



Universidade Federal
de São João del-Rei

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL- REI
CAMPUS ALTO PARAÓPEBA
ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

**ESTUDO OPERACIONAL UTILIZANDO A LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL**

Tamara Cristina de Souza Araújo – 164250028

Ouro Branco – MG

2022

ESTUDO OPERACIONAL UTILIZANDO A LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL

Tamara Cristina de Souza Araújo – 164250028

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Bioprocessos.

Professor Orientador: Edson R. Nucci

Ouro Branco – MG

2022

ESTUDO OPERACIONAL UTILIZANDO A LÓGICA FUZZY NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA POTÁVEL

Tamara Cristina de Souza Araújo – 164250028

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao Curso de Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de São João del Rei, Campus Alto Paraopeba, como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Bioprocessos.

Professor Orientador: Edson R. Nucci

Ouro Branco, 19 de novembro de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. - UFSJ (José Augusto Zorel)

Prof. Dra. - UFSJ (Priscila Gonçalves)

Professor Orientador: Edson Nucci

Agradecimentos

Em primeiro lugar, a Deus, que me proporcionou saúde e perseverança neste momento tão desafiador.

A minha avó, que mesmo distante, me inspira e me apoia nos meus sonhos.

Aos professores, pelas correções e ensinamentos que foram e ainda são fundamentais no meu processo de formação. E, em especial, ao meu Professor Orientador Edson Nucci, que sempre admirei como pessoa e profissional e, não mediu esforços para me orientar sempre que precisei.

E, por fim, aos meus colegas de curso, que se tornaram colegas da vida, com quem vivenciei relações de apoio e incentivo mútuo, permitindo que eu enfrentasse os obstáculos da melhor maneira.

Resumo

As características da água fornecida aos processos industriais possuem significativa importância em uma Estação de Tratamento de Água, uma vez que uma qualidade fora do ideal causa danos às tubulações da indústria e, conseqüentemente, gastos com manutenção. Quando se trata de água potável, a qualidade fora dos padrões de potabilidade, sejam eles físicos, químicos, microbiológicos, organolépticos, presença de cianobactérias/cianotoxinas e até mesmo radioatividade, pode ocasionar danos que, mesmo que não causem grandes danos, causam desconfortos ao ser humano. Atualmente, o uso de ferramentas computacionais que possam auxiliar o usuário no apoio de decisão, obtenção de resultados mais robustos, se tornam de fundamental importância. Neste sentido, dentre as ferramentas disponíveis na literatura, como Redes Neurais Artificiais e Algoritmos Genéticos, pode-se destacar também a Lógica Fuzzy. Esta técnica tem como principal objetivo a modelagem computacional à sistemas ambientais, devido a sua capacidade de refletir o pensamento humano, lidar com informações não lineares que possuem um grau de subjetividade e trabalhar com informações quantitativas e qualitativas. Portanto, este trabalho tem como objetivo a aplicação da Lógica Fuzzy na avaliação da qualidade da água potável, para que tais respostas cooperem com o fomento e o apoio técnico ao controle da qualidade da água fornecida, por meio da análise de três parâmetros principais do efluente: pH, Turbidez e Residual de Cloro.

Palavras-chave: água; efluente; Lógica Fuzzy; parâmetros; qualidade, tecnologia.

Abstract

The characteristics of the water supplied to industrial processes are of significant importance in a Water Treatment Plant, since a non-ideal quality causes damage to industry pipes and, consequently, maintenance costs. When it comes to drinking water, quality outside potability standards, whether physical, chemical, microbiological, organoleptic, cyanobacteria/cyanotoxins and even radioactivity, can cause damage that, although not serious, causes discomfort to human beings. Currently, the use of computational tools that can help the user in decision support, obtaining more robust results, become of fundamental importance. In this sense, among the tools available in the literature, such as Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms, Fuzzy Logic can also be highlighted. This technique has as main objective the computational modeling of environmental systems, due to its ability to reflect human thinking, deal with non-linear information that has a degree of subjectivity and work with quantitative and qualitative information. Therefore, this work aims to apply Fuzzy Logic in the evaluation of drinking water quality, so that such responses cooperate with the promotion and technical support for the control of the quality of the water supplied, through the analysis of three main parameters of the effluent: pH, Turbidity and Chlorine Residual.

Keywords: water; effluent; Fuzzy Logic; parameters; quality, technology.

