

Analysis of particles dispersion in a thermal inversion environment using CFD

Endre Wane, Paulo Sérgio, Hilton Louzeiro e Elmo Ferreira
Federal University of Maranhão



Abstract

O objetivo é entender como a inversão térmica afeta a acumulação de poluentes em áreas urbanas. Então, como a inversão térmica influencia a dispersão de partículas na atmosfera? Foram realizadas simulações de CFD utilizando dados reais de temperatura do ar da Cidade do México. Sem inversão térmica, as partículas se dispersam. Inversão térmica piora a qualidade do ar. **Palavras-chaves:** Inversão térmica | CFD | Dispersão da Partícula

Research Question

Content Knowledge

- A pesquisa é motivada pelas implicações da poluição atmosférica na saúde pública e no meio ambiente, especialmente em regiões metropolitanas propensas à inversão térmica.
- A técnica de CFD (Computational Fluid Dynamics) tem grande potencial de modelar esse fenômeno, aprofundando a investigação sobre o problema.
- Como a ocorrência de inversão térmica afeta a dispersão do material particulado na atmosfera?

Introduction

Content Knowledge

- Fenômeno Meteorológico da inversão térmica ocorre quando uma camada de ar quente aprisiona o ar frio próximo à superfície, levando ao acúmulo de poluentes.
- Cidade do México, São Paulo, Santiago e Los Angeles, enfrentam desafios com o aumento da poluição devido a inversão térmica (MND Staff, 2023; Lemes et al., 2020). Em 19 de agosto de 2019, São Paulo escureceu: durante o dia (Figura 1).
- Simulação da inversão térmica possibilita prever o comportamento dos poluentes e o impacto das técnicas de mitigação (Malalasekera e Versteeg, 2007).
- Moreira, et al. (2024) estudou com as variáveis atmosféricas, incluindo a inversão térmica impacta a qualidade do ar em São Paulo, com dados de longo prazo. Observou-se que a inversão térmica piora qualidade do ar no verão, inverso e na primavera.
- Dados do GIOBLE relacionados a temperatura do ar foi utilizado para configurar a simulação com dados reais (GIOBLE, 2025).



Figura 1: Efeito da inversão térmica na cidade de São Paulo (CONTI, 1998).

Research Methods

Planning Investigations

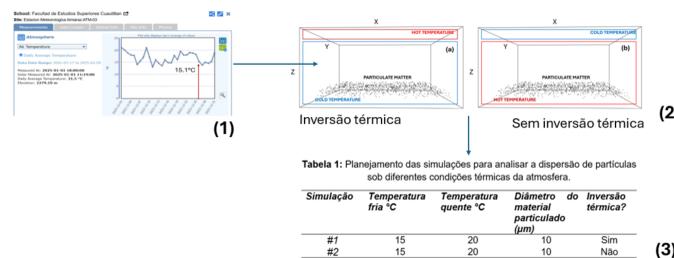
Describes the planning process

- Foram realizadas duas simulações para analisar a dispersão do material particulado sob condições normais e de inversão térmica: (1) Temperatura do ar (Globe data), (2) Configuração da simulação, and (3) Planejamento e organização das simulações.
- Dados de temperatura do ar foram adquiridos no site do GIOBLE, protocolo atmosfera, com base das condições de inversão térmica da Cidade do México.
- O domínio de investigação foi um espaço cúbico (comprimento – 20 m; largura – 20 m; altura – 10 m), preenchido com ar atmosférico.
- Foram realizadas duas simulações para analisar a dispersão do material particulado sob condições normais e de inversão térmica

Carrying Out Investigations

Describes what happened

- As simulações foram realizadas utilizando o software CFD chamado de *Fire Dynamics Simulator*.
- As condições de contorno para resolver as equações de conservação foram: temperatura especificada e condição de simetria. 1000 partículas no centro do domínio foram definidas.
- Os dados avaliados foram, concentração das partículas ao longo do tempo, perfis de velocidade e dispersão das partículas.
- As simulações foram executadas em um computador de 32GB RAM e 3TB.



GLOBE Badges

Be a Collaborator

Endre Wane Coelho Moraes – Realizou a Modelagem, Simulação de problemas e discussão de problemas sem inversão térmica. Paulo Sérgio Araújo Oliveira – Realizou a Modelagem, Simulação de problemas e discussão com inversão térmica. Prof. Hilton Costa Louzeiro – Orientação, supervisão e planejamento da escrita do artigo e a pergunta da pesquisa. Prof. Elmo de Sena Ferreira Júnior – Orientação, supervisão e planejamento das atividades de modelagem e simulação e a pergunta da pesquisa.

Make an Impact

A Universidade onde a pesquisa atual foi realizada está localizada no Brasil, estado do Maranhão, na cidade de São Luís. Portanto, os resultados desta pesquisa sobre a inversão térmica e a dispersão de partículas são altamente relevantes para o contexto de São Luís do Maranhão, uma cidade com intensa atividade industrial e características climáticas propensas a esse fenômeno.

