

**DOSES DE FILOSOFIA, METEOROLOGIA E ESTATÍSTICA PARA FINS DE  
DEBATE SOBRE AQUECIMENTO LOCAL: O CASO DE PIRACICABA**Euro Roberto Detomini<sup>1</sup>  
Margarida Garcia de Figueiredo<sup>2</sup>

**RESUMO:** Longe de ser um tema decrépito, o debate sobre mudanças climáticas e aquecimento global vem ganhando envergadura e se tornando cada vez mais habitual e proeminente, na medida em que notícias nada alvissareiras são divulgadas pela comunidade mundial científica, política e midiática. Algumas vezes, o assunto cai em rotas de colisão com a interdisciplinaridade proporcionada pelos diversos campos do saber. Este estudo teve por objetivo central analisar, à luz da ferramenta estatística de séries temporais, o centenário histórico de temperaturas do ar de Piracicaba (SP) e, a partir de então, identificar eventuais mudanças no padrão de temperatura do local e averiguar se estariam em consonância com aquelas alegadas, globalmente, pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC. Para tal, autores como Alexander (2010), Pereira (2002), Reichardt e Timm (2004) etc. foram lidos. Clarear, discutir e levantar contornos e questionamentos relevantes à matéria foram objetivos específicos. A análise dos dados apresentados permite concluir que a temperatura média diária do ar da cidade (e seu entorno) não sofreu alterações entre os anos de 1917 e 1970; por outro lado, pequenas elevações, da ordem de 0,17 °C, foram constatadas de 1979 a 2019.

**Palavras-chave:** Aquecimento global. Mudanças climáticas. Séries temporais.

**A PHYLOSOFICAL-METEOROLOGICAL-STATISTIC APPROACH FOR THE  
LOCAL WARMING DEBATE: THE PIRACICABA'S CASE**

**ABSTRACT:** Far from being an old-fashioned debate, climate change and global warming have been becoming such an usual and prominent theme as not encouraging news are often spread by the scientific, political and media commonwealth. Sometimes the matter itself clashes with the fields of knowledge interdisciplinarity. By using the time series statistical tools, the current work analyses the centenary air temperature series of Piracicaba, Sao Paulo State, Brazil, in order to check eventual changes in the local temperature standards and if these would be in reasonable adherence to those mentioned by IPCC for the planetary scale. To this end, authors such as Alexander (2010), Pereira (2002), Reichardt and Timm (2004) etc. were read. Clarifying, discussing and lifting some key topics and relevant questions were some of the specific goals. The herein analyses allows to conclude that the mean air temperature of the place has not changed from the year of 1917 to 1970, but has increased in 0.17 °C from 1979 to 2019.

**Keywords:** Global warming. Climate change. Time series analysis.

**1. INTRODUÇÃO**

---

<sup>1</sup> Doutor em Eng. Agrícola (USP). Mestre em Fitotecnia (USP). Mestre em Economia (UFMT). Professor Federal (UFMT). Eng. Agrônomo (USP). E-mail: erdetomini@hotmail.com.

<sup>2</sup> Doutora em Economia (USP). Mestre em Economia (USP). Professora Federal (UFMT). Eng. Agrônoma (USP). E-mail: mgfiguei@gmail.com.

A Filosofia (*philos* = amor; *sophia* = sabedoria), o “amor à sabedoria”, é considerada a mãe de todas as ciências, tendo sido assim batizada por Pitágoras. Ela busca refletir, identificar, problematizar, explicar, produzir e desenvolver o conhecimento para que se possa abandonar a ingenuidade e os preconceitos do senso comum, isto é, busca formar massa crítica frente às ideias dominantes e aos poderes estabelecidos e criados. Filosofar é, na prática, buscar a verdade para contrapor-se aos mitos, no afã de barrar os efeitos que estes, em estágio avançado, provocam em termos de alienação e dominação de povos. A Filosofia se opõe à sua concorrente mais antiga, a Ideologia, na medida em que a primeira busca desmascarar a segunda.

Foi a Sócrates, porém, atribuído o epíteto de Pai da Filosofia (ocidental). Tamanha foi a relevância do pensador ateniense que as eras pré-socrática, socrática e pós-socrática da Filosofia passaram a ser assim subdivididas. Sócrates preconizava maior ênfase à investigação daquilo que não se sabe em preferência ao ensino daquilo que se julga saber, em busca da verdade e da vinculação desta ao senso de justiça. Não há justiça sem verdade, cuja concepção, oportunamente, pode se dar em três sentidos: (i) *Aletheia*, para aquilo que parece ser verdade – uma verossimilhança essencialmente apoiada na percepção de evidências da realidade para se estabelecer coerência no julgamento de algo; (ii) *Emunah*, para aquilo que acredita-se ser verdade – uma esperança consensual fortemente baseada em relações de confiança (ex.: entre autoridades científicas), mas não necessariamente na razão; e (iii) *Veritas*, para aquilo que é dito veraz, zeteticamente, a partir de coerência lógica e isento de carga ético-valorativa, mas dependente de metodologia replicável e de rigorosa e precisa demonstração de fatos.

Exposta a propedêutica acima, prescinde de qualquer aprofundamento histórico inferir que a evolução da humanidade sempre teve como pivô motivacional a busca pela verdade para poder alcançar o conhecimento e o progresso tecnológico dos quais atualmente goza. Foi sempre sob as mais duras penas, desde os porões da antiguidade, que as civilizações se valeram das três concepções da verdade, operadas de modo conjugado, para libertar-se de seus medos, mitos, dogmas e injustiças. Nessa esteira é que os povos desenvolveram os mercados, os Estados modernos e as indústrias, e conquistaram direitos como as liberdades individuais e a busca pela igualdade material entre indivíduos em nome da solidariedade e da paz social; e que também puderam, tempos depois, enxergar e compreender a biologia de microrganismos letais, clonar mamíferos, tornar a informação imediata, globalizar as relações socioculturais e econômicas, e enviar robôs para outro planeta, filmando-o de lá em tempo real. Registra-se,

enfim, que o compromisso com a *veritas*, termo gravado nas flâmulas da respeitadíssima Universidade de Harvard, sempre foi condição necessária e suficiente para lograr tais êxitos.

Vê-se que o esforço despendido para se atingir certos fins compensou os objetivos alcançados. Em que pese a busca pela verdade ter impulsionado a expansão do conhecimento em toda extensão e profundidade já alcançadas ao longo da história, ainda hoje os povos livres não se furtam em continuar a perceber a realidade (*aletheia*), a contestá-la e a perquirir sua comprovação científica (*veritas*), e a formar sobre si consensos robustos (*emunah*). Afinal, é o consenso devidamente chancelado por autoridades, e não o senso comum, o elemento crucial para que as sociedades se convençam sobre algo para que seus integrantes possam cooperar mutuamente e de forma acentuada, sob pena de, se assim não o fizerem, estarem fadados ao conflito e não à paz. Instrumentos de cooperação mútua foram essenciais à sobrevivência e ao sucesso hierárquico dos humanos sobre os demais seres vivos do planeta (HARARI, 2016).

É possível, todavia, que a produção da verdade consentida (*emunah*), aquela que a sociedade espera que seja convincentemente absorvida pelo maior número possível de destinatários para que estes possam cooperar entre si das mais diversas formas, não se mostre tão crível ou aceitável por parcela significativa da população, incluindo-se aí indivíduos e autoridades dotados de razoável conhecimento. Deveras, num planeta cuja população está próxima de alcançar a marca de 8 bilhões de habitantes, são muitas as diferentes percepções (*aletheia*) de mundo frente aos diferentes valores socioculturais, e são muitos os distintos resultados comprovados (*veritas*) pelas mais diferentes áreas do saber nas mais diversas frentes de pesquisa científica. Há também problemas de inversão de nexos de causalidade: a verdade obtida, que deveria constituir meio para se alcançar determinados fins, como a cooperação entre humanos e a pacificação social, pode se tornar um forjado fim em si para poder justificar a criação de meios de colaboração em massa, em que, *verbi gratia*, estados soberanos passam a figurar como fiéis signatários de seus povos. O desiderato da cooperação, com isso, torna-se dificultoso. Frisa-se, em tempos de globalização, que ela precisa ser legitimada entre países.