Lista de Figuras

Figura 1 - Diagrama do processo de inferência Fuzzy.	16
Figura 2 - Variáveis de entrada (pH, Turbidez e Residual de Cloro).....	18
Figura 3 - Variável de saída (Qualidade da Água).....	18
Figura 4 - Superfície de resposta considerando Turbidez vs Residual de Cloro na avaliação da qualidade da água potável	20
Figura 5 - Superfície de resposta considerando pH vs Residual de Cloro na avaliação da qualidade da água potável	20
Figura 6 - Superfície de resposta considerando pH vs Turbidez na avaliação da qualidade da água potável.....	21

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Parâmetros de entrada utilizados e suas respectivas funções de pertinência.....	17
Tabela 2 - Lógica Fuzzy para determinar a qualidade da água.	19

Lista de Abreviaturas e Siglas

E.T.A	Estação de Tratamento de Água
E.T.A.P	Estação de Tratamento de Água Potável
pH	Potencial Hidrogeniônico
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio

Sumário

1. Introdução.....	11
2. Objetivo.....	12
2.1. Objetivos Específicos	12
3. Revisão Bibliográfica.....	12
3.1. Tratamento de efluentes.....	12
3.2. Tratamento de água potável.....	13
3.3. Principais parâmetros monitorados no tratamento da água potável	13
3.3.1. pH.....	13
3.3.2. Turbidez.....	14
3.3.3. Residual de Cloro	14
3.4. Lógica Fuzzy.....	15
4. Metodologia	16
5. Resultados e Discussão	17
6. Conclusão.....	21
7. Referências Bibliográficas	22

1. Introdução

A utilização de água pela indústria pode ocorrer de diversas formas como, por exemplo, em incorporação ao produto ou em lavagem de pisos. Sendo assim, é fundamental dar importância às consequências dos processos produtivos, ou seja, à garantia que os efluentes não prejudiquem a qualidade dos ecossistemas ao seu redor, bem como o produto final (SILVEIRA, 2010).

Além de processos industriais, a água fornecida pela Estação de Tratamento de Água (E.T.A) também pode ser consumida pelo ser humano, entretanto, é necessário que ela seja tratada e atenda aos parâmetros de potabilidade. Este tratamento é realizado em uma outra estação de tratamento, comumente chamada de Estação de Tratamento de Água Potável (E.T.A.P) (ARAUJO, 2013).

A escolha da tecnologia de tratamento para alcançar a potabilidade requerida depende de alguns fatores, tais como as características da água bruta, custos, manuseio e confiabilidade dos equipamentos, flexibilidade operacional, localização geográfica, características da comunidade, e disposição final do lodo e/ou resíduos gerados (LIBÂNIO, 2010). E, cada vez mais, a utilização de programas computacionais tem colaborado para o desenvolvimento e otimização de processos em diversas áreas, se tornando mais evidente devido à pandemia de COVID-19, uma vez que essa crise forçou uma aceleração tecnológica em todo o mundo, indicando que esse progresso deve continuar. (ARAUJO, 2021)

A área de programação computacional é de grande ajuda no controle de sistemas industriais e, parte do princípio da aplicação de técnicas que reduzem a interferência humana, visando a otimização dos processos. A Lógica Fuzzy, por exemplo, são algoritmos que tem a capacidade de refletir o pensamento humano, lidar com informações não lineares que possuem um grau de subjetividade e trabalhar com informações quantitativas e qualitativas, assim, além de ela poder ser aplicada em uma Estação de Tratamento de Água (E.T.A), a mesma premissa é válida para uma Estação de Tratamento de Água Potável (E.T.A.P), a fim de avaliar as características da água potável fornecida (MASSELLI, PRADO, 2014; MENEGETTI, 2004).

Quando o efluente possui os parâmetros fora do ideal e a água é consumida, podem causar desconfortos, tais como náusea e vômito ou até mesmo algumas doenças parasitárias (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006; FUNASA, 2014).

É necessário reconhecer o direito de todos os seres humanos em relação ao acesso à água de boa qualidade, pois a qualidade da água está diretamente relacionada com a saúde pública.

Dito disso, o objetivo do trabalho consiste em propor um sistema de apoio à tomada de decisão utilizando a Lógica Fuzzy a fim de avaliar a qualidade da água potável, cooperando com o fomento e o apoio técnico ao controle da qualidade da água fornecida pela E.T.A.P para consumo humano, por meio da análise de três parâmetros principais da água. São eles: pH, turbidez e residual de cloro.

2. Objetivo

Propor um sistema de apoio à tomada de decisão utilizando a Lógica Fuzzy a fim de avaliar a qualidade da água potável em uma Estação de Tratamento de Água Potável.

2.1. Objetivos Específicos

- Determinar as variáveis de entrada e saída;
- Elaborar as funções de pertinência a fim de representar, de forma clara, a relação das variáveis e a qualidade do efluente;
- Construir a base de regras a fim de determinar a qualidade do efluente (Ótima, Razoável e Ruim).
- Realizar as simulações do processo utilizando o Software Scilab® a fim de interpretar o comportamento das variáveis.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Tratamento de efluentes

Com o surgimento de problemas relacionados à escassez e poluição de água, há um grande interesse por parte de vários setores econômicos, ambientais e políticos pelo tratamento adequado da água (SAUTCHÚK et al., 2009).

Os tratamentos de efluentes industriais estão diretamente ligados a preservação ambiental, sendo que estes envolvem a remoção de impurezas geradas na fabricação do produto de interesse de cada indústria (CRESPILHO et al., 2004).

Um sistema de tratamento de efluentes é constituído por uma série de etapas e processos, os quais são empregados para a remoção de substâncias indesejáveis da água ou para sua transformação em outra forma que seja aceitável pela legislação ambiental. Os principais

processos de tratamento são reunidos em um grupo distinto, sendo eles os processos físicos, químicos e biológicos (PROJETO MUNICIPIO VERDE, 2012).

