



Faculdade de  
Engenharia Química  
Departamento de Engenharia de  
Sistemas Químicos

## **MODELAGEM EMPÍRICA DE UM PROCESSO DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO (FAD) UTILIZANDO SISTEMA DE INFERÊNCIA ADAPTATIVA NEURO-FUZZY (ANFIS).**

Aluno: Luis Miguel Ticianeli Ferreira

RA: 202298

Orientador: Prof. Dr. Flávio Vasconcelos da Silva – DESQ/FEQ

### **1. Introdução**

A água é essencial para a vida na Terra. Presente nos três estados físicos ao redor do globo, sólido na forma de geleiras; líquido na forma de oceanos, mares, rios, lagos e lagoas; e gasoso de forma dispersa na atmosfera, a água sempre foi sinônimo de vida. Contudo, infelizmente, a medida que a sociedade se desenvolve tecnologicamente, a situação desse recurso tão importante vem se tornando cada vez mais problemática.

Nesse contexto, processos como a flotação por ar dissolvido (FAD), tornam-se alternativas viáveis para o tratamento de águas de abastecimento e efluentes industriais. A FAD é o processo de flotação mais utilizado no tratamento de efluentes industriais (RUBIO et al., 2002). Contudo, apesar do processo ser amplamente utilizado, quase não há relatos do uso de instrumentação e automação de tal processo na literatura assim como modelos matemáticos que possam ser utilizados de forma prática.

## 2. Objetivos

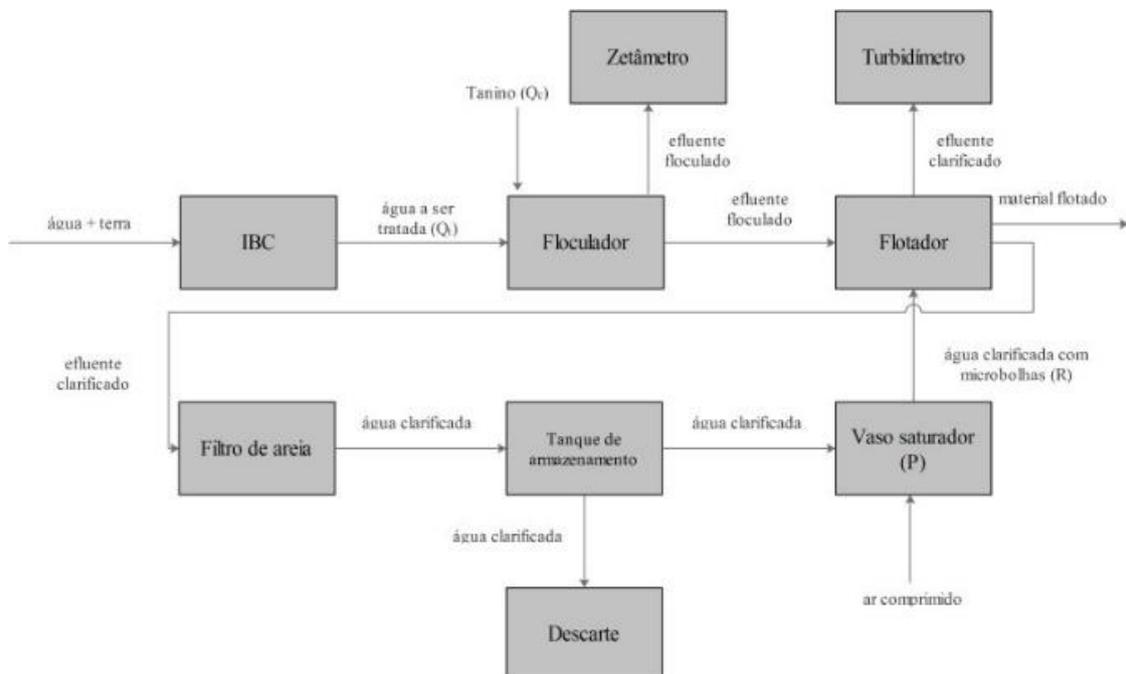
A proposta principal é o desenvolvimento de um modelo empírico baseado em uma técnica de Inteligência Artificial: sistemas neuro-fuzzy (ANFIS), que irá ser aplicada em um processo tratamento de água utilizando flotação por ar dissolvido (FAD), avaliando experimentalmente seu desempenho sob diferentes cenários.

## 3. Processo de Flotação por Ar Dissolvido

O método utilizado nesse projeto consiste em injetar microbolhas de ar no afluente, o que promove o arraste das partículas em suspensão, reduzindo sua densidade aparente e promovendo o acúmulo das mesmas na superfície do líquido. Sendo enquadrada como um processo de clarificação, a FAD é empregada na remoção de partículas em estações de tratamento de efluente através de filtração em meio granular (Edzwald, 2010).

