

ASPECTOS GEOGRÁFICOS DA QUALIDADE DO AR EM ARACAJU, BRASIL

Francisco Jablinski Castelhana

Universidade Federal de Sergipe – UFS
Programa de Pós-Graduação em Geografia, São Cristóvão, SE, Brasil
fjcastelhana@gmail.com

Josefa Eliane Santana de Siqueira Pinto

Universidade Federal de Sergipe – UFS
Programa de Pós-Graduação em Geografia, São Cristóvão, SE, Brasil
j.eliane@academico.ufs.br

RESUMO

O centro de Aracaju, capital do estado de Sergipe, nordeste brasileiro, apresenta características típicas de grandes cidades, como verticalização, ausência de áreas verdes e excesso de veículos, concentrando comércio e serviços, constituindo problemas e riscos inerentes à vida urbana. Situado como um dos principais problemas ambientais urbanos, a poluição atmosférica se posiciona como um fenômeno multicausal, tendo sua intensidade e abrangência relacionada com aspectos geográficos como o clima e o planejamento urbano. O presente trabalho apresenta uma análise geográfica da qualidade do ar na cidade de Aracaju. Apesar de suas características, um sistema de monitoramento da qualidade do ar é inexistente, dificultando o monitoramento e tomadas de decisão. Tal análise foi realizada a partir de coletas de monóxido de carbono (CO), realizada por meio de sensores eletroquímicos programados junto à plataforma ARDUINO, e medida de forma móvel, com auxílio de bicicletas. A coleta foi organizada durante o mês de fevereiro de 2019, durante três dias, abrangendo o centro e entorno da capital sergipana. Os resultados expõem a influência da verticalização e do uso do solo sobre os níveis de CO, bem como sua íntima relação com a brisa marinha promovendo contribuições científicas para o embasamento de políticas públicas.

Palavras-chave: Poluição do ar. Medições móveis. Monóxido de Carbono. Clima Urbano.

GEOGRAPHICAL ASPECTS OF AIR QUALITY IN ARACAJU, BRAZIL

ABSTRACT

The central region of Aracaju, capital of Sergipe state, northeastern Brazil, presents typical characteristics of large cities, such as high density of buildings, absence of green areas and excess of vehicles, concentrating commerce and services, which constitutes problems and risks inherent to urban life. Known as one of the main environmental problems in urban areas, air pollution is positioned as a multi-causal phenomenon, having its intensity and scope related to geographical aspects such as climate and urban planning. The present work presents a geographic analysis of the air quality in the city of Aracaju. Despite the aforementioned situations, the city does not have an air quality monitoring system, making it difficult to make decisions that could minimize this problem. Such analysis was performed from pollutant collections, carried out by electrochemical sensors, and mobile measurements, with the aid of bicycles. The sensors used were programmed with the ARDUINO platform, measuring carbon monoxide (CO) at two-second intervals. The measurements were organized during February 2019, in three days, in locations in the center and its surrounds. The results expose the influence of buildings density and land use on CO levels, as well as their close relationship with the sea breeze that affects the city, promoting scientific contributions to support public policies that may resolve the issues raised here.

Keywords: Air pollution. Mobile measurements. Carbon Monoxide. Urban Climate

INTRODUÇÃO

Talvez aquele com maior apelo no imaginário popular no âmbito dos problemas ambientais urbanos, a poluição do ar situa-se enquanto fruto da lógica de produção capitalista das cidades e está

intrinsecamente relacionada as condições climáticas em situações interescares, sendo um problema encontrado em cidades de médio a grande porte, por todo o globo (Monteiro, 1976). O autor aponta que estudos sobre dispersão e poluição do ar devem constituir o campo de observação físico-químico e sua relação com a estrutura urbana.

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2016), tal problema é responsável por cerca de 3 milhões de mortes anuais, isto pois, segundo a mesma publicação, cerca de 90% da população mundial respira um ar que não se enquadra nos parâmetros de qualidade do ar da instituição.

Sabe-se que a má qualidade do ar mantém uma relação próxima com distintas variáveis, apresentando profunda característica geográfica. Segundo McCormac (1971), a intensidade da poluição do ar pode ser estimada com base em dois fatores, o índice de emissão e o índice de dispersão. O índice de emissão se relaciona diretamente com variáveis ligadas a produção capitalista do espaço urbano, tais como mobilidade urbana (ou imobilidade), planejamento urbano, economia, política, entre outras; enquanto que o índice de dispersão estaria ligado às características climáticas, como velocidade e direção dos ventos, volume de chuvas, pressão atmosférica, entre outros de caráter estrutural urbano.

A literatura tem apontado aumentos nos níveis de poluição a partir da análise destas distintas variáveis que contribuem para os níveis de emissão, indicando que a piora na qualidade do ar estaria ligada, de forma mais determinante, aos índices de emissão, mais do que em relação aos de dispersão.

Jimenez e Torrecilla (2007) apontam que diferentes níveis de Dióxido de Enxofre (SO₂) no tecido urbano de Madrid correspondem diretamente a diferentes tipos de aquecedores utilizados pela cidade. De acordo com os autores, nas áreas cuja vulnerabilidade social encontra-se mais baixa, os aquecedores são mais baratos, movidos a combustíveis de pior qualidade, influenciando diretamente nos níveis de poluição da cidade e revelando uma relação entre segregação socioespacial e poluição do ar na capital espanhola. Tal exemplo de prática de análise corrobora a pesquisa e seus métodos procedimentais, na presente publicação.

Czernecki et al. (2017) atestaram a influência de queima de madeira e lenha doméstica nas regiões de baixa renda da Polônia. Segundo os autores, nas localidades de mais baixa renda, onde os moradores necessitam de formas mais baratas de aquecimento, os níveis de poluição mostram-se superiores, novamente ratificando a relação entre condições sociais e poluição do ar.

Em estudo realizado na região metropolitana de São Paulo analisando o cenário de 2018, a CETESB (2020) revelou que cerca de 40% do material particulado na cidade provém do trânsito de veículos, montante que se altera conforme o poluente e relacionando as deficiências no transporte público, e na presença de outros modais, aos altos níveis de poluição presentes na cidade.