Além disso, há a necessidade de monitoramento dos principais parâmetros relacionados à qualidade da água, que são parâmetros físico-químicos e microbiológicos, tais como a cor, a turbidez, a coloração, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO), pH, óleos e graxas (MARCONDES, 2012). No caso de indústrias, esse acompanhamento é de suma importância, uma vez que as águas podem ser utilizadas de diversas formas, como por exemplo, incorporação aos produtos, limpeza de tubulações e equipamentos, resfriamento, dentre outras funções de acordo com cada processo. Caso os parâmetros estejam fora dos limites desejados, podem causar danos a tubulações e/ou equipamentos do processo.

3.2. Tratamento de água potável

Desde a antiguidade, o homem procurava, mesmo que intuitivamente, condicionar a qualidade da água a padrões que evoluíram de aspectos visuais ou organolépticos até a época atual com o controle e definição de limites em níveis de constituintes traços (DUARTE, 2011). Com a evolução tecnológica e avanço dos estudos, esse controle tende a ser cada vez mais automatizado e otimizado.

Para que possa ser destinada ao consumo humano, é de fundamental importância o tratamento que transforma uma dada qualidade da água bruta, oriunda da E.T.A, tornando-a potável e protegida quanto a posteriores fatores nocivos à sua qualidade e, consequentes danos à saúde dos colaboradores da empresa.

Esses processos de tratamento visam a remover ou diminuir as concentrações de substâncias encontradas na água bruta até padrões estabelecidos para a água potável, definidos no Brasil pela Portaria N.º 518 (BRASIL, 2004). Assim, a função essencial das Estações de Tratamento de Água Potável existente dentro de uma indústria consiste, em última instância, em tornar a água potável, ou seja, adequar suas características ao padrão de potabilidade vigente.

3.3. Principais parâmetros monitorados no tratamento da água potável

A seguir estão descritos alguns dos principais parâmetros que caracterizam a qualidade da água: o pH, a turbidez e o residual de cloro.

3.3.1. pH

O potencial hidrogênio (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H⁺). Ele influencia em diversos equilíbrios químicos que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de águas e, por isso, é um parâmetro importante em muitos estudos no campo do saneamento ambiental. Ele abrange a faixa de 0 a 14 sendo que inferior a 7, são condições ácidas e, superior a 7, são condições alcalinas.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Além disso, o efeito indireto é muito importante, podendo em determinadas condições de pH, contribuir para a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados e outras condições que podem exercer efeitos sobre a solubilidade de nutrientes (CETESB, 2012).

Para a adequada manutenção da vida aquática, o pH deve situar-se, geralmente, na faixa de 6 a 9. Entretanto, a Portaria MS n.º 2914/2011 estabelece que o intervalo para águas de abastecimento deve ser entre 6,5 e 9,5, a fim de minimizar os problemas de incrustação e corrosão das redes de distribuição.

3.3.2. Turbidez

A turbidez pode ser definida como uma medida do grau de interferência à passagem da luz através do líquido, que é influenciada pela presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plânctons em geral, etc (PIVELI, 2000).

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exigem manobras operacionais, como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas estações de tratamento de águas (CETESB, 2012).

Além da ocorrência de origem natural, a turbidez da água também pode ser causada por lançamentos de esgotos domésticos ou industriais.

A turbidez natural das águas está, geralmente, na faixa de 3 a 500 unidades fins de potabilidade; a turbidez deve ser inferior a 1 unidade. Tal restrição fundamenta-se na influência da turbidez nos processos usuais de desinfecção, atuando como escudo aos micro-organismos patogênicos, minimizando a ação do desinfetante.

3.3.3. Residual de Cloro

A cloração é um processo adotado como sistema de desinfecção tanto de águas como de esgotos, onde o cloro é o desinfetante mais utilizado nesses casos e o mais importante dentre todos os elementos utilizados na desinfecção da água (MEYER,1994). Além desta aplicação, ele também é usado no tratamento de águas para eliminar odores e sabores, diminuir a intensidade da cor, auxiliar no combate à proliferação de algas, colaborar na eliminação de matérias orgânicas e auxiliar na sua coagulação. (DIAS et al, 2012).

Além disso, seu uso tem ação contra os micro-organismos patogênicos presentes na água, não é nocivo ao homem na dosagem requerida para desinfecção, não altera outras qualidades da água depois de aplicado, não requer operação complexa para sua aplicação e mantém um residual ativo na água, isto é, sua ação contínua depois de ser aplicado.

Contudo, a presença de cloro livre ou outros agentes oxidantes é um fator preocupante em alguns processos, como por exemplo, caldeiras. A corrosão nesses equipamentos é geralmente causada pela presença de gases dissolvidos (principalmente o oxigênio) e sua reação com o ferro presente no aço do equipamento (TROVATI, 2009). Para fins de potabilidade, a Portaria da Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde recomenda que a água fornecida contenha um teor mínimo de 0,5 miligramas por litro (mg/L) e máximo de 2 mg/L de cloro residual livre. Quando o residual encontra-se acima de 2 mg/L, o consumidor passa a perceber sensorialmente o cloro, seja pelo gosto, seja pelo cheiro. Vale ressaltar que o cloro não altera a cor da água, mesmo quando em concentrações muito maiores do que 2mg/L.

