

PROTÓTIPO AUTOMÁTICO PARA ESTIMATIVAS DE PERDAS NATURAIS DE ÁGUA EM SUPERFÍCIES ABERTAS

JOSÉ CARLOS FERREIRA¹; VINICIUS TREVISANI CABRAL DE OLIVEIRA²

¹Fatec TATUÍ - Coordenadoria do Curso de Automação Industrial

²Fatec Tatuí

jose.ferreira35@fatec.sp.gov.br

Automatic prototype for estimating natural water losses on free surfaces

Eixo Tecnológico: Recursos Naturais

Resumo

A preocupação com reservatórios hídricos no Brasil começou ganhar destaque a partir dos anos 1980 se intensificando nas perdas de água por processos evaporativos a partir do final de 1990. [1]. Diante das mudanças climáticas e os efeitos do aquecimento global, pesquisadores e administradores públicos começam a se preocupar em relação à segurança hídrica do planeta, especificamente abastecimento público, desedentação de animais, uso industrial e agrônomo. Medidas de perdas de água por processos evaporativos naturais são difíceis de se obter, dada a complexidade e número de variáveis físicas envolvidas no processo de evaporação em superfície aberta e com poucos recursos tecnológicos disponíveis. Várias técnicas de medidas de evaporação podem ser encontradas no texto de Sanches, F.O, et al 2023, e dentre elas destaca-se o uso de um tanque de aço inoxidável, denominado tanque Classe A, ainda, muito usado por pesquisadores. Nesse sentido, este estudo decidiu desenvolver em regime de RJ, um protótipo totalmente automatizado, para funcionar integrado ao microclima de uma estação meteorológica também automática, para além de obter estimativas das perdas de água por evaporação, estudar o comportamento e as influências das principais variáveis nos processos evaporativos em reservatórios tais como; açudes, represas, lagos, etc.

Palavras-Chave: Reservatórios hídricos, Perdas de água, Aquecimento global

Abstract

Concerns about water reservoirs in Brazil began to gain prominence in the 1980s, with water losses due to evaporation intensifying from the end of the 1990s. [1]. In the face of climate change and the effects of global warming, researchers and public administrators are beginning to worry about the planet's water security, specifically public supply, animal watering, and industrial and agronomic use. Measurements of water losses due to natural evaporative processes are difficult to obtain, given the complexity and number of physical variables involved in the evaporation process on an open surface and with few technological resources available. Several evaporation measurement techniques can be found in the text by Sanches, F.O, et al 2023, and among them the use of a stainless-steel tank, called a Class A tank, still widely used by researchers, stands out. In this sense, this study decided to develop, under an RJ regime, a fully automated prototype, to operate integrated with the microclimate of an automatic meteorological station, in addition to obtaining estimates of water losses through evaporation, studying the behavior and influences of the main variables in the evaporative processes in reservoirs such as; dams, reservoirs, lakes, etc.

Keywords: Water reservoirs, Water losses, Global warming

1. Introdução

Atualmente, as Fatec Tatuí e Votorantim, possuem cada uma um tanque Classe As remanescentes da antiga estação meteorológica número 83851 do INMET, desativada em 2024. Esses tanques são patrimônios do DAEE, cedidos para a realização simultânea do experimento acima intitulado.

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

Aliados às vantagens de terem uma estação meteorológica automática do SIMET em seus respectivos Campus, aliada à disponibilidade do uso dos tanques Classe A, e contar com docentes especialistas, laboratórios de automação industrial da Fatec Tatuí e alunos capacitados em eletrônica avançada e manutenção industrial, decidiu-se introduzir inovações tecnológicas nos tanques Classe A, tornando seu funcionamento automático com acesso online por celular ou notebook. Ferreira et al, [3] trabalhando com uma série histórica de 5 anos de dados de evaporação em tanque Classe A, obtidas com um sistema manual (gancho com parafuso micrométrico, obteve resultados coerentes de evaporação no Campus da Fatec Sorocaba.

Além disso, o tanque passará a funcionar integrado ao mesmo microclima da estação meteorológica, usando suas nove variáveis meteorológicas do microclima do entorno do tanque, as quais deverão ser submetidas à análise estatística de componentes principais, para um melhor diagnóstico das principais variáveis, que influenciam o processo de perda de água por evaporação dos reservatórios naturais regionais.

2. Materiais e Métodos

A metodologia se baseará em alguns princípios termodinâmicos aplicáveis à água e ao ar subjacente. Isto, porque, o interesse da pesquisa em perdas de água por evaporação natural, relaciona-se com o fato de o ar atmosférico ser constituído por diversos gases em proporções diferentes, sendo um deles o vapor de água. Em 1808, John Dalton estabeleceu a Lei das pressões parciais num gás, onde cada gás participante, atua independentemente dos outros, de modo que a pressão total é igual a soma das pressões parciais de cada gás. Como se sabe, o ar atmosférico é basicamente formado por N₂ (nitrogênio), O₂ (oxigênio), Ar, CO₂, vapor de água e outros em menor quantidade (radônio, argônio etc.). Como se deduz, a presença de vapor na atmosfera indica uma continua transferência de moléculas de água na fase líquida para a fase de vapor. A pressão parcial de vapor da equação de Dalton é conhecida como pressão de vapor. Reichardt, K. [2], descreveu que se num dado local, as pressões dos gases foram medidas, resultando em 720 mmHg, então segundo a lei de Dalton, teríamos: P_{atm}= 720 mmHg; a pressão do N₂= 547mmHg; P_{O2}= 151 mm; P_{ar}=7,2 mmHg; P_{CO2}=0,2mmHg e P_{vapor} =14,6 mmHg, obedecidas as proporções de cada elemento.