Na mesma cidade, Kumar et al. (2016) também identificaram contribuições de emissões a partir das chamadas fontes pequenas, tais como pizzarias e churrascarias e outros serviços alimentares movidos a queima de carvão e lenha. Os autores apontaram a ausência de legislação e fiscalização para estas causas como um dos gatilhos para este problema, relacionando hábitos culturais com níveis de poluição.

A relação entre o clima e a poluição, por outro lado, situa-se como um campo bem estudado pela academia, representando uma variável importante na compreensão dos níveis de qualidade do ar. A este respeito, Derisio (2012) aponta a velocidade do vento, direção do vento, temperatura e precipitação como aqueles fatores com maior relação nos níveis de poluição.

Partindo de tais premissas, a finalidade desta pesquisa foi analisar a qualidade do ar na cidade de Aracaju, capital do estado de Sergipe, nordeste do Brasil, sob uma perspectiva geográfica, de modo a compreender a distribuição temporal e espacial da poluição atmosférica na área de estudo, a partir de uma metodologia de baixo custo para coleta e espacialização de dados de poluição atmosférica, em específico de monóxido de carbono.

O gás monóxido de carbono (CO) é danoso à saúde humana, podendo causar problemas neurológicos associados ao pouco oxigênio no sangue quando de sua exposição crônica (TOWNSEND e MAYNARD, 2002). Atualmente, segundo a resolução brasileira 491/2018 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o valor mínimo aceitável de concentração de monóxido de carbono é de 9 ppm, como máxima média móvel obtida a cada oito horas, mesma medida adotada pela União Europeia e pelos Estados Unidos. O dito contaminante é considerado um poluente primário, pois é emitido diretamente pela queima de combustíveis fósseis, e não passa por processos de formação na atmosfera. Tal fato torna sua dinâmica espacial mais associada à dinâmica urbana da cidade.

A campanha de coleta de dados foi realizada na região central da cidade, através de coletas móveis ocorridas em dias distintos, e revelaram padrões espaciais da distribuição de monóxido de carbono em dita área, ligados a produção do espaço urbano de Aracaju, advinda de seu planejamento urbano.

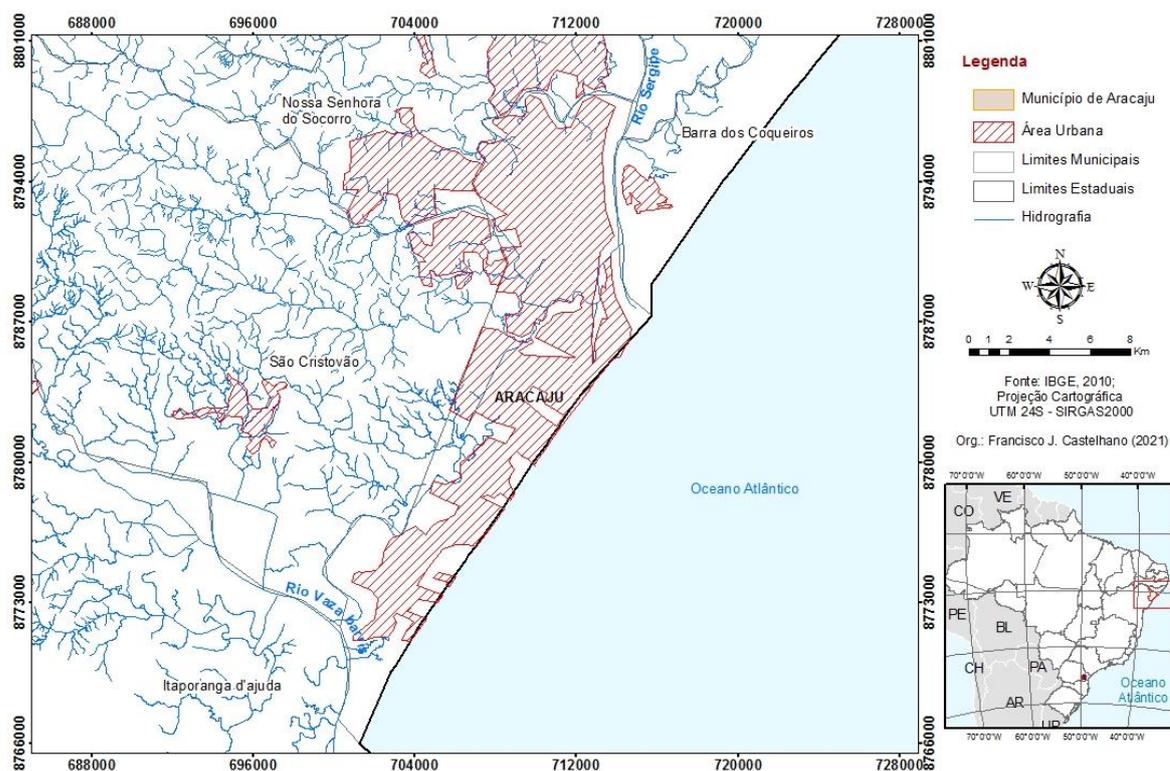
METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

Aracaju, capital do estado do Sergipe, conta atualmente com uma população estimada de 664.908 habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020). O censo de 2010 aponta a totalidade da população do município como urbana e uma densidade demográfica alta, de 3.140,65 hab./km².

A cidade se localiza no litoral central do estado do Sergipe, entre a foz do Rio Sergipe ao Norte e do Rio Vaza Barris ao Sul (Figura 1). A proximidade dos rios e da costa reflete em seu relevo. Segundo Anjos (2017), a topografia é pouco diversa, com cotas chegando próximo a 100 metros em seus limites máximos. A paisagem da cidade é marcada por uma densa rede hidrográfica formando córregos, rios e mangues que, segundo o autor, colaboram com algumas de suas características climáticas, como os próprios regimes de ventos, temperaturas, precipitação e umidade relativa do ar.

Figura 1 - Localização de Aracaju (SE) e sua área urbana.



Fonte - Elaboração do autor (2020).