Em aderência ao pensamento de Hayek (1944), importa saber que, na ciência, a verdade é oriunda do contraditório, da oposição de argumentos entre os atores ego (o eu) e alter (o outro). Uma sociedade sujeita a uma única escala de valores (indiscutíveis, incontestáveis e imutáveis), dogmatizada, é uma sociedade em que o ego tolhe a liberdade do alter. Sem a possibilidade de diálogo, inexistente a crítica construtiva do saber, de modo que a verdade seja rebaixada à condição de mera propaganda (política, econômica, etc.). Depreende-se, daí, que o monopólio da verdade, em tempos de globalização, poderia ser algo mais deletério que nunca,

capaz de estatizar a consciência humana em escala global, revelando-se como um eficiente instrumento de dominação ideológica de massas, e não de cooperação entre elas, ao revés do que sempre foi preconizado, filosoficamente, pela humanidade.

Hodiernamente, o debate sobre aquecimento global e mudanças climáticas talvez seja um gerador de grandes desconfiâncias à comunidade acadêmico-científica. Tem sido salobro, por exemplo, tentar elidir a existência da elevação da temperatura média global do ar (a essência do “aquecimento global”) ao longo dos não muito distantes anos passados, pois açambarcou-se uma rígida convicção sobre o assunto. Aliás, em qual das três concepções da verdade poderia ser subsumido o alegado aquecimento global? O fenômeno parece ser verdade, espera-se que ele seja verdade, ou é um fato comprovadamente verdadeiro? Pressupondo-se ser verdadeiro, haveria reciprocidade necessária entre os aquecimentos global e locais? Questionamentos como estes foram essenciais para motivar a iniciativa do desenvolvimento do presente trabalho.

Pelas conclusões de Cook et al. (2016), há consenso majoritário “esmagador” quanto à aceitação do aquecimento global e à sua causa antrópica, de que o fenômeno seja causado pelas ações humanas modificadoras no ambiente do planeta. Mais relevante que o referido consenso são as evidências que o suportam na visão dos autores. Abstrai-se daí a proposição de uma *emunah* baseada em *aletheia*, em oposição diametral às colocações de Tol (2016). A leitura de ambas as publicações evidencia a exposição de argumentos do tipo *ab auctoritate*<sup>3</sup>, para que as partes possam “validar” seus posicionamentos. De um lado os “alarmistas”, de outro os céticos, por vezes tachados de “negacionistas”. Em certos casos, há também o uso de argumentos *ad hominem*<sup>4</sup>, igualmente desprezíveis na dialética científica.

É cediço que as prováveis origens do suposto aquecimento global, bem como suas alegadas consequências, ainda não entregaram *veritas* convincentes a muitos climatologistas, (agro)meteorologistas, geofísicos, gestores públicos e, claro, aos cidadãos do povo. Nem verdades absolutas, nem mentiras escancaradas, a construção da verdade sobre o tema sequer chegou à fase de acabamento da obra, sendo uma questão de tempo, talvez de décadas, para que se chegue lá. Ora, enquanto ela não é finalizada, por quais razões então haveria de prevalecer o atual consenso sobre a aceitação do aquecimento global, e não o contrário?

---

<sup>3</sup> Refere-se ao argumento baseado na boa reputação de autoridades (da comunidade científica ou política) ou na de suas produções técnico-científicas, mas não no conteúdo destas, para se impor determinado posicionamento acerca de um assunto. Ex.: *Fulano e Beltrano, autoridades em climatologia, afirmam ser verídico o aquecimento global. Portanto, não há que se discutir o fenômeno.*

<sup>4</sup> Refere-se ao argumento baseado na desconstrução da pessoa interlocutora ou de um grupo, e não na de seus argumentos.

Asseverar que há uma enchente originada do aquecimento global, e que este tem raízes antrópicas, implicaria dizer, à luz do Direito, que há um dano a ser reparado, e que há nexos de causalidade entre este dano e as condutas de muita gente no planeta. Dessa conduta é que derivaria a responsabilização pela reparação do dano, a qual seria imputada à atual geração e às que herdarem a “dívida”, por força do acutilante princípio da solidariedade intrageracional e intergeracional, ligado aos fundamentos de direitos humanos.

Por outro lado, negar, hoje, o aquecimento global poderia ensejar uma conta alta para se pagar no amanhã. Além da obviedade da incerteza desta previsão, ela não esconde sua natureza alarmista. Para os céticos, não haveria custo algum, pois o dano seria inexistente. Para eles, a elevação da temperatura do ar em macroescala seria mera ilação, podendo o processo físico até existir em microescalas específicas, causadas ou não pelo ser humano e, em todo caso, incapazes de reverberar efeitos na alteração da temperatura do ar da Terra. Cumpre ressaltar que esta também é uma hipótese temerária, longe de ser uma verdade absoluta, que enseja um posicionamento mais confortável do ponto de vista econômico, eis que dele ainda não se derivam contas para pagar, a ninguém, até que se demonstre o contrário no plano de *veritas*.

É cristalino que a visão alarmista, por pressupor investimentos imediatos à frenagem do aquecimento global, coaduna-se com a criação proativa de negócios e serviços ambientais, impulsionando-os. Aos céticos, resta a missão de negá-las em sede de defesa, reação esta que também não deixa de ser negocial. Nesta seara, não surpreende que prevaleça o consenso sobre a existência da elevação da temperatura média do ar no planeta, dado o grande mercado gerado pela celeuma em foco. Num cenário internacional em que surgem novos credores e devedores ambientais, necessário se faz intermediar e implementar, também em escala planetária, os negócios realizados entre eles. A implementação disso pode ser viabilizada mediante a promoção de “ações afirmativas” pelos governos, isto é, com leis e políticas que tornem cogente a realização das operações dentro de cada país responsável por aquecer o planeta ou por compensar a emissão de gases que o fariam aquecê-lo. Assim, ganhou força o antigo brocardo “*Think globally, act locally!*” (“Pense globalmente, atue localmente!”), retomado com ênfase no documento AGENDA 21 da Conferência “Rio 92” e, desde então, muito intentado para ser posto em prática, conforme se mostra nos recentes noticiários nacional (BERTOLOTTI, 2020) e local, como feito para o município de Piracicaba – SP (PIRACICABA HOJE, 2020).

Ante o exposto, o presente trabalho não tem a presunção de comprovar ou ignorar o aquecimento global. Tem por objetivo principal interpretar a centenária série histórica de dados de temperatura do ar de Piracicaba – SP, com base na ferramenta de séries temporais, e, a partir

daí, apurar a eventual existência do processo em escala local e inferir se terá havidonexo causal entre este último e os processos de antropização ocorrentes na localidade. Tem, por objetivos específicos, em sede de *veritas*, clarear, debater e levantar questionamentos para a temática e seus contornos, considerados relevantes à formação de *emunah* sobre a matéria e o subsídio racional de tomadas de decisão que por ventura possam envolver, por exemplo, mobilização de recursos financeiros para fins de “combate ao aquecimento local”, tendo em vista que ações locais seriam o ponto de partida para mitigar um fenômeno supostamente global.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A temperatura do ar é uma das mais importantes consequências do fluxo de radiação solar incidente na atmosfera. Próximo às superfícies terrestres<sup>5</sup>, onde são tomadas as principais medidas termométricas em escala local, ocorre o aquecimento do ar pelos raios solares mediante, principalmente, ao processo físico de transporte de calor sensível, o qual, predominantemente, se operacionaliza por difusão turbulenta e em movimento convectivo desordenado de baixo para cima, ou seja, da superfície (solo ou água) para as camadas superiores da atmosfera. A movimentação em comento envolve partículas de ar, calor, vapor d’água e poeira, dentre outras. A temperatura do ar nada mais é, portanto, que um índice que expressa a quantidade de calor sensível existente na atmosfera, sendo o tipo e grau de cobertura do solo o fator que mais a condiciona na escala microclimática (PEREIRA et al., 2002, p.112).

A mensuração da temperatura do ar pode ser feita indiretamente, por meio de satélites, cujos dados obtidos proporcionam trabalhos como o de Varotsos e Efstathiou (2019), que analisaram a tendência de aumento ou declínio decadencial da variável para diferentes camadas da atmosfera de várias zonas latitudinais; ou diretamente na baixa troposfera<sup>6</sup>, por meio de dispositivos especializados instalados em estações meteorológicas para diversos fins,

---

<sup>5</sup> Em sentido lato, superfícies terrestres seriam as superfícies de solo e de água (rios, lagos, oceanos etc.).