Assim: $720 = 547 + 151 + 7,2 + 0,2 + 14,6$ cada uma em mmHg

O valor 14,6 foi obtido para completar o total de 720.

Isso mostra que a quantidade de vapor na atmosfera é variável. Além disso, medidas práticas de vapor do ar subjacente ao tanque tornam-se praticamente difíceis de serem realizadas. Ainda com relação à *pressão de vapor de água* apontada na Lei de Dalton, é importante a ser considerada do ponto de vista termodinâmico. Por essa razão, cada tanque terá um flutuador para um termômetro registrar a temperatura de pressão de vapor da água, durante o tempo todo. Outro ponto importante da termodinâmica envolvida no processo de evaporação da água é o conceito de *temperatura da pressão de vapor* da água. A água no estado líquido tem suas moléculas em constante agitação se movendo em várias direções e colidindo com as paredes do recipiente. Essa agitação é o que os físicos chamam de temperatura. Na parte superior da água no tanque forma-se uma película invisível de moléculas, ligadas umas às outras, formando em malha invisível, denominada linha de tensão superficial, que impede a saída das moléculas para cima. Com a ação da radiação solar a temperatura aumenta e as velocidades das moléculas também aumentam, até que em determinado algumas adquirem energia cinética o suficiente para romper a tensão superficial. As moléculas que conseguem sair do tanque são arrastadas

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

pelo vento e pela queda da pressão intermolecular. A temperatura da água nesse ponto de ruptura da camada de tensão superficial é denominada *temperatura de pressão de vapor*. O termômetro acoplado no flutuador do tanque é usado para medir essa temperatura. Resumindo:

Com essas considerações teóricas, decidiu-se pelas medidas indiretas da evaporação da água do tanque, pelo abaixamento do nível da água no tanque.

Do ponto de vista dos materiais, serão desenvolvidos dois protótipos similares de tanques, integrados a uma estação meteorológica automática do SIMET. Nas figuras (1) e (2) seguir, mostram a montagem dos tanques junto a estação meteorológica automática. Na figura (1), em Tatui, o tanque aparece dentro do cercado meteorológico, útil para evitar a presença de animais (cães). Na foto, os sensores de anemometria (direção e velocidade do vento), ainda não estavam rebaixados para ficar perto do tanque. Em Votorantim o cercado meteorológico está sendo fabricado, com apoio e projeto de alunos do curso de Controle de Obras. Um tablado de madeira deve ficar 20,0 cm, acima do gramado, para assegurar boa ventilação por baixo do tanque. Cada tanque deverá ser furado no fundo com diâmetro de 127 mm ($\frac{1}{2}$ "), para a fixação de um sensor de pressão hidrostática calibrado em [mbar]. A altura máxima da água no tanque deverá ser de 0,20 m e não deverá ficar abaixo de 0,10 m. O sensor de pressão hidrostática foi gentilmente cedido pela empresa Wika, instalada em Iperó – SP, que possui em sua unidade de trabalho, vários alunos da Fatec Tatui, graduados em Automação Industrial. Trata-se de um sensor de alta precisão produzido na Alemanha, para aplicações tecnológicas de precisão em pequenas variações de pressão. Da teoria de estática dos fluidos, será utilizada a equação fundamental da estática dos fluidos, proposta por Stevin, citada em [4] e foram usadas as unidades de mbar para as medidas de pressão no fundo da água no tanque.

A equação fundamental da estática dos fluidos é dada por:

$$P = \rho g \Delta h \quad (1)$$

Da equação (1), a variável de interesse na pesquisa será Δh e para isso, foi elaborada a tabela 1, que apresenta os possíveis valores esperados da altura da água. Conhecendo-se as dimensões geométricas do tanque, e usando cálculo, as variações da altura da água no tanque deverão ser transformadas em volume de perdas de água, que é o objetivo do projeto.

Tab. 1 - Valores teóricos esperados de h em função da pressão em milibares.

h[m]	P [Pa]	P[milibar]	h[m]	P [Pa]	P[milibar]
0,200	195,78	1,9578	0,10	97,89	0,9789
0,190	185,991	1,85991	0,09	88,101	0,88101
0,18	176,202	1,76202	0,08	78,312	0,78312
0,17	166,413	1,66413	0,07	68,523	0,68523
0,16	156,624	1,56624	0,06	58,734	0,58734
0,15	146,835	1,46835	0,05	48,945	0,48945
0,14	137,046	1,37046	0,04	39,156	0,39156
0,13	127,257	1,27257	0,03	29,367	0,29367
0,12	117,468	1,17468	0,02	19,578	0,19578
0,11	107,679	1,07679	0,01	9,789	0,09789

Fonte: (Autor, 2025).

