

O oceano e o clima da Macrometrópole Paulista

O clima de uma região é dependente de vários fatores, tais como a posição geográfica (latitude, longitude e altitude), tipo de uso e ocupação do solo (vegetação, solo nu, áreas urbanas), relevo, continentalidade (distância em relação à costa) e proximidade do oceano, também conhecida por maritimidade. Os padrões de temperatura, umidade e precipitação, sob incidência da radiação solar, são determinados por esses fatores, isoladamente ou em conjunto, dando origem às circulações de massas de ar na atmosfera. Em condições específicas, são responsáveis pela formação de nuvens, as quais, em situações extremas, podem se intensificar, formando tempestades severas, responsáveis por inúmeros tornados à população, principalmente nas áreas urbanas. Quanto mais próximo do oceano, maior será o teor de umidade da região, servindo como um moderador de temperatura e como ingrediente fundamental para a formação de nuvens. Entretanto, em função da movimentação de massas de ar por circulações em diferentes escalas de tempo e espaço, os cha-

mados “sistemas atmosféricos, regiões mais continentais podem sofrer também os efeitos do oceano. Uma das circulações mais importantes é a brisa marítima, discutida na próxima seção.

Brisas Marítimas

Em função da diferença de capacidade térmica – que é a quantidade de calor que deve ser absorvida ou cedida por um corpo para que sua temperatura varie $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ – entre o oceano e o continente, com a do primeiro sendo quatro vezes maior que a do segundo, quando expostos à mesma quantidade de radiação solar, esses grandes compartimentos são aquecidos de forma diferente, sendo o continente mais quente que o oceano adjacente. Como temperatura e pressão estão relacionadas pela lei dos gases, esse gradiente térmico resulta também em um gradiente de pressão atmosférica, sendo esta a principal componente da chamada “Força do Gradiente de Pressão”, FGP. A FGP é responsável por iniciar os movimentos das parcelas de ar e ocorre em diferentes escalas espaciais. Em mesoescala, a FGP é responsável pela formação da Brisa Marítima, com ar marí-



**Edmilson Dias
de Freitas**

Palavras-chave: Ilhas de Calor, Brisas Marítimas, Tempo Severo, Urbanização.

