

A UTILIZAÇÃO DE TCSA's PARA CLIMATIZAÇÃO SUSTENTÁVEL: UM ESTUDO NO CASO DA CIDADE DE PELOTAS-RS

NELSON NGHALE¹; GUILHERME JAHNECKE WEYMAR²; RUTH DA SILVA BRUM³

¹*Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – nelsonnghale1@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – guilhermejahnecke@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas (UFPel) – ruthdasilvabrum@gmail.com*

1. INTRODUÇÃO

As questões das alterações climáticas, que são temas de grande importância, têm levado o planeta a enfrentar vários problemas ambientais, como o aumento da temperatura global, eventos climáticos extremos e devastadores, entre outros desafios que afetam a humanidade.

É claro que todas as alterações que vêm assolando o planeta nas últimas décadas são consequência direta da ação humana sobre o meio ambiente, especialmente pela queima de combustíveis fósseis, considerada um dos principais responsáveis pela poluição do ar e também pelo aumento de temperatura global. Os gases metano, dióxido de carbono e clorofluorcarbonetos liberados na queima dos combustíveis fósseis reduzem a capacidade de dissipaçāo de calor da superfície terrestre, conforme destacado por MACHADO (2022) sendo uma das principais causas do aquecimento global.

Destacam-se alguns estudos realizados por alguns pesquisadores sobre dióxido de carbono (CO_2). No estudo de BRAGA (2012), identifica-se a emissão de gases de efeito estufa (GEE) como o principal responsável pelas atuais mudanças climáticas. Outro estudo aponta que 70% do total de dióxido de carbono é proveniente das cidades, salientando que metade da população global é urbana, conforme BAI et al. (2018). De acordo com a NEJAT et al (2015), 20% do consumo global de (CO_2) e 17% desse total estão vinculados aos prédios residenciais urbanos. Segundo AGRAWAL et al. (2018), um terço de toda a energia consumida em prédios residenciais é destinada aos sistemas do ar condicionado, com o objetivo de manter o conforto térmico.

Outro dado interessante é da INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2018), que prevê um aumento do número de sistemas de ar condicionado de edifícios de 1,6 bilhão para 5,6 bilhões até 2050, algo que acarretará um aumento em quase três vezes no consumo da energia para os sistemas de condicionamento do ar em prédios residenciais.

Neste contexto, o trabalho justifica-se na análise e compreensão dos sistemas de Trocadores de Calor Solo-Ar (TCSA), que são de grande importância para várias áreas ligadas às questões ambientais. A necessidade urgente de encontrar os métodos com menos consumo de energia para diminuir as emissões de dióxido de carbono, os TCSA's são sistemas favoráveis para aquecimento e resfriamento, com menor consumo de energia em comparação aos sistemas tradicionais de ar condicionado e com menor emissão dióxido de carbono, aponta AGRAWAL et al. (2019). Foi utilizado o modelo matemático que permite desenvolver estudo sobre empregabilidade do TCSA em uma determinada localidade, considerando sempre as características climáticas e geofísicas locais. O modelo utilizado, que considera a umidade do ar em relação à condensação

que ocorre ao longo do sistema (MACHADO, 2022), é aplicado na região de Pelotas para analisar a viabilidade de implementação deste dispositivo.

2. METODOLOGIA

A metodologia do trabalho baseia-se em um estudo da solução analítica do modelo apresentado no trabalho (MACHADO, 2022). A equação fundamental utilizada para modelar a temperatura ao longo do TCSA é:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = - \frac{u\rho_a}{\rho_{ha}} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{4h_{cv}}{C_{p,ha}\rho_{ha}} (T_w - T), \quad (1)$$

onde T é a temperatura ao longo do TCSA; T_w é a temperatura do solo; h_{cv} é coeficiente de transferência de calor convectivo; ρ_{ha} é a densidade do ar úmido no duto; e $C_{p,ha}$ é a capacidade térmica específica.

O problema está sujeito às condições inicial e contorno definidas como $T(0, t) = T_{in}$ e $T(x, 0) = T_w$, respectivamente.

Considerando $\zeta_1 = -\frac{u\rho_a}{\rho_{ha}}$; $\zeta_2 = -\frac{4h_{cv}}{C_{p,ha}\rho_{ha}}$ e $\zeta_3 = -\zeta_2 T_w$, a Eq. (1) é reescrita:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \zeta_1 \frac{\partial T}{\partial x} + \zeta_2 T + \zeta_3. \quad (2)$$

A solução da Eq. (2) é obtida utilizando Transformada de Laplace (TL) e sua inversa. A escolha da TL é justificada pela sua capacidade de simplificar a resolução de equações diferenciais parciais. A solução final encontrada é:

$$T(x, t) = T_w + (T_{in} - T_w) H(t - \frac{\rho_{ha} A}{ma} x) e^{-\frac{phcv x}{ma C_{p,ha}}}, \quad (3)$$

onde p é perímetro; ma é fluxo de massa; D é diâmetro; x é o comprimento; t é o tempo; H é a função Heaviside, e T_{in} é a temperatura de entrada no TCSA.

