

Avaliação da Divergência da Direção do Vento em Relação às Áreas Urbanas: Um Arcabouço Metodológico com SIG

Assessing Wind Direction Divergence in Relation to Urban Areas: A GIS Methodological Framework

Édipo Henrique Cremon^{*}, Gláucia de Sousa Alves^{**}, Gabriel Pereira^{***}

^{*} Divisão de Observação da Terra e Geoinformática, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, edipo.cremon@inpe.br

^{**} Programa de Mestrado Profissional em Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade, Instituto Federal de Goiás, glauciadesousa@gmail.com

^{***} Departamento de Geociências, Universidade Federal de São João del Rei, pereira@ufsj.edu.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v64i1.97290>

Resumo

Este estudo apresenta uma metodologia em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para avaliar a divergência da direção do vento em relação às áreas urbanas, com o objetivo de subsidiar a locação de empreendimentos geradores de odores. A proposta foi organizada em três etapas principais: obtenção da direção predominante dos ventos a partir de dados interpolados em formato raster; cálculo da orientação de cada pixel em relação à área urbana mais próxima; e comparação entre essas direções, por meio de função que calcula a menor diferença angular ajustada no intervalo de 0° a 180°. A análise gerou um dado matricial que permite identificar áreas de maior convergência, nas quais os impactos potenciais sobre zonas urbanas são mais significativos, e áreas de maior divergência, mais adequadas para instalação de empreendimentos. A representação em escala de cores facilitou a interpretação visual, distinguindo regiões desfavoráveis e favoráveis para instalação de empreendimentos que geram odor. A abordagem demonstra aplicabilidade prática para orientar a localização de estações de tratamento de esgoto, aterros sanitários e indústrias, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais e sociais e oferecendo subsídios para políticas de planejamento urbano sustentável.

Palavras-chave:

Planejamento urbano, Dispersão de odores, Análise espacial, Impactos ambientais.

Abstract

This study presents a methodology within a Geographic Information System (GIS) environment to evaluate the divergence of wind direction in relation to urban areas, with the objective of supporting the location of odor-generating facilities. The approach was organized into three main stages: obtaining the prevailing wind direction from interpolated raster data; calculating the orientation of each pixel relative to the nearest urban area; and comparing these directions through a function that computes the smallest angular difference adjusted within the range of 0° to 180°. The analysis produced a raster dataset that allows the identification of areas of greater convergence, where

potential impacts on urban zones are more significant, and areas of greater divergence, more suitable for the location of facilities. The color-scale representation facilitated visual interpretation, distinguishing unfavorable and favorable regions for the location of odor-generating facilities. The approach demonstrates practical applicability for guiding the location of wastewater treatment plants, landfills, and industries, contributing to the mitigation of environmental and social impacts and providing support for sustainable urban planning policies.

Keywords:

Urban Planning, Odor Dispersion, Spatial Analysis, Environmental Impacts.

I. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar urbano pode ser drasticamente comprometida por odores desagradáveis, afetando diretamente a saúde e o bem-estar dos habitantes das cidades (Lewkowska et al., 2016; Canha et al., 2022). A direção do vento em relação à área urbana é um critério importante para a locação de empreendimentos que geram mau cheiro, uma vez que a orientação correta pode minimizar o impacto olfativo sobre as áreas residenciais e comerciais (Sorte et al., 2019; Luckert et al., 2023). Alguns tipos de empreendimentos que frequentemente geram mau cheiro e, portanto, devem considerar a direção do vento na sua locação incluem: determinados tipos de indústrias, curtumes, estação de tratamento de esgoto (ETE) e aterro sanitário (Amkieh, 2020; Moumane; Al Karkouri; Batchi, 2025). Ao posicionar tais instalações de forma que os ventos predominantes levem os odores para longe das zonas habitadas, é possível reduzir significativamente o desconforto da população e evitar problemas de saúde pública, além de melhorar a aceitação social do empreendimento.

O problema dos odores desagradáveis em áreas urbanas, especialmente nas zonas residenciais, é considerado uma séria preocupação na cidade. Este afeta negativamente a saúde e o bem-estar humano (Eltarkawe; Miller, 2019), além de que essas áreas são frequentemente desvalorizadas (Li; Li, 2018). Embora possa se buscar estratégias para minimizar o impacto olfativo, há uma falta de métodos específicos e eficazes para calcular a divergência da direção dos ventos em relação a áreas urbanas utilizando ferramentas de SIG (Sistema de Informação Geográfica). Essa lacuna metodológica impede uma avaliação eficiente das melhores práticas de locação para tais empreendimentos, uma vez que o SIG é frequentemente utilizado para tais finalidades (Shahmoradi; Isalou, 2013; Ribeiro et al., 2018; Hosseinzadeh; Momeni; Bagheri, 2024; Moumane; Al Karkouri; Batchi, 2025).

Estudos têm modelado a divergência da direção do vento em torno de alvos geográficos (como áreas urbanas, corpos d'água ou zonas sensíveis) por meio de abordagens diversas (Wong et al., 2010; Bernard et al.,

2023). Métodos estatísticos quantificam a variabilidade direcional dos ventos a partir de observações (e.g. Silva et al., 2016), enquanto modelos determinísticos (ou híbridos) simulam como relevo e edificações desviam o escoamento atmosférico, frequentemente integrando dados espaciais em SIG para representar as características locais (Bernard et al., 2023). Os dados de entrada nessas modelagens variam de registros de estações meteorológicas e redes de sensores locais a reanálises climáticas globais como o ERA5 (C3S, 2017), que cobrem extensas regiões, mas precisam de *downscaling* — processo de refinamento que adapta informações em escala regional para refletir variações de escala mais detalhada em ambientes locais heterogêneos (Alkhalidi et al., 2025).