A qualidade do ar de Aracaju é monitorada por apenas uma estação medidora de qualidade do ar, localizada no distrito industrial da Cidade. O monitoramento em questão iniciou-se em 2008, coletando dados de SO₂, Fumaças e Material Particulado Grosso (PTS). Tal estação opera em condições manuais, o que permite a coleta de dados em escala diária. Tais características limitam significativamente suas análises espaço-temporais, sendo esta também a única fonte de dados primários de qualidade do ar no estado do Sergipe (IEMA, 2014).

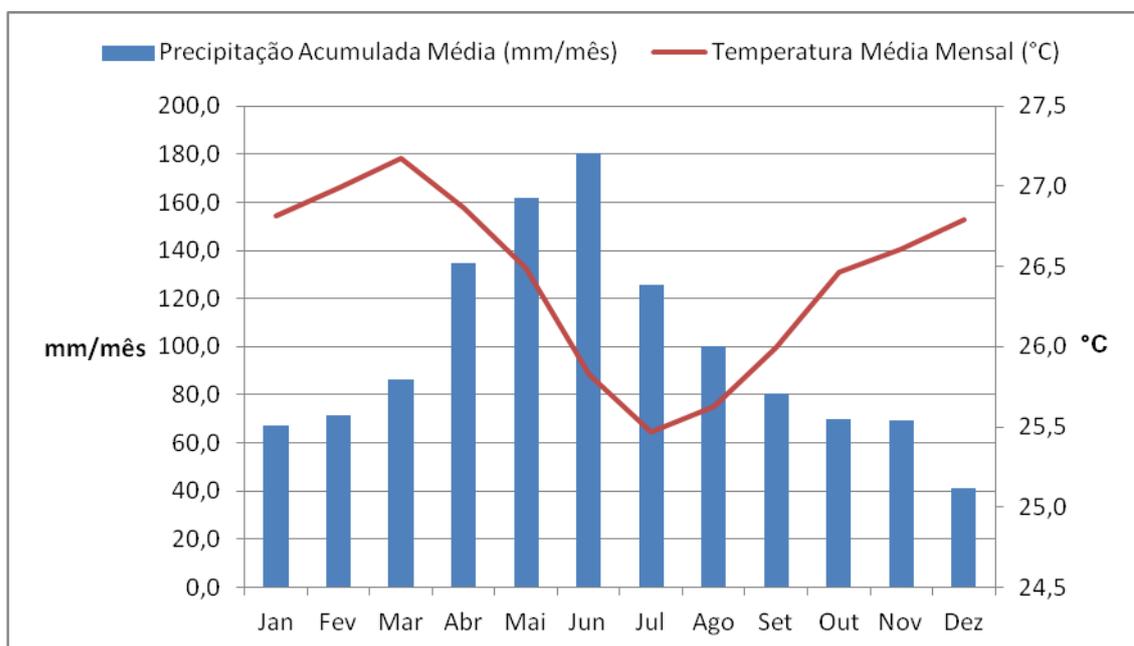
Neste ponto, salienta-se a necessidade do monitoramento e diagnóstico dos níveis de poluição em Aracaju, vide a falta de dados e pesquisas sobre tal temática na área de estudo. Segundo Macêdo (2016) a ausência de uma rede de monitoramento da qualidade do ar em Aracaju impossibilita estudos mais

aprofundados. A autora salienta que a frota veicular, uma das principais fontes de emissão atmosférica, aumentou de 146.486 veículos para 284.681, no período de 2005 a 2016, o que impactou consideravelmente a qualidade do ar na cidade.

Aracaju está inserida na zona climática classificada como tropical litorâneo do nordeste oriental com um a três meses secos, de acordo com Danni-Oliveira e Mendonça (2007). O clima desta área é regido principalmente por massas de ar tropical (atlântica), equatorial (atlântica) e polar (atlântica), com intensa influência da Zona de Convergência Intertropical.

As características gerais do clima de Aracaju foram descritas por Pinto (2002). As principais configurações e compartimentações do clima desta região são a distribuição pluviométrica, que aponta uma estação mais seca (setembro a março) e outra chuvosa, (abril a agosto) e as elevadas temperaturas ao longo do ano. A Figura 2 aponta as normais climatológicas para Aracaju de acordo com o INMET.

Figura 2 - Aracaju (SE): Médias Mensais de Temperatura e Precipitação Acumulada, 1991-2020.



Fonte - INMET (2021).

A média anual de temperaturas no município é de 26,4°C. Observa-se que a cidade tem sua temperatura média mais baixa no mês de julho com 25,5°C, enquanto que a mais quente é em março com 27,2°C, demonstrando uma amplitude baixa ao longo do ano, de 1,7°C.

As chuvas acumulam 1.189,1mm de precipitação anual média, apresentando padrão inverso ao comportamento das temperaturas, se mantêm baixas no verão e conforme se aproxima ao inverno seus níveis aumentam. O mês menos chuvoso é dezembro, com uma precipitação acumulada média de 41,1mm, enquanto que junho é o mais chuvoso com 180,4mm. O período chuvoso perpetua-se entre os meses de abril a agosto, concentrando cerca de 60% da precipitação anual neste período.

Assim, justifica-se a preocupação com a análise da qualidade do ar, inserida no campo de observação físico químico, como inerente ao clima urbano, em conjunto a observações termo-higrométrico e hidrometeorológico, preconizado e divulgado por Monteiro (1976).

TÉCNICAS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

De modo a buscar uma relação entre morfologia urbana e qualidade do ar, optou-se pela realização de medidas móveis. As medidas móveis são metodologias fartamente utilizadas na climatologia geográfica brasileira, sobretudo para coleta de dados térmicos, como pode ser visto em Amorim (2010), Alves e Specian (2010) e Maciel (2011).

A medição móvel para mapeamento de poluentes por outro lado, segue outros preceitos. Para análise do campo térmico as medições costumam ser realizadas com equipamentos acoplados a veículos automotores, com velocidade constante de 20 a 30km/h e em horários pré-determinados pela Organização Meteorológica Mundial (00 h, 06 h, 12 h e 18 h GMT) (VALIN JUNIOR, 2019).

