. 2019;67(218):17-23. doi: 10.4322/dae.2019.029
24. Rôla AKK, Castro GM, Souza JLL, Santana HF. Avaliação da eficiência de coagulantes comerciais para aplicação em sistemas de tratamento de água. *J Engin Exact Sci*. 2016;2(3):14-33. doi: 10.18540/jcecvl2iss3pp014-033
25. Processo de tratamento de água. *Águas de Corupá* [Internet]; 2019 [citado em 14 ago 2019]. Disponível em: <https://aguasdecorupa.com.br/institucional/processo-de-tratamento-de-agua>
26. De Julio M, Fioravante DA, Oroski FI. Avaliação da influência dos parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação no tratamento de água empregando o sulfato de alumínio e o PAC. *Rev. UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias*. 2008;14(02):109-20. doi: 10.5212/publicatio.v14i02.776