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia para a obtenção da divergência da direção do vento em relação à área urbana, em um dado matricial (raster) para ambiente de SIG. Esta abordagem visa preencher a lacuna existente na literatura ao fornecer um método mais preciso e prático para a análise da direção do vento, contribuindo para uma melhor gestão urbana e ambiental.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A obtenção da divergência da direção do vento em relação à área urbana foi baseada nos seguintes passos: obtenção da direção predominantes dos ventos; obtenção da direção dos pixels em relação à área urbana mais próxima; e a comparação entre a direção predominante dos ventos com a direção dos pixels em relação à área urbana mais próxima. Assim, é possível identificar áreas onde a divergência do vento é maior, indicando locais mais adequados para a instalação de empreendimentos que geram mau cheiro, de forma a minimizar o impacto sobre a população.

Direção predominante dos ventos

Os dados sobre ventos foram obtidos a partir do mapa de direções predominantes anuais de vento do Brasil (Amarante et al., 2001). Esse produto está disponível de modo que todo o território nacional tenha uma representação de rosa dos ventos a cada 200 km, aproximadamente. Para seu uso em SIG, foi vetorizado o centro de cada rosa dos ventos como ponto e registrado a direção predominante em graus (0–360°) como atributo.

A natureza circular da variável inviabiliza a interpolação direta em graus, devido à descontinuidade na vizinhança de 0° a 360°. Para contornar esse efeito, convertemos cada direção θ (em radianos) em componentes

lineares do círculo unitário (Eq. 1 e 2). Esses componentes passam a representar dois campos escalares contínuos, apropriados para métodos usuais de interpolação espacial.

$$x = \cos(\theta) \quad \text{Eq. 1}$$

$$y = \sin(\theta) \quad \text{Eq. 2}$$

Onde, x representa a componente no eixo horizontal (leste-oeste) do vetor unitário; $\cos(\theta)$ é a função cosseno aplicada ao ângulo θ da direção predominante do vento; y é componente no eixo vertical (norte-sul) do vetor unitário; $\sin(\theta)$ é a função seno aplicada ao ângulo θ .

Esses dois campos escalares (x e y) foram interpolados separadamente no SAGA GIS por meio do interpolador *Multilevel B-Spline* (Lee; Wolberg; Shin, 1997), apropriado para dados dispersos. A escolha desse algoritmo se deu pelo fato de produzir uma superfície suave, sem a complexidade desnecessária para o objetivo do estudo. O procedimento foi realizado em coordenadas geográficas, com tamanho de pixel de 0,006 graus escolhido arbitrariamente. Após a interpolação, os campos estimados $\hat{x}$ e $\hat{y}$ foram recombinaados para reconstrução da direção predominante do vento (Eq. 3):

$$\theta_{vento} = \left(\arctan2(\hat{y}, \hat{x}) \cdot \frac{180}{\pi} + 360 \right) \bmod 360 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde, $\hat{x}$ representa o raster interpolado do cosseno do ângulo; $\hat{y}$ é o raster interpolado do seno do ângulo; $\arctan2$ é a função arcotangente de duas variáveis, retornando o ângulo em radianos; o fator $\frac{180}{\pi}$ converte radianos para graus; e $\bmod 360$ ajusta a orientação da direção do vento (θ_{vento}) para o intervalo de 0 a 360. O raster final representa a superfície espacial da direção predominante do vento para cada pixel.

Direção dos pixels em relação à área urbana mais próxima

O dado raster da direção dos ventos foi importado para o software de SIG QGIS e cada pixel convertido para um dado vetorial de pontos, mantendo a orientação da direção dos ventos (em graus) na tabela de atributos. Adicionalmente, foi utilizado o dado raster de uso e cobertura da terra do projeto MapBiomias, coleção 10, referente ao ano mais atual (Souza Júnior et al., 2020). Desta coleção foi extraída e convertida para o formato vetorial do tipo polígono, a classe de área urbana.

Com a ferramenta “*Distance to Nearest Hub*”, a partir desta camada de pontos originado dos pixels da direção predominante dos ventos, como camada de origem e a camada de destino usando polígonos das áreas urbanas, foram obtidos vetores de linhas que conectam cada ponto à área urbana entre a camada de origem e a de destino mais próximo. Esse procedimento manteve para a camada de linhas o mesmo identificador (id) da camada de pontos (de origem).

Em seguida foram obtidas as direções das linhas, em relação aos pontos ao polígono de área urbana mais próximo. Concatenando os dados pelo mesmo identificador, foi possível obter uma coluna com a direção dos ventos e outra coluna com a direção do pixel em relação à área urbana mais próxima.

Cálculo da divergência da direção do vento em relação à área urbana

Por fim, foi desenvolvida uma função em R para comparar os valores das colunas de direção dos ventos e com a direção do pixel em relação à área urbana mais próxima. Esta função calcula a diferença angular absoluta entre as duas direções e compara essa diferença com um limite predefinido, retornando sempre o menor ângulo entre elas. Isso é útil para medir a discrepância entre duas direções angulares, garantindo que o resultado esteja no intervalo de 0° a 180°.