3. Resultados e Discussão

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJ

Alguns resultados obtidos até o momento, dizem respeito às montagens dos equipamentos para a realização dos experimentos. As figuras 1 e 2 a seguir, mostram as montagens dos tanques juntos às respectivas estações meteorológicas nos Campus de Tatui e de Votorantim.

Fig. 1 – Campus de Tatuí



Fonte: (Autor, 2025).

Fig. 2 – Campus de Votorantim



Fonte: (Autor, 2025).

Os testes com os termos flutuadores mostraram-se dentro do esperado. O bulbo do termômetro ficou localizado exatamente na região imediatamente acima da linha de tensão superficial da água do tanque. Os testes com o sensor de pressão estão sendo feitos no laboratório do SIMET no prédio 2 da Fatec Tatuí. A sequência de fotos mostra os testes dos termos flutuadores no Campus de Tatuí, com a participação dos alunos Vinicius Trevisani e Regiane L. Ferreira (bolsista).

Fig. 3 - Campus da Fatec Tatui próximo à Estação meteorológica do SIMET, dia 12/02/2025.



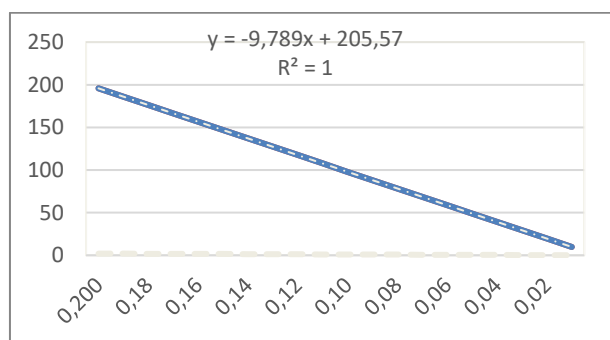
Fonte: (Autor, 2025).

Algumas providências ainda não foram concluídas, como por exemplo; o alambrado do cercado meteorológico em Votorantim, o qual deverá ser desenvolvido em aulas práticas por alunos do Curso de Controle de Obras.

NOTA: No dia 24 último, tive o prazer de receber do Vinicius, os primeiros resultados dos testes realizados no laboratório do SIMET na Fatec Tatui. Essa foi uma etapa fundamental para o início das medidas com os tanques de evaporação nos Campus de Tatui e Votorantim.

O gráfico da figura 3 é apresentado apenas para confirmar na relação linear teórica esperada, entre a pressão hidrostática na análise de regressão simples, com base na tabela 1.

Fig. 4 - Gráfico da pressão [Pa] x Altura da coluna de água [m]



Fonte: (Autor, 2025).

4. Considerações finais

Até o momento, a maioria das ações previstas na fase inicial do planejamento do projeto foram realizadas com sucesso. O rebaixamento do sensor de anemometria da estação meteorológica automática de Tatui, para aproximá-lo à 50 cm do nível da água do tanque, deverá ocorrer esta semana. Ao invés de disponibilizar uma máquina na Central de Operações, optou-se pelo uso de tablets (notebooks) ou celulares. Quanto às operações na programação do sensor de pressão, para transformar mbar em altura de coluna de água, estão sendo finalizadas. Após o final da montagem no Campus de Tatui, um sensor idêntico deverá ser

Anais da VIII Mostra de Docentes em RJI

instalado no protótipo do Campus de Votorantim. Considerando-se a proposta do projeto, constatamos a importância nas estimativas dos resultados com o protótipo do Campus de Votorantim, em distar poucos quilômetros do grande reservatório natural de Itupararanga, o qual abastece vários municípios da região da bacia do SMT.

Agradecimentos

Agradecemos a confiança da CPRJI, às Diretorias das Fatecs Tatui e de Votorantim, e em acreditar os resultados possam servir como apoio ao poder público em programas de disponibilidade de recursos hídricos na região. Agradecemos ao INMET e ao DEEA pela seção dos tanques tipo Classe A.

Referências

- [1] SANCHES, F.O. et al. Evaporação em reservatórios hídricos: Uma revisão de métodos/técnicas empíricas. **Revista do Departamento de Geografia** – USP. www.revistas.usp.br/rdg - ISSN 2236-2878. V. 43 (2023) e 200203. DOI:10.11606/ISSN2236-2878.rdg. 2023.209203
- [2] REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Editora Manole Ltda, 188 p. - 1987.
- [3] FERREIRA, J.C. et al. Relações entre a radiação solar e a evaporação de água medida em tanque Classe A e evaporímetro em abrigo termométrico. **FURB – Revista de estudos ambientais**. Universidade de Blumenau-SC. v.11, n1, p. 36-43, 2009
- [4] NETTO, A. et al. **Manual de hidráulica**. Editora Edgard Blucher, 8ª Edição, 669p., - IBSN 978-85-212-0277-6, 2009.