<sup>6</sup> A título de esclarecimento, troposfera é a camada atmosférica confinante à superfície terrestre, com cerca de 2 a 18 km de extensão vertical em relação ao nível do mar, a depender da latitude. Nela estão concentrados 80 a 90% do ar da atmosfera, por sua vez limitada em até 100 km de altitude (na linha de Kármán) e composta por outras grandes camadas além da troposfera. Regida pela força gravitacional, a atmosfera é um envoltório gasoso que delimita, fisicamente, a Terra no espaço sideral. Em linhas gerais, é sabido que a composição média (à base volume) do ar seco existente próximo à superfície terrestre seja da ordem de 78% de gás nitrogênio (N<sub>2</sub>), 20,95% de oxigênio (O<sub>2</sub>), 0,93% de argônio e apenas 0,039% de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), além de outros gases traços estabilizados nos últimos 200 milhões de anos. O ar seco pode ser “umidificado” em até 4% de seu volume, ponto em que se atinge a concentração máxima de vapor d’água na atmosfera.

convencionais ou automáticas, sempre em condições uniformizadas de altura de instalação, topografia e vegetação, para se eliminar os efeitos do microclima em que a variável é medida ou, de outro modo, para que as medidas colhidas possam ser comparáveis às de outro local para efeitos de análises refinadas sobre o mesoclima ou, mais audaciosamente, sobre o macroclima.

Nessa esteira, não sobram dúvidas de que a mensuração e a disponibilização de dados históricos de temperatura do ar, quando organizados em uma vasta rede mundial integrada, são condições *sine qua non* para se iniciar, pautar e balizar qualquer discussão científica séria sobre elevação global da temperatura do ar. Para tanto, procedimentos de coleta e registro da variável devem ser rigorosamente padronizados quanto aos instrumentos, às instalações, ao método de cômputo dos registros, à sua frequência de monitoramento (ex.: com coleta feita uma vez por dia ou a cada uma hora) e ao tamanho da série histórica. Do contrário, cada item, aí elencado, pode ser traduzido como potencial fonte de erro para efeitos de cálculo do erro total embutido em uma medida final, comprometendo, assim, análises “globais” sobre a variável.

O próprio Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, IPCC<sup>7</sup> (organização científico-política, criada em 1988, no âmbito da Organização das Nações Unidas – ONU e contumaz acusadora do aquecimento do ar do planeta), questiona a confiabilidade de dados de temperatura de anos anteriores ao de 1860. Cumpre ressaltar que esta entidade depende de aval de representantes dos governos dos Estados signatários para aprovar e dizer como serão lançados os relatórios (TRENBERTH, 2001), bem como carece de detalhamentos técnicos regionais padronizados. A lídima necessidade de preencher esta lacuna pode ter inspirado a formação de diversos grupos científicos, como o “Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas”, e abriu inúmeros precedentes à crítica especializada em todos os cantos do planeta.

Quando uma pessoa, cidade ou nação dá crédito às denominadas mudanças climáticas, ela está interessada, a rigor, nas mudanças que possam ocorrer em termos de calor, chuva ou ventos que possam afetar seu (ou de outrem) ambiente local específico. Foi nesses retos e severos termos que Mitchell e Hulme (1999), não muito tempo depois da criação do IPCC, apoiaram-se para investigar e resumir quais deveriam ser as finalidades da recém-criada organização. Para os autores, respostas adaptativas da sociedade a tais mudanças climáticas requeriam informações à escala regional, e não os ineficazes e deficientes modelos de circulação geral, incapazes de predizer qualquer evento natural em escala local.

Pouco mais de uma década depois disso, as críticas permaneciam. Em seu livro, Alexander (2010) foi incisivo ao criticar os documentos produzidos pelo IPCC: “[...] a crença

---

<sup>7</sup> Sigla originária, em Inglês, dos termos *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

atual de que o aquecimento global é consequência do CO<sub>2</sub> produzido pelo homem fundamenta-se, sobretudo, nos relatórios de avaliação climática feitos pelo IPCC, como interpretado precipitadamente pela mídia e engolido pelo público em geral. [...]”. Para o brasileiro Felício (2014), o indigitado aquecimento global e as políticas mitigatórias a ele atreladas (ex.: de compensação por emissão de gases estufa) são uma grande falácia. Em valores aproximados, o autor relembra que os oceanos representam 72% de toda a superfície do planeta, e que os humanos ocupam 9% dos 28% da superfície terrestre restante, mormente residindo em cidades que ensejariam míseros 0,05% desses mesmos 28%. Logo, boa parte da poluidora população mundial estaria aglomerada em apenas 0,014% da área terrestre do planeta. O autor nada aduz, porém, sobre a necessidade de se estudar a tendência temporal do aquecimento do ar e em escalas locais, especialmente naqueles onde as alterações antrópicas<sup>8</sup> sobre o ecossistema teriam sido, de fato, inequívocas, como nas vastas áreas agrícolas e nas grandes conurbações.

A rigor, é o vapor d’água, cuja concentração máxima raramente ultrapassa 4% do ar, o constituinte atmosférico mais influente na distribuição da temperatura do ar, pois participa ativamente dos processos físicos de emissão e absorção de calor sensível pela atmosfera, e atua como transporte de energia em forma de calor latente de evaporação de uma região para outra, sendo liberado como calor sensível quando o vapor se condensa. Responsável pela origem de chuvas, orvalhos e neve, é ele o determinante do nível de conforto ambiental proporcionado pelo ar. O CO<sub>2</sub>, por seu turno, encontra-se quase todo (98% dele) dissolvido no mar, em forma de bicarbonato. Os 2% restantes encontram-se dispersos na atmosfera, à concentração pouco oscilante de 0,05 % (à base de massa). Essa concentração pode variar consideravelmente nas imediações dos grandes centros urbanos e industriais. O CO<sub>2</sub> atmosférico também absorve energia solar e terrestre, e também a emite à superfície (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 103), porém, é baixíssima sua concentração no ar. Em suma, vapor d’água, CO<sub>2</sub> e gás ozônio são os constituintes atmosféricos mais ativos para regular tanto a penetração de radiação infravermelha na superfície, durante a claridade do dia, quanto para possibilitar o retorno radiativo durante a noite. A concentração dos dois últimos na atmosfera é praticamente inalterável em escala global, de sorte que a do primeiro é que determinará o quão intenso serão os fluxos radiativos existentes. Assim, quanto maior for a umidade do ar e a nebulosidade em uma data, menos radiação será devolvida da superfície terrestre para a atmosfera (e daí para o espaço) nesse dia,

---

<sup>8</sup> O vocábulo “antropogênico(a)”, cujo cognato advém do Inglês “*antropogenic*”, foi evitado neste trabalho, pois seria aplicável em contextos onde as alterações da natureza teriam sido originadas a partir de todas as interações existentes em todo o ecossistema, no qual inclui os subsistemas solo (com vulcões e rochas), biota (com a presença do *Homo sapiens*), água (nos três estados físicos) e atmosfera.

resultando-se desse processo o popular “efeito estufa” (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 205). Para Knorr (2009), a concentração de CO<sub>2</sub> “antrópico” no ar é a mesma desde os idos de 1850.

O contrário deste efeito é plenamente perceptível por qualquer pessoa que queira contemplar o clima entre o final do outono e o início do inverno, em muitas regiões de cerrado do Brasil central, sujeitas a secas severas e expostas a fotoperíodos mais baixos nesta época. Da mesma forma que o ar seco é abruptamente aquecido por ondas curtas solares durante as claridades menos duradouras da época seca nessas regiões, ele é também rapidamente resfriado por ondas longas vindas da superfície terrestre durante as noites mais duradouras, típicas da época. Amplitudes térmicas ainda mais discrepantes ocorrem em alguns desertos, onde as temperaturas mínimas e máximas podem atingir, respectivamente, registros negativos pouco antes do nascer do Sol, e valores acima dos 50 °C pouco após o meio-dia, em períodos de 24 horas. Em outras palavras, tem-se aí o oposto do efeito estufa, explicado à mesma fundamentação física. O baixo teor de vapor d’água no ar, associado ao curto fotoperíodo, neste caso, concorreriam para que o saldo diário de radiação fosse menor. Esse seria um modo de as superfícies naturais eliminarem parte da energia solar absorvida pelo vapor e que tivesse se transformado em calor sensível (PEREIRA et al., 2002; p. 183), tornando-se mais resfriadas.

O processo de antropização local, *prima facie*, não apresenta liame obrigatório com o aquecimento local, sequer com o global. Para alguns, as relações existentes entre alterações antrópicas, elevação do teor de CO<sub>2</sub> atmosférico e aquecimento do ar são hipóteses científicas ou, às vezes, convertidas em pretensões políticas, pois não são assentadas em *veritas* para efeitos de repartição de recursos financeiros. Varotsos e Efstathiou (2019) concluíram, *in verbis*: “[...] it is not possible to reliably support the view of the presence of global warming in the sense of an enhanced greenhouse effect due to human activities. The temperatures used are often estimated indirectly from satellite observations of radiances. It would be interesting to directly analyse these radiances to answer questions about warming or cooling [...]”.