2.1 PARÂMETROS DO MODELO

Para encontrar a temperatura média do solo, foi utilizado a equação geral da temperatura do solo (ESTRADA, 2017):

$$T_w(z, t) = T_m + A_z \operatorname{sen}[\frac{2\pi(t-t_0)}{P'} - \gamma z - \frac{\pi}{2}], \quad (4)$$

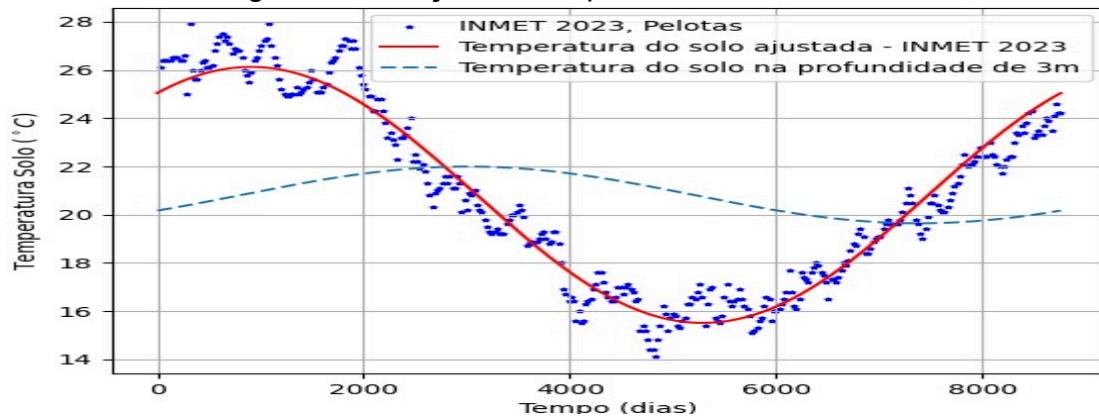
onde γ e A_z são definidos como: $\gamma = \sqrt{\frac{\pi}{\alpha P'}}$ e $A_z = A_0 e^{-\gamma z}$. Em que A é amplitude da onda de temperatura, que varia com a profundidade, α é a difusividade térmica do solo; T_m é a temperatura média na superfície do solo.

A temperatura média na superfície do solo, T_m foi calculada somando as temperaturas médias do solo saturado a uma profundidade de 1 metro, com base nos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da cidade de Pelotas-RS, referentes ao ano de 2023. Assim, o valor obtido foi $T_m = 20,82082192^\circ\text{C}$.

A Figura 1 apresenta a variação das temperaturas durante um ano. Os pontos azuis representam os dados coletados pelo INMET (2023); a curva

vermelha indica a temperatura média do solo saturado ajustada com os dados do INMET a uma profundidade de 1 metro (obtida pela Eq. (4)); e a curva tracejada azul clara mostra temperatura do solo na profundidade de 3 m, local em que o TCSA será simulado.

Figura 1: Variação da temperatura do solo



Fonte: Autor, 2024

Os dados das propriedades termofísicas do solo homogêneo utilizado (NÓBREGA, 2021) foram: massa específica (ρ) 1600 kg m^{-3} , condutividade térmica (k) $0,25 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ e calor específico (C_p) $890 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