Be a STEM Professional

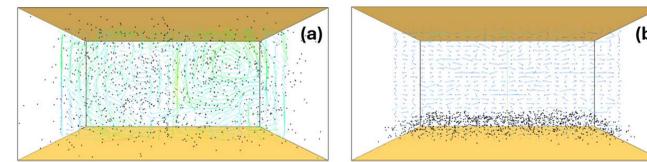
A presente pesquisa foi realizada com a colaboração do Prof. Dr. Elmo de Sena Ferreira Júnior, que é um expert na área de modelagem e simulação com CFD. Além disso, o Prof. Elmo já desenvolveu projetos para empresas como SHELL e NORK HYDRO. Portanto, ele já tem experiência em aplicação de princípios matemáticos, científicos e tecnológicos para resolver problemas complexos.

Results

Analyzing Data

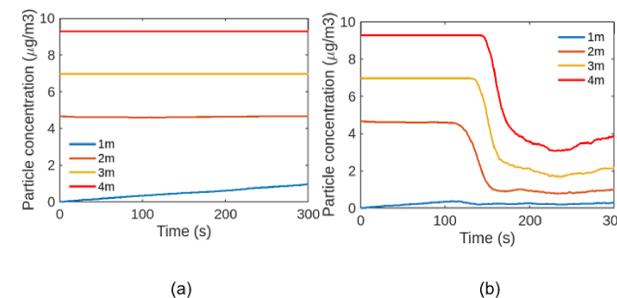
- Observa-se, a partir da figura #1-a, que os vetores de velocidade estão em diferentes direções, sentidos e intensidade. Isso indica intensa movimentação do ar atmosférico. Além disso, as partículas se dispersando verticalmente e ao longo de todo o domínio estudado. Por outro lado, nota-se, a partir da figura 4-b, que os vetores de velocidade permanecem praticamente estáticos, ou seja, pouca movimentação de ar. Como consequência verifica-se que as partículas não se dispersam.

Figure #1



- Pela análise da figura #2, observa-se os perfis de concentração de partículas ao longo do tempo capturados por volumes de monitoramento localizados em diferentes alturas de 1m, 2m, 3m e 4m do solo. Observa-se, na figura #2-a, devido a inversão térmica, que não há variação de concentração ao longo do tempo, assim indicando que não tem dispersão de partículas verticalmente em nenhum dos volumes de monitoramento. No volume de monitoramento de 1 m a partir do solo, observa-se que no tempo $t=0$ não há partículas, mas à medida que o tempo avança a concentração delas aumenta. Isso indica que as partículas estão aproximando-se do solo.
- Por outro lado, na figura #2-b, observa-se os volumes de monitoramento a 2m, 3m e 4m do solo possuem uma concentração de particulados que diminuem ao longo do tempo, evidenciando a dispersão das partículas verticalmente, para longe deste ambiente. Em 1m do solo, observa-se um leve aumento da concentração no tempo inicial, e diminuição dessa concentração em seguida.

Figure #2



Discussion

Interpreting Data

- A inversão térmica influencia significativamente a dinâmica atmosférica, dificultando a dispersão de partículas e aumentando a concentração de poluentes próximos ao solo.
- Sem inversão térmica: O ar se movimenta de forma turbulenta, dispersando as partículas eficientemente.
- Com inversão térmica: O ar permanece estático, dificultando a dispersão e aumentando a concentração de poluentes.
- A análise da concentração de partículas mostra que, sob inversão térmica, elas se acumulam em baixas altitudes devido à falta de movimentação vertical.
- Compreender a inversão térmica é essencial para políticas públicas e estratégias de mitigação da poluição, especialmente em locais com alta incidência do fenômeno, como a Cidade do México.

Conclusions

Drawing Conclusions & Next Steps

- O estudo demonstra que a inversão térmica tem impacto significativo na retenção de poluentes próximos ao solo. O uso de CFD mostrou-se eficaz na modelagem desse fenômeno, contribuindo para estudos da poluição atmosférica.
- Esses achados evidenciam a influência da inversão térmica na retenção de material particulado próximo à superfície, contribuindo para a degradação da qualidade do ar.

Bibliography

References

- CONTI, José Bueno. Clima e meio ambiente. São Paulo: Atual, 1998.
- Malalasekera, W., & Versteeg, H. K. (2007). An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. Pearson Education.
- Moreira, et al. (2024) Analyzing the influence of the planetary boundary layer height, ventilation coefficient, thermal inversions, and aerosol optical Depth on the concentration of PM2.5 in the city of São Paulo: A long-term study. Atmospheric Pollution Research. v.15. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2024.102179>
- MND Staff. (2023). Poor air quality expected in Mexico City due to weather conditions. Mexico News Daily.
- Lemes, M. D. C. R., Reboita, M. S., & Capucin, B. C. (2020). Impactos das queimadas na Amazônia no tempo em São Paulo na tarde do dia 19 de agosto de 2019. Revista Brasileira de Geografia Física, 13(3), 983-993.
- GLOBE Program. (n.d.). GLOBE Visualization. The GLOBE Program. Retrieved March 1, 2025, from <https://vis.globe.gov/GLOBE/>.