



<http://ensaios.usf.edu.br/>

**ESTUDO DA VARIABILIDADE DO MONÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICO  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS – SP E COMPARAÇÃO COM  
SÃO PAULO – SP**

*STUDY OF CARBON MONOXIDE ATMOSPHERIC VARIABILITY OVER METROPOLITAN  
REGION OF CAMPINAS – SP AND COMPARISON WITH SÃO PAULO - SP*

D'AMELIO, Monica Tais Siqueira<sup>1</sup>; CAMPOS, Larissa Cristina Luiz<sup>1</sup>; ALVIM, Débora  
Souza<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GPMAS – Universidade São Francisco; <sup>2</sup>Centro de Ciências Naturais e Humanas,  
Universidade Federal do ABC, Santo André – SP

[monica.felippe@usf.edu.br](mailto:monica.felippe@usf.edu.br)

**RESUMO.** O gás monóxido de carbono (CO) é considerado um dos piores poluentes atmosféricos devido aos danos que causa à saúde humana e ambiental. Diversos estudos sobre o comportamento deste gás na atmosfera foram realizados em grandes cidades e relacionados à emissão veicular e queima de biomassa. No estado de São Paulo, muitas indústrias estão concentradas no interior do estado e emitem grande quantidade de poluentes atmosféricos. Este estudo visou o estudo da variabilidade do gás CO nas cidades de Campinas e Paulínia, região de Campinas – SP, e no centro da cidade de São Paulo, para identificar as principais fontes de CO nesta região. Foram utilizados dados disponíveis na plataforma Qualar da CETESB entre os anos de 2000 e 2017. O estudo da série temporal do CO nos três locais mostrou diminuição da concentração de CO na atmosfera. A comparação com outras variáveis como umidade relativa da atmosfera, direção do vento, materiais inaláveis e fumaça, mostrou que a emissão de CO está intimamente relacionada à emissão veicular e pouco relacionada às indústrias da região. Foram identificadas interferências das condições climáticas na concentração de CO na atmosfera.

**Palavras-chave:** monóxido de carbono, poluição atmosférica, variabilidade atmosférica, Região Metropolitana de Campinas e São Paulo.

**ABSTRACT.** Carbon monoxide (CO) gas is one of the worst air pollutants due to the damage it causes to human and environmental health. Several studies on the behavior of this gas in the atmosphere in large cities related to vehicular emission and biomass burning. In the state of São Paulo, many industries are concentrated in the interior of the state and emit large amounts of air pollutants. This study aimed at the study of CO gas variability in the cities of Campinas and Paulínia, Campinas - SP, and in the city center of São Paulo, in order to identify the main sources of CO in this region. Data was available on the Qualar platform of CETESB between 2000 and 2017. The study of the time series of CO at the three sites showed a decrease in the concentration of CO in the atmosphere. Comparison with other variables such as relative humidity, wind direction, inhalable materials and smoke, showed that CO emission is closely related to vehicular emission and little related to the industries of the region. Interferences of the climatic conditions in the concentration of CO in the atmosphere were identified.

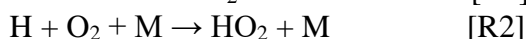
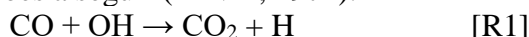
**Keywords:** carbon monoxide, atmospheric pollution, atmospheric variability, Metropolitan Region of Campinas and São Paulo.

## INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica nas regiões urbanas tem aumentado devido à crescente frota veicular e à atividade industrial. A qualidade do ar urbano tem causado sérios problemas às condições de vida das pessoas, das plantas e dos animais que vivem nas cidades e arredores. Diversos estudos sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foram realizados com a finalidade de relacionar a concentração dos principais poluentes atmosféricos, monóxido de carbono (CO), ozônio (O<sub>3</sub>) e material particulado (MP) às emissões veiculares e reações atmosféricas (ROZANTE, et al., 2017).

Dentre os poluentes atmosféricos está o CO, que é um gás incolor, sem cheiro, inflamável e perigoso devido à sua grande toxicidade e por ser um asfixiante químico. As principais fontes de CO para a atmosfera são antropogênicas, como por exemplo, queima de combustíveis, sistema de aquecimento, usinas termelétricas, e queima de biomassa. As fontes naturais são atividade vulcânica, descargas elétricas, emissão de gás natural e reações na atmosfera. A formação do CO é proveniente de toda queima de substância com insuficiência de oxigênio. A queima incompleta também ocorre quando a queima é muito rápida, exemplificada pelo motor do automóvel em aceleração. Este fator explica a emissão veicular de CO, mesmo com a utilização de catalizadores supressores (MARZZOCO, 1985; JACHIC, 2001).

Observou-se crescente aumento na concentração do CO entre a Revolução Industrial e a década de 1980, quando as concentrações de CO começaram a diminuir (ZANDER et al., 1989; KHALIL; RASMUSSEN, 1994, 1998, 2003). A possível causa está na melhoria da qualidade dos veículos, as quais foram adicionados os catalisadores na saída da combustão (BAKWIN et al., 1994). Na atmosfera, a produção de CO é através de reações químicas entre o radical hidroxila (OH) com hidrocarbonetos, principalmente o metano (CH<sub>4</sub>), também de reações da classe dos hidrocarbonetos alcenos com ozônio (O<sub>3</sub>), e de isopreno e terpenos com OH e O<sub>3</sub> (WOFSY et al., 1972). São dois os principais sumidouros de CO. O principal são as reações de CO com hidroxila (OH), e a segunda é a deposição seca e fluxo estratosférico (SEINFELD; PANDIS, 1998; KHALIL; RASMUSSEN, 1994; HOROWITZ et al., 2004, WEINSTOCK, 1969; BAKWIN et al., 1994). Na troposfera, o radical livre hidroxila (OH) oxida o monóxido de carbono (CO) de modo a formar radicais hidroperoxila (HO<sub>2</sub>) segundo as reações a seguir (LEVY, 1971):



