



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

Uso de sensor eletrônico para a avaliação de teor de dióxido de carbono em diferentes ocupações do solo

Jô Vinícius Barrozo Chaves, UNESP-SOROCABA, jovb.chaves@gmail.com
Lia Toledo Moreira Mota, PUC-CAMPINAS, lia.moreira.mota@gmail.com
Regina Márcia Longo, PUC-CAMPINAS, rmlongo@uol.com.br
Admilson Írio Ribeiro, UNESP-SOROCABA, admilson.irio@unesp.br

Resumo

Os impactos associados aos ambientes urbanos, como danos físicos pela falta de vegetação e aumento da emissão de dióxido de carbono (CO_2) em decorrência da atividade econômica, têm trazido a necessidade da mitigação dos mesmos. Dessa forma, como propostas de preservação de áreas verdes e inserção de vegetação em ambientes impermeabilizados têm sido uma das principais respostas. No entanto, para garantir a tomada de decisão e criar um ambiente sustentável, é importante ressaltar a necessidade de informações, para isso o desenvolvimento de novas tecnologias tem sido apresentado ao monitoramento ambiental a partir de novos instrumentos e metodologias de aquisição de dados. Frente a isso, esse trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um medidor de concentração de CO_2 e a partir desse equipamento, avaliar a diferença da concentração de CO_2 atmosférico numa área industrial em relação a um fragmento florestal. Os resultados obtidos indicaram em ambos os períodos monitorados, que o fragmento de vegetação apresentou menor concentração de CO_2 em relação à área industrial, enquanto a parcela de área rural apresentou as menores concentrações de CO_2 . Foi, também, identificado erro na coleta final do sensor, causando perda de dados, destacando a necessidade de aprofundamento no tema e no aparato construído.

Palavras-chave: Sensoriamento; Monitoramento de Qualidade do Ar; Atividade Industrial; Fragmentos Florestais.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

1. Introdução

As áreas urbanas podem ser caracterizadas como sendo ambientalmente mais agressivas, em decorrência de sua estrutura, sendo áreas que, nos últimos séculos, apresentaram expansão desordenada, com crescimento populacional e adensamento demográfico urbano intenso, e composta por ambiente altamente impermeabilizado e pouca vegetação (CHOAY, 1965). Diante desse cenário, os índices de qualidade do ar desses ambientes caracterizam-se, em decorrência do tráfego intenso de automóveis e poluição advinda de atividades econômicas, pela baixa qualidade do ar e com a constante emissão de poluentes na atmosfera.

No ambiente urbano, são observados impactos negativos em seu clima e conforto ambiental, devido às interferências climáticas comuns em ambientes altamente construídos, impermeabilizados e com índices elevados de emissão de poluentes na atmosfera (LANDSBERG, 1956; GEIGER, 1950). Dentre os eventos causadores de impactos negativos identificam-se fenômenos conhecidos como as ilhas de calor urbano (ICU) e Canyons urbanos, resultando em ambientes com dificuldades em trocas de temperatura, aumento do armazenamento de energia em estruturas que podem gerar aumento da temperatura (STEWART E OKE, 2012; SAMPAIO et al., 2007).

Diante desses impactos, medidas de mitigação dos mesmos e monitoramento ambiental urbano passaram a ser estudado e implementado visando à melhoria da qualidade do ar e do conforto ambiental urbano (WMO, 2018). Uma das formas de mitigação dos impactos ambientais e microclimáticos consiste na utilização de áreas verdes, caracterizadas como áreas de espaços livres, vegetação nativa, áreas permeáveis, parques, praças e a conservação ou preservação de fragmentos florestais (BRASIL, 2006).

Para a construção de um ambiente urbano mais sustentável, preservado ou com impactos mitigados é importante ter o conhecimento das informações sobre o cenário degradado. Dessa forma, a necessidade incorporar novas tecnologias às metodologias de monitoramento urbano tem se destacado, assim, trazendo o desenvolvimento de múltiplos sensores eletrônicos que permitissem a coleta de dados de forma mais barata, acessível e que



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

possibilitassem a modificação e criação de novas formas de realizar coletas de dados (CARMINATI et al., 2019; TUROLLA et al., 2019).