A FAD deve ser precedida de pré- tratamentos de coagulação e/ou floculação, a fim de agregar as partículas dissolvidas em agregados maiores, garantindo maior eficiência na etapa de flotação. (BICKERTON, 2012)

## 4. Planta Piloto



**Figura 1.** Diagrama de Blocos (BFD) da planta piloto de FAD.(Silvestre, 2017)

A planta piloto utilizada neste projeto se encontra no Laboratório de Controle e Automação de Processos (LCAP) , sendo as diferentes etapas envolvidas neste processo são apresentadas no diagrama de blocos (BFD) presente na Figura 1.

O efluente utilizado é composto por água e terra vermelha, sendo armazenado em reservatórios IBC com capacidade de 1000 L .

O floculador, é composto por três seções, sendo que a primeira e a terceira possuem agitadores mecânicos. Na sua entrada, duas bombas dosam a vazão de coagulante e floculante desejadas e um transmissor indicador de pH monitora tal variável.

Parte da água que sai do flotador é enviada para um turbidímetro online, que mede a eficiência da flotação, e logo depois é descartada. Outra parte vai para um filtro cilíndrico de areia, que é responsável por reter partículas sólidas que não tenham sido removidas no processo de flotação. A água tratada (clarificada) que sai do filtro é armazenada em um tanque, a partir do qual parte dessa água é descartada e parte é reciclada e enviada ao vaso saturador.

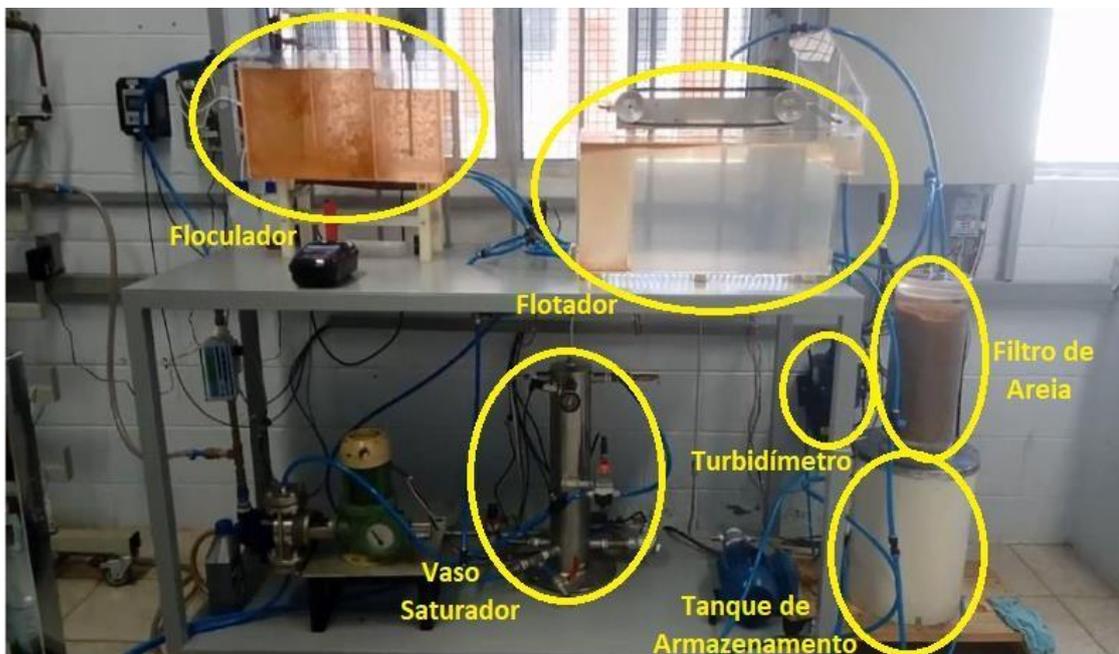


Figura 2. Protótipo de Flotação por Ar Dissolvido.

## 5. Resultados

Foi utilizado um banco de dados coletado de experimentos realizados na planta disponível. Do total obtido, foi separado 70% para o treinamento do algoritmo, e os 30% restante, foram utilizados como teste, como é recomendando na literatura. Além disso, foi feita a normalização da variável de saída, turbidez resultante, através dos seus limites. A Tabela 1 representa a etapa de manipulação do banco de dados descrita.

**Tabela 1 - Banco de dados utilizado na aplicação da ANFIS**

<b>Nº dados Total</b>	<b>Nº dados Treino</b>	<b>Nº dados Teste</b>	<b>Limite inferior – f(x)</b>	<b>Limite superior – f(x)</b>
20230	14161	6069	2,88	7,166

Sendo a turbidez inicial das amostras como 100 NTU, foi utilizado o toolbox Fuzzy do software Matlab. Nele, determinando a ANFIS sendo uma função Sugeno, foi inserido o conjunto de dados de treinamento e teste. Selecionando método de sub clustering na construção das funções pertinências, foi selecionado valores para a otimização dele, como representado na Tabela 2 abaixo

**Tabela 2 – Parametrização do algoritmo de Treinamento**

<b>Range of influence</b>	<b>Accept ratio</b>	<b>Reject ratio</b>	<b>Método – Funções Pertinência</b>
0.5	0.5	0.15	Sub.clustering

