

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Análise da concentração de MP₁₀ no município de Santa Gertrudes – SP no período de 2019 a 2022 em busca da gestão urbana sustentável

Pollyane Vieira da Silva, Instituto de Física e Matemática, Universidade Federal de Pelotas, pollyane.silva@ufpel.edu.br

Amanda Lombardo Fruehauf, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, amandalombardo@usp.br

Givanildo Donizeti de Melo, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, givanildo.donizeti@ufpb.edu.br

Magda Adelaide Lombardo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, magdalombardo@yahoo.com.br

Resumo

A concentração de poluentes está fortemente relacionada às condições meteorológicas e novas fontes de poluentes, como a queima de combustíveis fósseis pelos motores, a combustão e a expansão das indústrias ocorreu sem um acompanhamento dos possíveis danos que esses poluentes poderiam causar à saúde humana. O objetivo deste estudo foi utilizar a análise de componentes principais (ACP) para identificar a relação entre três variáveis meteorológicas (temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar) e o MP₁₀, na cidade de Santa Gertrudes – SP no período de 2019 a 2022. A análise de componentes principais se mostrou efetiva e permitiu a retirada de duas variáveis originais para duas componentes principais, ou seja, um menor número de variáveis foi necessário para explicar a maior parte da variabilidade dos dados, sem perda significativa de informação. Deixando evidente a necessidade de reflexões teóricas que possam impactar diretamente na criação de oportunidade nos desenhos de políticas públicas pelos gestores públicos municipais, voltadas ao desenvolvimento do planejamento urbano, desta vez, atendendo às dimensões da sustentabilidade.

Palavras-chave: Partículas inaláveis, variáveis meteorológicas, polo cerâmico, cidades sustentáveis.

1. Introdução

No começo do século XX, o ar necessário para a respiração de todos os seres vivos da Terra ainda não era abordado de forma tão evidente, pois acreditava-se que este estaria constantemente disponível de forma a manter a vida no planeta (Russo, 2010).

O número crescente da circulação de veículos no mundo e as atividades industriais são fatores que contribuem fortemente para a poluição da atmosfera (Cesar et al., 2013). Esta pode



ser originada também por fontes naturais como queima acidental de biomassa (material derivado de plantas ou animais) e erupções vulcânicas (Cançado et al., 2006; Gonçalves et al., 2010).

Novas fontes de poluentes, como a queima de combustíveis fósseis pelos motores, a combustão e a expansão das indústrias siderúrgicas ganharam força com a revolução industrial e isso ocorreu sem um acompanhamento dos possíveis danos que esses poluentes poderiam causar à saúde humana (Coelho, 2007; Mario, 2012).

Mais recentemente, entretanto, vários estudos vêm demonstrando a existência de associação entre os efeitos da poluição do ar na saúde, mesmo quando os níveis médios de poluentes não são tão altos. Atualmente, diversos estudos vêm usando o número de internações hospitalares como um indicador dos efeitos da poluição na saúde da população (Gouveia, 2013).

Dessa forma, é necessário buscar soluções para controlar e mitigar esta poluição. Pensar no desenvolvimento sustentável, em busca dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2015), que se trata de 17 eixos: 1. Erradicação da Pobreza; 2. Fome zero e agricultura sustentável; 3. Saúde e bem-estar; 4. Educação de qualidade; 5. Igualdade de gênero; 6. Água limpa e saneamento; 7. Energia limpa e acessível; 8. Trabalho decente e crescimento econômico; 9. Indústria Inovação e infraestrutura; 10. Redução das Desigualdades; 11. Cidades e comunidades sustentáveis; 12. Consumo e produção responsável; 13. Ação contra a mudança global do clima; 14. Vida na água; 15. Vida terrestre; 16. Paz, justiça e instituições eficazes; 17. Parcerias e meios de implementação. Neste trabalho o foco foi buscar o item 3, como pode-se proporcionar melhor qualidade do ar e assim saúde e bem-estar para a população.

Assim, espera-se que pesquisas desenvolvidas nesse âmbito, possam colaborar para aporte as políticas públicas, incluindo os gestores públicos municipais, visando o planejamento urbano, com base nas dimensões da sustentabilidade que pode ser atrelado ao uso consciente da inteligência artificial (BOTTON et al. 2021).

Sob a ótica do mundo real, igualmente, espera-se que as reflexões teóricas possam impactar diretamente na criação de oportunidade nos desenhos de políticas públicas pelos gestores públicos municipais, voltadas ao desenvolvimento do planejamento urbano, desta vez, atendendo às dimensões da sustentabilidade e com o uso consciente da inteligência artificial.

O relatório anual da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) conta com informações de estações medidoras localizadas na região metropolitana de São Paulo, interior



e litoral do estado. Merece atenção o município de Santa Gertrudes, onde as estações de monitoramento da qualidade do ar registram elevadas concentrações de partículas inaláveis (MP₁₀).