Para Varejão-Silva (2006; p.81), a temperatura do ar vinha sofrendo tendências muito lentas de aumento ou de diminuição ao longo do tempo, para certas regiões, com oscilações de periodicidade muito ampla, seculares. Para detectá-las (em escala local), seria necessário dispor de séries históricas longas e homogêneas de dados da variável, o que nem sempre é fácil. Para o autor, as previsões sobre o aquecimento global são realizadas por meio de simulações com modelos numéricos, que incorporam diferentes hipóteses e aproximações, estando longe de fornecer resultados precisos. Apontam apenas tendências (ex.: de aumento da temperatura do ar), mas elevam a polêmica em torno do assunto.

Nesse diapasão, séries temporais seriam a ferramenta estatística ideal para uso em Meteorologia e Climatologia, eis que, para a maioria das pesquisas voltadas às ciências da natureza, há impossibilidade de se replicar observações ou tratamentos. Permitem analisar e entender melhor a variabilidade dos processos naturais, bem como conferir a eles a devida e inerente estocasticidade que lhes podem ser peculiares (NIELSEN e WENDROTH, 2003). Isso porque o uso da estatística clássica, aquela em que há replicação de tratamentos em parcelas com vistas a minimizar o impacto da heterogeneidade espacial ou temporal, ignora tanto a interdependência das observações da natureza quanto o não acaso da variância das observações.

Morettin e Tolo (2006), já no primeiro exemplo de sua obra, ilustram a aplicabilidade da ferramenta estatística de séries temporais à análise da temperatura do ar, não se afastando de demonstrá-la para casos de “análise de intervenção” de medidas tomadas nas áreas de meio ambiente e de ciências sociais (política, sociologia, psicologia, etc.), dentre outras. Nas séries temporais, o tempo é, em regra, o principal componente explicativo da trajetória amostral de uma variável de interesse, como a temperatura do ar, mas nada impede que outras variáveis de entrada sejam incluídas na análise, tornando-a mais robusta para se investigar, por exemplo, as prováveis causas de uma série histórica de temperaturas, suas mudanças e sua periodicidade, bem como, se possível, previsões de valores futuros para a variável investigada.

### 3. METODOLOGIA

A localidade adotada para a ilustração exemplificativa deste trabalho foi a cidade de Piracicaba, Estado de São Paulo, situada a cerca de 150 km da capital paulista, tendo a interiorana cidade sido selecionada pelas seguintes razões e assunções:

- (i) O local dispõe de longa série histórica de dados de temperatura do ar, registrados desde o ano de 1917, criteriosamente, no Posto Meteorológico da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP).
- (ii) Informações do SEADE (2020) indicam que a cidade está inserida na Região Administrativa de Campinas, cuja população total atual é da ordem de 7 milhões de habitantes. As densidades populacionais de Piracicaba e da referida região são de, respectivamente, atuais 288 e 241 habitantes por km<sup>2</sup> (níveis considerados elevados), depreendendo-se daí que toda a região tenha passado por acelerado processo de crescimento populacional, urbanização, industrialização (com queimadas de cana) e antropização em décadas passadas, constituindo, assim, condições essenciais e

suficientes à reflexão quanto aos possíveis nexos de causalidade entre as mudanças socioeconômicas e as supostas mudanças climáticas ocorrentes no período analisado.

(iii) Não foram encontrados registros de concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> medidos com a devida sistemática, para Piracicaba ou entorno, recentes ou antigos. Logo, não seria fidedigno correlacionar meras estimativas de CO<sub>2</sub> com medições reais de temperatura. As transformações socioeconômicas são suficientes para se atribuir qualquer juízo de valor sobre algo que requeira interpretação dependente de carga ético-valorativa.

Segundo Reichardt e Timm (2004; p. 373), o intervalo de tempo entre observações sucessivas de determinada variável de interesse é definido, algumas vezes, pelo interesse específico do pesquisador ou, em muitas outras, pela disponibilidade de dados, de modo que, quanto menor o intervalo de amostragem desses dados, maior será o número de observações e, conseqüentemente, potencialmente melhor será a análise das informações. Diante destes pressupostos, buscou-se, neste trabalho, reunir ambas as condições, delimitando-se duas épocas de análise, conforme os dados disponíveis: (i) Pré-70, compreendida entre 01 de janeiro de 1917 e 31 de dezembro de 1970; e (ii) Pós-79, compreendida entre 01 de janeiro de 1979 e 31 de dezembro de 2019. Outrossim, os dados de temperatura foram analisados na escala diária para as temperaturas média, máxima e mínima do local de interesse, e não nas escalas mensal ou anual. Por motivos desconhecidos, há poucos dados registrados para essas variáveis, ou com muitas falhas, entre os anos de 1971 e 1978, razão pela qual esta lacuna de período foi excluída da análise, e esta, por seu turno, fora segmentada em duas épocas.

Os dados de temperatura média, mínima e máxima diária do ar foram coletados a partir do sítio eletrônico da ESALQ/USP (2020), registrados a partir do posto convencional meteorológico instalado no ano de 1917, nas coordenadas geográficas 22° 42' 30" S e 47° 38' 00" W, à altitude média de 546 m, e em funcionamento desde então. Por se tratar de dados oriundos de dispositivos convencionais, carregam consigo peculiaridades metodológicas intrínsecas nos valores finais de temperatura do ar. Nas estações automáticas, as médias diárias são calculadas a partir das inúmeras medidas de temperaturas tomadas ao longo do dia, tendendo a ser inferiores, em regra, às médias simples resultantes apenas das máximas e mínimas, coletadas das convencionais (SENTELHAS et al., 1997). Não foi feito uso dos dados da estação automática da ESALQ/USP também devido à série histórica dela proveniente ser relativamente curta, com dados disponibilizados somente a partir do ano de 1997.

De posse do programa computacional R<sup>®</sup>, primeiramente foi executado o teste de raiz unitária, proposto por Dickey e Fuller (1979) – denominado teste de Dickey-Fuller Aumentado

(teste ADF) –, inicialmente testado com constante e tendência determinística, para cada uma das séries de temperaturas (média, mínima e máxima) e de amplitude de temperatura diária do ar, a 1% de significância pelo teste  $\square$ , com vistas a avaliar suas estacionariedades. Detectada a existência de raiz unitária, a série é considerada não estacionária, isto é, com tendência estocástica (puramente aleatória, “sem rumo definido”), com os valores observados variando de forma aleatória. Por outro lado, é considerada estacionária, com tendência determinística de crescimento ou de decrescimento, a série em que cada valor integrante flutua, com variância constante, em torno de uma média crescente ou decrescente, de forma constante, ao longo dos períodos avaliados. Se esta média, e não o seu crescimento ou decrescimento, é constante ao longo do tempo, a série é dita estacionária sem tendência determinística.

É plausível admitir que a estimativa de um valor de temperatura média diária do ar (T), de um dia qualquer, seja condicionada pela própria data (t), pelos valores de T ocorrentes nos “p” dias anteriores e pelos vários outros componentes aleatórios possíveis, ligados aos valores desses “p” dias anteriores, bem como por um erro puramente aleatório ( $\square$ ), cujo controle esteja fora da alçada explicativa dos dados, e cuja pretensão do pesquisador é que seja minimizado. Neste trabalho, foi adotado  $p = 2$ , significando que a estimativa de T de um dia qualquer (t) seja definida por sua própria história, em cada data, e pelo histórico de até dois dias anteriores. O valor de “q” é a ordem de defasagem de média móvel, não controlado pelo pesquisador, mas identificável por meio de testes específicos (ex.: como o de Box-Jenkins, de importância não relevante neste trabalho). À exegese de séries temporais, adota-se o seguinte processo gerador para explicar o valor da variável T:

$$T_t = T_0 + a_0 \cdot t + ARMA(p, q) + \sum_{i=1}^t \varepsilon_i \quad (1)$$

em que  $T_t$  se refere ao valor da variável T (°C) na data t;  $T_0$  ao intercepto constante; o produto  $a_0 \cdot t$  à tendência determinística (de crescimento ou decrescimento no tempo); o somatório de  $\square_i$  (variando de 1 a t) à tendência estocástica; e  $ARMA^9(p, q)$  ao componente estacionário, sendo “p” a ordem de defasagem dos componentes autoregressivos ( $p = 2$ ), e “q” a dos de média móvel (ex.:  $q = 1$  é o componente aleatório inerente ao valor de temperatura do dia anterior ao dia t, e  $q = 2$  é a o dos dois dias anteriores ao em análise).

---

<sup>9</sup> Modelo ARMA: *Autoregressive moving average*, equivalente a modelo “Autoregressivo de Médias Móveis”.