Finalmente, foi realizado o treinamento e teste dos conjuntos de dados, sendo o critério de parada,  $5 \times 10^{-2}$ , atingido após 5 épocas, como representado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Resultado do obtido com o Treinamento**

<b>Erro de Treinamento</b>	<b>Épocas</b>	<b>Tipo de ANFIS</b>
0.0347	5	Sugeno

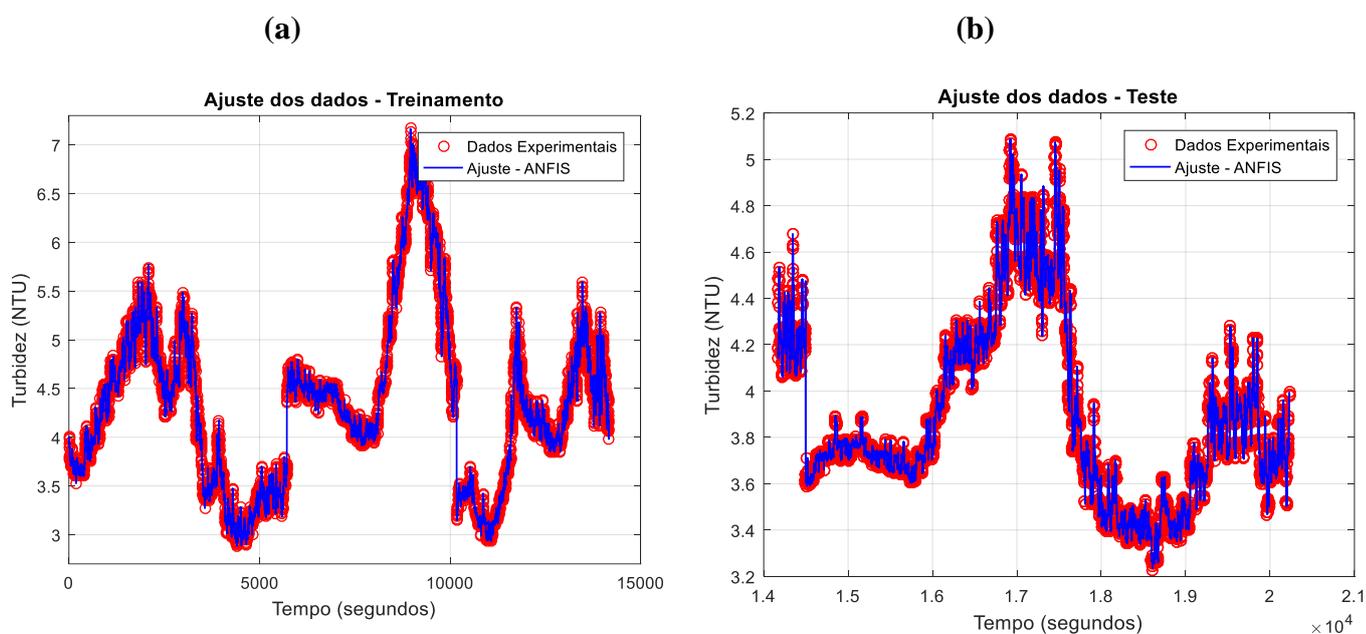
Para analisar a robustez do algoritmo, calculou-se os desvios de cada ponto dentro do banco de dados. Com isso, foi possível utilizar formulas estáticas que permitam diferentes análises, como desvio padrão, média de desvio obtido e o maior desvio observado.

**Tabela 4 – Resultados da análise estatística dos desvios entre os dados ANFIS e experimentais**

<b>Desvio Padrão</b>	<b>Média</b>	<b>Maior desvio observado - Módulo</b>
0,028	0, 02	0,872

Analisando a Tabela 4, despreende-se que o método foi de extrema eficácia e robustez. Com valor de média e desvio padrão sendo pequenos, conclue-se uma confiabilidade e precisão no ajuste obtido.

Foi feita também a análise gráfica do ajuste dos resultados, nos intervalos de treinamento e teste. O resultado foi extremamente satisfatório, como desmonstrado nas Figuras 5a e 5b.



**Figura 5** (a) Ajuste comparativo entre os dados obtido do Treinamento com os experimentais ; (b) Ajuste comparativo entre os dados obtido do Teste com os experimentais

## 6. Referências Bibliográficas

Edzwald, J. K. Dissolved air flotation and me. *Water Research*, v. 44, n. 7, p. 2077–2106, 2010. Elsevier Ltd.

Fonseca, R. R. *Monitoramento e Controle Avançado Aplicados à Flotação por Ar Dissolvido*, 2017. Universidade Estadual de Campinas.

Matlab & Simulink (2004-2007). *OPC Toolbox™ 2 – User's Guide*. The MathWorks™.

Sivakumar, R.; Sahana, C.; Savitha, P. A. (2012). Design of ANFIS based Estimation and Control for MIMO Systems. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(3), 2803-2809.

Souza, A. C. O. *Modelagem empírica do comportamento dinâmico de um Protótipo de Flotação por Ar Dissolvido baseada na aplicação de Redes Neurais Artificiais*, 2019. Universidade Estadual de Campinas.