O objetivo deste estudo foi utilizar a análise de componentes principais (ACP) para identificar a relação entre três variáveis meteorológicas (temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar) e o MP₁₀, na cidade de Santa Gertrudes – SP no período de 2019 a 2022.

2. Fundamentação teórica

No Brasil, os estudos epidemiológicos analisando a associação de poluentes com problemas na saúde concentram-se no estado de São Paulo (Dapper, 2016). O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar.

A medição sistemática da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes, definidos em razão de sua importância e dos recursos disponíveis para seu acompanhamento. O grupo de poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos, são: Material Particulado (MP), Partículas Totais em Suspensão (PTS), Partículas Inaláveis (MP₁₀), Partículas Inaláveis Finas (MP_{2,5}) e Fumaça (FMC). Sob a denominação geral de Material Particulado se encontra um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de seu pequeno tamanho (CETESB, 2023).

As partículas inaláveis (MP₁₀) podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10 µm. Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 µm, podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares.

A concentração de poluentes está fortemente relacionada às condições meteorológicas. Alguns dos parâmetros que favorecem altos índices de poluição são: alta porcentagem de calmaria, ventos fracos e inversões térmicas a baixa altitude. Esse fenômeno é particularmente comum no inverno paulista, quando as noites são frias e a temperatura tende a se elevar rapidamente durante o dia, provocando alteração no resfriamento natural do ar. A inversão térmica se

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

caracteriza por uma camada de ar quente que se forma sobre a cidade, “aprisionando” o ar e impedindo a dispersão dos poluentes (CETESB, 2023).

Nogaroto et al. (2020) apresentaram alguns estudos em diferentes estados do Brasil que relaciona a poluição do ar e as variáveis meteorológicas. Em um estudo realizado em Uberlândia, Minas Gerais (MG), Brasil, Nicodemos et al. (2009) demonstraram que as variáveis meteorológicas são fortemente correlacionadas entre si. Além disso, que a concentração de MP_{10} apresentou maior correlação com a umidade relativa e esteve menos correlacionada com a precipitação. Variáveis meteorológicas como temperatura e velocidade do vento não tiveram correlação linear com a concentração do MP_{10} . A partir da análise das variáveis meteorológicas, os autores verificaram que o inverno é um período do ano mais seco, com condições atmosféricas desfavoráveis à dispersão de poluentes, fazendo com que as maiores concentrações de MP_{10} ocorram nesta época.

Barros (2014) demonstrou em seus estudos, realizados em Santa Catarina (SC), Brasil, que a concentração de MP_{10} apresentou correlações significativas com as variáveis pressão, umidade, ventos zonal e meridional, e precipitação. Concluiu-se que quanto maior a precipitação, menor a concentração de MP_{10} , pois a chuva promove a remoção úmida, lavando o material particulado da atmosfera.

Na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil, durante 2014, Souza et al. (2017) usaram ACP relacionando variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa, precipitação, velocidade do vento, radiação solar e índice de claridade) e dois poluentes atmosféricos (ozônio e monóxido de carbono). Temperatura, velocidade do vento e radiação solar foram as principais contribuições para a concentração de ozônio (38,2%). Por se tratar de um método multivariado bastante utilizado em análises de variáveis ambientais, a ACP foi escolhida como ferramenta estatística neste trabalho (Nogaroto, 2020).

Dessa forma é preciso pensar em estratégias para modificar o ambiente urbano que beneficie sua produção industrial, porém, que tenha um desenvolvimento sustentável que interligue processos ecológicos e sociais, visando a diminuição dos impactos ambientais negativos do



meio socioambiental onde só favorece um grupo social e prejudica outro, assim como a população local (COELHO, 2001).

3. Metodologia

O polo cerâmico de Santa Gertrudes destaca-se pela concentração da atividade ceramista de fabricação de pisos de revestimento a partir da argila, sendo responsável por uma parcela considerável da produção nacional de piso cerâmico. Esse polo engloba os municípios de Santa Gertrudes, Cordeirópolis, Rio Claro e Ipeúna, incluindo empresas nos municípios de Limeira e Piracicaba. Nesse polo, as atividades de extração, beneficiamento e transporte de matéria prima constituem-se nas principais fontes de emissão de material particulado (MP), notadamente por emissões fugitivas, e a concentração da atividade nos municípios faz com que os impactos na qualidade do ar sejam significativos.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), está vinculada e atende à Secretaria do Meio Ambiente (SMA), sendo a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, desde a década de 70. A partir de 2009, com a entrada em vigor da lei estadual 13.542, passou a ser a única responsável pelo licenciamento ambiental que antes era realizado por quatro áreas diferentes do sistema estadual de meio ambiente (DEPRN, DUSM, DAIA e CETESB). Visando a redução das desconformidades registradas na qualidade do ar no que se refere ao material particulado, a CETESB estabeleceu, no âmbito do Plano de Redução de Emissão de Fontes Estacionárias (PREFE), um plano específico para o Setor de Indústrias de Pisos Cerâmicos e Mineração de Argila, incluindo os municípios de Santa Gertrudes, Rio Claro, Ipeúna e Cordeirópolis, e empresas do setor dos municípios de Limeira e Piracicaba (CETESB, 2016b).

