

Avaliação dos níveis de dióxido de nitrogênio e ozônio na Universidade do Vale do Taquari (Univates) utilizando amostradores passivos de baixo custo

Carolina Jung Heinen*, Maria Cristina de Almeida Silva†

Resumo

O crescimento urbano e industrial vem agravando a qualidade do ar, provocando danos ao meio ambiente e à saúde humana. Uma alternativa para o monitoramento dos poluentes atmosféricos é a utilização de amostradores passivos, construídos a partir de materiais de baixo custo. O presente estudo busca analisar, por meio da construção de amostradores passivos de baixo custo, os níveis de liberação de 2 poluentes atmosféricos – Dióxido de Nitrogênio (NO₂) e Ozônio (O₃). Os amostradores foram alocados em 8 diferentes pontos da Universidade do Vale do Taquari – Univates – Lajeado/RS, escolhidos considerando o fluxo de veículos e pessoas. As campanhas de amostragem foram realizadas de forma trimestral, abrangendo um período aproximado de 1 ano, com exposição variando de 7 a 8 dias. Os resultados da extração dos poluentes contidos nos amostradores foram obtidos através de espectrofotometria ultravioleta/visível, e seus respectivos valores calculados através da primeira Lei de Fick. As concentrações obtidas mostram que os índices de NO₂ e O₃ foram satisfatórios. A maior concentração de NO₂ observada ocorreu durante a campanha de abril/17, com 13,5 µm³. Já o O₃ apresentou valores superiores à 27 µm³, nas campanhas de novembro/16, julho e setembro/17. Além disso, realizou-se a espacialização dos dados de concentração obtidos durante o estudo, a fim de verificar a distribuição das mesmas pelo Campus. Esta espacialização apresentou melhores resultados com o método de interpolação Inverso da Distância ao Quadrado. Conforme o método utilizado, a maior área com concentração de NO₂ é compreendida entre os pontos 1 e 4. Já as concentrações de O₃ apresentaram maior variabilidade, sendo que as maiores concentrações obtidas ocorreram próximas ao ponto 5. Considerando os resultados obtidos, conclui-se que o método de amostragem passiva com materiais acessíveis é viável, podendo ser utilizado em diferentes locais.

Palavras-chave

Poluição Atmosférica, Amostrador Passivo de Baixo Custo, Interpolação.

Evaluation of nitrogen dioxide and ozone levels at the Universidade do Vale do Taquari (Univates) using low cost passive samplers

Abstract

Urban and industrial growth has worsened air quality, causing damage to the environment and human health. An alternative for the monitoring of air pollutants is from the use of passive samplers, built from low cost materials. The present study aims to analyze, through the construction of passive samplers of low cost, the levels of liberation of 2 atmospheric pollutants - Nitrogen Dioxide (NO₂) and Ozone (O₃). These were allocated in 8 different spots of the Universidade do Vale do Taquari - Univates - Lajeado/RS, and were chosen considering the flow of vehicles and people. Sampling campaigns were carried out on a quarterly basis, covering an approximate period of 1 year, with exposure varying from 7 to 8 days. The results of the extraction of the pollutants contained in the samplers were obtained through ultraviolet/visible spectrophotometry, and their respective values calculated through the first Law of Fick. The concentrations obtained show that the NO₂ and O₃ - values were satisfactory. The highest observed NO₂ concentration occurred during the April/17 campaign, with 13.5 µm³. O₃ presented some values higher than 27 µm³, in the campaigns of November/16, July and September/17. In addition, the concentration data obtained during the study were spatialized in order to verify the distribution of the same by the Campus. This spatialization presented better results with the Inverse Distance to Square interpolation method. According to the method used, the largest area with NO₂ concentration is comprised between points 1 and 4. The concentrations of O₃ presented greater variability, and the highest concentrations obtained occurred close to point 5. Considering the results obtained, it's concluded that the method of passive sampling with accessible materials is viable and can be used in different places.

Keywords

Atmospheric Pollution, Passive Sampler of Low Cost, Interpolation.