Para coleta de dados de poluição, a literatura tem apontado uma preferência pela utilização de bicicletas, por sua facilidade de deslocamento em congestionamentos, ausência de emissões e velocidade reduzida, aspectos e condições que aumentam a acurácia dos dados e possibilitam a identificação de *hotspots* de poluentes com maior facilidade (ELEN et al., 2013).

Tal técnica pode ser visualizada em Cipoli, Targino e Toloto, (2017), para estudos realizados em Curitiba, Sul do Brasil, e em Schneiders e Skov (2019), nas cidades dinamarquesas de Aalborg e Haderslev. Essas pesquisas também serviram de base para metodologia e coleta de dados do presente estudo, que realizou as medições com o auxílio de uma bicicleta, acoplando o sensor a uma altura de cerca de 1,20m do solo (Figura 3).

A Figura 3 apresenta o sensor acoplado no processador Arduino e o módulo *Global Positioning System* (GPS) Neo6M utilizado. Tanto o sensor quanto o GPS foram acoplados a um recipiente plástico com abertura superior e pequenos orifícios frontais, de modo que, os sensores não fossem expostos a ventilação frontal direta. O sensor e o GPS são alimentados por baterias de cinco volts, e programados para gravar dados em escala horária de dois segundos. Os dados dos sensores foram calibrados e validados a partir de dados históricos provenientes das estações de monitoramento oficiais do Instituto Ambiental do Paraná, localizado na cidade de Curitiba.

Figura 3 - Sensores Utilizados na Coleta de Dados - A: Processador Arduino UNO; B: Bateria 5v; C: GPS Modelo Neo6M; D: Sensor MQ-135.



Fonte - Acervo do autor (2020).

Optou-se pela utilização do sensor modelo MQ-135, programado em ambiente ARDUINO e classificado como um sensor eletroquímico estável, que mensura monóxido de carbono, entre outros gases, pelo método da diferença de condutividade (KALRA et al., 2016).

Os sensores eletroquímicos geralmente são operados em modo amperométrico, em que as reações eletroquímicas entre o gás alvo, no caso o monóxido de carbono, e um eletrólito produzem uma corrente elétrica a depender da concentração gasosa. Os aparelhos geralmente consistem em três eletrodos, que utilizam Dióxido de Estanho (SnO_2) como material sensível e sendo denominados como trabalho, contador e referência (RAI et al., 2017).

O gás alvo sofre eletrólise (oxidação ou redução) no eletrodo de trabalho, e gera uma corrente elétrica equilibrada pela reação no eletrodo contador. A corrente elétrica medida em relação à referência corresponde à concentração do gás (KALRA et al., 2016).

O material em questão é recomendado para uso em ambientes internos devido a sua sensibilidade quanto às mudanças de temperatura e umidade do ar. Rai et al. (2017) e Kalra et al. (2016) realizaram testes em que tais sensores foram utilizados em ambientes externos e apresentaram índices de correlação com estações de medição oficiais, demonstrando a possibilidade de utilização também em ambientes externos. Kalra et al. (2016), todavia, defendem que sensores eletroquímicos não podem ficar expostos a mudanças bruscas de temperatura e umidade sem que sejam recalibrados, sugerindo a utilização em momentos pontuais.

A COLETA DE DADOS

O trajeto traçado para coleta de dados procurou abranger áreas com características espaciais diferentes, conforme visualizado pela Figura 4. O ponto de partida situou-se na Avenida Ivo Prado, via que margeia o Rio Sergipe e conecta a região central da cidade com a porção sul do município e que apresenta grande circulação de veículos, vias largas e pouco arborizadas e baixa verticalização. Já na região central, segue-se com destino ao Terminal de Ônibus Central pelas Ruas João Pessoa e Travessa Hélio Ribeiro, região com intenso tráfego de veículos e foco de concentração de ônibus e demais veículos de transporte público. Segue-se então pela Rua Capela, passando pela Praça Olímpio Campos, sede do governo estadual, da Catedral Metropolitana e a maior e mais arborizada Praça da região central da cidade até a Avenida Barão de Maruim. A partir de então, toma-se a Rua Itabaiana voltando rumo a Praça Olímpio Campos, de onde finaliza-se o trajeto na Rua João Pessoa, uma grande via exclusiva para pedestres.

Segundo modelos gerados por Anjos, Lopes e Alves (2018), as vias centrais da cidade de Aracaju, orientadas no sentido norte-sul, tendem a apresentar maiores concentrações de poluentes em decorrência dos efeitos da Brisa marítima, sobretudo no período da tarde e da noite. É o caso das avenidas Ivo Prado, Rua Capela e Rua João Pessoa e Itabaiana no percurso realizado.

De modo a evitar alterações bruscas nas condições climáticas, optou-se por realizar as coletas por um período entre 40 e 50 minutos. De tal forma, a rota escolhida totalizou 4,7 quilômetros, percorridos a uma velocidade média de 7,5 km/h.

A coleta foi realizada durante três dias diferentes: 14, 16 e 17 de fevereiro de 2020, sendo estes: sexta-feira, domingo e segunda-feira respectivamente. Optou-se pela coleta em um dia de final de semana como forma de comparar os dados de dias com circulação normal de veículos. A coleta de dados aconteceu em momentos sem a ocorrência de eventos de precipitações, tendo em vista que tal presença diminui o volume de concentração de poluentes, desconfigurando as premissas do trabalho além de prejudicar funcionamento do equipamento, ressaltando tratar-se de predominância de temperaturas elevadas e constantes, típicas do verão.

Figura 4 - Aracaju (SE):Trajeto percorrido e suas características geográficas, 2020.



Fonte da Imagem - Google Earth (2020) Organização: os autores.

O percurso foi realizado sempre no mesmo horário, iniciando-se às 15h. Optou-se por tal horário, pois, segundo Castelhana (2017), é o momento em que a circulação de veículos encontra-se em sua base, entre os picos matutinos e vespertinos, de modo que, pode-se perceber com mais nitidez a influência da morfologia urbana nos níveis de qualidade do ar. Após a coleta, os dados passaram por tratamento estatístico junto ao *software* R. Estipulou-se o limiar do percentil 95 como *outlier* sendo estes filtrados na análise final.