Por exemplo, se a direção predominante dos ventos for 10° e a direção do pixel em relação a área urbana mais próxima for 350°. A diferença absoluta entre esses ângulos é calculada como, resultando em 340°. Como essa diferença é maior que 180°, aplicamos o ajuste “360 - 340”, obtendo 20°. Portanto, a menor diferença angular entre 10° e 350° é 20°. Em outro exemplo, suponha que a direção predominante dos ventos for 45° e a direção do pixel em relação a área urbana mais próxima for 100°. Como essa diferença é menor ou igual a 180°, não é necessário ajuste adicional, então a menor diferença angular entre 45° e 100° é 55°. A diferença entre a direção predominante do vento (ΔD) e a direção de um local em relação à área urbana mais próxima (D_u) pode ser matematicamente representado (Eq. 4).

$$\Delta D = \min(|\theta_{vento} - \theta_{urb}|, 360^\circ - |\theta_{vento} - \theta_{urb}|) \quad \text{Eq. 4}$$

Onde, θ_{vento} corresponde ao ângulo da direção do vento e θ_{urb} à direção do pixel em relação à área urbana mais próxima de referência. Essa formulação garante que a diferença angular ΔD representa a diferença angular ajustada, garantindo que o valor resultante esteja sempre no intervalo de 0 a 180 graus.

Como o dado está em formato vetorial, ele é rasterizado com base na coluna da tabela de atributos utilizando o raster de direção predominante dos ventos de referência. Sugere-se o método do vizinho mais próximo sobre a mesma grade e tamanho de pixel do raster da referência da direção predominante dos ventos para que não se façam modificações ou interpolações nos valores originais criando novos resultados.

Os dados da divergência da direção do vento ainda foram comparados com dados históricos de ventos obtidos disponíveis de estações climatológicas, considerando uma média climatológica de 1990 e 2020,

representados em gráfico de rosa dos ventos (IEM, 2025). Isso permitiu avaliar o padrão interpolado e as observações de longo prazo.

III. RESULTADOS

A partir da interpolação dos dados de direção predominante de ventos do dado de Amarante et al. (2001) foi obtido o dado no formato raster com valores angulares para cada pixel ajustados para o intervalo de 0° a 360°, com o Norte definido como 0° e a progressão no sentido horário (Figura 1).

O recorte espacial exibido corresponde a uma porção do território brasileiro (Figura 1) que inclui os estados da região Sudeste, além dos estados de Goiás, Paraná e o sul da Bahia. Nessa área, observa-se que a direção predominante dos ventos ocorre preferencialmente na direção Leste (E), seguida pelas direções Nordeste (NE) e Sudeste (SE). Esse padrão reflete a variabilidade regional do regime de ventos e sua organização espacial contínua no raster gerado (Figura 1).