É notório que a temperatura média diária do ar sofra sazonalidades nas escalas diária, semanal, mensal, estacional, multianual etc. A assunção dessas variações sazonais em modelos de séries temporais pode, eventualmente, distorcer os parâmetros estatísticos para elas estimados. Por outro lado, é sabido também que podem ser adotadas técnicas que venham a minimizar tais distorções. Apropriado seria, por exemplo, incluir variáveis *dummies* nos modelos (MORETTIN e TOLOI, 2006; p.66), o que demandaria que cada uma delas estivesse adstrita a cada evento de sazonalidade pugnado. Por isso, estas variáveis na escala diária não foram inseridas na análise, pois tornar-se-ia impraticável e sem sentido meteorológico, sem que se lograsse êxito na captação dos efeitos sazonais estatisticamente significativos de cada dia do ano em relação a um dia estabelecido como base, quando da adoção da técnica (ex.: há um padrão sistemático de comportamento de variação das temperaturas diárias do mês de julho em relação às do de janeiro, para Piracicaba, mas não de um dia específico de julho em relação a um dia específico de janeiro). A escala estacional (de médias por estações do ano) não foi adotada, no trabalho, porque cominaria na significativa redução do número de observações, com conseqüente perda da qualidade de análise, conforme posto alhures, e porque ludibriaria a forma como a sazonalidade da temperatura do ar é minimamente sentida (na escala diária).

O Programa GRET L<sup>®</sup> foi utilizado para produzir regressões lineares múltiplas entre as temperaturas média, mínima e máxima do ar (T), como variáveis dependentes, em função da constante (intercepto), de duas defasagens (de primeira e segunda ordem, com critério de Akaike para escolha do modelo) e das tendências temporais determinísticas (ttd) das séries, submetidas a 1% de significância pelo teste t. A significância global das regressões e seus níveis de ajuste foram avaliados, respectivamente, pelo teste F (a 1% de significância) e o cálculo de R<sup>2</sup>. O mesmo procedimento foi feito para a amplitude térmica diária (diferença entre temperaturas máxima e mínima), no intuito de aumentar o cabedal explicativo dos processos.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

*Existe aquecimento global!* Seria lógico admitir o evento e negar a existência de um aquecimento local? Ou seria o primeiro um não intrigante axioma, cuja demonstração seria desnecessária devido à obviedade das evidências? A exclamação parece ser lógica, vez que a incidência do tão complexo sistema climático global, das grandes massas de circulação de ar e dos diversos fatores macroclimáticos, tais como a presença de vulcões ativos ou de cordilheiras em certas regiões do globo exercem mandatória influência dos macroclimas sobre os

microclimas, embora a recíproca não seja verdadeira. Um atento e instruído cidadão comum que, por repetidas vezes, ouve das autoridades políticas e científicas, por meio da imprensa séria e competente, que a temperatura global do ar está subindo (ainda que “lentamente”), não se sentirá alijado de crer que a de sua cidade também esteja. Pensando no efeito ricochete que o todo teria nas partes, é normal que o cidadão em questão possa fazer uma cognição perfunctória sobre o assunto e, ao trazê-lo à sua realidade local, não venha a deformá-lo em um factóide, como se o problema ali não existisse. Para evitar erros de interpretação como esse ou, se errado não estiver, para não colocar em xeque a asserção exclamativa, é de bom alvitre que ela possa ser sustentada por análises de históricos de temperaturas de boa parte da imensidão de microclimas planetários. A das temperaturas médias do ar de Piracicaba é apresentada a seguir, para efeitos de contribuição à demanda posta em mesa.

A análise da Tabela 1 permite supor que, praticamente, não houve aumento da temperatura média diária do ar em Piracicaba para o primeiro lapso temporal avaliado (1917 – 1970), mas houve para o segundo (1978 – 2019). No teste de raiz unitária (teste ADF com constante e tendência determinística), a hipótese nula diz que uma série temporal possui raiz unitária, ou seja, que a série não é estacionária em nível. Logo, ao se rejeitar a hipótese nula ao máximo rigor estatístico (1% de significância), conclui-se que a série não possui raiz unitária e, portanto, é estacionária em nível. Nesta senda, foi possível concluir que as oito séries temporais (de temperaturas mínima, média e máxima, bem como a de amplitude térmica, para os dois períodos analisados) são estacionárias em nível. Com tendência de crescimento? Nem todas, também a 1% de significância, conforme o teste “t” (Tabela 2). Com base nesta análise, o cidadão piracicabano poderia crer que há indícios (leves?) de aquecimento global em Piracicaba. Ser significativo a 1% significa dizer que o pesquisador estaria disposto a aceitar até 1% de probabilidade de estar cometendo um erro do “Tipo I” (de se rejeitar a hipótese nula, quando, na realidade, ela não deveria ter sido rejeitada). Para a análise da tendência, o erro em questão seria o de concluir que a série temporal apresentaria tendência, quando, na realidade, ela não apresentaria. Se adotada a significância de 5%, menos rigoroso teria sido o pesquisador.

**Tabela 1 – Resultado dos testes de raiz unitária (Dickey-Fuller Aumentado, ADF).**

Variável	$\tau_{\tau}$ (Pré-70)	$\tau_{\tau}$ (Pós-79)
Temperatura Mínima	-12,32*	-10,44*
Temperatura Média	-14,43*	-12,47*

Temperatura Máxima	-22,73*	-19,11*
Amplitude térmica	-23,41*	-21,93*

Forma funcional utilizada no teste ADF:  $\Delta y_t = a_0 + a_2 t + \gamma_1 y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_t$ .

\* Significativo ao nível de 1% de significância pelo teste ADF.

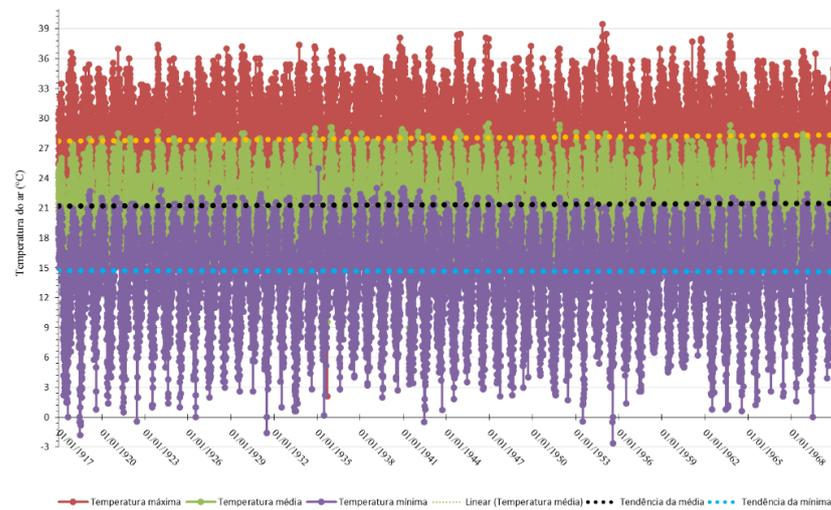
**Tabela 2 – Análise de tendências determinísticas, pelo teste t, nos testes de raiz unitária.**

Período	Variável	ttd	Desvio padrão	t calculado	P (> t )
Pré-70	Temperatura mínima	-	2,865	-	0,86
		$4,7551 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-6}$	0,1659	82
	Temperatura média	1,9	2,324	0,8424	0,39
		$579 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$		96
	Temperatura máxima	1,0	4,284	0,3830	0,01
	$210 \cdot 10^{-5}$	$0 \cdot 10^{-6}$		72(**)	
Pós-79	Amplitude térmica	1,4	5,619	0,601	0,00
		$617 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$		93***
	Temperatura mínima	1,2	3,659	0,304	0,00
		$090 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6}$		1***
	Temperatura média	1,1	3,296	0,462	0,00
	$411 \cdot 10^{-5}$	$0 \cdot 10^{-6}$		05***	
	Temperatura máxima	2,1	6,266	0,347	0,00
	$600 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-6}$		06***	
	Amplitude térmica	-	6,104	-	0,24
	$7,108 \cdot 10^{-6}$	$10^{-6}$	1,164	4	

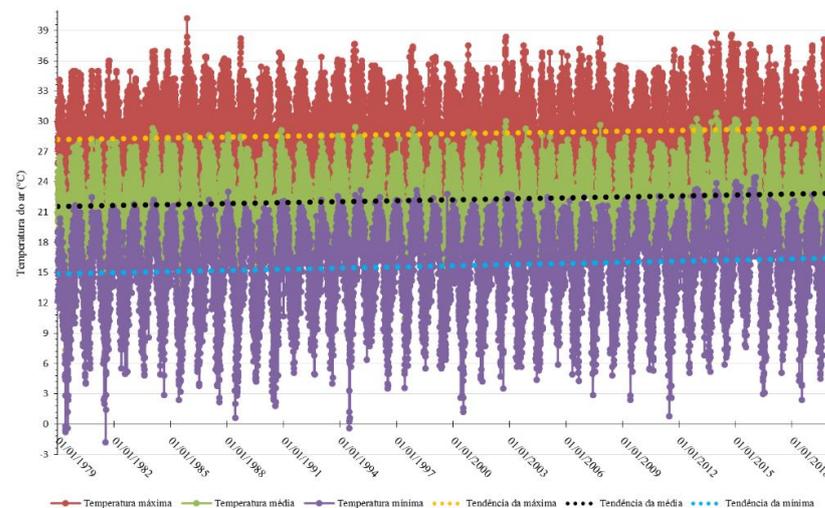
\*\*\* Significativo ao nível de 1% de significância pelo teste t.