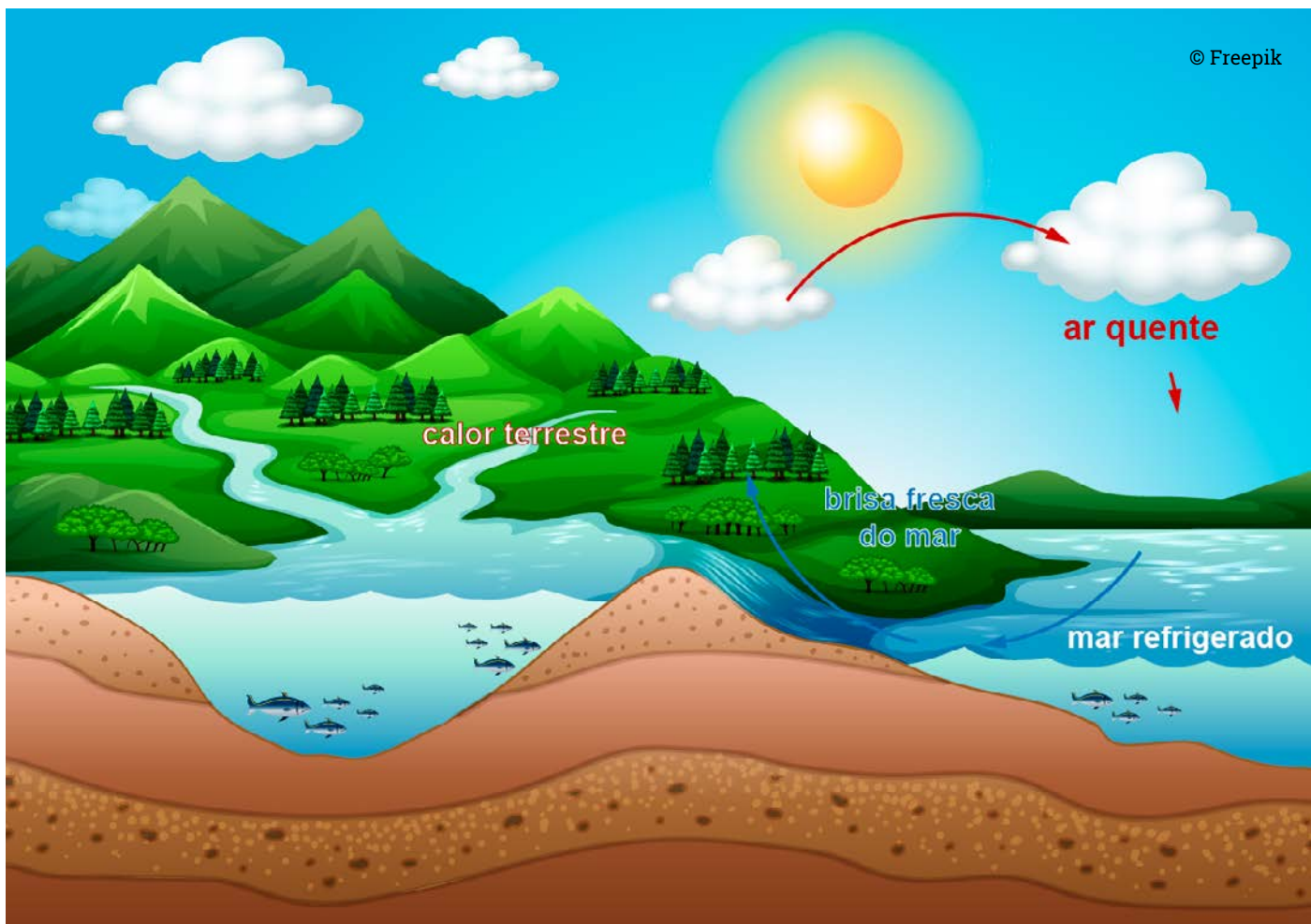


Figura 1 - Ilustração de uma circulação de Brisa Marítima. As linhas finas representam os valores de pressão próxima a superfície estando a região de pressão relativamente mais alta associada à região de menor temperatura (sobre o oceano), enquanto a região de pressão relativamente mais baixa está associada à região mais quente (sobre o continente).

Imagem Landsat/Copernicus obtida do Google Earth em 25 de março de 2022.

timo se deslocando para o continente em níveis mais baixos da atmosfera (ou seja, mais próximo da superfície) e ar continental se deslocando para o oceano em níveis mais altos, formando uma célula de circulação, a circulação de brisa. O ramo ascendente dessa circulação se desloca sobre o continente, agindo no sentido de eliminar o gradiente térmico que deu origem à circulação, levando ar mais frio do oceano para regiões mais quentes sobre o continente e equilibrando o ambiente, enquanto o ramo descendente se desloca sobre o oceano, levando o ar mais quente do continente para a região oceânica, conforme ilustra a Figura 1. Durante à noite esse padrão se inverte, com ar continental se deslocando para o oceano em níveis baixos da atmosfera e ar oceânico se deslocando para o continente em níveis mais altos, configurando o que chamamos de brisa terrestre. O deslocamento da frente de brisa sobre o continente pode ocorrer de dezenas a centenas de quilômetros e, deste modo, estabelece-se uma conexão entre o oceano e os municípios da Metrópole Paulista (MMP). Essa conexão é percebida por nós, durante as tardes de verão, quando fortes tempestades se formam como resultado da combinação entre o aquecimento anômalo observado nas áreas urbanas, tornando a atmosfera altamente instável, e a chegada da frente de brisa marítima na região, trazendo a umidade necessária. A instabilidade atmosférica gera corren-

tes ascendentes intensas, levando a umidade trazida pela brisa marítima para altos níveis da atmosfera, chegando até 15 km ou mais, formando nuvens cumulonimbus ou até mesmo super células. Super células são aquelas nuvens que produzem descargas elétricas intensas, granizo, fortes rajadas de vento e, eventualmente, tornados. É importante mencionar que, além dessas tempestades em mesoescala, há também sistemas de escala sinótica (acima de 1000 km) ou grande escala (milhares de quilômetros) responsáveis pelas chuvas que ocorrem na estação chuvosa e que atingem a MMP e que podem estar conectados ao oceano. Sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) são exemplos desses sistemas.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)

A ZCAS é um sistema que se estende diagonalmente desde a região amazônica até o oceano, variando da região Sul até o Sudeste, onde se localiza um sistema de baixa pressão atmosférica. É uma região de intensa precipitação, trazendo grandes consequências para as regiões atingidas, uma vez que, quando permanece estacionada por vários dias, causa grandes volumes de chuva. Jorgetti et al. (2014) mostraram que, quando as temperaturas no Oceano Atlântico subtropical estão mais frias, há um aumento do gradiente de temperatura continente-oceano. Esta situação

favorece um fluxo de ar de leste, mantendo a ZCAS estacionada sobre o Sudeste e impedindo o seu deslocamento para outras regiões. Esses casos podem favorecer ainda mais a penetração da brisa marítima sobre a região da MMP, criando condições para convergência de massa (com mais umidade), em baixos níveis, ainda mais intensas, resultando em quantidades de precipitação bastante significativas.