*Universidade do Vale do Taquari – Univates; † Universidade do Vale do Taquari – Univates

I. INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica pode ser entendida como a presença de substâncias em concentrações suficientes para interferir na saúde humana, de forma direta ou indireta. Todos os usos do ar devem respeitar e submeter-se ao controle e manutenção da liberação de poluentes na atmosfera, garantindo assim o bem-estar humano e a preservação do meio ambiente [1].

Para medir o nível de poluição do ar é necessário saber a quantidade de substâncias nele presentes. As interações que ocorrem entre as fontes de emissão e a atmosfera estabelecem o índice de qualidade do ar do local. Esta medição é restrita a um certo número de poluentes, adotados universalmente em razão da frequência de ocorrência e seus efeitos sob a saúde humana e meio ambiente [2].

O Ozônio (O_3) é um gás incolor e inodoro, não emitido diretamente à atmosfera, sendo considerado um poluente secundário, e principal componente do fenômeno *smog*¹ fotoquímico [3–6]. A exposição a este gás pode provocar dores de cabeça, náusea, irritações nos olhos e vias respiratórias, edema pulmonar, tosse, dor no peito e sensação de falta de ar. Além disso, o O_3 também causa danos à vegetação, interferindo no metabolismo dos vegetais, afetando a atividade enzimática [7].

O grupo dos Óxidos Nitrosos (NO_x) abrange diversos poluentes atmosféricos, incluindo o Dióxido de Nitrogênio (NO_2). Este grupo é fundamental para a formação de outros poluentes, como o O_3 e aldeídos [3, 8].

Dentre os danos causados a saúde pela exposição de NO_2 pode-se citar o agravamento de doenças respiratórias, como por exemplo, a asma, principalmente em crianças e idosos. Já ao meio ambiente, devido ao fato de poder haver a formação de deposição ácida², podem ocorrer problemas com acidificação de águas e solos, além do ataque químico à vegetação [2, 6, 7, 9].

Para verificar a qualidade do ar de um local externo ou interno, é necessário medir-se o grau de exposição de seres humanos, animais, plantas e materiais. A qualidade do ar varia devido às condições meteorológicas, com isso, a qualidade do ar também sofre alterações ao longo do dia. Desta forma, ressalta-se a importância de sistemas de monitoramento da qualidade do ar, pois os mesmos determinam o grau de efeitos adversos provocados pela poluição do ar [10]. Através deste monitoramento é possível verificar se ocorre alguma mudança nos níveis de poluição provocada por atividades do homem [11].

A qualidade do ar pode ser verificada por amostragem passiva ou ativa. Na amostragem ativa é necessária a utilização de bombas, o que requer a passagem de linhas de energia elétrica no local. Em áreas remotas é indispensável o uso de baterias, o que acarreta maiores custos [12]. Já o funcionamento dos amostradores passivos baseia-se na capacidade de difusão dos poluentes gasosos na atmosfera e em reações com meios absorventes adequado. O princípio teórico para a transferência do gás poluentes através do

amostrador segue a primeira Lei de Fick, ou a Lei de Difusão dos Líquidos [12].

O presente trabalho buscou analisar a quantidade de NO_2 e O_3 presentes na atmosfera do Campus da Universidade do Vale do Taquari (Univates), localizado no município de Lajeado, utilizando amostradores passivos de baixo custo.

Além disso, com os resultados de concentração obtidos, realizou-se a interpolação destes dados, sendo testados 3 interpoladores - Inverso da Distância ao Quadrado (IDQ), Krigagem (KG) e Vizinho Natural (VN). A interpolação de dados consiste na estimativa de um determinado parâmetro em um local não amostrado, levando em consideração valores amostrados próximos a este local de valor desconhecido [13].

II. LOCAL DO ESTUDO

A Universidade do Vale do Taquari (Univates), local do estudo, localiza-se no município de Lajeado, na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul [14]. No ano de 2017, contava com cerca 13.000 alunos e funcionários [15].