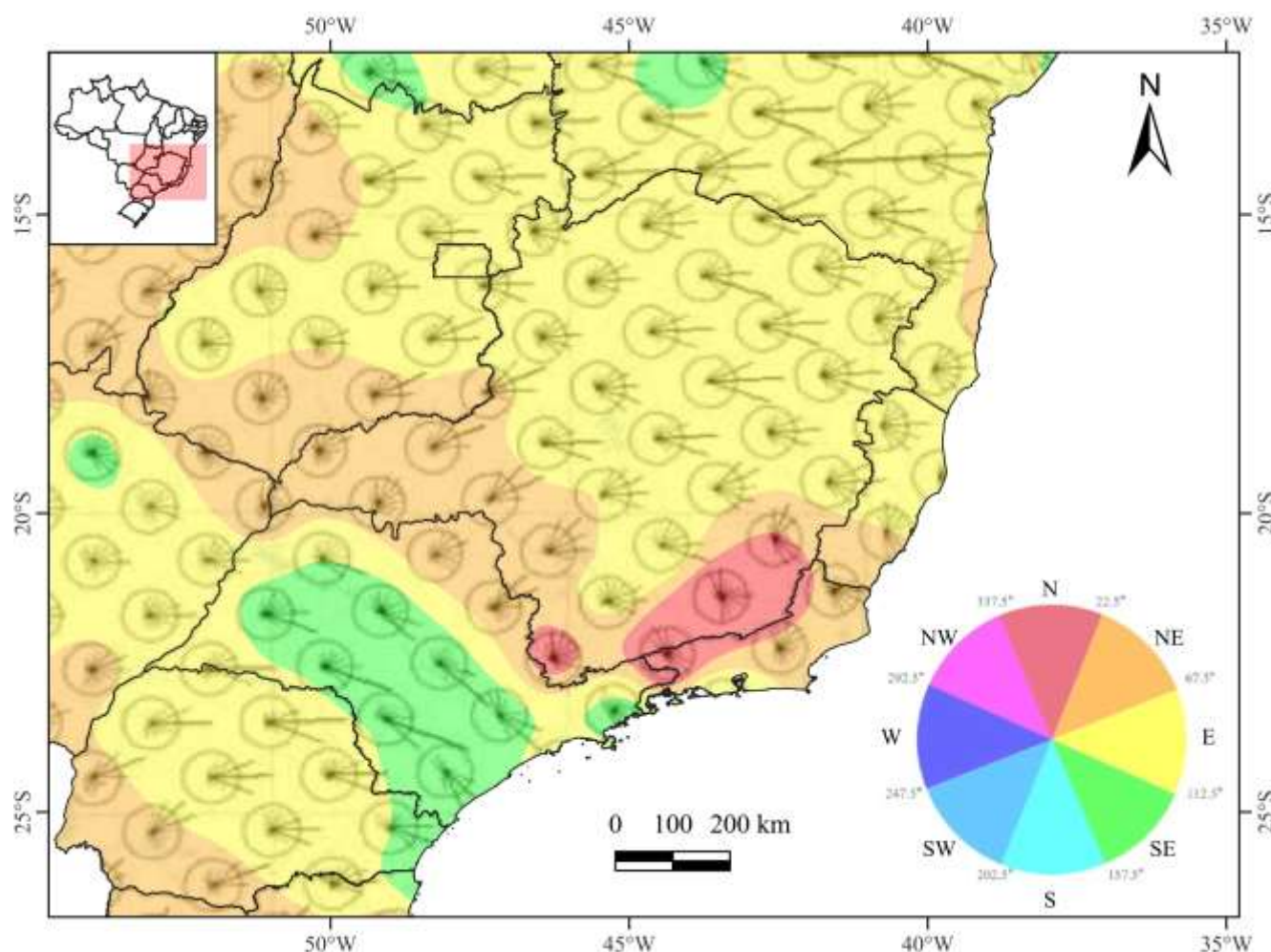


Figura 1 – Representação da direção predominante dos ventos em formato raster. O dado está representado em esquema de cores em octantes, sobreposto à rosa dos ventos do mapa de obtida a partir dos dados de Amarante et al. (2001). Fonte: Os autores (2025).

A seguir há o processo de análise espacial realizado no software de SIG QGIS para analisar a direção dos ventos em relação às áreas urbanas (Figura 2). Inicialmente, os dados raster da direção dos ventos foram convertidos para um formato vetorial de pontos, preservando os valores de orientação em graus na tabela de atributos. Em paralelo, os dados de uso e cobertura da terra do projeto MapBiomas, coleção 10, foram utilizados para extrair e converter as áreas urbanas para o formato vetorial de polígonos.

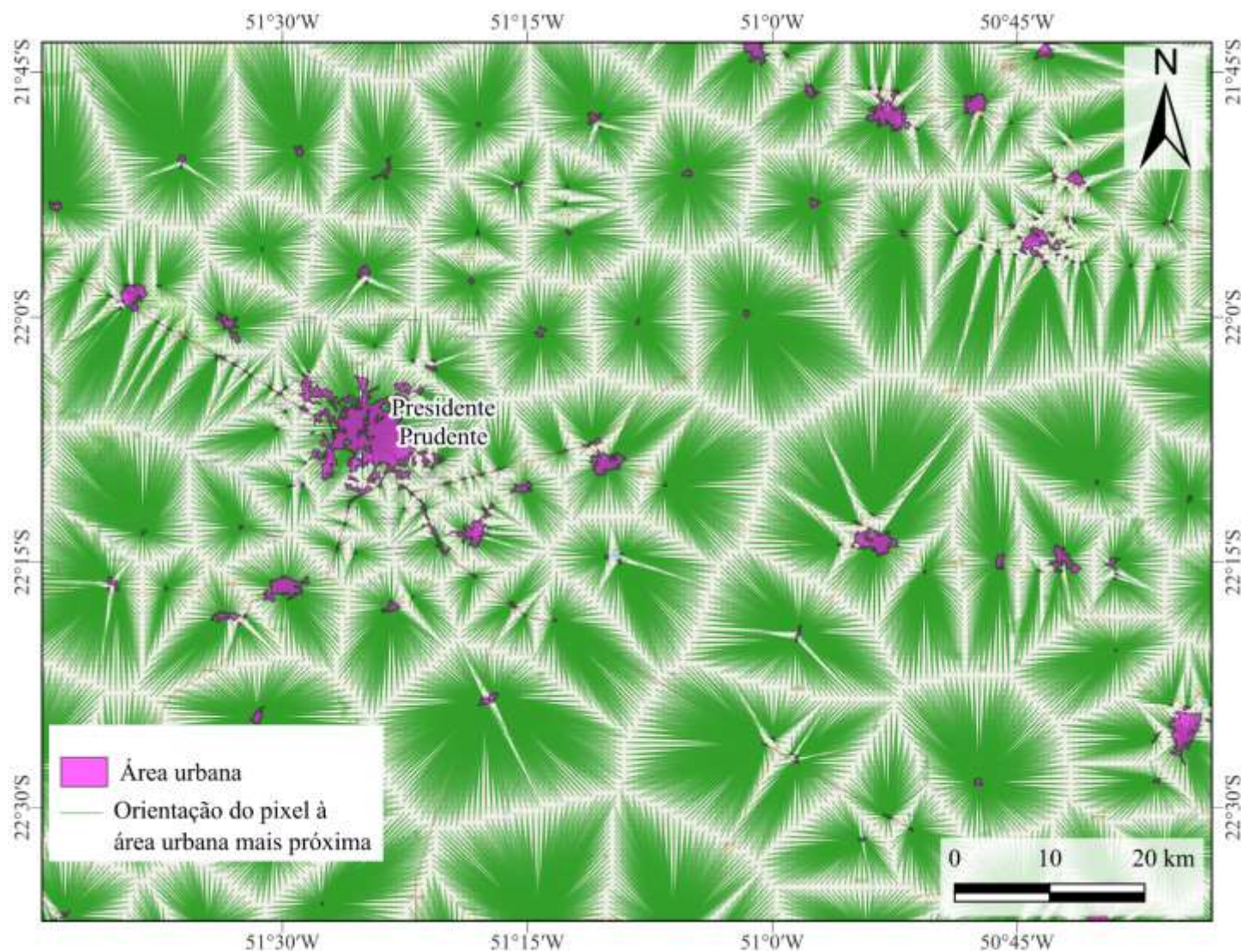


Figura 2 – Obtenção das linhas que conectam os pontos originados pelos pixels com a área urbana mais próxima. Fonte: Os autores (2025).