RESULTADOS

A coleta de dados revelou uma íntima relação entre a oscilação de CO e as feições e funções urbanas do centro de Aracaju. A Tabela 1 apresenta os valores médios do poluente por dia de coleta, bem como as condições meteorológicas de cada dia.

Durante o período de coleta, percebe-se que a temperatura foi semelhante, com pouca oscilação tanto em seus valores máximos quanto mínimos. Durante o primeiro dia de coleta (14/02/2020) a máxima diária registrada foi de 30,2°C e a mínima 24,4°C; durante o segundo dia, (16/02/2020) a temperatura máxima apresentou leve incremento, chegando a 31,8°C e a mínima registrada foi de 24,3°C. No dia 17/02/2020, as temperaturas mantiveram-se com poucas alterações em relação aos demais dias, com máxima de 31,2°C e mínima de 24°C. Em termos de chuva, no dia 14/02/2020 não houve registros, enquanto que no dia 16/02/2020 registraram-se 9 mm, e no dia 17/02/2020, 2mm (INMET, 2021). As direções predominantes dos ventos conservaram-se iguais nos três dias, com predomínio do setor Leste-Nordeste. Em relação a velocidade média dos ventos, domingo foi o dia com menores valores, registrando 1,8m/s, enquanto que na sexta-feira a média registrada foi de 3,4 m/s e na segunda-feira 2,9 m/s.

Os dados coletados e apresentados na Tabela 1 revelam que em todos os dias de mensuração, os valores médios de CO não ultrapassam os parâmetros mínimos da legislação vigente, que é de 9 ppm, embora tal fato tenha ocorrido em locais e momentos específicos do trajeto.

Tabela 1 - Aracaju (SE): Síntese dos dados meteorológicos e de Monóxido de Carbono nos dias de Coleta em escala diária, 2020.

Data	Dia da Semana	CO Médio (ppm)	CO Máximo (ppm)	Temp. Média (°C)	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Umid. Rel. do Ar (%)	Precipitação (mm/24h)	Vel. Média dos Ventos (m/s)	Dir. dos Ventos
14/02/2020	Sexta-Feira	3,49	27,6	28,3	30,2	24,4	61,5	0	3,4	ENE
16/02/2020	Domingo	0,55	15,3	28,3	31,8	24,3	71,7	9	1,8	ENE
17/02/2020	Segunda-Feira	2,84	9,63	28,2	31,2	24,0	61,7	2	2,9	ENE

Fonte - Inmet (2021). Elaboração do autor (2021).

No primeiro dia de medição, em 14/02/2020, a média de CO coletado foi de 3,49 ppm, com um valor máximo registrado de 27,6 ppm, portanto, acima do valor limite estipulado pelo como aceitável.

A Figura 6 configura os valores coletados neste dia. Observa-se que as maiores concentrações do gás foram registradas no calçadão da Rua João Pessoa, uma via exclusiva para pedestres que conecta as Praças General Valadão e Praças Olimpio Campos, ambas as localidades com significativa circulação veicular.

A Avenida Ivo do Prado, que segue o curso do Rio Sergipe (Figura 5A), registrou os mais baixos índices do circuito neste dia, com valores inferiores a 1 ppm, apesar do fluxo constante de veículos.

A saída desta Avenida e o seguinte aumento no distanciamento em relação ao leito do Rio significou um leve e contínuo incremento nos valores de monóxido de carbono, mantendo-se acima de 3 ppm durante este trajeto até o terminal de ônibus central local onde registrou-se um primeiro pico acima de 5,5 ppm. A

partir do terminal, percebe-se que os índices apresentam uma queda gradual, mantendo-se entre 3 5 ppm ao longo da Rua Capela, voltando a ultrapassar 5 ppm quando as proximidades da Avenida Barão de Maruim e mantendo-se acima de 5 ppm até a Praça Olímpio Campos. Ao longo da Praça em questão, os valores voltam a apresentar leve queda, chegando a registrar valores abaixo de 3 ppm, todavia à medida que se aproxima a Rua João Pessoa, tornam a subir, ultrapassando 9 ppm, valor limite segundo a legislação nacional, no início de tal via, e atingindo seu ápice ao longo deste trecho, registrando valores superiores acima de 15 ppm (Figura 5B).

Levando em conta o papel das emissões veiculares nos valores de CO, optou-se por realizar a segunda coleta durante o dia 16/02/2020, um domingo, e dia em que normalmente o trânsito veicular na região central da cidade é reduzido em decorrência dos estabelecimentos de comércio se encontrarem fechados.

Figura 5 - Aracaju (SE): Coleta de dados, 14/02/2020.



Fonte - Google Earth (2020). Elaboração e acervo do autor (2020).

Neste dia o valor médio de CO foi o mais baixo dentre os dias de coleta, com 0,55 ppm registrados. O maior valor registrado foi de 15,2 ppm, mas em comparação ao dia de coleta anterior, os momentos em que as concentrações de CO superaram o limite máximo estipulado pelo CONAMA foram poucos (Figura 6).

A distribuição espacial do dia mostrou-se diferente da coleta anterior em alguns aspectos. A Avenida Ivo Prado junto ao Rio manteve-se como o trajeto com menores valores, não excedendo registros de 1 ppm em qualquer momento. Os valores passam a apresentar um aumento a medida que aproxima-se ao Terminal de Ônibus Central. À medida que se percorre a Rua Capela com destino a Praça Olímpio Campos atingem-se os maiores valores neste dia (Figura 6A), mantendo-se em boa parte deste percurso acima de 5 ppm e em alguns momentos ultrapassando o limite de 9 ppm.

A partir da chegada à Praça Olímpio Campos os registros tornam a cair, voltando ao predomínio de valores inferiores a 0,5 ppm. A concentração volta a subir e ultrapassar 1 ppm ao fim da via de pedestres da Rua João Pessoa, com valores superiores a Avenida Ivo Prado.

Figura 6 - Aracaju (SE): Coleta de dados, 16/02/2020.



Fonte - Google Earth (2020). Elaboração e acervo do autor.