No âmbito do monitoramento de gases e da qualidade do ar tem sido identificadas aplicações com sensores em cenários urbanos que facilitou acessos a determinadas áreas a partir de uso de bicicletas ou da integração de medidores com sensores junto às rádios, permitindo uma coleta remota. A construção desses novos aparatos a partir de sensores eletrônicos têm se tornado viável devido ao seu baixo custo, mas, além disso, os avanços desses materiais proporcionaram a miniaturização de medidores junto ao baixo custo, agregando ainda mais possibilidades aplicações (CASTALDO *et.al*, 2017; PIOPPI *et.al*, 2020).

Como exemplo de aplicações encontra-se desde o embarque de sensores em drones, capacetes em até coletas móveis (auxílio de veículos) ou bases fixas. Muitos desses medidores têm se introduzido no ambiente urbano para o monitoramento do microclima e do conforto ambiental, alcançando medidas de temperatura e umidade até de gases de concentração de dióxido de carbono (DEBIAZI e SOUZA (2017); PULIAFITO *et al.*, SOEIRA, 2018).

Frente a essas tecnologias aplicadas ao monitoramento urbano, tem sido observado com frequência análises do microclima urbano buscando compreender o comportamento do ambiente relacionado à vegetação urbana e com as demais morfologias com o uso de sensores eletrônicos (CASTALDO *et al.*, 2017). Com isso, o seguinte trabalho teve como objetivo construir um aparato a partir de um sensor eletrônico e, com esse equipamento, identificar e avaliar a concentração de CO₂ atmosférico em diferentes usos e ocupações na região da divisa entre Barão Geraldo, Campinas, e Parque Industrial, Paulínia.

2. Metodologia

A área monitorada nesse estudo está localizada ao noroeste de Campinas e sudeste de Paulínia, na divisa dos dois municípios de São Paulo, entre as latitudes 22°46'43'' e 22°46'15'' Sul, e longitudes 47°6'11'' e 47°5'43'' Oeste. Na **Figura 1** encontra-se a demarcação da divisa dos municípios pelo corpo d'água, sendo à esquerda Paulínia e direita Campinas. A região está localizada próxima à foz do rio Atibaia, em uma área de transição



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

entre o Planalto Atlântico e a Depressão Periférica, e contendo terrenos compostos por Argissolos, com influência de diabásio. Contém extensas ocupações urbanas e é encontra fragmentos de Mata Atlântica (GOMES et al., 2004 apud FRANCISCO, 2006).

Para entender a região delimitada para estudo, foi necessário a implementação de uma metodologia de caracterização, a qual foi construída a partir do método de Zonas Climáticas Locais – LCZ (Stewart e Oke, 2012), frequentemente utilizada para a determinação e classificação de áreas consolidadas com influência sobre variáveis meteorológicas. Dessa forma, conforme descrito na **Tabela 01**, a identificação das LCZs de áreas com características de Corpos D'água (LCZ – G), Solo Exposto e Área Rural (LCZ – Cd), Zona Industrial (LCZ – 8d), Área Residencial (LCZ – 2₃) e Fragmentos Florestais (LCZ – A). Para a proposta do trabalho foi analisado somente a interação entre a condição industrial e com floresta, como observado na **Figura 01**, a área rosada e a área verde respectivamente.

Tabela 01: Classificação LCZ.