Com a ferramenta “*Distance to Nearest Hub*”, foram geradas linhas que conectam cada ponto de direção do vento à área urbana mais próxima (Fig. 2), mantendo o mesmo identificador (id) da camada de pontos. As direções dessas linhas, calculadas a partir dos pontos em direção aos polígonos urbanos mais próximos, foram integradas à tabela de atributos. Dessa forma, foi possível concatenar as informações e criar colunas que

mostram tanto a direção dos ventos (Fig. 1) quanto a direção dos pixels em relação à área urbana mais próxima (Fig. 2), proporcionando uma análise detalhada da interação entre os padrões de vento e as áreas urbanas.

O processo de comparação das direções dos ventos com a direção dos pixels em relação às áreas urbanas mais próximas e inclui o passo final de rasterização dos dados vetoriais com o método do vizinho mais próximo, preservando os valores originais sem modificações ou interpolações. No caso, os valores variam de 0 a 180°, representando maior convergência e divergência da direção dos ventos predominantes com a direção do pixel em relação à área urbana mais próxima (Figura 3).

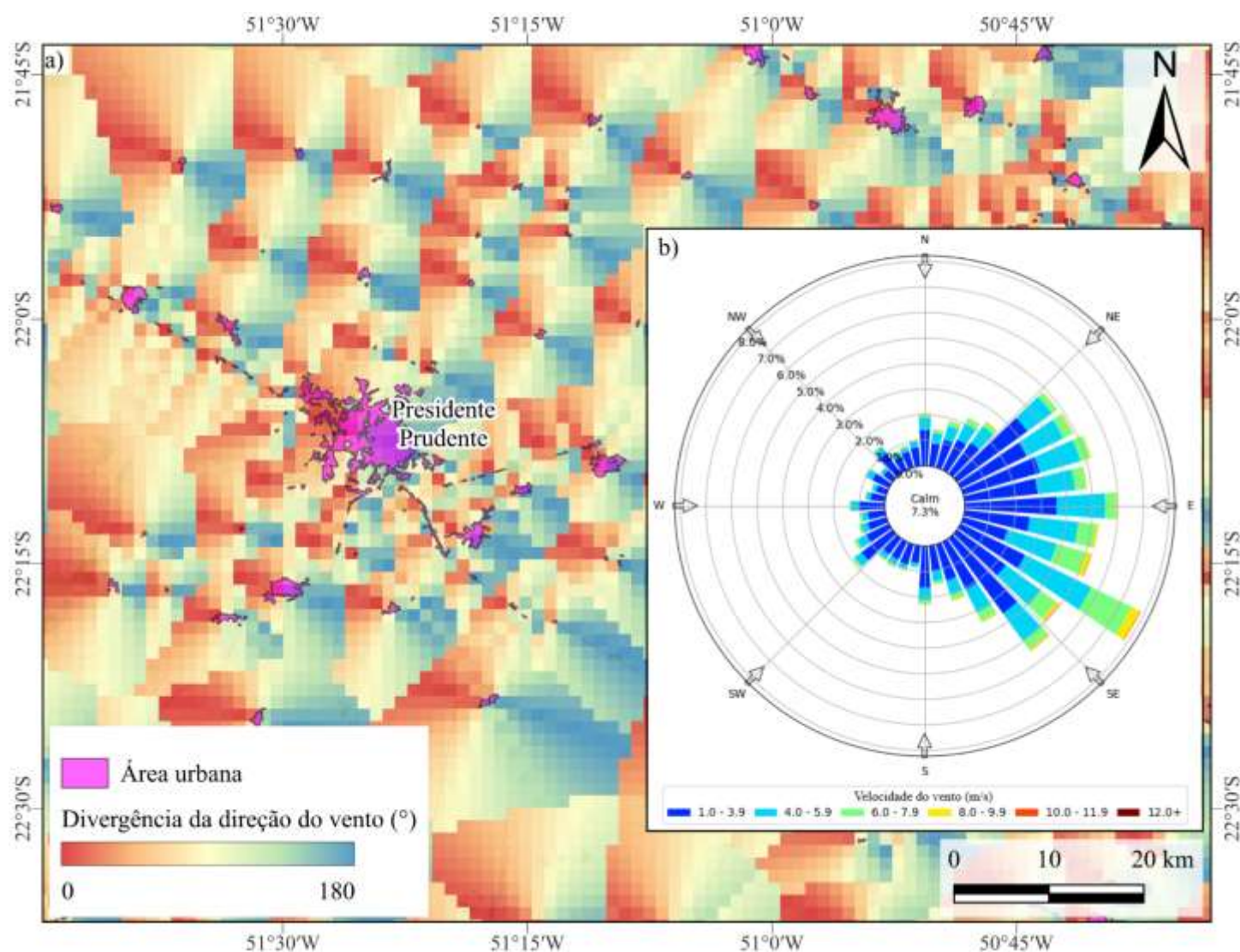


Figura 3 – Representação da divergência da direção do vento em relação à área urbana. a) Os valores variam de 0 a 180°, quanto maior o valor, maior a divergência. Cores quentes representam maior convergência da direção dos ventos predominantes, enquanto cores frias têm maior divergência; b) Rosa dos ventos da cidade de Presidente Prudente, de acordo com a Iowa Environmental Mesonet. Fonte: Os autores (2025) e IEM (2025).