O estudo finalizou-se com a coleta do dia 17/02/2020 (Figura 7), uma segunda-feira. A concentração média de CO do percurso deste dia foi de 2,84 ppm, com picos de 19,9 ppm. Embora os números registrados tenham sido inferiores aos coletados no dia 14/02/2020, a distribuição espacial mostrou-se semelhante.

O trecho ao longo da Avenida Ivo Prado registrou valores inferiores a 1 ppm, excedendo esta concentração apenas nas proximidades do centro, mas poucas vezes ultrapassando a concentração de 3 ppm.

A concentração torna a atingir valores acima de 4 ppm nas proximidades da Travessa Hélio Ribeiro (Figura 7A) e novamente do Terminal de Ônibus Central (Figura 7B). A partir do terminal e seguindo pela Rua Capela as concentrações se elevam gradativamente, beirando o valor de 8 ppm. Conforme aproxima-se da Praça Olímpio Campos, os valores voltam a cair, oscilando entre 2 e 6 ppm.

No início da via de pedestre no trecho da Rua João Pessoa, os registros apresentam novo aumento na concentração do poluente, e os primeiros valores acima de 9 ppm. Ao longo desta via a concentração do gás oscila entre 4 e 12 ppm, alcançando seu pico no final do trecho.

Figura 7 - Aracaju (SE): Coleta de dados, 17/02/2020.



Fonte - Google Earth (2020). Elaboração do autor (2020).

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Apesar de ocorrerem em dias distintos, as coletas de monóxido de carbono na porção central de Aracaju revelaram uma proximidade entre a qualidade do ar e aspectos geográficos da área de estudo.

A literatura aponta uma relação entre os valores elevados deste poluente e a proximidade a fontes emissoras, principalmente de veículos automotores. Tal fato foi observado no presente estudo ao constatar-se redução de poluição no domingo, dia da semana quando a circulação veicular nesta área da cidade cai notadamente.

Ainda se percebe tal relação quando se observa a região do Terminal de Ônibus Central e da Rua Capela como pontos com volumes elevados de monóxido de carbono nos três dias de coleta. O terminal de ônibus do centro apresenta fluxo constante de veículos pesados, pois além de ser o ponto de encontro de linhas de transporte público que circulam por toda a região metropolitana de Aracaju, também é o ponto de embarque e desembarque dos ônibus que partem para o interior do estado (Figura 7B).

O fato de a cidade apresentar um único modal de transporte público intensifica o volume de ônibus em tal porção, ocasionando em uma área com níveis de monóxido de carbono superiores ao seu entorno, mesmo no domingo.

O corredor da Rua Capela, orientada no eixo norte-sul, faz inferir que dificulta a dispersão atmosférica, registrando índices mais elevados no domingo, e substancialmente elevados nos outros dias, chegando a ultrapassar o limite de 9 ppm.

A Avenida Ivo Prado, e sua elevada concentração de veículos, registrou ao longo de todos os dias de coleta os valores mais baixos de monóxido de carbono. Tal fato é explicado pela proximidade ao leito do Rio Sergipe e por consequência da alta ventilação na área. Anjos, Lopes e Alves (2018) apontam que as

margens do Rio Sergipe se situam como grandes eixos de canalização da brisa marinha, apresentando altos índices de turbulência ao longo do dia, e facilitando a dispersão de poluentes emitidos junto a região.

Outro ponto que chamou a atenção nas coletas situou-se nas elevadas concentrações do poluente ao longo da Rua João Pessoa, em seu trecho exclusivo para pedestres. Apesar de não contar com circulação de veículos, que seriam a fonte emissora primária do gás, foi ao final desta via que as maiores concentrações foram registradas, chegando a ultrapassar os parâmetros legais de boa qualidade do ar.

A despeito da ausência de circulação de veículos, algumas características das feições urbanas neste trecho contribuem a compreender estes resultados e a elucidar soluções para este problema, em bases teóricas.

A via, conforme pode ser visto na Figura 8, é ladeada de edifícios com mais de três pavimentos por toda sua extensão, e apresenta largura mais estreita que as vias próximas. Fatos que dificultam a circulação de ventos e formam um corredor por onde os poluentes de vias próximas se acumulam. Se junta a isso a ausência de árvores ou qualquer tipo de área de verde em seu entorno. A orientação no sentido Norte-Sul da via, também é outro fator que se alia aos anteriores para justificar tal fator. Segundo os modelos de dispersão de Anjos, Lopes e Alves (2018), a Praça General Valadão, ao final da via de pedestres, e junto a Travessa Helio Ribeiro, apresenta alto índice de emissões de poluentes, e a dificuldade de dispersão vivenciada pela via de pedestres pode aprisionar as emissões e torná-la um grande corredor de poluição no centro da cidade.

As características urbanas do centro comercial, citadas anteriormente, com insignificante número de praças e de áreas verdes, adensamento de construções, ruas estreitas e concentrações de veículos surgem como consequência do processo histórico de produção do espaço urbano de Aracaju.

Figura 8 - Aracaju (SE): Trecho da Rua João Pessoa, exclusiva para pedestres, 2020.



Fonte - Acervo do autor (2020).

A cidade fundada no século XIX tem na figura do Rio Sergipe uma de suas principais características. Além de presença marcante na paisagem natural da cidade, e de garantir, como discutido anteriormente, boa circulação de ventos em seu entorno, foi a partir de suas margens que iniciou-se a ocupação do município com a construção do Porto fluvial na atual área central. Este porto, permitia o transporte da produção açucareira do interior do estado, elevando a importância regional do município. Aracaju passa então a se desenvolver e crescer a partir do porto, em seu entorno, passam a aglutinar-se comércio e serviços e o

local aos poucos adquire os primeiros traços do centro urbano visto nos dias atuais (Loureiro, 1983). O projeto inicial da cidade previa vias ortogonais em um formato de tabuleiro de Xadrez. Apesar do estabelecimento da cidade a partir de um projeto, Nogueira (2004) defende que a mesma não pode ser considerada “planejada”, pois o planejamento urbano mostra-se mais complexo e profundo do que apenas traçados de ruas, exigindo a delimitação de funções, e previsões de crescimento, o que não se viu presente em seu primeiro plano.