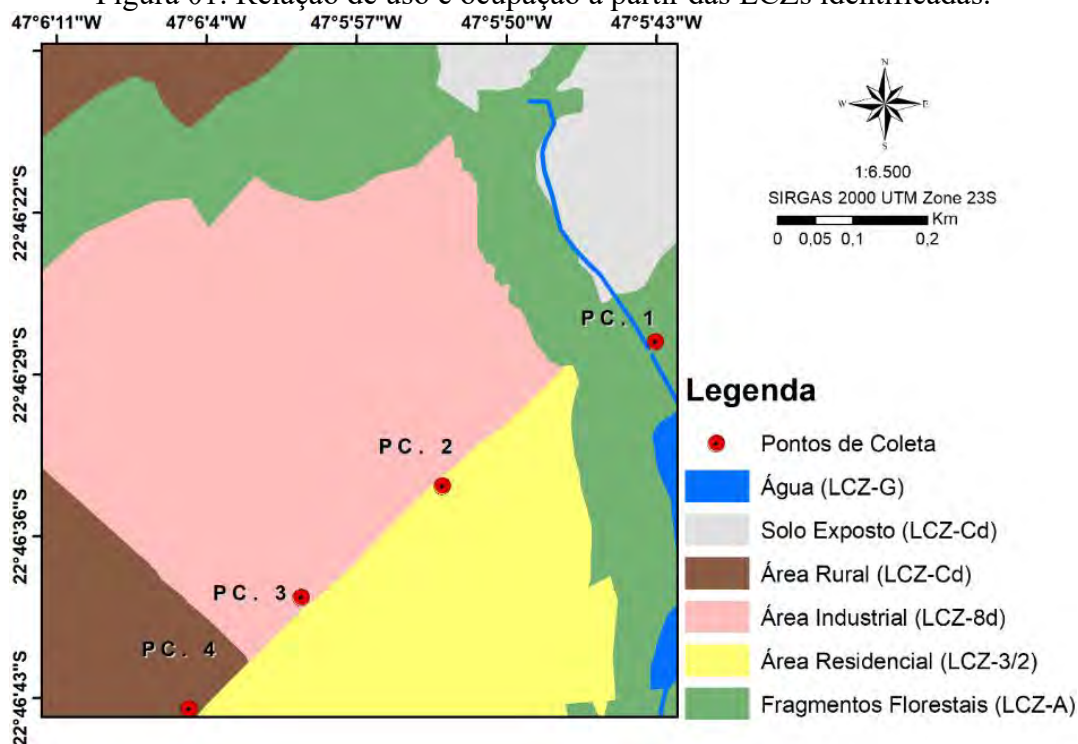
Tipo	Nomenclatura Stewart e Oke (2012)	
	Principal	Secundária
Solo Exposto	C - Arbustos;	D - Plantação rasteira.
Atividades Comerciais e Industriais	8 - Estruturas altas e espaçadas;	D - Plantação rasteira.
Residencial	3 - Construções baixas e densas;	2 - Construções de altura mediana e densas
Floresta	A - Floresta densa	-
Corpo D'água	G - Água	-

No ponto 1 é destacado seu contato apenas vegetação, mas ainda contato com estradas e automóveis. Na região dos pontos 2 e 3 suas características estão associadas diretamente com ambiente impermeabilizado, com alguns prédios de até quinze metros de altura e espaçados entre si, além de muros que envolvem o residencial (amarelo). Por fim, o ponto 4 encontra-se localizado próximo de áreas com atividade agrícola, sendo assim, um ambiente baixo nível de construções e com céu aberto, tendo baixa obstrução da visão do céu.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Figura 01: Relação de uso e ocupação a partir das LCZs identificadas.



Partindo dessa caracterização, e respeitando o acesso público, foi distribuído pontos de coleta de forma que possibilitassem o monitoramento meteorológico local da região. Para atender a proposta do monitoramento de teor de CO₂, foi desenvolvido um medidor a partir do Sensor MG811, utilizado para a captação do gás e geração de dados de concentração de CO₂ (**Figura 02**). O Sensor em questão permite a identificação de até 10.000 partes por milhão (ppm) do gás com alta sensibilidade (PARALLAX, 2010).

Para a montagem do sensor foi utilizado microprocessador, adaptador de cartão memória, cartão de memória e bateria de 11.1V com 1500mAh e 30C para alimentar o sistema. Após sua montagem, o sensor foi programado coletar amostras a cada 5 segundos.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Figura 02: Relação de uso e ocupação a partir das LCZs identificadas.