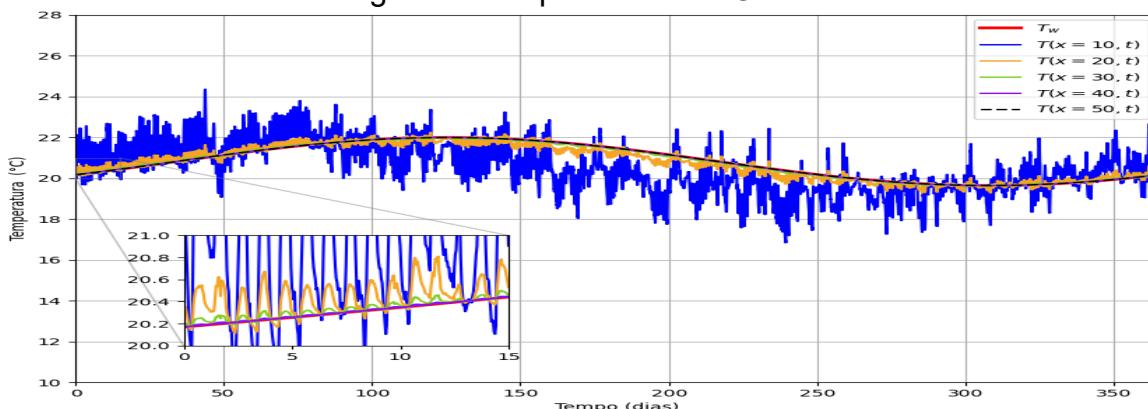
Por fim, para verificar a modelagem da temperatura ao longo do tempo em um TCSA, solução analítica dada pela Eq. (3), considera-se um duto com diâmetro de 0,1 m e comprimento de 50 m. O ar entra no TCSA com 85% de umidade, com uma vazão mássica de 40 g/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na solução obtida na Eq. (3) e nos dados fornecidos na seção 2.1, é apresentado o perfil da temperatura de saída do TCSA no período de um ano para a cidade de Pelotas. As simulações foram realizadas utilizando a linguagem Python.

A Figura 2 ilustra a variação das temperaturas do Trocador de Calor Solo-Ar (TCSA) no período de um ano. A curva vermelha (T_w) representa a temperatura da parede do duto, enquanto as curvas azul, amarela, verde, roxa e preta correspondem às temperaturas da solução analítica para comprimentos de 10 m, 20 m, 30 m, 40 m e 50 m, respectivamente.

Figura 2: Temperatura de TCSA no duto



Fonte: Autor, 2024

Note que o resultado da Figura 2 mostra que quanto maior o comprimento do duto, maior a estabilidade térmica, com menores flutuações da temperatura de saída. Isso ocorre porque, em comprimentos maiores, o solo tem mais tempo para dissipar o calor, suavizando as oscilações da temperatura que o ar entra no TCSA (temperatura externa). A inserção destaca os primeiros 15 dias, ilustrando as flutuações que os diferentes comprimentos de dutos sofrem, percebe-se que dutos de comprimento a partir de 30 m as variações são menores que 0,1 °C.

4. CONCLUSÕES

Os resultados mostram que os TCSA's apresentam-se como uma solução muito viável para a redução do consumo de energia em comparação aos sistemas tradicionais de climatização. Essa tecnologia não apenas contribui para a eficiência energética, mas também auxilia na diminuição das emissões de gases de efeito estufa, favorecendo um ambiente mais sustentável.

Além disso, é essencial avançar nas pesquisas e inovações tecnológicas voltadas para soluções sustentáveis, com o objetivo de minimizar os impactos no meio ambiente. E a implementação de TCSA pode não apenas melhorar a eficiência energética de edificações, mas também servir como modelo para outras tecnologias de climatização.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, K. K. et al. A review on effect of geometrical, flow and soil properties on the performance of earth air tunnel heat exchanger. **Energy & Buildings**, v. 176, p. 120–138, 2018.
- AGRAWAL, K. K. et al The state of art on the applications, technology integration, and latest research trends of earth-air-heat exchanger system. **Geothermics** , v. 82, p. 34-50, 2019.
- BAI, X. et al. Six research priorities for cities and climate change. **Nature**, v. 555, n. 7694, p. 23-25, 2018.
- BRAGA, R. Mudanças climáticas e planejamento urbano: uma análise do estatuto da cidade. **VI Encontro Nacional da Anppas**, v. 6, p. 1–15, 2012
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of cooling: opportunities for energy efficient air conditioning. Paris, 2018.
- ESTRADA, E. et al The impact of latent heat exchanges on the design of earth air heat exchangers. **Applied Thermal Engineering**, v. 129, p. 306-317, 2018.
- Instituto Nacional de Meteorologia. INMET Tempo.2023 (Acessado em 12 de junho de 2024). Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2021. 2021. (Acessado em 12 de março de 2024). Online. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>.
- MACHADO, P.G. **Design Construtual aplicado a trocadores de calor solo-ar utilizando modelagem numérica e analítica estacionárias e transientes.** 2022.68f. Dissertação de Mestrado - PPGMMat/UFPel.
- NÓBREGA, E,S,B. **Abordagem analítica para análise térmica dos trocadores de calor solo-ar na cidade de Pelotas/RS.** 2021. 76f. Dissertação de Mestrado - PPGMMat/UFPel.
- NEJAT, P. et al. A global review of energy consumption, co2 emissions and policy in the residential sector (with and overview of the top ten co2 emitting countries). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 843–862, 2015.