Crutzen e Zimmerman (1991) indicaram que em ambiente rico em NO<sub>x</sub> (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>; concentração ≥ 10 pptv), ozônio é produzido pelas reações subsequentes a R1 e R2. Em concentrações mais baixas, o efeito é o contrário, com consumo de O<sub>3</sub>. A reação R1 é rápida e independe da temperatura (DEMORE et al., 1994). Com esta reação, o tempo de vida CO-global médio é dois meses na atmosfera, além de ser o mais significativo dissipador de OH-radical na troposfera (SZE, 1977; CRUTZEN; ZIMMERMAN, 1991; JACOBSON, 2006; WALLACE; HOBBS, 2006). A maior fonte natural de CO na atmosfera é a oxidação do metano por OH, a qual produz formaldeído (CH<sub>2</sub>O) e deste, o monóxido de carbono. Esta reação de metano, em combinação com R1, consome a maior parte de radicais OH na troposfera. As concentrações troposféricas de CO e CH<sub>4</sub> tornam-se assim índices importantes da capacidade oxidante da troposfera.

O CO não é considerado um gás de efeito estufa, pois não absorve a radiação infravermelha terrestre com intensidade suficiente. Entretanto, nas reações químicas que faz parte, produz para a formação dos principais gases do efeito estufa (ISAKSEN; HOV, 1987). É muito significativa a interação bidirecional entre a química do CO e o clima. O CO atmosférico afeta a destruição do metano e a produção de CO<sub>2</sub>, ozônio e aerossóis de sulfato e, portanto, afeta o clima. Por sua vez, as mudanças resultantes no clima realizadas pelo CO

modificam o balanço de CO-CH<sub>4</sub> e seus efeitos afetam a água e a temperatura (ROZETTO, 2017).

Ademais, a diminuição da concentração global de CO poderia provocar um aumento do radical OH, e, por sua vez, aumentar a taxa de remoção de CH<sub>4</sub>, o que alteraria a capacidade oxidante da atmosfera (BRASSEUR et al., 1999; SZE, 1971; THOMPSON; CICERONE, 1986; CRUTZEN; ZIMMERMAN, 1991; WANG; PRINN, 1998).

O CO, em determinadas concentrações, é considerado poluente altamente tóxico ao ser humano, por causar intoxicação aguda, com sequelas, ou até causar a morte por asfixia. Estudos mostraram que as interações do CO com as hemoglobinas são 240 vezes maiores do que a interação com o oxigênio (O<sub>2</sub>).

Neste caso, forma a carboxiemoglobina ao invés da oxiemoglobina (CANÇADO et al., 2006), o que dificulta a liberação de O<sub>2</sub> para os tecidos. Este fato reduz a alimentação de oxigênio aos órgãos do corpo como o cérebro e coração. Essa redução causa fadiga e dores no peito, e quando for alta a concentração exposta, pode causar morte.

Quando uma pessoa é submetida à exposição de 10 ppm, com tempo diferente para cada pessoa, apresenta sinais de envenenamento, e a concentração de 100 ppm é letal para 50% da população que à esta concentração é submetida. Estas concentrações podem ser alcançadas em vias públicas as quais possuem prédios altos. Mesmo os automóveis modernos de pequeno não emitirem essa concentração, o acúmulo desses carros permite atingir essa concentração. Os veículos pesados, principalmente quando dirigidos em marchas mais pesadas, são grandes emissores de altas quantidades de CO. (JACHIC, 2001).

Também foram relacionadas as concentrações de CO na atmosfera com o peso dos bebês recém-nascidos. Medeiros e Gouveia (2005) mostraram, estatisticamente, que a exposição materna à poluição do ar no primeiro trimestre de gestação pode contribuir para o menor ganho de peso do feto, e que embora exista dificuldade em isolar o efeito de cada poluente devido à alta correlação existente entre eles, a exposição ao CO é a mais relevante no que concerne o peso do recém-nascido (JANUÁRIO, et al., 2010).

Segundo Valenti et al. (2012), o impacto da poluição atmosférica na RMPS, é o equivalente a cada habitante fumar três cigarros diariamente, o que aumenta o risco de bronquite crônica, doenças cardiovasculares e o aumento de crises de asma. Os estudos realizados por este grupo, mostraram que a cada 100 consultas realizadas no Instituto do Coração, 12 estão associadas à poluição do ar. Também foi demonstrado que a morte natural de idosos são aceleradas pela poluição entre 5% a 6%, índice alto pelos médicos. O risco de uma pessoa que mora na cidade de São Paulo ter câncer de pulmão é 10 vezes maior que de pessoas que moram em outros locais.

Das 110 pessoas que falecem na cidade de São Paulo, entre 5 e 10% são decorrentes da poluição do ar. (VALENTI, et al., 2012). Devido a este e outros fatores, é de extrema importância o monitoramento e prevenção deste gás.

Neste contexto, este trabalho visou estudar a variabilidade da concentração de CO atmosférico em três diferentes estações de monitoramento da CETESB, próximo à Campinas, no interior do estado de São Paulo, e no centro da cidade de São Paulo capital, relacionando-as com direcionamento do vento, condições meteorológicas, de queima de biomassa, número de veículos e características do local de instalação da estação para identificar as principais fontes de CO para a atmosfera nos locais estudados, além de sugerir ações para que políticas públicas atuem na melhoria da gestão ambiental e da saúde pública das cidades em geral.