Na Tabela 2, “ttd” é a estimativa do parâmetro referente à tendência temporal determinística, que não foi estatisticamente significativa a 1% pelo teste t, para as temperaturas do Pré-70. As tendências até oscilam, mas sempre em torno de uma média constante ao longo dos períodos analisados. A série com sintomas de apresentar maiores aumentos seria a de temperaturas máximas do ar no Pós-79, cuja probabilidade de certeza para confirmá-los seria de 99,94% (= 1 – 0,0006), superiores, portanto, aos 99% de chances de certeza admitidos neste trabalho como critério de aceitação estatística, e considerada como causa direta da subida das médias no mesmo período. A série de mínimas no Pré-70 apresentou até tendência decrescente (não significativa), o que elevou a amplitude no mesmo período. E se não houvesse comprovada tendência determinística de crescimento da temperatura do ar em Piracicaba, por quais razões haveria que se cogitar políticas públicas para mitigar o aquecimento global nesta cidade? Há como demonstrar as causas do aumento de temperatura do ar após 1979?

Linhas de estacionariedade construídas (automaticamente, por regressão) são melhor evidenciadas na Figura 1a e na Figura 1b, respectivamente, para os períodos Pré-70 e Pós-79, em Piracicaba, mostrando-se oscilantes em torno das médias das temperaturas mínima, média e máxima do ar. Apesar dos testes estatísticos levarem à rejeição das hipóteses de subida significativa da média no Pré-70, é possível notar, graficamente, subidas lenientes para as linhas do Pós-79, talvez por força dos valores de temperatura mínima observados após o ano de 2000 e de temperatura máxima após o de 2012 (Figura 1b). Em 02/08/1955 e 18/11/1985, foram registradas a menor e a maior temperatura de toda a série histórica analisada, respectivamente iguais a  $-2,6^{\circ}\text{C}$  e  $40,2^{\circ}\text{C}$ . A segunda maior temperatura máxima foi observada em 09/11/1954, quando ainda não se falava em aquecimento global ou gases estufa de origem antrópica.



a



b

Figura 1 – Variação temporal das temperaturas mínima, média e máxima do ar em Piracicaba: (a) entre 1917 e 1970 (Pré-70); e (b) entre 1979 e 2019 (Pós-79).

Ao confrontar, por análise de regressão, os valores de temperatura média do ar com as variáveis independentes elencadas, isto é, com as tendências temporais determinísticas e com as variáveis autorregressivas referentes às respectivas temperaturas defasadas de primeira e de segunda ordem, as últimas foram dispensadas pelo critério de Akaike, de sorte que o melhor modelo ajustante tenha contemplado somente as defasagens de primeira ordem com as respectivas tendências (já mostradas na Tabela 2), as quais foram, em quaisquer circunstâncias, para todas as séries, e tanto para o período Pré-70 quanto para o Pós-79, sempre significativas a 1% pelo teste t, o que, fisicamente, faz algum sentido (ex.: sob a ótica da influência do estabelecimento de uma massa de ar sobre o microclima de um local). É dizer, a temperatura do ar de um dia anterior exerce forte influência na do dia seguinte.

Apesar das estatísticas constatadas, quanto teria subido, em termos absolutos, a temperatura média do ar em Piracicaba? A estimativa do parâmetro ttd (Tabela 2) possibilita calcular que o valor da variável teria aumentado 0,038 °C ao longo dos 54 anos compreendidos entre 01/01/1917 a 31/12/1970 [cálculo:  $1,9579 \cdot 10^{-6} \cdot 19722$  (dias)]; e 0,17 °C ao longo dos 41 anos existentes entre 01/01/1979 a 31/12/2019 [cálculo:  $1,1411 \cdot 10^{-5} \cdot 14975$  (dias)]. Seria impossível, ao bel-prazer dos incautos, somar esses acréscimos e afirmar que teria havido uma elevação acumulada de ~ 0,2 °C em 95 anos, eis que as análises estatísticas foram executadas para períodos isolados devido aos inúmeros dados faltantes entre 1970 e 1978. Cumpre lembrar, os dados de Piracicaba são oriundos das medições feitas na centenária ESALQ/USP, centro de excelência e referência mundial em ensino e pesquisa. Fica a reflexão sobre como seriam essas informações para os outros tantos e diversos rincões brasileiros. O processo de urbanização pode ter provocado o aquecimento de 0,17 °C. E nas demais localidades, nativamente vegetadas, áridas ou oceânicas, sem urbanização, o que teria provocado eventuais aquecimentos locais?

Não obstante os testes estatísticos terem indicado estacionariedade com leves tendências para algumas das temperaturas de Piracicaba, suspeita-se (mas não se comprova) que a temperatura mínima do ar possa mesmo vir a subir futuramente, nesta localidade, elevando-se ainda mais a média. Supõe-se que a causa mais provável para isso estaria não sob o pretexto das emissões de CO<sub>2</sub>, cujas medições sequer foram feitas tal como foram para a temperatura do ar. Piracicaba passou por intenso processo de urbanização no último século, o que pode ser conferido mediante antigas memórias (fotos) da cidade. O vertiginoso aumento populacional da cidade, colacionado com o característico êxodo urbano de meados do século XX, foi implacável no processo de conversão das zonas rurais em urbanas. Em decorrência disso, áreas agrícolas ou de mata nativa, que antes funcionavam como atenuantes da

temperatura noturna, cederam espaço para vias de massa asfáltica, calçadas de concreto e construções.

O suspeito processo de aumento de temperaturas, no entanto, deve ser monitorado e continuamente reavaliado, o que não impede, baseando-se nas expectativas mencionadas, de a cidade valer-se de políticas públicas de sustentabilidade para, em paralelo ao monitoramento contínuo, propor medidas profiláticas à melhoria da ambiência do município (como já vem sendo feito), tais como redução de poluentes atmosféricos, plantio de árvores e hortas urbanas, correto descarte e/ou reciclagem de resíduos sólidos urbanos etc., independentemente do abstrato, temerário e contestável argumento do aquecimento global ou da panaceia do CO<sub>2</sub>.

Resta interpretar se os aumentos absolutos estimados, para as temperaturas mínima, média e máxima no Pós-79, seriam módicos ou se deveriam ser colocados no alcândor dos problemas a serem enfrentados pelas pósteras gerações. Tal juízo de valor depende do tamanho do escorço assumido. Se levado em conta que a Terra foi formada há 4,5 bilhões de anos, a taxa de crescimento da temperatura média diária do ar ora encontrada, para a urbana Piracicaba, seria assintomática não somente pelo longo tempo considerado, mas também pelos catastróficos eventos que supostamente já teriam ocorrido desde a formação do planeta, como colisão com asteroides, inúmeros aquecimentos ou resfriamentos globais e outras conturbações edafoclimáticas naturais. Se considerado apenas o período desde que começaram a ser tomadas e registradas as medidas diretas em superfície (há cento e poucos anos, na era da Revolução Industrial), o resultado local ora encontrado não corroboraria os aumentos globais de 0,2 °C por década, alertados pelo IPCC (2019), tampouco os 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais.

Os resultados aqui discutidos não permitem fazer digressões que extrapolem o alcance espacial das medidas termométricas que os subsidiaram, quer seja, o de um raio de, no máximo, 10 km da estação para escalas consideradas locais (WMO, 2008; p.15). É dizer, não seria verdadeiro alegar a existência do aquecimento global só porque o histórico de temperaturas de Piracicaba viesse a mostrar um leve aumento local. A presente análise pode ser admitida, com certa segurança, para pontos imersos na área de abrangência encerrada pelo raio de 10 km do Posto Meteorológico da ESALQ, em Piracicaba, caso não haja ainda, nesta esfera imaginária, nenhum fator topo-climático significativo que possa distorcer a interpretação dos registros.