Por conta deste significativo número de pessoas que circulam pelo Campus ao longo do ano, escolheu-se 8 pontos, com intensa circulação de pessoas e veículos, para realizar o monitoramento passivo dos níveis de NO_2 e O_3 presentes no local.

A relação destes, bem como as suas respectivas coordenadas geográficas, podem ser conferidas na Tab. 1 e Fig. 1. Ressalta-se que as coordenadas geográficas foram coletadas in loco através do equipamento Sistema de Posicionamento Global (GPS) da marca GARMINTM.

Pelo fato do ponto 01 possuir pouca movimentação de pessoas e veículos, escolheu-se este ponto como ponto referência ou branco, ao qual, espera-se menor concentração dos poluentes. Já o ponto 05, é considerado como ponto crítico, uma vez que há intenso fluxo de veículos de passeio e ônibus, sendo assim, espera-se que neste local sejam verificadas as maiores concentrações de poluentes.

Tab. 1: Relação das coordenadas geográficas de cada ponto analisado

Pontos	Coordenadas (latitude e longitude)
01	0408471 – 6741706
02	0408297 – 6741991
03	0408098 – 6741883
04	0407955 – 6741916
05	0407829 – 6742134
06	0407000 – 6742435
07	0407339 – 6742383
08	0407133 – 6742375

OBS: Coordenadas em UTM

¹Pode ocorrer de duas formas: pela mistura de NO_x e Hidrocarbonetos (HC) devido à influência da radiação solar, recebendo o nome de *smog* fotoquímico, ou pela liberação de SO_2 , H_2SO_4 , e MP, através da queima de petróleo ou carvão, denominando-se *smog* industrial [6].

²Pode ocorrer de duas formas, seca ou úmida. A úmida é mais conhecida como chuva ácida. Já a forma seca, ocorre quando os poluentes ácidos ficam retidos na atmosfera, não reagindo com água [6].