Para a locação de uma ETE, por exemplo, com base nesse produto seria evitado locais (pixels na representação matricial) que tivessem maior convergência entre a direção dos ventos predominantes e a direção do local em relação a área urbana mais próxima. A paleta de cores utilizada na figura facilita a interpretação visual dos resultados. Tons quentes (como vermelho e laranja) representam áreas com maior convergência entre a direção do vento e a orientação dos pixels em relação às áreas urbanas, enquanto tons frios (como azul e verde) representam áreas com maior divergência (Figura 3).

IV. DISCUSSÃO

Contribuições da modelagem da divergência de vento para políticas públicas

A análise da direção do vento na dispersão de odores é um fator importante para compreender a dinâmica da poluição atmosférica em comunidades. A localização das fontes de odor e a variação na direção do vento influenciam a percepção pública dos odores (Eltarkawe; Miller, 2019). A análise espacial da direção do vento em relação à área permite a locação de empreendimentos que geram mau cheiro, como estações de tratamento de esgoto, aterros sanitários e fábricas que emitem gases poluentes (Yildirim et al., 2022). Ao considerar a divergência entre a direção do vento e a orientação dos pixels em relação às áreas urbanas, é possível identificar regiões com menor probabilidade de dispersão de odores para áreas residenciais e comerciais, minimizando o impacto ambiental e social.

A utilização de dados geográficos e técnicas de SIG, como as empregadas neste estudo, representa um avanço na análise e gestão dos impactos ambientais em áreas urbanas. Integrar informações sobre a direção dos ventos e a distribuição espacial das áreas urbanas possibilita identificar padrões de dispersão de odores e planejar a locação de empreendimentos potencialmente poluentes (Shahmoradi; Isalou, 2013; Yildirim et al., 2022; Zhou et al., 2022; Moumane; Al Karkouri; Batchi, 2025). Essa abordagem oferece uma compreensão mais abrangente da interação entre os padrões de vento e as áreas urbanas, sendo útil ao planejamento urbano e ambiental.

A aplicação dessa metodologia em outras áreas geográficas e em diferentes contextos urbanos pode contribuir para a formulação de políticas públicas mais eficazes no combate à poluição do ar e na promoção da qualidade de vida nas cidades. Esse tipo de estudo tem o potencial de orientar decisões governamentais e práticas de planejamento urbano voltadas para a mitigação dos impactos ambientais e a promoção de cidades mais sustentáveis e saudáveis.

Compreender a dinâmica da direção do vento em relação às áreas urbanas é relevante para o alcance de diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela ONU (Organização das Nações Unidas) (UN, 2015). A análise dos padrões de vento e sua interação com as áreas urbanas contribui para o ODS 11: "Cidades e Comunidades Sustentáveis". Ao identificar áreas onde a convergência da direção do vento com as áreas urbanas é mais acentuada, este estudo fornece informações que auxiliam no planejamento urbano sustentável, promovendo ambientes urbanos mais saudáveis e habitáveis. A aplicação prática dos resultados também está alinhada com outros ODS, como o ODS 3: "Saúde e Bem-Estar". Ao evitar a locação de empreendimentos que geram mau cheiro em áreas com maior convergência da direção do vento, há uma redução potencial dos riscos à saúde pública associados à exposição a odores desagradáveis.

Limitações do estudo

Ao considerar apenas a direção predominante da série histórica dos dados de direção do vento, este estudo apresenta algumas limitações. O uso da direção predominante pode não capturar completamente as variações sazonais na direção do vento ao longo do ano, como locais com padrão bimodais de orientação dos ventos (Fig. 4). Em regiões com padrões sazonais distintos, como mudanças na circulação atmosférica, tal métrica pode subestimar ou ignorar essas flutuações, resultando em uma representação menos adequada dos padrões de vento.