Impossível seria vislumbrar se a temperatura do ar cairá, não se alterará ou subirá indefinidamente à proporção calculada ou sob qualquer outra taxa, até o ano de 2100. Previsões mirabolantes são meras conjecturas e costumam fazer parte da política, não da ciência. Nem por isso há salvo-conduto para negligenciar, jocosamente, o aquecimento global. Ao invés de

banalizá-lo ou se imiscuir da causa, o que se propõe é testar o *status quo* em âmbitos locais. O tempo, a 4ª dimensão, para o célebre físico Einstein, teria interligações tão intensas que poderia encolher ou dilatar-se, a depender da velocidade relativa entre objeto e sujeito cognoscente.

Afinal, não se pode olvidar que o aquecimento global representa um pensamento majoritário. Seu desafio deve ser perscrutado, em *veritas*, mediante cooperação e entendimento multidisciplinar (integrando-se aí tópicos em estatística, biofísica, geofísica, climatologia, filosofia, ciências da computação etc.). Sua outra face, de natureza informativa, poderá, então, ser delineada com fulcro em assertiva comunicação sobre sua (in)existência. Não sobram dúvidas de que recursos financeiros sejam cruciais para se adentrar nesta aparente dicotomia: toda vez que verbas forem destinadas ao “combate ao aquecimento global” em determinado local, digno seria reivindicá-las também ao “combate às normalidades locais”, dentro das quais sempre houve realidades cruéis e não imaginárias, como fome, miséria, epidemias e violência.

A frase “*Existe aquecimento global!*” poderia ser, então, reformada, com as devidas vênia e prudência: “*Se praticamente todos os lugares estão sofrendo aquecimento, está também o planeta!*”. Esta seria uma lógica incontestável. Se os microclimas de uma região litorânea do Ceará, de uma planície fluvial no Pantanal ou de um centro urbano interiorano, como Piracicaba, não têm o condão de, isoladamente, alterar todo o macroclima do Estado de São Paulo ou de um país como o Canadá, nada mais coerente afirmar que a tendência local observada para as temperaturas de Piracicaba, ao longo dos últimos 103 anos, não pode ser generalizada pela metodologia científica indutiva, à pretensa escala planetária. Alguém poderia se perguntar por qual razão então o aquecimento global tenha sido sugerido “de cima para baixo”, e não o contrário. Como já colocado, as alterações de um microclima não são capazes de alterar a estrutura do complexo sistema climático global. Por isso, suspeita-se que tenha sido mais prático e interessante, às autoridades mundiais, ao invés de pulverizar a problemática aos locais e esperar deles suas respostas, advertir sobre a existência de um fenômeno global e cogente, como se faz na metodologia de pesquisa dedutiva, que parte de uma regra geral pré-existente para dela poder deduzir casos particulares. Assim, o assunto estaria resolvido, restando aos locais anuir ou refutar o problema, como se ônus da prova corresse por conta dos acusados (seriam estes considerados poluidores presumidos?), o que não é regra nos estados de direito.

Se houve estacionariedade temporal e tendência determinística de crescimento da temperatura média do ar de Piracicaba somente após 1979, seria possível afirmar que as ações antrópicas, ali produzidas *ab initio*, é que teriam, isoladamente, dado ensejo à elevação

(perceptível, na prática?) dos 0,17 °C em 41 anos nessa localidade? Ou este questionamento deveria ser ignorado, já que a dinâmica do sistema climático global é muito complexa e este valor seria fruto de concausas outras, regionais ou globais? E para casos distintos, em que não se detecta tendências de mudanças climáticas no espaço ou no tempo (ex.: no Pré-70), o mesmo prisma da peculiar complexidade atmosférica terrestre poderia ser invocado como argumento?

Admitido que seja um aquecimento local e específico (no tempo) para Piracicaba, em razão de a temperatura média do ar ter subido 0,17 °C em 41 anos, poder-se-ia dizer, para efeitos práticos, que o valor médio da variável teria sido elevado de 22,05 °C médios, em 1979, para 22,22 °C médios em 2019. Não seria espúrio correlacionar a evolução temporal da concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico com a da temperatura média, ambas do local e no recorte do período analisado, contanto que a primeira variável tivesse sido medida e registrada à altura do rigor sistemático e científico com que foi a segunda, o que não ocorreu. Portanto, não há como estabelecer um exato nexos de causalidade entre ambas, nem que o exclusivo processo de urbanização da referida cidade tenha contribuído, e em qual medida, para elevar a concentração do gás em escala local ou mesmo global, já que a substância se mistura rapidamente na atmosfera e tão logo é lançada no ar (por essa mesma razão, aceita-se usar a estação de Mauna Loa, encravada nos vulcões do Havaí desde o ano de 1950, como uma referência global).

O que se tem são dados simulados (calculados) de CO<sub>2</sub>, obtidos a partir de emissões por consumo de gasolina, queimadas de lavoura de cana e outros, conforme os apresentados em dois inventários para Piracicaba (no curto período de 2006 – 2009), para que políticas de compensação possam ser propostas. Contudo, uma animação<sup>10</sup> feita pelo Earth System Reserach Laboratory, da National Oceanic and Atmosferic Administration (ESRL/NOAA – EUA), ilustra, de forma didática, a evolução espaço-temporal da concentração do gás (medido) de 1979 até 2006, para as principais faixas de latitude do globo, em aderência aos registros de Mauna Loa. Louvável seria se houvesse, Brasil adentro, estações à altura para encorpar as análises globais e tirar teimas sobre situações locais. Uma busca pelo site do ESRL/NOAA leva a crer que exista apenas uma delas em atividade no país, a do Farol de Mãe Luzia (em Natal, RN).

Dada a carência de dados medidos (que são muito diferentes de dados simulados) para este que é considerado um gás traço na atmosfera do planeta, lamentavelmente não é possível afirmar, em *veritas*, se houve aumento, diminuição ou estagnação da concentração de CO<sub>2</sub> em Piracicaba (e entorno). O aumento dela na cidade, suposto para ter ocorrido entre 1979 e 2019,

---

<sup>10</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=k7jvP7BqVi4&feature=player\\_embedded](https://www.youtube.com/watch?v=k7jvP7BqVi4&feature=player_embedded).

é uma hipótese, e não uma constatação. Ao resplendor do lema “*think globally, act locally!*”, devem ser incentivadas ações concretas para fins de mitigação de ilhas de calor urbanas que por ventura venham a ocorrer em qualquer dia e lugar, independentemente de detecção de aumento ou de estabilização de gases estufa, à melhoria da ambiência dos locais. Afinal, o que garante que “compensações” de CO<sub>2</sub>, feitas (com recursos financeiros) hoje em qualquer local do planeta, seriam o passaporte para mitigar um aquecimento global eventualmente comprovado?

Por derradeiro, importa debater se o aquecimento global pode ser admitido como dano relevante e já onipresente em todo o planeta. Se é produto da humanidade, quanto tempo estima-se ser eliminado? Se existe mesmo o dano, qual a sua extensão? O Direito Civil muito tem a ensinar à humanidade sobre a temática das responsabilidades. A responsabilização civil deriva do não cumprimento de uma obrigação (ou dever) legal genérica, em que a obrigação principal, a todos imposta, é a de a ninguém lesar, e a obrigação acessória é a da indenização por reparação ou compensação. Em regra, condutas ilícitas são os principais geradores da responsabilização civil, embora atos lícitos possam também vir a gerá-la. Para que seja reconhecida uma responsabilidade civil subjetiva, a doutrina jurídica tradicional elenca três requisitos essenciais: (i) conduta, independentemente se lícita ou ilícita (com culpa); (ii)nexo de causalidade entre conduta e dano produzido; e (iii) dano. Admite-se também a responsabilidade do tipo objetiva, sem a análise da culpa, mas não sem a presença do dano; eis que seria inócuo invocar a função central da responsabilidade civil, a reparação do dano, sem que ele existisse.

Desta feita, não seria plausível buscar a demonstração do aquecimento global por intermédio do estudo dos inúmeros microclimas existentes (como feito neste), e com nexos de causalidade convincentes, vez que não é possível demonstrá-lo em escala global a não ser por modelos computacionais casuísticos? Seria o suposto dano derivado de lícita ou ilícita conduta coletiva, ou de uma combinação de ambas, dos quase 8 bilhões de habitantes? Haveria excludente de responsabilidade civil por força maior, dada a inevitabilidade do fenômeno? Seria ele fruto de concausa natural e antrópica, em todo o planeta? Ao que tudo indica, até o momento, foi atribuído ao aquecimento global a ideia de dano presumido (*in re ipsa*), cuja comprovação seria inexigível, independentemente da licitude da conduta e da indicação dos culpados.