3.4. Lógica Fuzzy

Criada em 1965, a teoria dos conjuntos fuzzy foi desenvolvida pelo professor na Universidade da Califórnia em Berkeley, Lotfi Zadeh (SANDRI; CORREA, 1999). Derivado desta teoria temos o controle fuzzy, um método que não se utiliza de modelos matemáticos, onde o sistema é basicamente sua estrutura e as funções de pertinência (TUSSET, 2008).

As funções de pertinência representam as características fundamentais das ações teóricas e práticas dos sistemas Fuzzy (TUSSET,2008). Segundo Tusset (2008) uma função de pertinência é uma função tabulada ou numérica gráfica que concede valores de pertinência Fuzzy para valores discretos de uma determinada variável.

Um sistema Fuzzy consiste em uma combinação de números ou funções de associação e regras Fuzzy SE-ENTÃO, que suportam a representação de sistemas complexos em um modelo linguístico que pode ser processado, lidando de forma eficiente com as características de

incerteza que estão presentes em muitos problemas do mundo real, em contrapartida com modelos tradicionais que envolvem soluções exatas (AMAITIKI, 2020). Sua aplicação fornece resultados mais acurados, além de apresentar desempenho estável e robusto (GOMIDE & GUDWIN, 1994).

A teoria de conjunto Fuzzy tem sido aplicada nas mais diversas áreas e, sua visão geral está ilustrada na Figura 1.

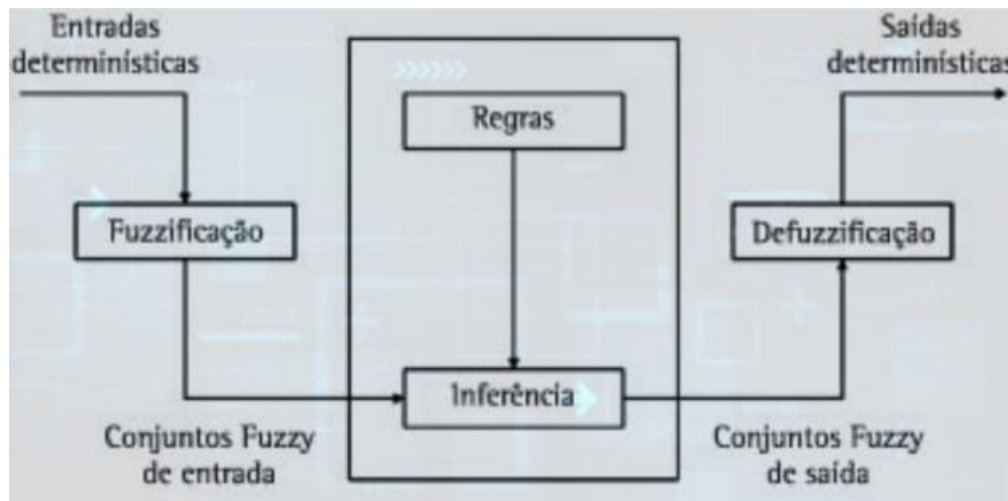


Figura 1 - Diagrama do processo de inferência Fuzzy.

Fonte: adaptado de Silva (2007)

As funções de pertinência podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas. Os tipos mais comuns em aplicações Fuzzy são triangulares, trapezoidais e gaussianas (SHAW; SIMÕES, 1999).

Com o intuito de obter resultados, há dois tipos de implicações Fuzzy, que são chamadas de regras de inferência, o modo afirmativo e negativo, ambos operando de forma a se basear em premissas ou condições, as quais geram uma determinada consequência. O racional de cada uma das regras do sistema Fuzzy, pode ser representada pela afirmação se-então, podendo o antecedente e o consequente serem combinados pelos conectivos lógicos "e" ou "ou". (TUSSET, 2008)

4. Metodologia

Para a avaliação da qualidade da água potável foram utilizados alguns dos principais parâmetros que são analisados pelo próprio operador da E.T.A.P ou seja, o pH, a turbidez e o residual de cloro.

Utilizando a ferramenta Fuzzy do Software Scilab®, determinou-se as variáveis de entrada. O pH foi particionado em termos linguísticos como “ácido”, “ideal” e “básico”; a turbidez foi descrita utilizando os termos linguísticos “ótima” e “alta”. E, por fim, para o residual de cloro utilizou-se os termos “ideal”, “baixo” e “alto. Foram utilizadas funções trapezoidais e triangulares, de acordo com a necessidade de cada parâmetro. A escolha de tais funções se comparada com outras, como por exemplo, gaussiana, sino, rampa, se deve a alguns estudos prévios realizados neste trabalho.

5. Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra como foram classificados os parâmetros de entrada de acordo com seus respectivos limites de trabalho.

Tabela 1 - Parâmetros de entrada utilizados e suas respectivas funções de pertinência.