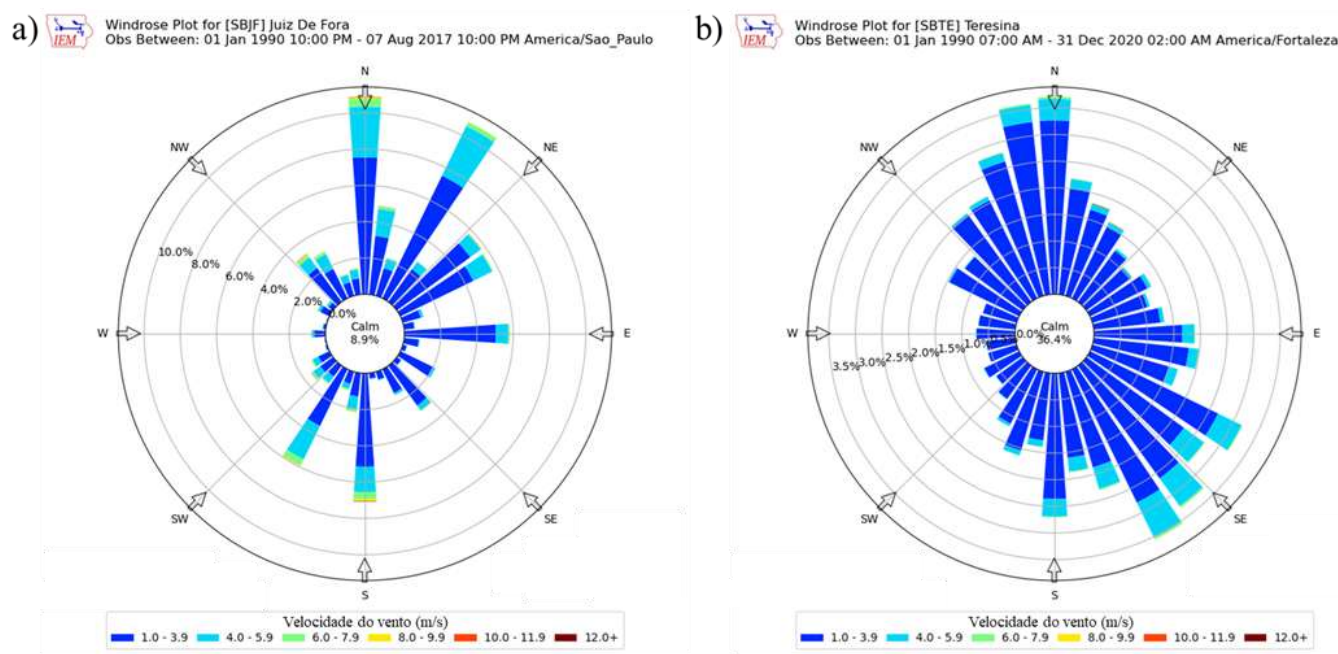


Figura 4 – Padrão multimodal de direção dos ventos. a) Para a estação de Juiz de Fora (MG), a direção predominante N é acompanhada da orientação S; b) Em Teresina (PI) a orientação predominante N é seguida da orientação SE. Fonte: IEM (2025).

Além disso, a direção predominante não considera variações de curto prazo na direção do vento que podem ocorrer devido a fenômenos meteorológicos transitórios, como sistemas de alta ou baixa pressão, frentes frias ou eventos extremos. Essas variações de curto prazo podem impactar significativamente a dispersão de odores e devem ser consideradas para uma análise mais abrangente dos padrões de vento. Outra limitação é a falta de consideração de tendências de longo prazo na direção do vento, como aquelas associadas às mudanças climáticas.

Um caminho complementar para estimar a direção predominante dos ventos é o uso de bases climatológicas globais, como a coleção ERA5 do Copernicus Climate Change Service (C3S, 2017). Essa base fornece dados de reanálise atmosférica em alta resolução temporal e espacial, permitindo calcular a direção do vento a partir das componentes zonal (u) e meridional (v). A utilização desse tipo de dado amplia as possibilidades de análise, pois possibilita avaliar padrões de vento em diferentes escalas temporais e identificar variações sazonais ou tendências de longo prazo, constituindo uma alternativa complementar à metodologia apresentada neste trabalho.

A escolha da escala dos dados de entrada tem uma repercussão direta na capacidade da análise de representar o ambiente local. O dado de entrada utilizado neste trabalho (Amarante et al., 2001) se enquadra em uma escala de larga abrangência, não adequada para a representação de fenômenos de microescala (Lewis et al., 2017). Fenômenos locais, como os ventos canalizados entre edifícios, a turbulência induzida pela rugosidade da superfície e as rajadas de curta duração, não podem ser capturados por dados de escala regional ou por médias climatológicas anuais.

Eventualmente, a consequência de se utilizar dados de larga escala para uma aplicação local reside no potencial inadequação da análise para a tomada de decisão. A divergência calculada pode não refletir o fluxo de ar em um local específico, pois as condições de vento predominantes regionais não se aplicam uniformemente a um local específico. Uma área que o modelo identifica como de "maior divergência" com base em dados de baixa resolução pode, na realidade, estar sujeita a fluxos de ar de microescala que direcionam os odores para áreas urbanas. Este descompasso entre a escala do dado de entrada e a escala do problema (a locação local de uma fonte de odor), além de ventos multimodais, constitui uma limitação metodológica que deve ser reconhecida para garantir uma aplicação segura e eficaz da ferramenta, mas que não inviabiliza sua aplicação se o analista estiver ciente e ter esse cuidado.

V. CONCLUSÕES

A análise da direção do vento em relação às áreas urbanas permite a localização estratégica de empreendimentos potencialmente poluentes, como estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários. A abordagem apresentada neste trabalho possibilita identificar áreas com menor potencial de dispersão de odores para zonas residenciais e comerciais, mitigando os impactos ambientais, sociais e na saúde que são negativos.

A utilização de dados geográficos e técnicas de SIG representa um avanço na análise e gestão dos impactos ambientais em áreas urbanas. Ao integrar informações sobre a direção dos ventos e a distribuição espacial das áreas urbanas, é possível identificar padrões e planejar estrategicamente a locação de empreendimentos poluentes, contribuindo para um planejamento urbano mais sustentável.

O método apresentado permite a elaboração de um produto no formato raster de divergência da direção do vento predominante em relação área urbana mais próxima. Isso é útil na modelagem de dados em ambiente SIG.

Essa metodologia tem o potencial de contribuir para a elaboração de políticas públicas mais eficazes no combate à poluição do ar e na promoção da qualidade de vida nas áreas urbanas. Ao fornecer insumos para o planejamento urbano sustentável, este estudo pode orientar decisões governamentais e práticas de planejamento urbano voltadas para a mitigação dos impactos ambientais e a promoção de ambientes urbanos mais saudáveis e habitáveis para os residentes.