## **METODOLOGIA**

O estudo da variabilidade de CO consistiu na determinação das estações de monitoramento, coleta dos dados necessários e o estudo dos mesmos.

## Regiões de estudo

A escolha das regiões de estudo foi baseada nos dados disponíveis pela CETESB. Na plataforma Qualar (<http://qualar.cetesb.sp.gov.br>) verificou-se quais estações de monitoramento da CETESB disponibilizavam dados de CO na região de Campinas, e foram encontradas as estações de Campinas – Centro e Paulínia, ambas no interior de São Paulo. Para comparação de um local poluído, foi escolhida a estação de monitoramento do Parque D. Pedro II, pois está localizada próxima a um terminal de ônibus no centro da cidade de São Paulo.

A região metropolitana de Campinas (RMC) possui 3 milhões de habitantes e 1,2 milhões de veículos. Segundo a CETESB (2017), 30 mil toneladas de monóxido de carbono, 15 mil toneladas de hidrocarbonetos, 25 mil toneladas de óxidos de nitrogênio, 2,4 mil toneladas de material particulado e 14 mil toneladas de óxido de enxofre são emitidas anualmente por fontes móveis e fixas nesta região, sendo que as mais importantes são as veiculares, as industriais e as agrícolas. Nesta região, algumas cidades se destacam, como Campinas, com uma população superior a um milhão de habitantes e considerada a sede da RMC; Paulínia, sede de um grande parque industrial, principalmente petroquímico; e Rio Claro e Santa Gertrudes, polo cerâmico. Na RMC também há plantação de cana de açúcar, as quais são queimadas, e contribuem para a emissão de poluentes atmosféricos.

Em contrapartida, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) possui 21 milhões de habitantes e 7,3 milhões de veículos. Anualmente, há emissão de 131 mil toneladas de monóxido de carbono, 38 mil toneladas de hidrocarbonetos, 80 mil toneladas de nitrogênio, 5,1 mil toneladas de material particulado e 6,7 mil toneladas de óxido de enxofre. Segundo a CETESB (2017), os veículos são responsáveis por 97% da emissão de CO na RMSP. Devido a este fator, escolheu-se a estação de monitoramento do Parque D. Pedro II, pois está localizada em área densamente urbana, no centro da cidade de São Paulo, com intenso tráfego de veículos leves e pesados. Na Tabela 1 são apresentadas a localização das regiões deste estudo, bem como sua latitude. Na Tabela 2, estão apresentadas a frota de veículos das três cidades estudadas em comparação com a frota brasileira.

**Tabela 1** - Informações complementares sobre as estações.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Campinas	22°54'09"S	47°03'25"O	685
Paulínia	22°45'40"S	47°09'15"O	590
São Paulo	23°06'07"S	47°42'53"O	760

**Tabela 2**- Frota de veículos das cidades de Campinas, Paulínia e São Paulo no ano de 2016.

Frota municipal de veículos				
Variável	Campinas	Paulínia	São Paulo	Brasil
Automóveis	589.772	42.851	17.247.123	51.296.981
Caminhões	20.377	2.209	669.056	2.684.227
Caminhões-trator	3.975	2.364	162.501	606.679
Caminhonetes	60.932	5.536	1.825.129	6.880.333
Caminhonetas	34.576	2.331	1.105.626	3.053.759
Micro-ônibus	3.832	213	118.291	383.325
Motocicletas	110.225	9.023	4.378.772	20.942.633
Motonetas	13.900	990	828.036	3.990.558
Ônibus	5.398	369	155.317	601.522
Tratores	217	9	10.695	30.896
Utilitários	7.405	494	225.204	707.152

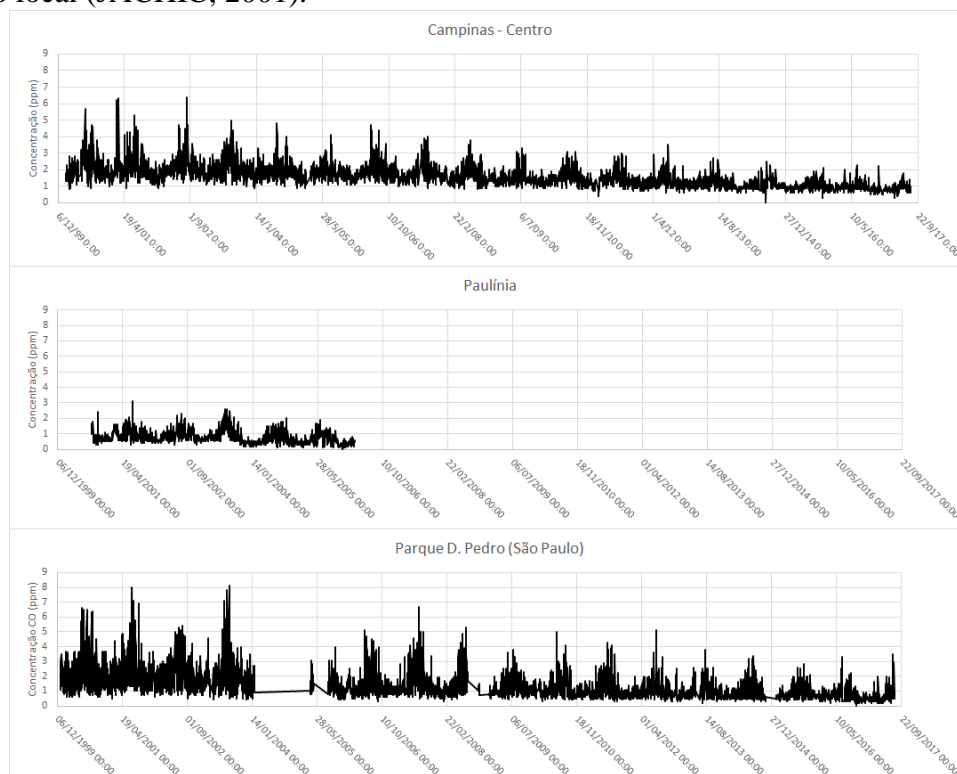
Fonte: Ministério das Cidades, Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN – 2016.