O Plano possui um conjunto de ações a serem implementadas pelos empreendimentos, com prazos definidos, para cada tipo de fonte de emissão de material particulado (MP): áreas de secagem de argila; áreas de mineração de argila; armazenamento temporário de argila; transporte de argila; setores de armazenamento, transferência e beneficiamento; e pátios de carga e descarga nas unidades industriais, visando a redução das emissões em fontes pontuais e operações não pontuais. As medias anuais de concentração de MP_{10} obtidas em 2020, na região do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes, foram influenciadas pela redução parcial das atividades devido a pandemia, que ocorreu principalmente nos meses de abril e maio de 2020. (CETESB, 2020).

Os dados utilizados nesse trabalho foram extraídos da plataforma online Qualidade do Ar (QUALAR, 2016), disponível no site da CETESB. Eles foram obtidos das medições horárias feitas pela estação automática na cidade de Santa Gertrudes, no período de 2019 a 2022, e são



referentes às medições de: temperatura (TEMP), umidade relativa do ar (UR), material particulado inalável (MP₁₀) e velocidade do vento (VV).

Para verificar a relação entre as variáveis meteorológicas e a concentração de MP₁₀ realizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) e calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis duas a duas. A representação e análise dos dados foi realizada utilizando o Excel e o *software* R (R CORE TEAM, 2014).

O objetivo principal da análise de componentes principais é o de explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares das variáveis originais. Essas combinações lineares são chamadas de componentes principais e são não correlacionadas entre si (SANDANIELO, 2008). Segundo Hongyu (2016) esta técnica pode ser utilizada para geração de índices e agrupamento de indivíduos. A análise agrupa os indivíduos de acordo com sua variação, isto é, os indivíduos são agrupados segundo suas variâncias, ou seja, segundo seu comportamento dentro da população, representado pela variação do conjunto de características que define o indivíduo, ou seja, a técnica agrupa os indivíduos de uma população segundo a variação de suas características.

Um critério bastante conhecido e que será usado neste trabalho para definir o número de componentes principais que serão considerados é o Critério de Kaiser, que sugere utilizar os CP que resultaram em autovalores maiores que uma unidade.

4. Resultados

O Decreto nº 59113/2013 dentre outras coisas estabelece critérios para episódios agudos de poluição do ar. A declaração dos estados de atenção, alerta e emergência, além dos níveis de concentração ultrapassados, requer a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes. Na Figura 1 podemos ver a concentração de MP₁₀ ao longo dos anos de 2019, 2020, 2021 e 2022 no município de Santa Gertrudes, SP.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

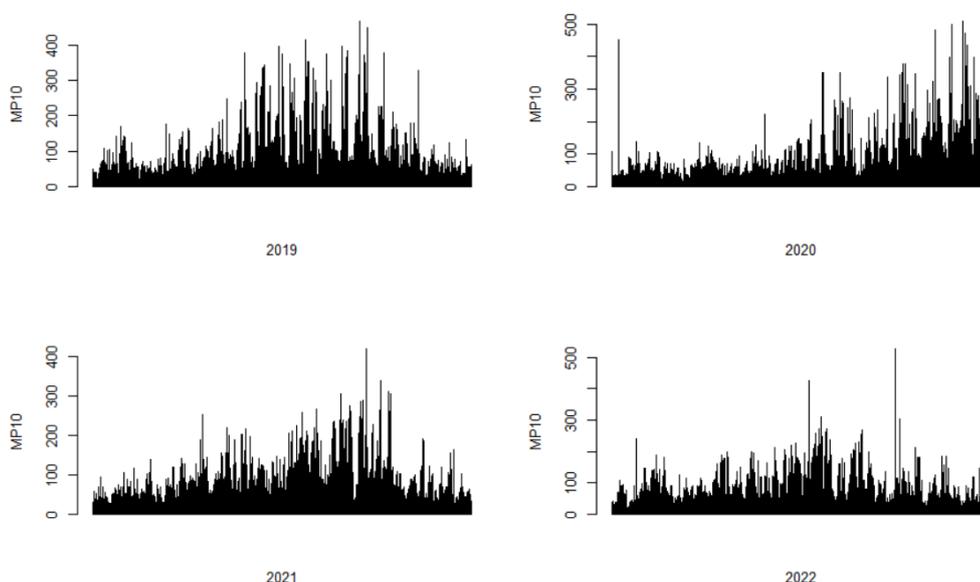


Figura 1: Gráfico de concentração de MP_{10} em Santa Gertrudes – SP nos anos de 2019, 2020, 2021 e 2022