VI. REFERÊNCIAS

- ALKHALIDI, M.; AL-DABBOUS, A.; AL-DABBOUS, S.; ALZAID, D. Evaluating the Accuracy of the ERA5 Model in Predicting Wind Speeds Across Coastal and Offshore Regions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13, 149, 2025. <https://doi.org/10.3390/jmse13010149>.
- AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J.; SÁ, A. L. Atlas do potencial eólico brasileiro. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001.
- AMKIEH, Y. K. Odor pollution assessment in residential urban spaces in Tripoli city. *Architecture and Planning Journal (APJ)*, v. 26, n. 2, p. 2, 2020.
- BERNARD, J.; LINDBERG, F.; OSWALD, S. URock 2023a: an open-source GIS-based wind model for complex urban settings. *Geoscientific Model Development*, v. 16, n. 20, p. 5703-5727, 2023.
- CANHA, N.; JUSTINO, A. R.; GAMELAS, C. A.; ALMEIDA, S. M. Citizens' perception on air quality in Portugal—how concern motivates awareness. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, MDPI, v. 19, n. 19, p. 12760, 2022.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), 2017. Disponível em: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>.

ELTARKAWI, M.; MILLER, S. Industrial odor source identification based on wind direction and social participation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, MDPI, v. 16, n. 7, p. 1242, 2019.

HOSSEINZADEH, F.; MOMENI, A.; BAGHERI, R. Site selection for municipal solid waste landfill in coastal area by combining GIS-AHP methods: A case study in East of Mazandaran Province, Iran. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, Springer, v. 48, n. 1, p. 511–524, 2024.

LEE, S.; WOLBERG, G.; SHIN, S. Y. Scattered Data Interpolation with Multilevel B-Splines. *IEEE Transactions On Visualisation and Computer Graphics*, v. 3, n. 3, 1997.

LEWKOWSKA, P.; CIEŚLIK, B.; DYMERSKI, T.; KONI- ECZKA, P.; NAMIEŚNIK, J. Characteristics of odors emitted from municipal wastewater treatment plant and methods for their identification and deodorization techniques. *Environmental Research*, Elsevier, v. 151, p. 573–586, 2016.

LEWIS, B. S.; NOGUEIRA, I. C. M.; CARVALHO, N. V. D.; MENEZES, W. F. D. Impactos associados à resolução dos modelos atmosféricos em modelos de prognósticos de ondas. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 23, n. 4, p. 539-555, 2017.

LI, R. Y. M.; LI, H.; CHING Y. Have housing prices gone with the smelly wind? big data analysis on landfill in Hong Kong. *Sustainability*, MDPI, v. 10, n. 2, p. 341, 2018.

LUCKERT, A.; AGUADO, D.; GARCÍA-BARTUAL, R.; LAFITA, C.; MONTOYA, T.; FRANK, N. Odour mapping and air quality analysis of a wastewater treatment plant at a seaside tourist area. *Environmental Monitoring and Assessment*, Springer, v. 195, n. 8, p. 1013, 2023.

IOWA ENVIRONMENTAL MESONET (IEM). Annual Wind Rose for Presidente Prudente. Iowa State University, 2025. Disponível em: https://mesonet.agron.iastate.edu/sites/site.php?network=BR__ASOS&station=SBDN.

MOUMANE, A.; AL KARKOURI, J.; BATCHI, M. Utilizing GIS, remote sensing, and AHP-multi-criteria decision analysis for optimal landfill site selection in Kenitra Province, Morocco: a step towards sustainable development goals. *Discover Environment*, v. 3, n. 4, 2025. <https://doi.org/10.1007/s44274-025-00183-0>.

RIBEIRO, V. O.; CORREA, N. F.; CARVALHO, L. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Identificação de área para a instalação de estação de tratamento de esgoto em Coronel Sapucaia (MS), utilizando álgebra de mapas. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 41, n. 2, p. 685–698, 2018.

SHAHMORADI, B.; ISALOU, A. -A. Site selection for wastewater treatment plant using integrated fuzzy logic and multicriteria decision model: A case study in Kahak, Iran. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, Kurdistan University of Medical Sciences, v. 1, n. 1, p. 51–61, 2013.

SILVA, A. F. G.; ZAPAROLI, E. L.; FISCH, G. Uma Análise da Aplicação de Três Métodos Estatísticos para o Cálculo do Desvio Padrão da Direção do Vento na Região Tropical. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, p. 45-51, 2016.

SNIS. Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto. 2022. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 08 nov. 2022.

SORTE, S.; ARUNACHALAM, S.; NAEISS, B.; SEPPANEN, C.; RODRIGUES, V.; VALENCIA, A.; BORREGO, C.; MON-

TEIRO, A. Assessment of source contribution to air quality in an urban area close to a harbor: Case-study in Porto, Portugal. *Science of The Total Environment*, Elsevier, v. 662, p. 347–360, 2019.

SOUZA JUNIOR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, MDPI, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020.

UNITED NATIONS [UN]. Agenda 2030 for Sustainable Development: the 17 Sustainable Development Goals. 2015. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals>

YILDIRIM, V.; UZUN, B.; BAYKAL, T. M.; TERZI, F.; ATASOY, B. A. Odor-aided analysis for landfill site selection: study of Dokap region, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, Springer, p. 1–17, 2022.

WONG, M. S.; NOCHOL, J. E.; NG, E. Y. Y.; GUILBERT, E.; KWOK, K. H.; TO, P. H.; WANG, J. Z. GIS Techniques for mapping urban ventilation, using frontal area index and least cost path analysis. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, v. 38, p. 586-591, 2010.

ZHOU, Y.; SONG, Y.; LI, S.; QIN, W.; SUN, J. A location selection method for wastewater treatment plants integrating dynamic change of water ecosystem and socio-cultural indicators: A case study of Phnom Penh. *Water*, MDPI, v. 14, n. 22, p. 3637, 2022.