## Aquisição dos dados

Para este estudo, foram utilizados os dados de CO, material particulado inalável (MP10) e inalável fino (MP2,5), fumaça, direção do vento, umidade relativa. A plataforma Qualar disponibilizou os dados de CO, MP10, MP2,5, fumaça, direção de vento e umidade relativa. Após o cadastro na mesma, foi selecionado o período de dados, do poluente a ser estudado e da estação meteorológica escolhida e o arquivo foi exportado. O arquivo continha as informações da estação de monitoramento, o tipo de coleta (manual ou automático), o tipo de dado (diário, anual, etc.), o período apresentado e a unidade dos valores apresentados.

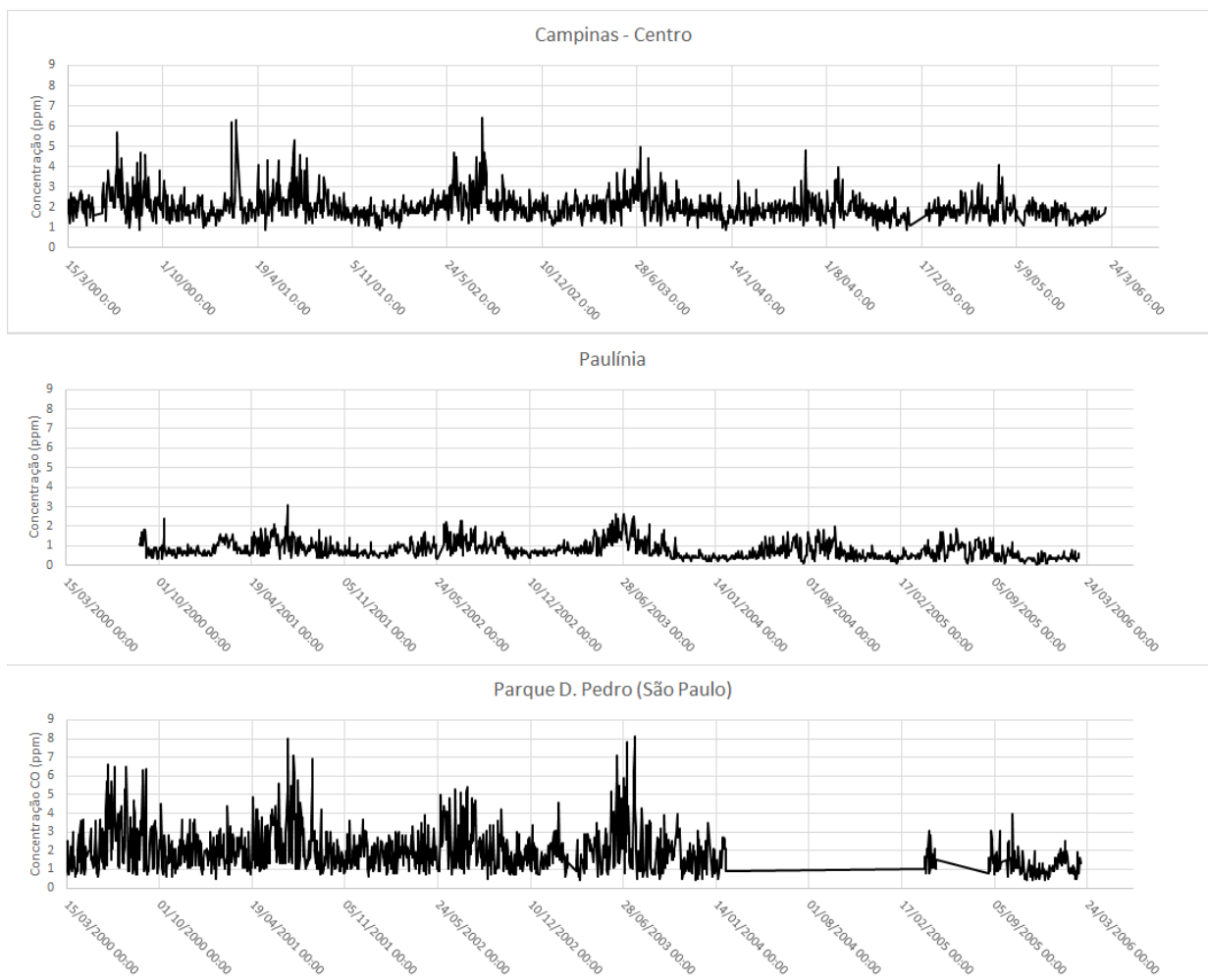
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as construções das séries temporais da concentração de CO nos três locais de estudo (Figura 1) mostram que não houve continuidade de medida na cidade de Paulínia, o que ocorreu apenas entre os anos de 2000 e 2006. Observa-se que o Parque D. Pedro II em São Paulo, capital, apresenta a maior concentração de CO durante todo o período. Atingiu 9 ppm em períodos de seca. Mesmo a estação de Campinas estando localizada no centro da cidade, a estação do Parque D. Pedro II está localizada no centro da cidade de São Paulo e próxima a um terminal rodoviário urbano. Esta última, por ser maior, apresenta maior frota veicular e de ônibus (Tabela 2). A cidade de Paulínia apresenta a menor frota veicular. Mesmo sendo sede de grandes indústrias, como refinaria de petróleo, a cidade apresentou a menor concentração de CO. Conclui-se, portanto, que este gás está intimamente ligado à emissão veicular. Entretanto, ao longo dos anos, a concentração de CO diminuiu, principalmente devido à melhoria da emissão veicular. A presença de catalisadores nos automóveis de pequeno porte contribuiu para esta diminuição. Estudos mostraram que um automóvel de pequeno porte, parado em um semáforo, sem catalisador, pode emitir 300 ppm de CO no local (JACHIC, 2001).