Observa-se na Figura 1 que a concentração de MP_{10} ao longo dos anos teve uma grande oscilação e percebe-se que a maioria das medidas das concentrações atingiram $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que é o limite para o índice de qualidade do ar ser considerado “bom”, segundo os índices de qualidade do ar apresentados no site da CETESB. Algumas medidas apresentaram valores altos, acima de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nos critérios para episódios agudos de poluição do ar apresentado no Decreto Estadual nº 59113, quando a concentração de MP_{10} atinge $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a declaração é de Atenção, $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$ é de Alerta e $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ é de Emergência. Por meio dos gráficos apresentados na Figura 1, podemos identificar alguns episódios agudos de poluição do ar, que afetam a qualidade socioambiental do ambiente.

Assim, evidencia-se que na sociedade moderna, vem causando degradação ambiental, com o avanço tecnológico, industrialização e crescimento demográfico, houve aumento na emissão de gases tóxicos que impactam o meio ambiente e os seres vivos presentes no meio, o que colabora para formação de doenças respiratórias, sendo a poluição do ar relacionada com variáveis climáticas, um dos fatores responsáveis por estas patologias (NATALINO, 2011).

Pode-se observar que na primeira metade do ano de 2020 a concentração de MP_{10} foi reduzida comparada ao segundo semestre de 2020 e aos demais anos em estudo. O fato de que no Brasil a pandemia da Covid-19 teve um aumento dos casos no início de 2020 e medidas mais



intensas nas regras sanitárias foram tomadas, uma delas foi o lockdown em empresas e indústrias, inclusive em Santa Gertrudes, levando conseqüentemente a uma menor quantidade de emissão de poluentes.

Para as análises estatísticas, primeiramente foram calculadas as correlações de Pearson entre as variáveis em estudo, e num segundo momento, foi aplicada a ACP. Na correlação de Pearson, as correlações são calculadas considerando duas variáveis de cada vez. A Figura 2 apresenta os resultados das correlações de Pearson, sendo possível observar que a variável meteorológica com maior índice de correlação com o MP_{10} é a velocidade do vento pois as massas de ar auxiliam na dispersão dos poluentes, de forma que caso a velocidade do vento seja alta, a concentração será menor. A segunda variável mais correlacionada com o MP_{10} é a temperatura e em terceiro, a umidade relativa do ar. Ambas as correlações também são negativas e fracas.

A maior correlação entre as variáveis em estudo foi Umidade Relativa do ar e a Temperatura em todos os anos. A correlação foi negativa e considerada de moderada a forte, indicando que quanto maior a umidade relativa menor a temperatura na cidade de Santa Gertrudes no ano de 2022. Observe que no ano de 2021 a variável Velocidade do vento não aparece pois neste ano há muitos dados faltantes referente a essa variável dessa forma os pesquisadores resolveram retirar da análise de correlação.

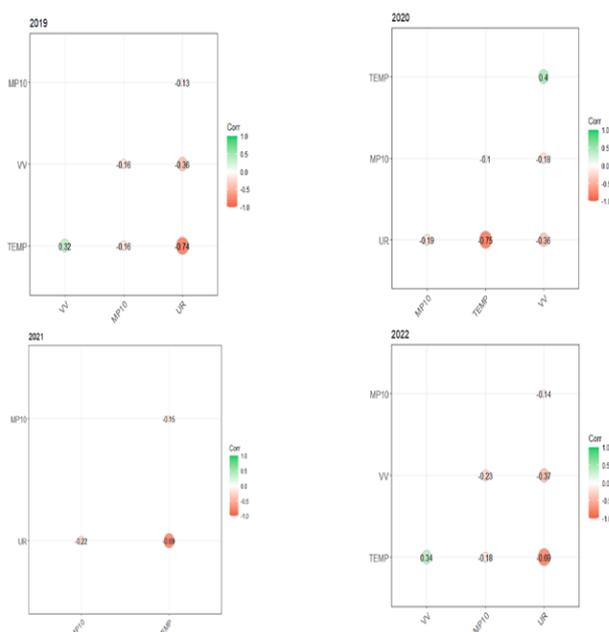


Figura 2: Correlograma das variáveis em estudo



Analisando a Tabela 2 pode-se observar que o ano 2022 apresentou uma média anual de concentração do poluente MP₁₀ menor que os demais anos em estudo, já o ano de 2020 apresentou uma média anual de concentração de MP₁₀ bem maior que os demais anos. O fato de que a média anual da variável Velocidade do Vento também foi mais alta neste ano pode ter levado a uma maior propagação do MP₁₀.

Tabela 2: Médias anuais das variáveis em estudo

Ano	MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMP (°C)	UR (%)	VV(m/s)
2019	53,27	23,29	68,01	0,90
2020	57,53	22,55	64,74	1,52
2021	52,09	22,45	64,99	1,34
2022	51,10	22,23	67,46	1,10

Nas Figuras 3, 4 e 5 estão apresentados gráficos de dispersão entre a variável MP₁₀ e as variáveis meteorológicas Temperatura, Umidade relativa e Velocidade do vento, respectivamente, para todos os anos em estudo.