Segundo Nogueira (2004) o crescimento urbano de Aracaju se mantém concentrado no centro comercial e em seu entorno até meados dos anos 1960. A partir de então se inicia uma expansão da malha urbana nos sentidos Oeste e Sul. Movidos pela descoberta de petróleo no município, o crescimento econômico de Aracaju no final dos anos 1960 e 1970 favoreceram o adensamento da cidade e concentração populacional na cidade. Segundo Loureiro (1983) o final dos anos 1970 e início dos anos 1980 são de grande expansão imobiliária na cidade, ocasionada por cinco motivos principais a) ocupação dos vazios urbanos existentes; b) abertura de novas avenidas, que reintegram loteamentos e conjuntos à malha urbana; c) ocupação de áreas com proximidade à praia (zona Sul); d) expansão da zona oeste; e) aumento da densidade da área central. Esta expansão tardia é apontada pela como um dos motivos para a manutenção da alta concentração de serviços e comércios ainda na área central.

Ainda segundo Nogueira (2004), a partir dos anos 1970, o centro da cidade torna-se gradativamente mais focada na atividade comercial e menos na residencial. Tal fato, segundo a autora, ocorre devido principalmente aos traçados de vias, que favorecem o movimento com destino ao centro aumentando a sua atratividade para o comércio e serviços e intensificando o fluxo veicular nesta região.

A autora aponta outra mudança significativa no espaço urbano de Aracaju, quanto ao antigo bairro Industrial, situado junto à porção central da cidade, passou a ter somente pequenas fábricas, e as indústrias da cidade passaram a ocupar o Distrito Industrial de Aracaju, planejado ainda nos anos 1970 e localizado na porção Sul do município. Os antigos edifícios industriais próximos ao centro tiveram suas funções alteradas, passando a agregar centros comerciais e culturais.

A partir do início do século XX as regiões Sul e Oeste da cidade se convertem no novo foco de expansão urbana, o que resultou em um forte crescimento vertical e lento deslocamento de serviços e comércio a estas regiões. Segundo Santos e Pinto (2020), este processo se intensificou a partir de 2007, provocando uma mudança significativa na paisagem natural, albedo e na termodinâmica de dita área

O panorama atual da região central da cidade aponta o trânsito de veículos como o principal emissor de poluentes. Apesar de não ser a área mais verticalizada e adensada da cidade, os aspectos históricos aqui levantados explicam a permanência de dita área como principal eixo de integração da cidade e também o intenso tráfego veicular e má qualidade do ar registradas. Soma-se a isto, o fato das construções e da urbanização no centro ser antiga, remontando a um momento em que a poluição atmosférica e outras questões ambientais contemporâneas não eram elencadas no planejamento urbano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica de coleta móvel de dados mostrou-se de suma importância na localização e mapeamento da variabilidade espacial de poluição do ar de forma simples, instigando novas pesquisas em localidades diferentes.

Os sensores de baixo custo podem ser facilmente reproduzidos e facilitam a aquisição de conhecimento sobre uma área ainda tão pouco explorada em países em desenvolvimento, em decorrência dos elevados custos para obtenção de equipamentos.

A pesquisa de caráter exploratório revelou um cenário de má qualidade do ar na região central da cidade, com valores de CO que ultrapassam os limites mínimos legais de 9 ppm estabelecidos pelo CONAMA em determinadas localidades.

A solução para estes problemas perpassa em novas medidas e valores no âmbito individual e de sociedade. As ações dos gestores devem pautar-se, sobretudo, na redução de emissões de fontes móveis, ou seja, os carros, proporcionando, portanto, novas formas de mobilidade urbana cujos impactos sejam menores em relação ao transporte automotivo privado. Isto envolve investimentos em transporte público e outros modais como o cicloviário.

Citou-se o incremento no número de veículos que a cidade apresentou nos últimos anos. Isto se deveu em partes, a boa fase da economia brasileira e a facilidade de crédito para a compra de veículos privados

no início da última década. Não se fala aqui em demonizar a aquisição do carro privado, afinal, trata-se de um direito individual, todavia, poderiam se discutir políticas que incentivassem os cidadãos a utilizar menos os seus veículos individuais.

Práticas como incentivo a uso de bicicletas, pedágios urbanos e redução de áreas trafegáveis são algumas das medidas que têm sido utilizadas nos grandes centros europeus e mostrado resultados interessantes.

Em conjunto à estas práticas, os gestores devem também incentivar o uso de transporte coletivo, sejam a partir da redução de sua tarifa, popularizando esta prática e tornando-a economicamente mais viável, seja aumentando as frotas, diversificando os modais e melhorando o seu alcance, tornando esta experiência mais agradável.

A mitigação deste problema não ocorrerá apenas com modificações na paisagem e políticas públicas pontuais, mas envolve também novos hábitos de vida, contemplando um consumo mais consciente, desenvolvimento tecnológico, consciência política e educação ambiental.

A proposta deste artigo procurou assim, realizar uma análise geográfica sistêmica de um problema socioambiental complexo e multifatorial cuja origem e desenvolvimento mostraram-se indissociáveis aos paradoxos, contradições e desacordos presentes na forma como os espaços urbanos capitalistas são produzidos. De tal forma, análises pragmáticas simples mostram-se incapazes abarcar sua complexidade, vide que sua compreensão envolve também nossos hábitos diários enquanto indivíduos, questões políticas e também econômicas. Neste ponto se encontra o diferencial da realização de uma abordagem geográfica para o fenômeno da qualidade do ar, dada a capacidade de tal ciência em agregar tais fatores sob a égide do espaço geográfico.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos de Pós-Doutorado que possibilitou a execução deste trabalho.

REFERENCIAS

ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. Estudo do Comportamento Termohigrométrico em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em Iporá-GO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n.2, p. 87 – 95, 2010. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v3i2.232648>

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator - Revista de Geografia da UFC** v.,9, n.1, p. 71 – 90, 2010.