O papel das Brisas Marítimas durante o inverno

Períodos de inverno são caracterizados por baixos índices pluviométricos em toda a MMP. É um período também de menor disponibilidade de radiação solar incidente na superfície, o que contribui para condições de forte estabilidade atmosférica. Essas condições estáveis funcionam como uma tampa, impedindo que a expansão vertical da atmosfera aconteça. Assim, poluentes emitidos para a atmosfera por diferentes fontes, como veículos, indústrias, atividades comerciais e residenciais, queima de biomassa, entre outras, atingem altas concentrações próximo à superfície, tornando a qualidade do ar ruim. Como neste período os sistemas frontais são menos eficientes na remoção de poluentes, as brisas marítimas representam um sistema eficiente para esta função. Freitas (2003) realizou simulações numéricas demonstrando esse processo e, posteriormente, várias investiga-

ções buscaram entendê-lo melhor e verificar a que distância esses poluentes podem ser carregados. Identificou-se a contribuição da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) para a qualidade do ar de cidades distantes a pelo menos 200 km no interior (SQUIZZATO et al., 2021). Assim, em algumas situações, com a passagem da brisa marítima sobre as áreas urbanas da MMP, há uma redução nas concentrações de poluentes atmosféricos importantes, como o monóxido de carbono (CO) e o ozônio (O³).

Brisas Marítima em cenários de Mudanças Climáticas

Sempre que ouvimos falar em cenários de mudanças climáticas, uma das principais consequências apresentadas é a elevação do nível dos oceanos. Num primeiro momento, o maior impacto seria sentido nas regiões litorâneas, com inundações de áreas urbanas importantes, como Nova York e Nova Orleans, nos Estados Unidos, Amsterdã, na Holanda, Bangkok, na Tailândia, e diversas cidades brasileiras, como Santos e Rio de Janeiro. Entretanto, outros efeitos podem ser sentidos em regiões distantes do litoral, uma vez que a alteração na temperatura dos oceanos pode alterar significativamente o gradiente de temperatura entre o oceano e o continente. Os resultados podem ser diversos, uma vez que o processo entre as circulações de mesoscala envolvidas (ilhas de calor, brisas marítimas e circulações vale-montanha) não são lineares. Freitas et al. (2009), usando a análise de fatores, mostraram que um aumento de 2 graus na temperatura do oceano, combinado com os efeitos da ilha de calor da RMSP, pode ter resultados diferentes, dependendo da temperatura de referência. Quando este aumento parte de uma situação mais fria, ambos os fatores contribuem para uma maior precipitação acumulada. Porém, quando o aumento parte de uma situação mais quente, há uma interação não linear, resultando em uma precipitação acumulada menor em alguns pontos e mais distribuída em toda a região. Importante lembrar também que o aumento na temperatura global, está associado a outros processos, por exemplo, o crescimento de áreas urbanas. Neste caso, Bender et al. (2019) mostraram que eventos extremos de precipitação podem ser ainda mais severos, pois haveria maior instabilidade atmosférica e, com maior aporte de umidade trazida pelas brisas marítimas, maior probabilidade de grandes quantidades de precipitação sobre a região metropolitana.

Conclusões

Apesar de relativamente distante, a Macrometrópole Paulista está sujeita a variações nas propriedades do oceano, principalmente através das circulações atmosféricas que se formam na interface entre o oceano e o continente. Os efeitos sentidos na MMP podem ser positivos (remoção da poluição no inverno) ou negativos (ocorrência de tempestades no verão). Mudanças climáticas, com aumento de áreas urbanas e aquecimento do planeta, podem resultar em eventos ainda mais severos de precipitação sobre a região.

Referências:

BENDER, A.; FREITAS, E. D.; MACHADO, L. A. T. The impact of future urban scenarios on a severe weather case in the metropolitan area of São Paulo. *Climatic Change*, v. 156, n. 4, 2019.

FREITAS, E. D. “Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes”. 2003. PhD University of São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14133/tde-16032006-160700/>>.

FREITAS, E. D. et al. Factors involved in the formation and development of severe weather conditions over the Megacity of São Paulo. 89th American Meteorological Society Meeting. Phoenix, AZ, AMS, 2009.

JORGETTI, T. et al. The relationship between South Atlantic SST and SACZ intensity and positioning. *Climate Dynamics*, v. 42, n. 11-12, 2014.

SQUIZZATO, R. et al. Beyond megacities: tracking air pollution from urban areas and biomass burning in Brazil. *npj Climate and Atmospheric Science*, v. 4, n. 1, p. 17, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41612-021-00173-y>>.