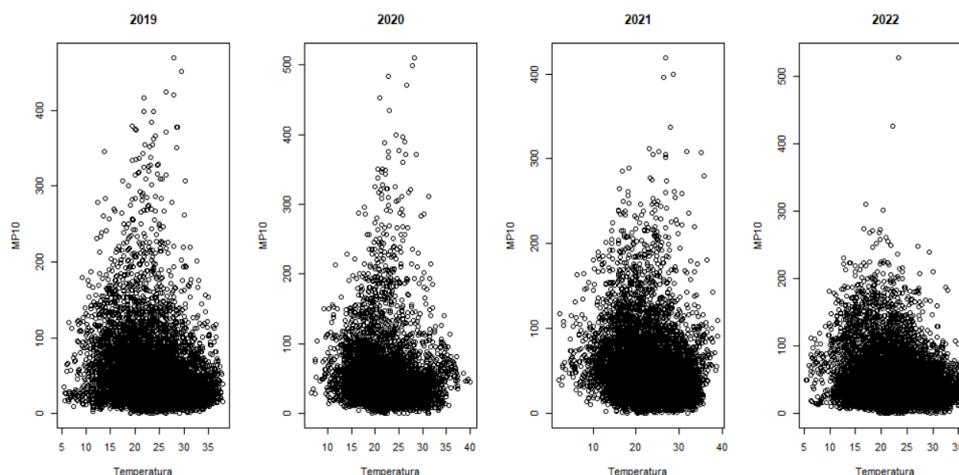


Figura 3: Gráficos de dispersão entre o MP₁₀ e a variável meteorológica Temperatura

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

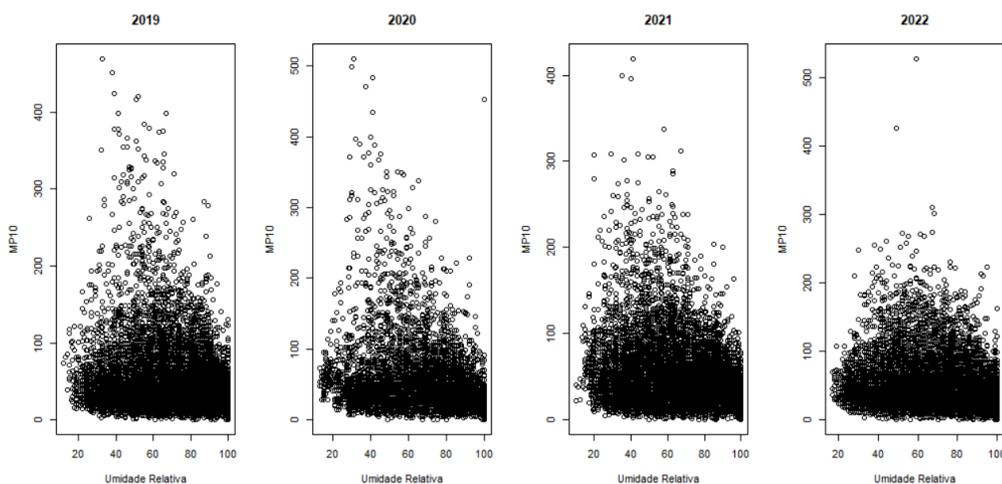


Figura 4: Gráficos de dispersão entre o MP_{10} e a variável meteorológica Umidade relativa do ar

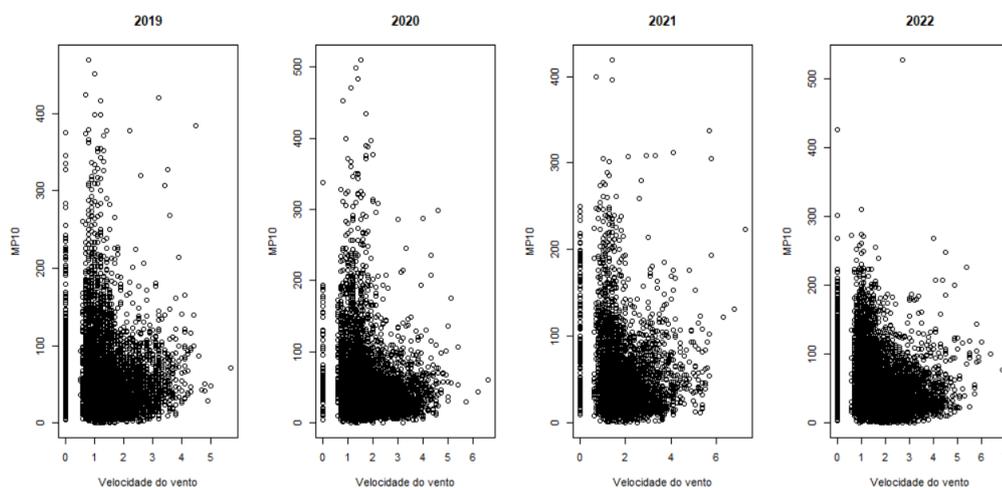


Figura 5: Gráficos de dispersão entre o MP_{10} e a variável meteorológica Velocidade do vento