Parâmetro	Limite	Função de Pertinência
pH	Entre 0 e 7,0	Ácido
	Entre 6,0 e 9,5	Ideal
	Entre 8,0 e 14,0	Básico
Turbidez	< 1,0	Ótima
	> 1,0	Alta
Residual de Cloro	>2,0	Alto
	Entre 0,5 e 2,0	Ideal
	< 0,5	Baixo

Fonte: Normas de Potabilidade - Portaria de Consolidação nº 5 DE 28/09/2017.

As Funções de Pertinência de cada uma das variáveis de entrada são ilustrados na Figura 2.

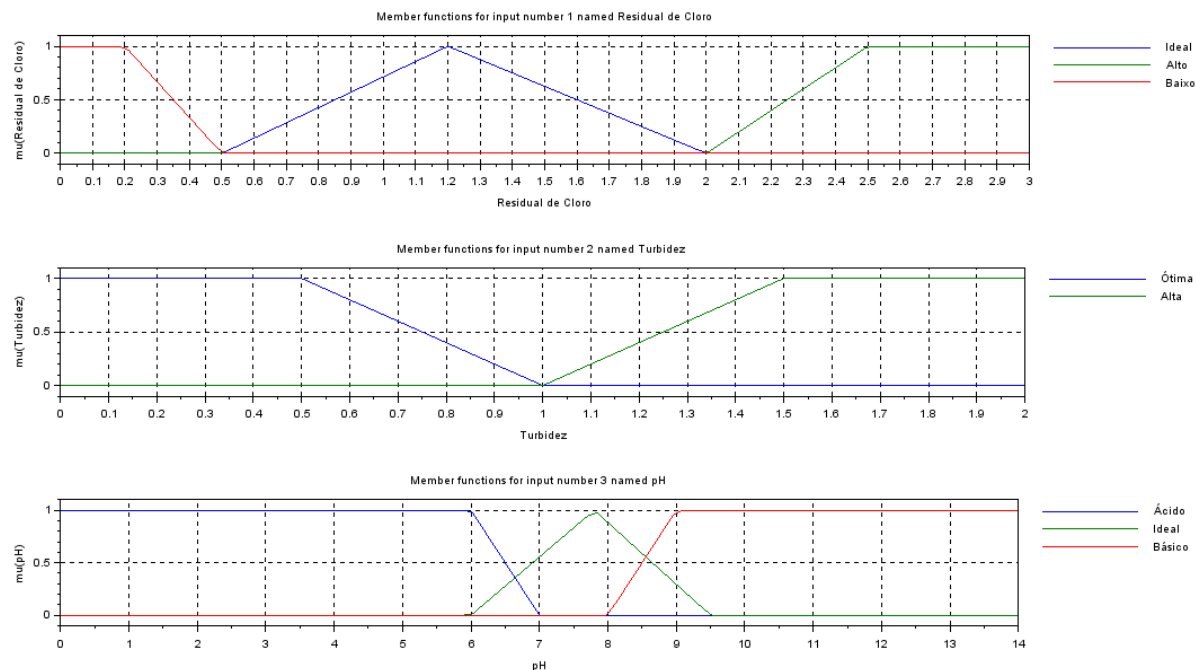


Figura 2 - Variáveis de entrada (pH, Turbidez e Residual de Cloro)

Fonte: próprio autor (2022)

A variável de saída, qualidade da água potável, foi descrita utilizando os termos linguísticos como “ótima”, “razoável” e “ruim” e as Funções de Pertinência resultante são ilustrados na Figura 3.

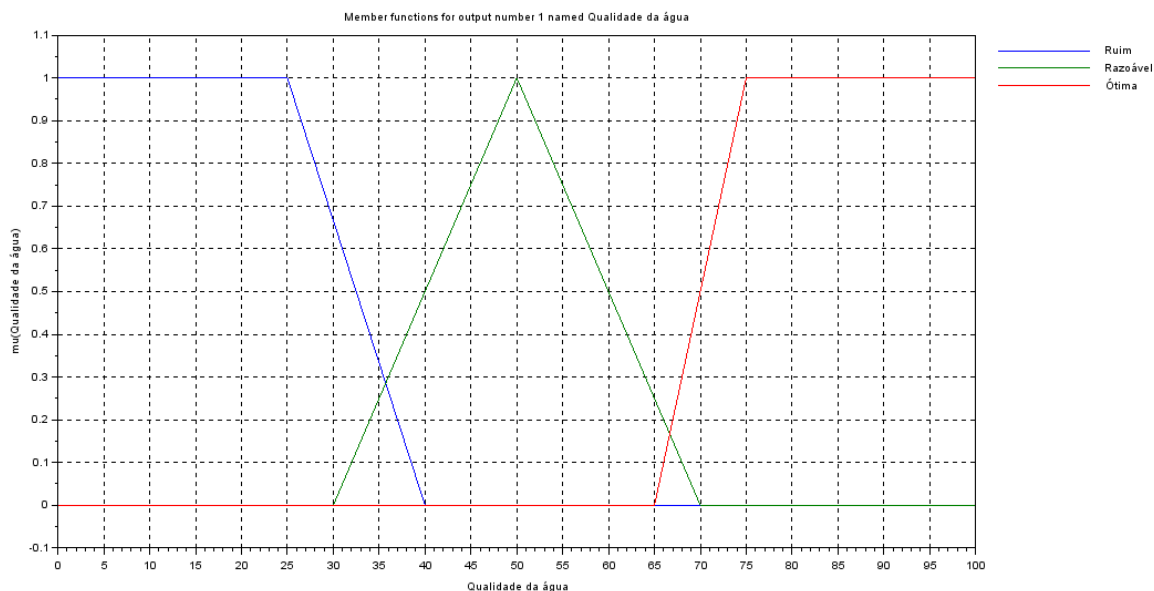


Figura 3 - Variável de saída (Qualidade da Água)