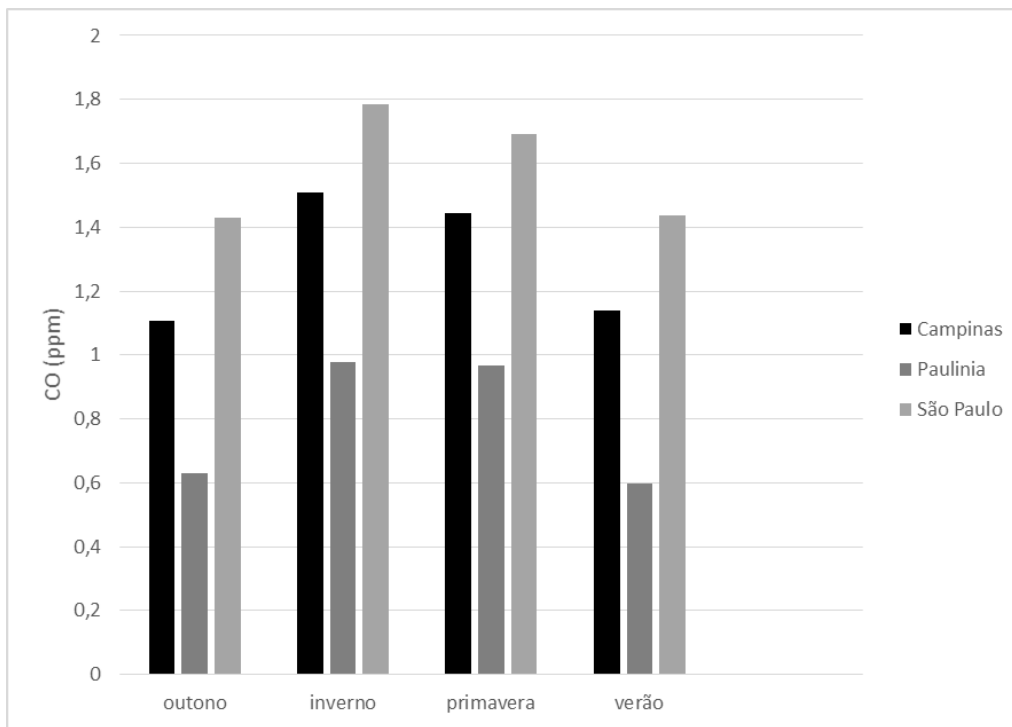
**Figura 1:** Série temporal da concentração de CO entre 01/01/2000 e 31/10/2017 para Campinas (SP), Paulínia (SP) e Parque D. Pedro II, Capital (SP).

Observa-se, também, sazonalidade anual na série temporal das três cidades, a qual foi analisada detalhadamente entre os anos de 2000 e 2006, período comum aos locais de estudo, e apresentado na Figura 2. Existe um padrão no comportamento da série temporal de CO que define a sazonalidade anual. Maiores concentrações durante o período de seca (junho a outubro) e menores concentrações no período chuvoso (novembro a maio). Os maiores picos foram observados nos meses de julho e agosto. A variação na cidade de Paulínia é muito baixa, cerca de 3 vezes maior durante o período de seca em relação ao de chuva. Na cidade de Campinas. A variação foi cerca de 5 vezes maior no período de seca, com picos de até 6,5 vezes. No Parque D. Pedro, a variação foi de cerca de 3 vezes também, com picos de até 4,0 vezes. Entretanto, a concentração no período chuvoso é o dobro em reação às outras cidades. Portanto, a concentração é muito maior.