Observe na Figura 3 que em todos os anos as concentrações mais elevadas de MP_{10} se concentram entre a temperatura de 20°C e 30°C. Na Figura 4 pode-se observar que os anos de 2019, 2020 e 2021 apresentaram concentrações mais elevadas de MP_{10} mas que a umidade relativa do ar não apresentou grandes variações. Na Figura 5 pode-se observar que o gráfico de dispersão entre a concentração de MP_{10} e a Velocidade do vento apresenta mais claramente um comportamento decrescente corroborando com as correlações apresentadas na Figura 2.



Após essa primeira análise de correlação, foi utilizada a ACP para verificar quais as principais relações existentes entre as variáveis meteorológicas e o MP₁₀. Na Tabela 2, fica explícito que dois componentes principais explicam 77% da variabilidade dos dados e três componentes principais contemplam cerca de 94% de toda a variabilidade dos dados no ano de 2022. Com isso, a quarta componente, pode ser excluída da análise, devido à baixa proporção, e assim pôde-se trabalhar com um número reduzido de componentes, e ainda assim explicando a maior parte da variabilidade total dos dados.

Tabela 2: Proporção acumulada das componentes principais em cada ano

Ano	CP1	CP2	CP3
2019	0,4965	0,7701	0,9514
2020	0,5064	0,7909	0,9500
2021	0,5630	0,9248	1
2022	0,4933	0,7763	0,9420

Com base no critério de Kaiser, apenas os componentes principais 1 e 2 devem ser considerados pois apresentaram autovalor associado maior que uma unidade, como mostrado na Figura 6.

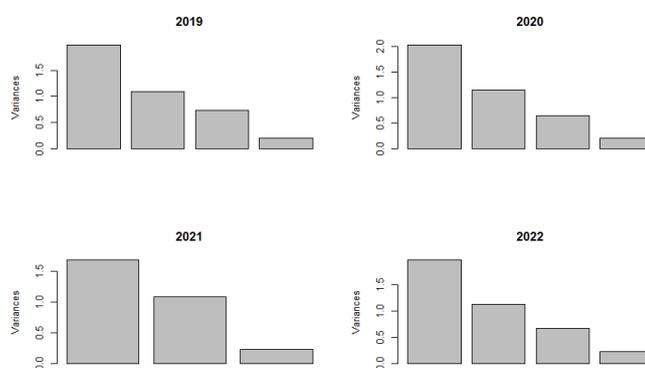


Figura 6: Screeplot dos componentes principais das variáveis em estudo

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

As cargas fatoriais representam as correlações entre as variáveis originais e os fatores. Quanto maior a carga fatorial, maior será a correlação com determinado fator. Um valor negativo indica impacto inverso no fator. Para cada componente principal temos duas cargas fatoriais negativas e pelo menos uma carga fatorial positiva. Com a seleção de dois componentes principais, a redução da dimensão de 4 variáveis originais para 2 componentes principais é bastante razoável. Portanto decidiu-se utilizar unicamente os dois primeiros componentes principais para a composição das equações 1 e 2 para todos os anos em estudo.

2019

$$CP1 = 0,09MP10 - 0,63TEMP + 0,62UR - 0,44VV$$

$$CP2 = -0,90MP10 - 0,01TEMP + 0,31UR + 0,27VV$$

2020

$$CP1 = -0,02MP10 + 0,63TEMP - 0,61UR + 0,46VV$$

$$CP2 = 0,88MP10 + 0,01TEMP - 0,30UR - 0,35VV$$

2021

$$CP1 = -0,07MP10 - 0,69TEMP + 0,71UR$$

$$CP2 = 0,94MP10 - 0,27TEMP - 0,17UR$$

2022

$$CP1 = 0,14MP10 - 0,62TEMP + 0,60UR - 0,48VV$$

$$CP2 = -0,87MP10 - 0,05TEMP + 0,38UR + 0,29VV$$

Note que para os anos de 2019, 2020 e 2022 ficou evidente o contraste entre as variáveis TEMP e UR pelos sinais contrários em ambos os componentes principais. Tem-se ainda que a variável VV está bem próxima da variável TEMP no primeiro componente principal, neste caso pode-se chamá-lo de **componente meteorológico**. E de acordo com a equação 2 o segundo componente principal destacou-se a variável MP₁₀ podendo ser chamado de **componente do poluente**.

Como o ano de 2021 apresentou muitos dados faltantes para a variável Velocidade do Vento, optou-se por fazer a ACP sem a variável VV.