Fonte: próprio autor (2022)

Por fim, a característica da união (utilizando o termo “E”) foi o tipo de função usada para definir as regras de pertinência. Vale ressaltar que dentre as possibilidades, a Lógica Fuzzy dá a liberdade da utilização de termos da interseção (“OU”) ou da negação (“NÃO”). As regras têm a função de definir as relações entre os subconjuntos Fuzzy de entrada e saída. As especificações foram definidas com base nos dados disponibilizados na literatura referentes aos parâmetros do tratamento de efluentes (ROSS, 2010). A modelagem das regras com regras do tipo "SE-ENTÃO" foram construídas e no total, foram definidas seis regras, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Lógica Fuzzy para determinar a qualidade da água.

Nº	Regra de Pertinência
R1	Se residual de cloro IDEAL E turbidez ÓTIMA E pH IDEAL ENTÃO a QUALIDADE é ÓTIMA;
R2	Se residual de cloro IDEAL E turbidez ALTA E pH ÁCIDO ENTÃO a QUALIDADE é RUIM;
R3	Se residual de cloro ALTO E turbidez ÓTIMA E pH IDEAL ENTÃO a QUALIDADE é RAZOÁVEL;
R4	Se residual de cloro ALTO E turbidez ALTA E pH ÁCIDO ENTÃO a QUALIDADE é RUIM;
R5	Se residual de cloro BAIXO E turbidez ÓTIMA E pH IDEAL ENTÃO a QUALIDADE é RAZOÁVEL;
R6	Se residual de cloro BAIXO E turbidez ALTA E pH BÁSICO ENTÃO a QUALIDADE é RUIM.

A partir dos parâmetros de entrada e saída, foram obtidos gráficos, fornecidos pelo próprio programa e, assim, ter uma resposta de interesse a qualidade da água em porcentagem.

Por meio dos parâmetros de entrada e saída, bem como as regras de pertinência determinadas, os resultados obtidos foram analisados por meio da interpretação dos gráficos fornecidos pelo Software Scilab®.

No caso da relação entre a turbidez e o residual de Cloro, o comportamento do gráfico ilustra que o ápice da qualidade da água é o “razoável”, ocorrendo quando ambos parâmetros estão dentro do ideal.

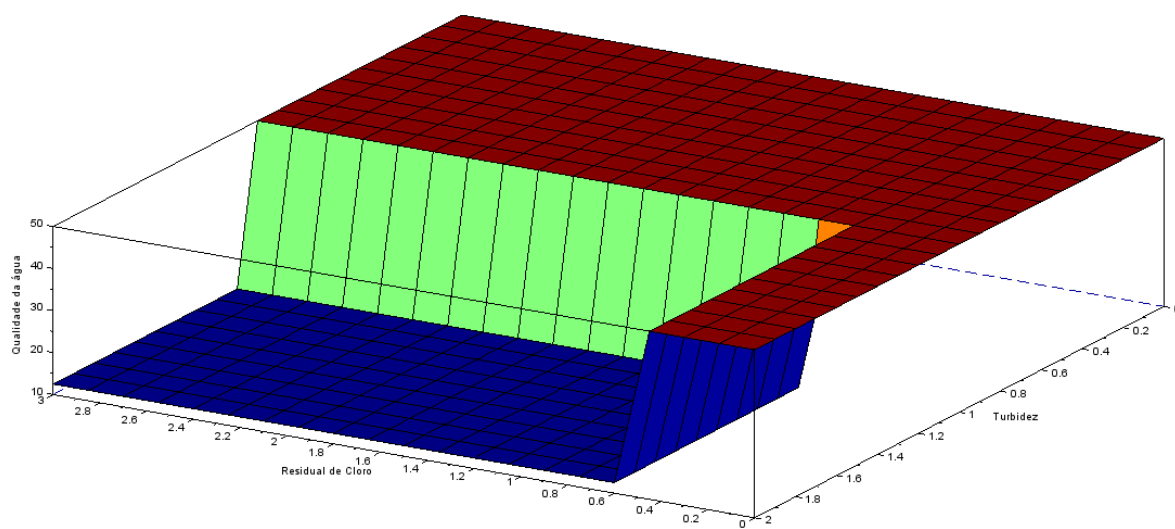


Figura 4 - Superfície de resposta considerando Turbidez vs Residual de Cloro na avaliação da qualidade da água potável

Fonte: próprio autor (2022)

A Figura 5 ilustra a relação entre o residual de Cloro e o pH. É possível observar que quando ambos se encontram ideais, o efluente atinge qualidade ótima, com valores acima de 80 %.