**Figura 2-** Série temporal da concentração de CO entre 2000 e 2006 para os três locais de estudo.

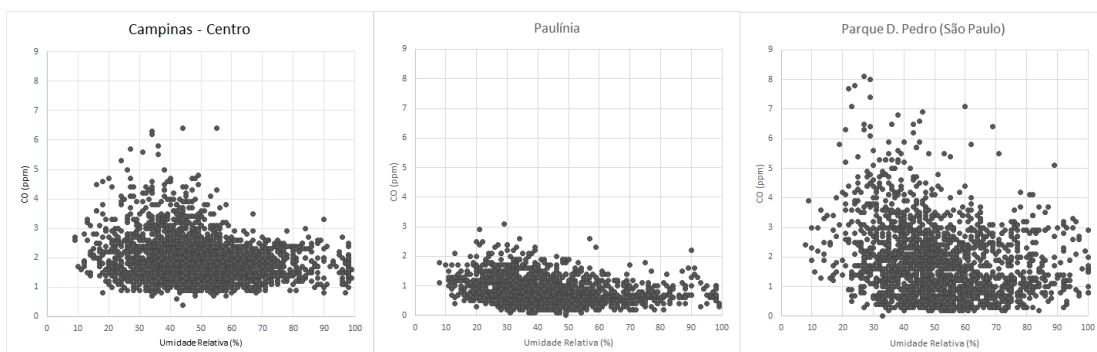
A Figura 3 apresenta a média sazonal para as três cidades para todos os anos estudados: 2000 a 2017. A sazonalidade é evidente para as três estações estudadas. As maiores emissões foram observadas durante o inverno. No estado de São Paulo, o inverno é caracterizado por ser uma estação seca e fria. O ar frio tende a permanecer na superfície, o que dificulta a circulação e conseqüente dispersão do ar. Isso contribui para a maior concentração de CO na atmosfera. O outono e o verão, por serem mais chuvosos, apresentaram menor concentração de CO na atmosfera. Ademais, as temperaturas quentes durante o dia facilitam a dispersão do CO no outono.



**Figura 3-** Média por estação entre 2000 e 2017 para as três cidades estudadas.

Para melhor identificação dos fatores de influência deste gás na atmosfera, as concentrações de CO foram comparadas com os dados amostrados na mesma estação de material particulado, fumaça, umidade do ar e velocidade do vento. A Tabela 3 apresenta o valor da correlação entre as variáveis (valor de  $R^2$  do ajuste linear).

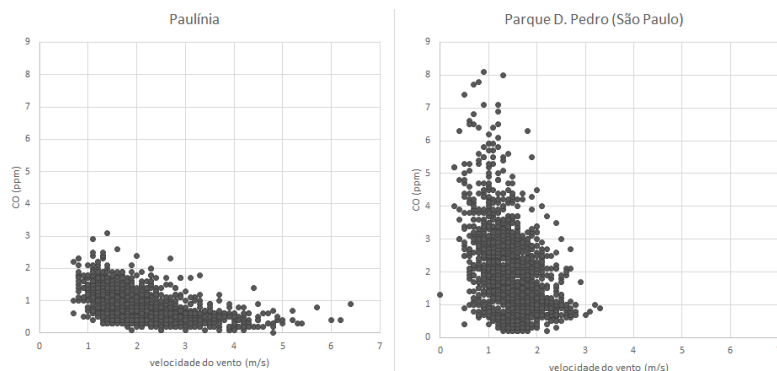
Na comparação da concentração de CO (ppm) com a umidade relativa do ar (%), Figura 4, observa-se que quando maior a umidade, menor a concentração de CO. Em Paulínia, cidade com menor frota veicular, a correlação negativa entre as variáveis é nítida: a concentração de CO diminui com o aumento da umidade relativa do ar. Nas cidade de Campinas e São Paulo, por ter mais influência de frota veicular, há mais dispersão dos valores. Entretanto, a correlação linear entre essas variáveis foi igual para os três locais. Em todos os casos, a correlação ( $R^2$ ) foi baixo, 0,058. Observa-se que nos dias de baixa umidade relativa do ar, São Paulo apresentou maior concentração de CO na atmosfera, seguida de Campinas e Paulínia. Essa relação é proporcional à frota de veículos, pois a queima de biomassa seria mais percebida em Paulínia.



**Figura 4-** Relação da concentração de CO (ppm) com a umidade relativa do ar (%).

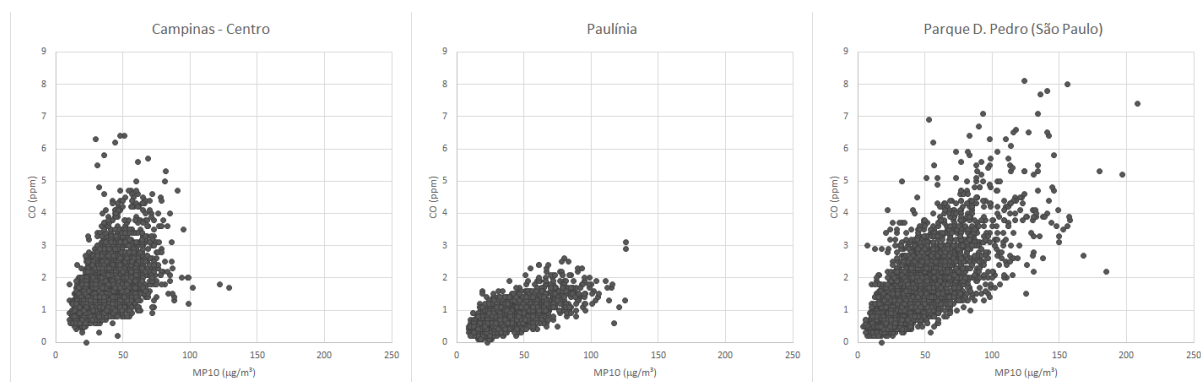
A velocidade do vento não é medida na estação de Campinas – Centro. Desta maneira, foi realizada a comparação para a cidade de Paulínia e o Parque D. Pedro II em São Paulo (Figura 5). Observa-se que a velocidade do vento influencia muito a concentração de CO na

atmosfera. Em Paulínia, a velocidade do vento atinge valores de até  $5,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e apresenta concentração de CO de até  $3,0 \text{ ppm}$ . O Parque D. Pedro II, por apresentar baixas velocidades do vento, apresenta maiores concentrações de CO, até  $8,0 \text{ ppm}$ . A baixa velocidade do vento contribui para a não dispersão deste gás na atmosfera. Por isso as altas concentrações no Parque D. Pedro II. As correlações entre as variáveis foram próximas nas duas cidades, conforme observado na Tabela 3. Paulínia apresentou valor ligeiramente maior,  $0,22$ , enquanto São Paulo,  $0,18$ .