As variáveis VV, UR e TEMP apresentaram contribuições similares opostas para o CP1, isto foi verificado pelas variáveis que tem vetor que foram mais próximos ao eixo CP1, mostrado na Figura 6. Existem correlações baixas entre as variáveis MP₁₀ e UR, MP₁₀ e TEMP e MP₁₀ e VV, pois forma um ângulo próximo de 90 graus, como mostrado na Figura 7, corroborando com o correlograma apresentado na Figura 2.

Por definição, a correlação entre os componentes principais é zero, isto é, a variação explicada em CP1 é independente da variação explicada em CP2 e assim por diante. Isto implica que para qualquer componente principal não vai causar uma resposta correlacionada em termos de outros componentes principais, isto é, eles são ortogonais (SAVEGNAGO et. al., 2011; FRAGA et al., 2015).

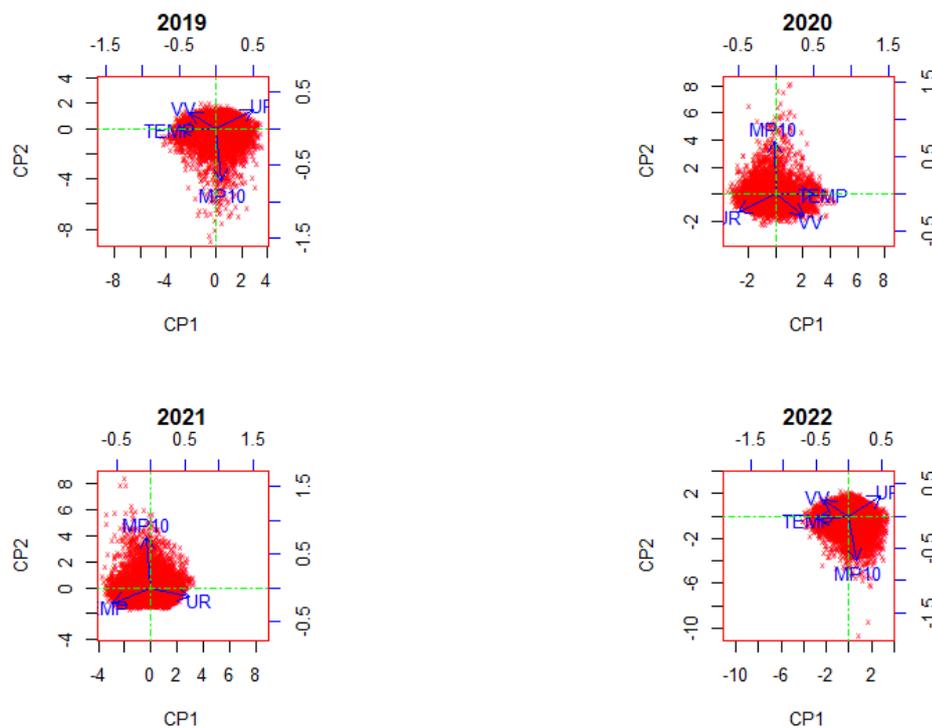


Figura 7: Biplot dos componentes principais das variáveis em estudo

Como os dois primeiros componentes principais explicaram mais de 70% da variação total dos dados (Tabela 2) para todos os anos, de acordo com Rencher (2002), pelo menos 70% da variância total devem ser explicadas pelo primeiro e o segundo componente principal. Um



dos objetivos da ACP, neste caso, foi atingido, pois um número relativamente pequeno de componentes foi extraído (CP1 e CP2) com a capacidade de explicar a maior variabilidade nos dados originais.

Desta forma, ressalta a importância de cidades que obtenham ambientes urbanos sustentáveis, economicamente viáveis e socialmente justos, que estejam preparadas para evitar ou mitigar danos de qualquer ordem obtidas pela ação humana, ou catástrofes naturais, sendo cidades resilientes (PEREIRA; SIMPLÍCIO; DONADI, 2019).

5. Conclusões

Tendo em vista os resultados obtidos, a análise de componentes principais se mostrou efetiva e permitiu a retirada de duas variáveis originais para duas componentes principais, ou seja, um menor número de variáveis foi necessário para explicar a maior parte da variabilidade dos dados, sem perda significativa de informação.

Segundo o relatório da CETESB, as ações desenvolvidas até o momento, já resultaram na eliminação da maior parte dos pátios de secagem do entorno de núcleos urbanos, na implantação de cortina vegetal em áreas de mineração, na implantação de equipamentos de controle em fornos de moto queima para controle de fluoretos, adequação de cobertura de veículos para transporte de argila, armazenamento de argila em galpões fechados nas indústrias, pavimentação dos pátios de movimentação de máquinas e veículos nas indústrias, implantação de equipamentos de controle nas áreas de beneficiamento (moagem, peneiramento, prensagem) de argila nas indústrias, implantação de enclausuramento e equipamentos de controle nos pontos de transferências de esteiras transportadoras e implantação de sistema de lavagem dos veículos, após descarga da argila nas indústrias.