ANJOS, M. W. **Orientações climáticas para o planejamento urbano numa cidade costeira do nordeste do Brasil**: Aracaju-SE.,277 f., Tese (Doutorado em Geografia) – Lisboa: Universidade de Lisboa. 2017. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.139515>

ANJOS, M. W.; LOPES, A.; ALVES, E. D. Uso dos modelos CAL3QHC e I-Tree Canopy na avaliação da qualidade do ar em Aracaju: estimativas das concentrações de PM10 nas vias de tráfego intenso de automóveis. **Geusp: espaço e tempo**, v.22, p. 707-728, 2018.

CASTELHANO, F. J., Considerações Acerca da Poluição do Ar e Circulação de Veículos na Região Central de Curitiba/PR. **Geografia (Londrina)**, v.26, p.116, 2017. <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2017v26n2p116>

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2020), **Qualidade do ar no estado de São Paulo 2019**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2020/07/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-do-Ar-2019.pdf>. Acesso em:15 maio 2020.

CIPOLI, Y.A.; TARGINO; A.C.L., TOLOTO; M.O. Distribuição espacial de poluentes atmosféricos no centro de Curitiba (PR), In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 23, 2017, Londrina. **Anais...** Londrina, PR: UTFPR, 2017 p.1-7.

CZERNECKI, B.; POLROLNICZAK, M.; KOLENDOWICZ, L.; MAROSZ, M.; KENDZIERSKI, S.; PILGUJ, N. Influence of the Atmospheric Conditions on PM10 Concentrations in Poznan, Poland. **Journal of Atmospheric Chemistry**, v.74, p.115-139, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10874-016-9345-5>

- DANNI-OLIVEIRA, I. M.; MENDONÇA, F. A. **Climatologia: Noções básicas e climas do Brasil**, São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- DERISIO, J. C. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**, São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- ELEN, B.; PETERS, J.; POPPEL, M. V.; BLEUX, N.; THEUNIS, J.; REGGENTE, M.; STANDAERT, A.; The aeroflex: a bicycle for mobile air quality measurements. **Sensors**, 2020, v.13, n.1, p.221–240, 2013. <https://doi.org/10.3390/s130100221>GOOGLE. **Google Earth website**.2020 Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 10 dez. 2020
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012
- _____. **Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020
- IEMA – Instituto Energia e Meio Ambiente. **Primeiro Diagnóstico da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar no Brasil**. São Paulo: IEMA, 2014
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, **Banco de Dados Meteorológicos do INMET**. 2021 Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>, Acesso em: 15 maio 2021
- JIMENEZ, A. M.; TORRECILLA, R. C. Environmental Justice and Sulphur Dioxide Atmospheric Pollution in Madrid: A Spatio-Temporal Analysis and Assessment with GIS. **Boletín de La Asociacion Geografos de España**, v. 44, p. 391-394, 2007.
- KALRA, V.; CHAITANYA, B.; SIMMARPREET, D; CHOPRA, S. Influence of Temperature and Humidity on the Output Resistance Ratio of the MQ-135 Sensor, **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**, v.6, n.4, p. 423-429, 2016.
- KUMAR, P.; ANDRADE, M. F.; YNOUE, R. Y.; FORNARO, A.; FREITAS, E. D.; MARTINS, J.; MARTINS, L. D.; ALBUQUERQUE, T.; ZHANG, Y. New directions: From biofuels to wood stoves: The modern and ancient air quality challenges in the megacity of São Paulo. **Atmospheric Environment**, v.140, p. 364-369, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.059>
- LOUREIRO, K. A. S., **A trajetória Urbana de Aracaju, em tempo de interferir**. Aracaju: INEP, 1983.
- MACEDO, M. F. M. **Avaliação da Poluição Atmosférica Veicular com o Modelo AeroMod em Avenida de Aracaju-SE**.111 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2016, 111 p.
- MACIEL, C. R. **Análise da relação entre características do ambiente urbano e comportamento de variáveis microclimáticas: Estudo de caso em Cuiabá-MT**.141 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2011.
- MCCORMAC, B. M. **Introduction to the Scientific Study of Atmospheric Pollution**. Londres: Reidel Publishng Company, 1971. <https://doi.org/10.1007/978-94-010-3137-0>
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.
- NOGUEIRA, A. D. **Análise Sintático-Espacial Das Transformações Urbanas De Aracaju (1855 – 2003)**. 365 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2004.
- OMS - Organización Mundial de la Salud. (2016). **Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease**. Disponível em: <https://www.who.int/phe/publications/air-pollutionglobal-assessment/en/>. Acesso em: 25 mar. 2020.
- PINTO, J. E. S. de S. O clima local de Aracaju-SE. In: SANT'ANNA NETO, João Lima (Org.). **Os climas das cidades brasileiras** (pp. 46-60). Presidente Prudente: UNESP,2002.
- RAI, A.C.; KUMAR, P.; PILLA, F.; SKOULLOUDIS, A. N.; SABATINO, S. D.; RATIFF, C.; YASAR, A.; RICKERBY, D. End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring, **Science of the Total Environment**, v. 607-608, n.31, p. 691-705, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.266>
- SANTOS, B. F.; PINTO, J. E. S. de S. Urbanização e clima urbano: Teoria e Aplicação no Bairro Atalaia. Aracaju-Sergipe Nordeste do Brasil, **Revista Geonordeste**, Ano XXXI, v.2, p. 261-279, 2020.

SCHNEIDERS, E.; SKOV, M. B. CyclAir: A Bike Mounted Prototype for Real-Time Visualization of CO2 Levels While Cycling. In: INTERACT, 17, 2019. **Proceedings ...**, Paphos, Chipre, 2019, p. 678-687. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29384-0_40

TOWNSEND, C. L.; MAYNARD, R. L. Effects on health of prolonged exposure to low concentrations of carbon monoxide, **Occupational and Environmental Medicine**, v. 59, p. 708-711, 2002. <https://doi.org/10.1136/oem.59.10.708>

VALIN JUNIOR, M. O. **Análise de abrigos termo-higrométricos alternativos para transectos móveis**. 118 f, Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, 2019. <https://doi.org/10.6008/CBPC2318-3055.2020.003.0006>

Recebido em: 05/02/2021

Aceito para publicação em: 01/06/2021