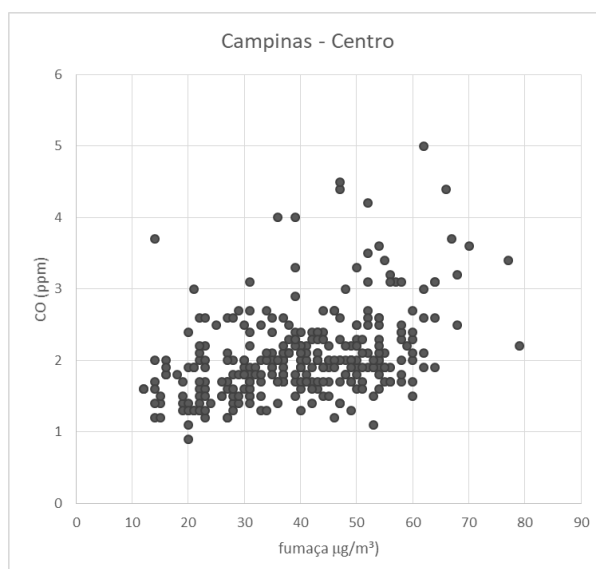
**Figura 5-** Relação entre CO (ppm) e a velocidade do vento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

O material particulado inalável (MP10) está intimamente relacionado com a emissão de queima, seja veicular ou de biomassa, assim como a fumaça. A relação entre o CO e o MP10 apresentado na Figura 6 mostra a relação direta entre eles. Locais com maior concentração de MP10, apresentou maior concentração de CO. Para este fator, foi possível identificar as duas maiores contribuintes para a emissão de CO. Na cidade de São Paulo, correlação de  $0,58$  entre as variáveis, pode-se identificar a emissão veicular como maior responsável pela concentração deste gás no ar. Na cidade de Paulínia, correlação de  $0,50$  entre as variáveis, pode-se relacionar a queima de biomassa e nas indústrias, principalmente petroquímica. A fumaça, disponível somente para a estação de Campinas – Centro, mostrou relação direta com a concentração de CO, assim como o MP10. Entretanto, apresentou baixa correlação entre as variáveis.



**Figura 6-** Relação entre CO (ppm) e material particulado inalável (MP10 –  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ).





**Figura 7-** Relação entre CO (ppm) e fumaça ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

**Tabela 3-** Correlação entre as variáveis medidas da regressão linear ( $R^2$ ) obtidas nas Figuras de 4 a 7.

	Campinas	Paulínia	São Paulo
CO x UR	0,058	0,058	0,058
CO x VV	--	0,222	0,183
CO x MP10	0,289	0,500	0,580
CO x fumaça	0,174	--	--

UR = Umidade Relativa do ar; VV = velocidade do vento; MP10 = material particulado inalável.

Resumidamente, pôde-se relacionar a concentração de CO nas grandes cidades à emissão veicular, enquanto que nas cidades com baixa frota veicular, as maiores fontes de CO podem estar relacionadas à queima de biomassa.

## CONCLUSÃO

As variáveis analisadas reforçaram a relação da emissão de CO com a frota veicular. Em locais com indústrias e queima de plantações, a concentração de CO foi menor, entretanto, observou-se correlação entre a concentração de CO e as outras variáveis medidas. Condições climáticas, como a velocidade do vento e umidade relativa, influenciam na concentração atmosférica de CO. Mas mesmo em períodos com menor velocidade de vento e baixa umidade relativa do ar, Paulínia, a cidade com indústria, apresentou baixa concentração do composto. A diminuição da concentração de CO na atmosfera, devido à relação acima citada, deve-se à renovação da frota veicular, aumento de veículos flex, melhores sistemas de combustão e adsorção nos automóveis e ônibus, entre outras melhoras desta classe emissora. Foi observada sazonalidade com maior emissão durante a estação de inverno, caracterizada por ser fria e seca. A baixa umidade está relacionada com a maior concentração de CO, e a baixa temperatura com a menor dispersão do componente. O estudo da pluviometria e dos focos de queimada se fazem necessário para complementar este estudo.

## REFERÊNCIAS

BAKWIN, P.S.; TANS, P.P.; NOVELLI, P.C. **Carbon monoxide budget in the northern hemisphere**. Geophys. Res. Lett., 21, 433—436, DOI: 10.1029/94GL00006, 1994.

BRASSEUR, G.P.; ORLANDO, J.J. Tyndall, G.S. **Atmospheric Chemistry and Global Change**. Oxford University Press, Oxford. 654, 1999.

CANÇADO, J.E.D.; BRAGA, A.; PEREIRA, L.A.A.; ARBEX, M.A.; SALDIVA, P.H.N.; SANTOS, U.P. **Clinical repercussions of exposure to atmospheric pollution**. J. bras. Pneumol. 32, n.Supl 1, S5-S11, DOI: 10.1590/S1806-37132006000800003, 2006.

CETESB, Relatório Anual da Qualidade do Ar do Estado de São Paulo, 2016, Divisão de Análise de dados, São Paulo, 2017.

Chiquetto, Julio; Ynoue, Rita Miranda, William Silva, Maria. Concentrações de ozônio troposférico na Região Metropolitana de São Paulo e a implementação de parques urbanos: observações e modelagem. Boletim Paulista de Geografia, 95, 1-24, 2016

CRUTZEN, P.J.; ZIMMERMANN, P.H. **The changing photochemistry of the troposphere**, Tellus. 43AB, 136-151, DOI: 10.1034/j.1600-0870.1991.00012.x, 1991.