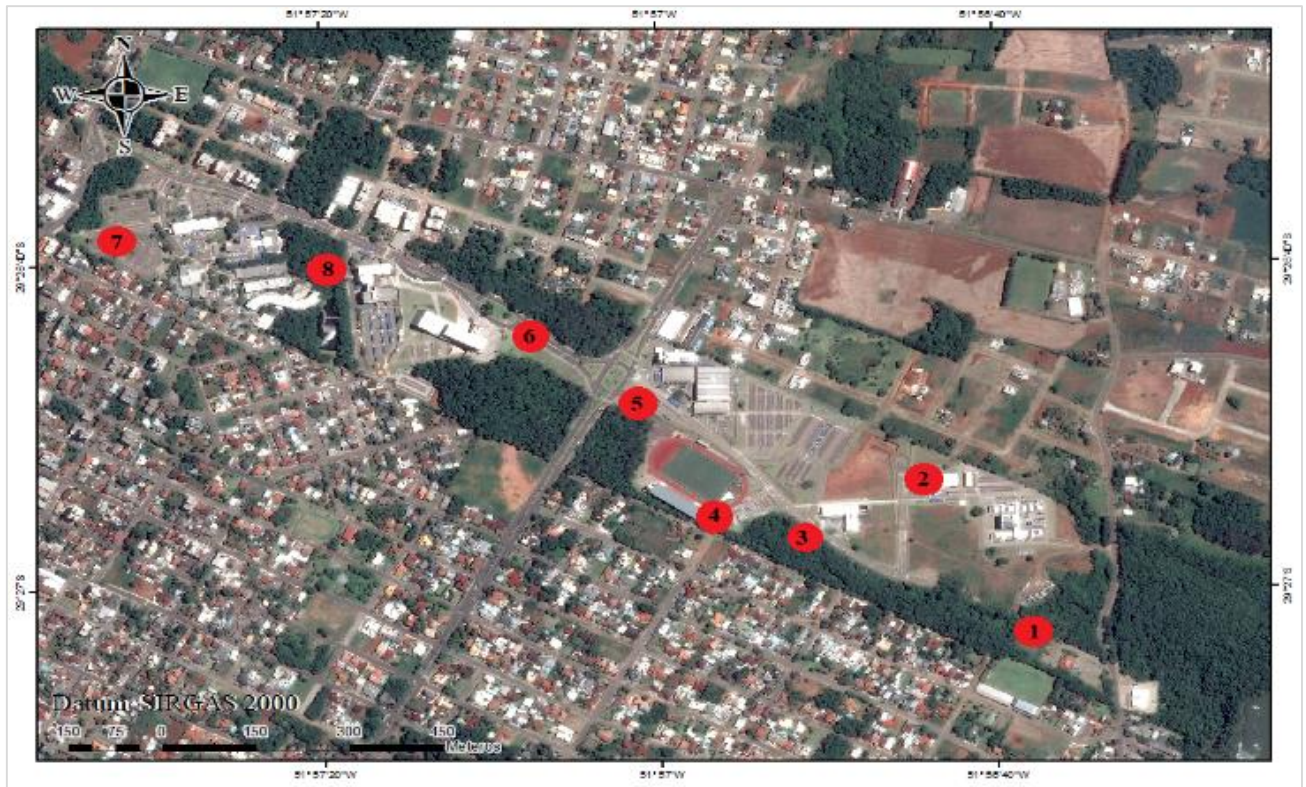


Fig.1: Mapa de localização dos pontos de amostragem

III. METODOLOGIA

Construção e Exposição dos Amostradores

Os amostradores passivos construídos para o desenvolvimento deste trabalho foram baseados em trabalhos já executados, como o de Vieira [16], sendo o mesmo desenvolvido com materiais de baixo custo – canos de PVC.

O amostrador se baseia na difusão molecular do gás através de uma camada estática de ar e sua estrutura (cano de PVC), conforme a primeira Lei de Fick, sendo que uma de suas extremidades encontra-se fechada. No interior da tampa são colocados os filtros embebidos com soluções, de acordo com cada poluente. A fim de impedir a entrada de insetos, a cavidade de entrada do ar foi tampada com tule (Fig. 2). Como proteção para dias chuvosos, optou-se por acoplar aos amostradores fundos de garrafas PET (Fig. 3), sendo que estes foram acoplados aos amostradores somente após a campanha de fevereiro/2017.



Fig.2: Amostradores passivos construídos para o estudo



Fig.3: Amostradores passivo de baixo custo com proteção para dias chuvosos

Destaca-se que se optou por iniciar as amostragens no mês de novembro/2016 seguindo até setembro/2017, abrangendo aproximadamente 1 ano de amostragens, buscando assim, resultados mais representativos. Além disso, as campanhas foram realizadas de forma trimestral.

Cada amostrador passivo ficou exposto nos pontos determinados por um período de 7 a 8 dias, para ambos poluentes, variando conforme as condições do tempo do dia de retirada. Caso no dia de retirada, ou seja, após 7 dias de exposição, estivesse chovendo, os mesmos seriam recolhidos somente no dia posterior (8º dia de exposição).

Para ocorrer a absorção de NO_2 utilizou-se filtros de celulose da marca Quanty – JP40, com poros de em média 25 μm . Já para a absorção de O_3 utilizou-se filtros de fibra de

vidro GF-3 da marca Macherey-Nagel, com poros de em média 0,6 μm .

Soluções Utilizadas

As soluções empregadas no presente estudo, tanto para absorção como extração dos poluentes, foram baseadas nas utilizadas por Bucco [17], sendo que estas foram armazenadas sob refrigeração, não ultrapassando o período de 30 dias. A Tab. 2 demonstra os reagentes utilizados em cada solução, conforme o poluente.