Sendo assim, alguns avanços foram obtidos com as ações implementadas. Outras ainda serão discutidas com o setor produtivo, pois envolvem ações adicionais e que fazem parte do processo de busca de uma solução sustentável para mitigação do impacto ambiental causado pela atividade. Espera-se que este trabalho sirva de alavanca para pesquisas que visam o desenvolvimento sustentável e ações para que os moradores da cidade de Santa Gertrudes tenham ar de qualidade e consequentemente melhor saúde e qualidade de vida para a população.

6. Referências bibliográficas

BARROS, L. V. L. Avaliação da relação entre parâmetros meteorológicos e concentrações de material particulado inalável (MP₁₀) no campus da UFSC. 2014. 88 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.



BOTTON, G. Z. et al. As construções das abordagens conceituais de cidades sustentáveis e inteligentes para superar os desafios dos objetivos do desenvolvimento sustentável. **Desafio Online**, v. 9, n. 3, 2021.

CANÇADO, J. E. D. et al. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v.32, n.Supl 1, p.S5-S11, 2006.

CESAR, G. C. A.; NASCIMENTO, C. F. L.; CARVALHO, A. J. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Revista de Saúde Pública*, v.47, n.6, p.1209-12, 2013.

COELHO, N. M.C. Impactos ambientais em áreas urbanas: teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001, p. 19-45.

COELHO, S. Z. S. M. Uma análise estatística com vistas a previsibilidade de internações por doenças respiratórias em função de condições meteorológicas tropicais na cidade de São Paulo. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB Site, 2023.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Série de Relatórios: Qualidade do ar no estado de São Paulo. São Paulo, (2016).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Série de Relatórios: Qualidade do ar no estado de São Paulo. São Paulo, (2020).

DAPPER, S. N., SPOHR, C., & ZANINI, R. R. (2016). Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. *Estudos Avançados*, 30(Estud. av., 2016 30(86)). <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100006>

GONÇALVES, T. L. F. et al. Modelagem dos processos de remoção sulfato e dióxido de enxofre presente no particulado em diferentes localidades da região metropolitana de São Paulo. *Revista brasileira de Geofísica*, v.28, p.109-19, 2010.

GOUVEIA, N. et al. Poluição do ar e efeitos na saúde nas populações de duas grandes metrópoles brasileiras. *Epidemiol. Serv. Saúde*, Brasília, v. 12, n. 1, p. 29-40, mar. 2003. Disponível em <http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742003000100004&lng=pt&nrm=iso>. Acessos em 23 fev. 2023. <http://dx.doi.org/10.5123/S1679-49742003000100004>.



HONGYU, K., SANDANIELO, V. L. M., JUNIOR, G. J. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. E&S - Engineering and Science, (2016).

Lei Estadual nº 13.542, de 8 de maio de 2009. Altera a denominação da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e dá nova redação aos artigos 2º e 10 da Lei nº 118, de 29 de junho de 1973. Imprensa Oficial do Estado [DOE], 8 de maio de 2009. São Paulo, SP.

MARIO, M. P. J. Poluição atmosférica como condicionante no processo de ocupação do espaço urbano: Análise na cidade de Porto Alegre, RS. 2012. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Industrial) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.

NATALINO, R. R. Clima e saúde: contribuição ao estudo das condições atmosféricas e relação com as doenças respiratórias: subsídio às políticas públicas locais. 2011. 172 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/104362>>. Acesso: 25 abril. 2023.

NICODEMOS, R. M.; JESUS, A. R. DE; FOUTOURA, R. S.; BARROZO, M. A. S. (2009) *Estudo da relação entre variáveis meteorológicas e concentração de MP₁₀ no centro da cidade de Uberlândia-MG*. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009, Uberlândia. Anais. Uberlândia, 2009, 8 p.

Organização das Nações Unidas – ONU (2015). 17 Objetivos para Transformar o Nosso Mundo (ODS). 2015. Recuperado em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>

PEREIRA, D.; SIMPLÍCIO, E.; DONADI, P. Cidades Sustentáveis. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO Programa de Pós-Graduação em Administração e Programa de Pós-Graduação em Economia FEA/PUC-SP, 2019.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, 2014.

RUSSO, P. R. A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro : análise espaço--temporal de partículas em suspensão na atmosfera. Revista de Ciências Humanas, v.10, n.1, p.78-93, jan./jun. 2010.

SOUZA, A., SANTOS, D. A. S., ARISTONE, F., KOVAC-ANDRIC, E., MATASOVIC, B., PIRES, J. C., IKEFUTI, P. V. (2017) Impacto de fatores meteorológicos sobre as concentrações de ozônio modelados por análise de séries temporais e métodos estatísticos multivariados. *HOLOS*, 5, Ano 33. DOI: 10.15628/holos.2017.5033