O residual de cloro deve apresentar um teor mínimo de 0,5 mg/L, para que assim, esteja apta para o consumo humano.

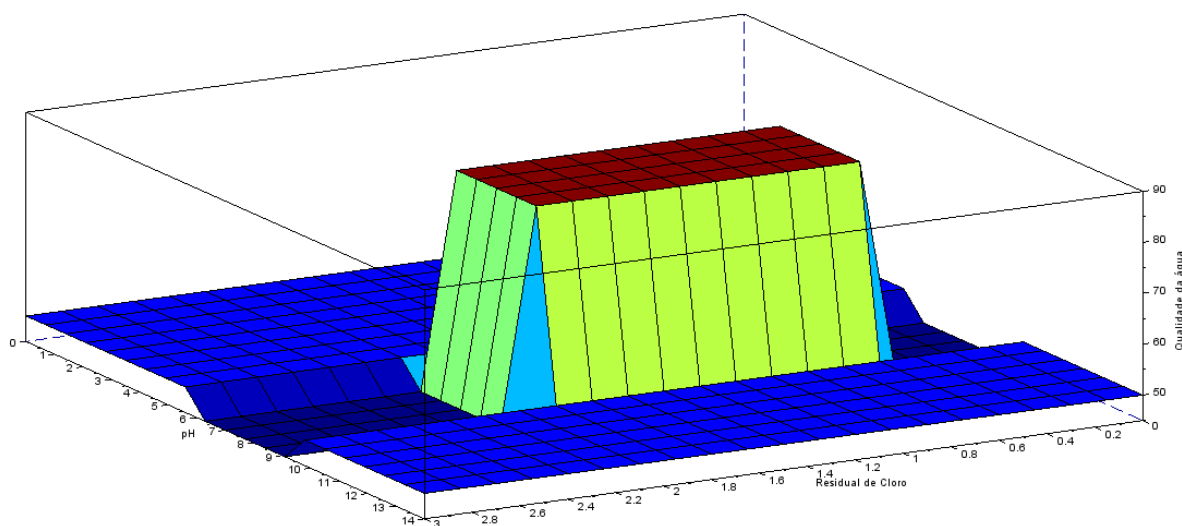


Figura 5 - Superfície de resposta considerando pH vs Residual de Cloro na avaliação da qualidade da água potável

Fonte: próprio autor (2022)

A Figura 6 ilustra a relação entre a turbidez e o pH da água, onde é possível observar que quando ambos se encontram ideais, o efluente atinge a qualidade razoável máxima de 50 %. No entanto, quando a água apresenta turbidez e pH elevados, a qualidade dela é ruim. Isso ocorre, pois a alta turbidez afeta a água potável, visto que o padrão desta é inferior a 1,0. Além disso, os baixos valores de pH contribuem para a corrosividade e agressividade nas tubulações, e elevados aumentam a possibilidade de incrustações. Portanto, ele também deve ser monitorado neste processo.

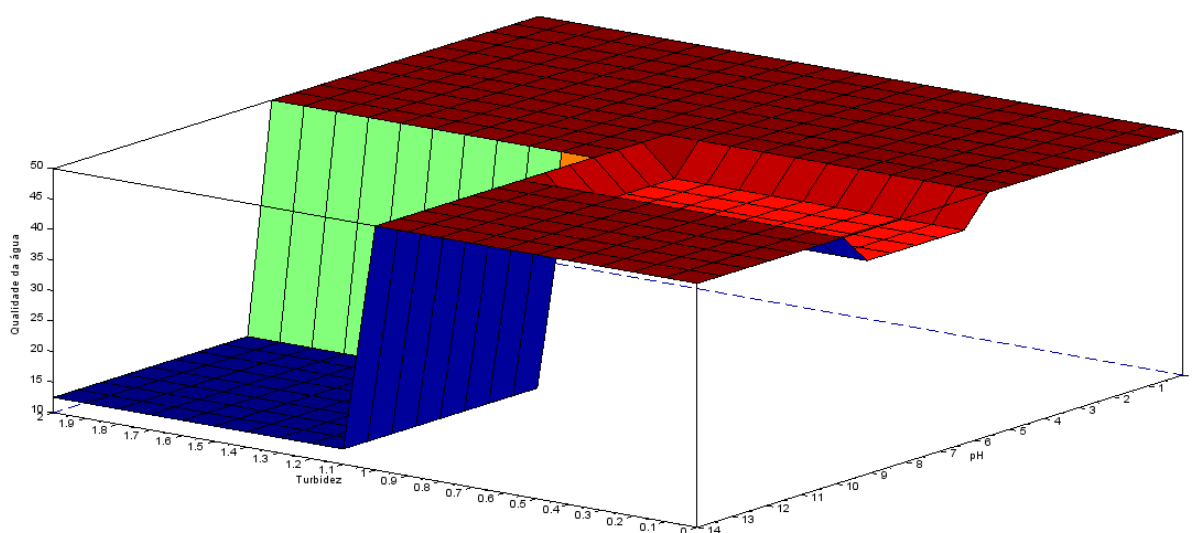


Figura 6 - Superfície de resposta considerando pH vs Turbidez na avaliação da qualidade da água potável

Fonte: próprio autor (2022)

Por fim, mediante as análises das superfícies, nota-se importância de manter os parâmetros dentro do pré-estabelecido para evitar danos à saúde humana ou até mesmo atrasos operacionais. No entanto, caso haja desvio e os parâmetros estejam fora do desejado, isso não impede que o efluente seja usado para outro fim, como por exemplo, lavagem de pisos.