DEMORE, W.B.; SANDER, S.P.; GOLDEN, D.M.; HAMPSON, R.F.; KURYLO, M.J.; HOWARD, C.J.; RAVISHANKARA, A.R.; KOLB, C.E.; MOLINA, M.J. **Chemical kinetics and photochemical data for use in stratospheric modeling**. Evaluation Number 11, JPL Publication, Report No. 94-26, 1994.

HOROWITZ, L.; WALTERS, S.; MAUZERALL, D.L.; EMMONS, L.K.; RASCH, P.J.; GRANIER, C.; TIE, X.; LAMARQUE, J.F.; SCHULTZ, M.G.; TYNDALL, G.; ORLANDO, J.; BRASSEUR, G.P. **A global simulation of tropospheric ozone and related tracers: description and evaluation of MOZART, (version 2)**. J. Geophys. Res. 108(D24), 4784, DOI: 10.1029/2002JD002853, 2004.

ISAKSEN, I.S.A.; HOV. **Calculation of trends in the tropospheric concentration of O<sub>3</sub>, OH, CO, CH<sub>4</sub> and NO<sub>x</sub>**. Tellus. Ser. B, 39, 271-285, 1987.

JACHIC, J.; João Jachic. Poluição Monóxido de Carbono em Ambiente Fechado. Revista Tuiuti Ciência e Cultura, p. 19-41 2001.

JACOBSON, M.Z. **Atmospheric Pollution: History, Science, and Regulation**. 1.ed. New York: Cambridge University Press, 2006.

KHALIL, M.A.K.; RASMUSSEN, R.A. **Global decrease in atmospheric carbon monoxide concentration**. Nature. 370, 639 – 641, DOI: 10.1038/370639a0, 1994.

LEVY, H. **Normal atmosphere: Large radical and formaldehyde concentrations predicted**. Science. 173, 141-143, DOI: 10.1126/science.173.3992.141, 1971.

MARZZOCO, A. ; TORRES, B. B.; Bioquímica Básica. Editora Guanabara 1985.

MEDEIROS, A.; GOUVEIA, N. **Relationship between low birthweight and air pollution in the city of Sao Paulo, Brazil**. Rev. Saúde Pública, 39(6), 965-972. DOI: 10.1590/S0034-89102005000600015, 2005.

NICOLOSI, D.A.F.J.; PERIN, P.M.; MALUF, M.; LICHTENFELS, A.J.; SALDIVA, P.H.N. **Biological Effects and Dose-Response Assessment of Diesel Exhaust Particles on In Vitro**

**Early Embryo Development in Mice.** Toxicological Sciences, v. 117, n. 1, p. 200-208, 2010.

ROZANTE, J.R.; ROZANTE, V.; ALVIM, D.S.; MANZI, A.O.; CHIQUETTO, J.B.; D'AMELIO, M.T.S.; Moreira, D.S. Variations of Carbon Monoxide Concentrations in the Megacity of São Paulo from 2000 to 2015 in Different Time Scales. Atmosphere, 8, 81, DOI: 10.3390/atmos8050081, 2017.

SEINFELD, J.H.; PANDIS, S.N. **Atmospheric Chemistry and Physics - from Air Pollution to Climate Change.** John Wiley and Sons, New York, NY, 1998.

SZE, N.D. **Anthropogenic CO emissions: Implications for the atmospheric CO-OH-CH<sub>4</sub> cycle.** Science. 195, 673-675, DOI: 10.1126/science.195.4279.673, 1977.

THOMPSON, A.M.; CICERONE, R.J. **Atmospheric CH<sub>4</sub>, CO and OH from 1860 to 1985.** Nature. 321, 148-150, DOI: 10.1038/321148a0, 1986.

VALENTI, V.E.; DE ABREU, L.C.; SATO, M.A.; FERREIRA, C.; ADAMI, F.; FONSECA, F.L.A.; XAVIER, V.; GODOY, M.; MONTEIRO, C.B.; VANDERLEI, L.C.M.; et al. **Sidestream cigarette smoke effects on cardiovascular responses in conscious rats: involvement of oxidative stress in the fourth cerebral ventricle.** BMC Cardiovascular Disorders, v. 12, 2012.

WALLACE, J.M.; HOBBS, P.V. **Atmospheric Science: an introductory survey.** 2.ed. California: Academic Press, Elsevier Inc., 2006.

WANG, C.; PRINN, R.G.; SOKOLOV, A. **A global interactive chemistry and climate model: Formulation and testing.** J. Geophys. Res. 103, 3399-3417, DOI: 10.1029/97JD03465, 1998.

WEINSTOCK, B. **Carbon Monoxide: Residence Time in the Atmosphere.** Science, 166, 224-225, DOI: 10.1126/science.166.3902.224, 1969.

WOFSY, S.C.; MCCONNELL, J.C.; MCE1-ROY, M.B. **Atmospheric CH<sub>4</sub>, CO, and CO<sub>2</sub>.** J. Geophys. Res. 77(24), 4477-4493, DOI: 10.1029/JC077i024p04477, 1972.

ZANDER, R.; DEMOULIN, P.; EHHALT, D.H.; SCHMIDT, U.; RINSLAND, C.P. **Secular increase of total vertical column abundance of carbon monoxide above central Europe since 1950.** J. Geophys. Res. 94, 11021-11028. DOI: 10.1029/JD094iD08p11021, 1989.