A coleta dos dados foi realizada no dia 27 de agosto de 2019, sendo dividida em dois períodos para buscar identificar diferentes comportamentos do parâmetro estudado, possibilitando trabalhar com dados sob influência de um ambiente com diferença de temperatura e umidade do ar (MOREIRA *et al.*, 2015). A primeira leva de coletas foram realizadas no período matutino, entre as 10:00 e 11:00, enquanto para o período vespertino, entre as 14:00 e 15:00.

Para garantir à precisão a compatibilidade dos ambientes entre um ponto e outro, as coletas eram realizadas no tempo de três minutos para cada ponto. A locomoção de ponto a ponto era feita com auxílio de um automóvel para garantir as características de temperatura e umidade da região não tivesse alteração drástica entre o primeiro e último ponto.

3. Resultados

As **Tabelas 01** e **02** apresentam resultados referentes às coletas de concentração de CO₂, respectivamente, nos períodos matutino e vespertino do dia 27 de agosto de 2019 na parcela de Paulínia, a qual envolve a região com atividade industrial. Para facilitar algumas análises, foram enquadrados não apenas os valores das médias para representar as populações, mas também os valores máximos e mínimos para auxiliar da explicação das características de cada região e do comportamento do sensor.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Diante das respostas obtidas pelo meio, ilustrado na **Tabela 01**, observam-se valores de suas médias muito próximos entre si, porém com uma leve variação durante no Ponto 4 o qual apresentou uma concentração média de 441ppm, enquanto o Ponto 2 apresentou uma valoração levemente maior, alcançando os 499ppm. Os demais pontos operaram nessas faixas de concentração de dióxido de carbono.

Tabela 01: relação dos dados do período Matutino.

Ponto de Coleta	Amostras	Mínimo (ppm*)	Máximo (ppm*)	Média (ppm*)
1	47	361	550	486,979
2	40	433	573	499,625
3	41	412	573	486,195
4	40	372	534	441,350

ppm*- parte por milhão de dióxido de carbono.

Na **Tabela 02**, a qual detalha os dados de concentração de CO₂ no período vespertino, apresentou valores interessantes para serem analisados. Primeiramente é possível observar de forma evidente a alteração no comportamento dos dados do período matutino para o vespertino, por exemplo, a maior média de concentração de CO₂ no ponto 3 (584,9ppm) e menor no ponto 1 (416,3ppm). No entanto, é importante avaliar as amostras no âmbito dos valores de máximo e mínimo, tendo algumas variações mais elevadas dentro de um mesmo grupo de amostras.

Tabela 02: relação dos dados do período Vespertino.

Ponto de Coleta	Amostras	Mínimo (ppm*)	Máximo (ppm*)	Média (ppm*)
1	45	372	556	416,267
2	39	369	508	439,462
3	38	488	699	584,974
4	40	257	645	421,125

ppm*- parte por milhão de dióxido de carbono.

De modo geral, é possível observar entre os dois períodos as menores concentrações de dióxido de carbono no Ponto 4, em ambas as baterias de monitoramento, a qual contém



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

uma região caracterizada pela ausência de estruturas e um ambiente mais aberto. Um fator a ser destacado na região do Ponto 4 é o tráfego de veículos, contendo o fluxo constante de veículos de médio e grande porte, o que é diferente dos demais pontos. Apesar da proximidade com o tráfego em questão, segundo Castaldo *et al.*, (2017) e Bowler *et al.*, (2010), a área sob atividade rural pode fazer houvesse a redução da concentração do CO₂, em decorrência da absorção pela vegetação ou pelas áreas rurais próximas. Nesse sentido, o mesmo pode estar atrelado à resposta que o ambiente do ponto 1, localizado ao lado fragmento florestal (LCZ-A).