Tab. 2: Relação dos reagentes utilizados em cada solução

Soluções	Reagentes
Absorvedora NO ₂	0,9 g de iodeto de sódio + 0,1 g de carbonato de sódio + 20 mL de água destilada.
Reagente NO ₂	1 g sulfanilamida + 1,84 mL de ácido fosfórico + 0,01 g NEDA + 200 mL de água destilada.
Absorvedora O ₃	1 g de amido + 0,2 g de carbonato de potássio + 2 g de iodeto de potássio + 20 mL de água destilada.
Reagente O ₃	2,25 g de iodeto de potássio + 225 mL de água destilada.

Fonte: [17].

Análises de NO₂

Para a extração de NO₂ absorvido pelos amostradores passivos, colocou-se cada filtro de celulose em um balão volumétrico de fundo chato de 125 mL contendo 25 mL de água destilada. Estes foram tampados e agitados vigorosamente por 1 minuto, visando a desintegração dos filtros.

Posteriormente, se transferiu os filtros dissolvidos em água para erlenmeyer, sendo estes aquecidos em estufa a 70°C com sua extremidade semiaberta, durante 30 minutos. Após este intervalo, aguardou-se o resfriamento dos mesmos, todos tampados.

Após o resfriamento, filtrou-se a amostra reservando 5 mL do filtrado em um balão volumétrico de fundo chato de 50 mL, contendo 20 mL de solução reagente, devendo a solução ficar em um tom roseado. Aguardou-se 5 minutos, para ocorrerem as devidas reações, transferiu-se uma pequena alíquota desta solução para uma cubeta de quartzo e leu-se a absorvância em um comprimento de onda de 540 nm.

Para a determinação da concentração do referido poluente, foi necessária a construção de uma curva padrão, a qual baseou-se na metodologia adotada por Vieira [18].

Para o poluente NO₂ preparou-se 2 soluções. Uma denominada solução estoque, contendo 0,0008 g de nitrito de sódio diluídos em 40 mL de água destilada. E uma solução reagente, também utilizada para a extração dos poluentes após o período de amostragem. Nesta solução, utilizou-se os seguintes reagentes: 2,5 g sulfanilamida; 4,5 mL de ácido fosfórico e 0,025 g NEDA (N-(1-naftil-etilenodiamina) diluídos em 500 mL de água destilada.

A construção da curva padrão se deu através da leitura das soluções em diferentes concentrações, sendo que estas foram lidas em espectrofotômetro UV/VIS, sob comprimento de onda de 540 nm.

Após a leitura das amostras os resultados obtidos foram exportados para o software Microsoft Excel®, para a verificação do coeficiente de correlação quadrático (R²) da curva encontrada. Após gerado o gráfico gerado verificou-se que o R² apresentou um valor de 0,9555.

Análises de O₃

Para a extração de O₃ absorvidos pelos filtros de fibra de vidro presentes nos amostradores passivos, colocou-se cada filtro em um balão volumétrico de fundo chato de 100 mL e adicionou-se 25 mL da solução reagente, agitando de forma vigorosa, durante 1 minuto, a solução buscando a dissolução do filtro. Após este período, filtrou-se a amostra e leu-se rapidamente a absorvância em um comprimento de onda de 366 nm.

Assim como para o NO₂, para se determinar a concentração de O₃, foi necessária a construção de uma curva padrão, a qual também se baseou na metodologia adotada por Vieira [18].

Para a construção da curva padrão de O₃, utilizou-se 2 soluções. A solução estoque, contendo 0,256 g de iodeto de potássio e 0,0520 g de iodo diluídos em 40 mL de água destilada. A solução reagente, também utilizada na extração dos poluentes dos filtros após o período de exposição. Nesta utilizou-se 5 g de iodeto de potássio diluído, em aproximadamente, 500 mL de água destilada. É importante ressaltar que para a solução estoque esperou-se 24 horas para a sua utilização, conforme recomendado por Shechter [19].

A curva padrão de O₃ foi obtida através da leitura de 7 amostras contendo distintas concentrações da solução estoque, as quais foram lidas imediatamente após a mistura, em espectrofotômetro UV/VIS, sob comprimento de onda de 366 nm. Os resultados das concentrações de O₃ obtidos foram exportados para o software Microsoft Excel®, a fim de verificar o R² da curva encontrada, a qual apresentou um R² de 0,9736.