Nexo de causalidade não é sinônimo de nexo de imputação. Este somente existiria se não houvesse ruptura entre nexo causal e dano, e somente vincularia as pessoas responsabilizadas (toda a civilização atual e futura) ao dano se a responsabilidade civil for subjetiva. Se for objetiva, o nexo de imputação somente seria detectado, em regra, se confirmado fosse que todas as atividades humanas representassem risco ao processo. E as

concausas? Se existirem, dever-se-ia analisar se seriam dependentes, independentes, anteriores, posteriores, etc. Se são totalmente independentes, por exemplo, tanto faz se seriam anteriores ou posteriores, haveria ruptura do nexu causal e, portanto, o nexu de imputabilidade – a responsabilização de alguém por algo deixaria de existir. Quem afirmaria, convictamente e com base em quê, que concausas independentes teriam alterado a tendência das temperaturas de Piracicaba? Enquanto nada disso é respondido em *veritas*, as sociedades locais continuarão a ser responsabilizadas objetivamente por um dano global presumido, e a pagar por ele?

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É propalada a *emunah* de que a concentração global do CO<sub>2</sub> atmosférico (e também de outros gases “estufa”) esteja aumentando devido à acelerada antropização do planeta, e que desta decorra o famigerado aquecimento global, um exasperador de consequências teratológicas à humanidade, tais como desequilíbrios ecológicos, enchentes causadoras de mortes e doenças, e secas prolongadas causadoras de fome e pobreza. São esses os ingredientes fundamentais para soar o alarme de um *bellum omnia omnes*, cenário hobbesiano em que os humanos, egoístas por natureza, travariam todos contra todos, em eterna beligerância, se não tomadas as providências mitigadoras do processo. Eflui daí a necessidade de se eleger um Leviatã que possa organizá-las em escala global e enquadrar os obedientes em uma nova e imposta boa-fé objetiva (espécie de padrão de comportamento ético que se espera dos cidadãos), por meio de pactos também globais para se evitar as lides previstas. Pendura-se, destarte, uma espada de Dâmocles sobre cada cabeça, para que se produza sempre a mesma sentença – a de que a temperatura global do ar esteja subindo, achincalhando-se os que não a aceitarem.

Neste estudo, foi demonstrado que houve leve tendência de aquecimento em escala local desde 1979, sob a égide da abordagem microclimática, sustentando-se que seja meritório envidar esforços e adotar medidas que minimizem a formação de ilhas de calor, tais como o plantio de árvores, o controle de queimadas e a abdicação progressiva do uso de combustíveis fósseis. Estas seriam ações apreciáveis não por evitar o lançamento de gases à atmosfera ou por sequestrar o carbono “aquecedor do planeta”, cuja concentração global no ar é ínfima, ainda que seja duplicada, e, em regra, é submonitorada nos diversos microclimas, em *veritas*. Seriam dignas por melhorar a ambiência urbana, certamente, ao reduzir as temperaturas diurnas e noturnas das cidades (abaixando-se daí as médias), ao reduzir a poluição atmosférica tão prejudicial à saúde coletiva, e ao atrair a biota autóctone e favorecer sua conservação sem exonerá-la do convívio com os humanos. A mesma linha de raciocínio aplica-se às zonas rurais.

À guisa do arremate, reitera-se que séries temporais sejam a ferramenta científica mais abalizada para se identificar a ocorrência, ao longo de um tempo pretérito, de um aquecimento local (cuja influência é inferida, por exemplo, para raios de até 10 km de distância da estação) e que, somente diante de uma vasta (no espaço), longa (no tempo) e organizada rede mundial de monitoramento da temperatura do ar em superfície e de concentrações de CO<sub>2</sub> e outros gases atmosféricos “estufa” é que se poderia acusar a existência de um irrefutável e significativo aquecimento do ar da Terra, com suas prováveis causas e consequências *erga omnes*. Do contrário, o advertido fenômeno remanesceria como realidade imaginada, albergada em *aletheia*, porquanto não se possa também menoscar sua aparente veracidade.

## 6. CONCLUSÃO

A análise dos dados apresentados permite concluir que a temperatura média diária do ar da cidade de Piracicaba (e seu entorno) não sofreu alterações entre os anos de 1917 e 1970, mas uma pequena elevação, da ordem de totais 0,17 °C, fora constatada entre 1979 e 2019. É como se a temperatura média local tivesse subido de 22,05 °C para 22,22 °C em 41 anos. Se, como alegado vastamente por autoridades acadêmico-científicas e/ou políticas, houve mudanças climáticas em escala planetária no sentido de assinalar a ocorrência do aquecimento global do ar, tais mudanças reverberaram com menor impacto no microclima da localidade estudada, ainda que ela tenha passado, notadamente, por significativo aumento populacional e por intenso grau de industrialização, urbanização e antropização desde 1917.

## 7. REFERÊNCIAS

ALEXANDER, Ralph B. **Aquecimento global: alarme falso** (Traduzido por Patrícia Sá). Rio de Janeiro: Gryphus, 2010. 244p.

BERTOLOTO, Rodrigo. **Brasil vai na contramão do mundo e aumenta emissões com desmatamento**. UOL, 21/05/2020. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/ecoa/ultimas-noticias/2020/05/21/brasil-vai-na-contramao-do-mundo-e-aumenta-emissoes-com-desmatamento.htm>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

COOK, John; et al. **Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming**. Environmental Research Letter, v.11, 1-7, 2016.

DICKEY, David A.; FULLER, Wayne A. **Distribution of the estimators for autoregressive time series with unit root**. Journal of the American Statistical Association, v.74, n.366, p.427-431, June, 1979.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – ESALQ/USP. Base de dados do posto agrometeorológico. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/anos.html>>. Acesso em: 02 fev. 2020.

HARARI, Yuval Noah. **Sapiens** – uma breve história da humanidade (Trad.: Janaína Marcoantonio). São Paulo: L&PM, 2015. 464p.

HAYEK, Friederich August von. **O caminho da servidão** (6a. ed. trad.). São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2010. 231p.

FELÍCIO, Ricardo. **Mudanças Climáticas” e “Aquecimento Global”** – Nova Formatação e Paradigma para o Pensamento Contemporâneo? *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 36, Ed. Especial, 2014, p. 257–266.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Aquecimento Global de 1,5 °C – Sumário para formuladores de políticas. 2019. Disponível em <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>> Acesso em: 21 jul. 2020.

KNORR, Wolfgang. **Is the airborne fraction of anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions increasing?** *Geophysical Research Letters*, v.36, L 21710, p. 1 – 5, 2009.

MITCHELL, Timothy D.; HULME, Mike. **Predicting regional climate change: living with uncertainty.** *Progress in Physical Geography*, n.23, v.1, 57 – 78, 1999.

MORETTIN, Pedro Alberto; TOLOI, Clélia Maria de Castro. **Análise de Séries Temporais.** 2a. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 538p.

NIELSEN, Donald R.; WENDROTH, Ole. **Spatial and temporal statistics** - Sampling field soil and their vegetation. Reiskirchen: Verlag, 2003. 398p.

PEREIRA, Antônio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo Cesar. **Agrometeorologia** – Fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PIRACICABA HOJE. Imaflora sugere criação de Plano Municipal de Mudanças Climáticas para Piracicaba. **Piracicaba Hoje**, n. 93, 27 de Abril de 2020, p.3. Disponível em: <<https://portalpiracicabahoje.com.br/wp-content/uploads/2020/04/jornal-piracicaba-hoje-ed92-impreso-completo.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2020.

REICHARDT, Klaus; TIMM, Luís Carlos. **Solo, Planta e Atmosfera** – Conceitos, Processos e Aplicações. São Paulo: Manole, 2004. 478p.

SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Disponível em: <<https://perfil.seade.gov.br/>>. Acesso em: 28 abr. 2020.

SENTELHAS, Paulo et al. **Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencional e automática.** *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 215-221, 1997.

TOL, Richard S. T. Comment on ‘Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature’. *Environmental Research Letter*, v.11, 1-7, 2016.

TRENBERTH, Kevin E. Stronger Evidence of Human Influence on Climate: The 2001 IPCC Assessment. *Environment*, Heldref, 2001; v. 43, n.4, 2001.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. **Meteorologia e Climatologia** (Versão Digital 2). Recife: s/e, 2006. 463p.

VAROTSOS, C.A.; EFSTATHIOU, M.N. **Has global warming already arrived?** *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, v.182, p.31-38, 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation** (7a. ed.). Geneva: WMO, 2008. 681p. (WMO n.8).