Outro parâmetro a ser citado que pode ter interagido diretamente com o sensor e ocorrido exclusivamente é a velocidade e direção do vento, podendo dispersar a concentração de CO₂, visto que a região não continha barreiras naturais ou construídas ao seu redor (PULIAFITO *et al.*, 2017; PANTOJA *et al.*, 2019).

Ainda na **Tabela 02** identifica-se drástica diferença entre os números de mínimo e máximo dos dados do ponto de coleta 4, o qual apresentou enorme diferença. Essa diferença pode ter ocorrido por três motivos atrelados ao sensor, sendo eles o comportamento de retenção de valores de coletas passadas, a qual era anexada à coleta, e outra associada a um possível problema associado ao microprocessador do sensor. Por último, podendo estar associada ao tempo de adaptação na associação do sensor com a concentração CO₂ do local.

A retenção de dados entre um ponto de coleta e outro foi evidenciado devido os primeiros valores terem características constantes do ponto anterior, e após determinado período o sensor apresentava o valor real. Na **Tabela 03** é possível visualizar a seguinte interação que ocorreu no Ponto 4 no período vespertino. O problema para esse ponto foi a duração que levou para esse processo e variação abrupta dos valores, sendo um sinal para aprofundamento de análises sobre o sensor em questão.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
 16 a 18 de novembro de 2021

Tabela 03: relação das amostras do Ponto de coleta 4 no período Vespertino.

Amostra	Concentração de CO ₂ (ppm)	Amostra	Concentração de CO ₂ (ppm)
1	614	21	392
2	545	22	450
3	645	23	384
4	608	24	344
5	645	25	337
6	561	26	347
7	573	27	347
8	534	28	369
9	498	29	361
10	483	30	334
11	590	31	330
12	428	32	337
13	420	33	296
14	424	34	321
15	469	35	305
16	455	36	273
17	464	37	284
18	408	38	273
19	416	39	257
20	416	40	308

4. Conclusões

A partir da análise dos resultados obtidos e das análises realizadas, pode-se afirmar que sensor MG811 utilizado para compor o medidor proposto foi capaz de coletar os dados e auxiliar na identificação da concentração de CO₂ em diferentes características de ocupação e uso do solo.

Foi possível, também, identificar a partir do uso do medidor desenvolvido a concentração mais elevada de dióxido de carbono nas proximidades da LCZ-8d, área com atividade industrial. Seguida pelo fragmento vegetal, que apresentou a menor concentração no período vespertino, e por fim, a menor concentração identificada em ambos os períodos foi



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

próxima a área rural a qual possivelmente contribuiu efetivamente para a redução do CO₂ disponível.

Para trabalhos futuros é indicado o desenvolvimento de monitoramento de concentração de CO₂ em conjunto com sensores de velocidade e direção do vento. Sugere-se, também, aprofundar de forma detalhada no comportamento do sensor MG811 visando identificar em suas anomalias na captação ou geração de dados.

5. Referências bibliográficas

AMBRIZZI, T., ARAUJO, M., **Base científica das mudanças climáticas: Contribuição do grupo de trabalho 1 do painel brasileiro de mudanças climáticas ao primeiro relatório da avaliação nacional sobre mudanças climáticas**. PBMC, COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 464 pp. 2014.

BOWLER, D. E. et al. Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence.: A systematic review of the empirical evidence. **Landscape and Urban Planning**, [s.l.], v. 97, n. 3, p. 147-155, Elsevier BV. set. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>

BRASIL. Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006. **Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP**. Brasília. Diário Oficial da União, 29 mar. 2006.

CARMINATI, M. *et al.* Prospects of Distributed Wireless Sensor Networks for Urban Environmental Monitoring. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 44-52, 1 jun. 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/maes.2019.2916294>.

CASTALDO, V. L. et al. Microclimate and air quality investigation in historic hilly urban areas: experimental and numerical investigation in central Italy: Experimental and numerical investigation in central Italy. **Sustainable Cities and Society**, [s.l.], v. 33, p. 27-44, ago. Elsevier BV, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.05.017>

CHOAY, F. O Urbanismo: Utopias e Realidades, uma Antologia. 7ªed. São Paulo. **Perspectiva**, 2013.