6. Conclusão

Este trabalho dissertou sobre os conceitos inerentes a lógica Fuzzy e sua aplicação na determinação da qualidade da água potável tratada em uma Estação de Tratamento de Água Potável. Com esta metodologia, pode-se observar que usá-la no controle de parâmetros deste tipo sistema, propicia melhores condições, como por exemplo, como um sistema de apoio de decisão ao especialista.

Os resultados obtidos, mostram de forma gráfica, a correlação entre os a turbidez, o residual de cloro e o pH e o impacto destes na qualidade do efluente, uma vez que eles garantem o padrão de potabilidade da água.

Visto que esta técnica se assemelha a forma humana de raciocinar e tomar decisões, espera-se que os resultados reforcem os benefícios de usar tecnologia neste processo.

7. Referências Bibliográficas

AMAITIKI, N. The basics of Fuzzy systems technology: a complete tutorial. Nasser Amaitiki, 2020.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE (2004). Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano. Portaria nº 518/2004, de 25/03/2004. Brasília: MS

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

CETESB. Variáveis de qualidade das águas. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/variaveis.asp>>. Acesso em: 19 set. 2021. Não paginado.

CRESPILHO, Frank Nelson; SANTANA, Claudemir Gomes; REZENDE, Maria Olímpia Oliveira. Tratamento de efluentes da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. Química Nova, v. 27, n. 3, 2004, p.387-392.

DIAS, Leandro H. Martins; STIPP, VIVIAN; SOUZA, Janette Beber de. Processos Empregados na Desinfecção de Esgotos Sanitários. Disponível em: <http://www.unicentro.br/graduacao/deamb/semana_estudos/pdf_08/PROCESSOS%20EMPREGADOS%20NA%20DESINFEC%C7%C3O%20DE%20ESGOTOS%20SANIT%C1RIO%20S.pdf>. Acesso em: 15 set. 2022.

DUARTE, Marco Antonio Calazans. Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração. 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GOMIDE, F.A.C. & GUDWIN, R.R. (1994) Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. SBA controle & Automação, v. 4 n. 3, p. 97-115. Disponível em: <<ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/RevSBA94.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2022.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas, SP: Editora Átomo, 2010. 3a Edição.

Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014.

MASSELLI Y.M.C.; PRADO L.A., Aplicação de lógica Fuzzy e Arduino em controle de processos, 2014. Disponível em: <<https://www.inatel.br/biblioteca/posseminarios/seminario-de-automacao-industrial-e-sistemas-eleto-eletronicos/isaisee/9381-aplicacao-de-logica-fuzzy-e-arduino-em-controle-de-processos/file>>. Acesso em 03 out. 2022.

MEYER, Sheila T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. Cadernos de Saúde Pública, v. 10, p. 99-110, 1994.

NORMAS BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5 DE 28/09/2017. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-de-consolidacao-5-2017_356387.html. Acesso em: 8 out. 2022.

Portaria nº. 2914/2011. Estabelece as responsabilidades e procedimentos relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

PROJETO MUNICÍPIO VERDE. Conceitos Fundamentais e Principais Soluções no Tratamento de Esgoto. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/municipioverdeazul/DiretivaEsgotoTratado/ApostilaTratamentoEsgotos.pdf>>. Acesso em 20 set. 2022.

ROSS, T.J. (2010) Fuzzy Logic with Engineering applications. 2nd ed. England: Wiley. 607 p.

SANDRI S.; CORREA, C., Lógica Nebulosa, V Escola de Redes Neurais, Promoção: Conselho Nacional de Redes Neurais ITA, São José dos Campos – SP. pp. 73-90. 1999.

SAUTCHÚK, Carla Araújo; LANDI, Fernando Del Nero; MIERZWA, José Carlos; VIVACQUA, Maria Carolina Rivoir; SILVA, Mauricio Costa Cabral; LANDI, Paulo Del Nero; SCHMIDT, Willian. In: Manual de reuso da Água para as Industriais. Federação e centro das Indústrias do Estado de São Paulo, São Paulo, 91 p. 2009.

SHAW, I. S., SIMÕES, M.G., Controle e Modelagem Fuzzy. FAPESP, Editora Edgard Blücher LTDA, São Paulo. 1999.

SILVEIRA, Gustavo Echenique. Sistemas de tratamento de efluentes industriais. 2010.

TUSSET A. M., Comparação entre a aplicação do controle ótimo e o controle fuzzy em um modelo de suspensão não-linear, Tese para obtenção do título de doutor em engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2008.