DEBIAZI, P. R.; SOUZA, L. C. L. de. Contribuição de parâmetros do entorno urbano sobre o ambiente térmico de um campus universitário. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 215-232, out./dez. 2017.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

FRANCISCO, C. E. S. **Áreas de Preservação Permanente na bacia do ribeirão das Anhumas: estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial**, 2006. 108 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Pós-Graduação - IAC, Campinas, 2006.

HOUGHTON, R. A.; HACKLER, J. L. **Carbon Flux to the Atmosphere from Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850 to 1990**. ORNL/CDIAC-131, NDP-050/R1. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge. 2001. <https://doi.org/10.3334/CDIAC/lue.ndp050.2008>

GEIGER, R. **The Climate near the Ground**. Cambridge. 1950. Mass.: Harvard University Press. 482 pp.

JACOMAZZI, M. A. **Avaliação de cenários para elaboração de plano diretor de macrodrenagem urbana Estudo de caso: bacia do ribeirão das Anhumas em Campinas SP**. 2015. 263f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2015.

LANDSBERG, H.E. **The climate of towns. 1956** In: Thomas Jr., W.L. (Ed.), *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. Univ. Chicago Press, Chicago, pp. 584-606.

MOREIRA, P. S. P. *et al.* Ciclo diário de variáveis meteorológicas nos biomas do estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia**, Tangará da Serra, v. 17, n. 1, p.173-188. 2015. <https://doi.org/10.5380/abclima.v17i0.41159>

PANTOJA, C. A. Variação do CO₂ atmosférico e do efluxo de CO₂ do solo em iPF na Amazônia. **Agrometeoros**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 81-91, 6 mar. 2020. AGROMETEOROS. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i1.2661>

PARALLAX. **CO₂ Gas Sensor Module (#27929)**. Disponível em: <<https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/2082898.pdf>>. Acesso em: 28 de mai. 2019.

PIOPPI, B. *et al.* Data collected by coupling fix and wearable sensors for addressing urban microclimate variability in an historical Italian city. **Data In Brief**, v. 29, p. 105322, abr. 2020.

PULIAFITO, S. E. *et al.* Green Areas and Microscale Thermal Comfort in Arid Environments: a case study in Mendoza, Argentina: A Case Study in Mendoza, Argentina. **Atmospheric and Climate Sciences**, [s.l.], v. 03, n. 03, p. 372-384, 2013. <https://doi.org/10.4236/acs.2013.33039>.

ROSEIRO, M. N. V.; TAKAYANAGUI, A. M. M. Meio ambiente e poluição atmosférica: O caso da cana-de-açúcar. *Saúde*, Vol. 30 (1-2), p. 76-83, 2004.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade
16 a 18 de novembro de 2021

SAMPAIO, G et al.. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, [s.l.], v. 34, n. 17, p. 1-7, 13 set. 2007. American Geophysical Union (AGU). <https://doi.org/10.1029/2007GL030612>

SOEIRA, M. R. C. **A relação entre o fator de visão do céu e a temperatura do ar em diferentes zonas climáticas locais**. 2018. 115f. Dissertação (Mestrado em sistemas de Infraestrutura Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2018.

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of American Meteorological Society*, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>

TAVARES, R. L. M. **Emissão de CO₂ e atributos físicos, químicos e manejo microbiológicos do solo em sistemas de manejo de cana-de-açúcar**. Tese (Doutorado - Faculdade de Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 100p. 2014.

TUROLLA, Andrea *et al.* Development of a Miniaturized and Selective Impedance Sensor for Real-Time Slime Monitoring in Pipes and Tanks. *Sensors And Actuators B: Chemical*, [S.L.], v. 281, n. 1, p. 288-295, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2018.10.107>.

WMO. **Guide to Climatological Practices - Volume I. Measurement of meteorological Variables**. Secretariat of the World Meteorological Organization (WMO), Geneva, 8 ed. 2018.