Determinação das concentrações

Após a obtenção dos resultados de ambos poluentes, foi possível determinar a concentração de cada poluente através da adaptação da primeira Lei de Fick, conforme a Equação 1 apresentada abaixo.

$$C = \frac{m \cdot L}{D \cdot A \cdot t} \quad (1)$$

Sendo que, C representa a concentração externa (ambiente) do gás ($\mu\text{g m}^{-3}$); m é a massa total coletada (μg); L é o comprimento do percurso difusivo (m); D é o coeficiente de difusão ($\text{m}^2 \text{h}^{-1}$); A é a área da seção transversal do percurso de difusão (m^2) e t é o tempo de amostragem (h).

A massa total coletada (m), conforme Vieira [18], foi obtida através da divisão entre a quantidade de extrato utilizado durante as análises para a extração dos poluentes dos filtros – NO₂ 0,025 L e O₃ 0,025 L, pelos resultados obtidos pela metodologia da curva padrão. Esta divisão é necessária pelo fato do m requerer uma unidade de massa, no caso μg .

Para o comprimento (L) e a área da seção transversal do amostrador (A) foram utilizados 0,08 m e 0,0012 m^2 , respectivamente.

No ano de 1998, Massman [20] realizou um estudo para determinar o coeficiente de difusividade de vários poluentes, inclusive dos utilizados neste estudo. Segundo este autor, o O_3 possui um D de 0,1444 cm^2/s e o NO_2 0,1361 cm^2/s . Portanto, após ajuste nas unidades de medida, utilizou-se 0,051984 m^2/h para o O_3 e 0,048996 m^2/h para o NO_2 .

Para o tempo de amostragem (t) utilizou-se para as campanhas que ocorreram por em um período de 7 dias o valor de 168 horas. Já para aquelas que ocorreram por 8 dias, utilizou-se 192 horas.

Interpolação dos resultados de concentração

A partir dos dados amostrados ao longo do estudo, verificou-se, através de métodos de interpolação, a distribuição de cada poluente atmosférico. Os interpoladores testados, como já citado, foram: Inverso da Distância ao Quadrado (IDQ), Krigagem (KG) e Vizinho Natural (VN). Para determinar o método mais eficaz para o presente estudo utilizou-se a metodologia de validação cruzada.

A técnica de validação consiste em dividir os dados que serão interpolados em três categorias – treinamento, validação e teste, quais servem para diminuir o erro, em cada etapa. Ao final de todas etapas, obtém-se uma estimativa da qualidade de cada modelo verificado, além de poder se realizar análises estatísticas [21–23].

Para realizar a técnica descrita acima utilizou-se o software Microsoft Excel®, sendo que neste foram dispostos os dados de concentração dos poluentes amostrados, as coordenadas geográficas de cada ponto e o valor de concentração obtido pela interpolação. Para verificar-se qual o interpolador mais adequado, foi analisada a diferença de concentração em um determinado ponto, antes e após a interpolação, ou seja, a concentração obtida pela amostragem, comparada à concentração obtida pelo interpolador. Sendo assim, considerou-se o melhor método aquele que obteve menor erro na diferença de concentrações.

Após constatado o melhor método, realizou-se a interpolação das concentrações médias e de cada campanha para ambos poluentes amostrados – NO_2 e O_3 , utilizando o software Surfer® 10.2.

IV. RESULTADOS

Análise geral das amostragens de NO_2 e O_3

Primeiramente, é importante destacar que as concentrações obtidas no presente estudo foram analisadas de forma qualitativa, servindo assim, como uma análise exploratória para auxiliar na tomada de decisões futuras, já que estas não puderam ser calibradas, pela falta de amostradores automáticos instalados próximos ao local de estudo.

De forma geral, pode-se dizer que as campanhas apresentaram resultados satisfatórios, se comparados a estudos anteriores. Ambos poluentes mostraram valores semelhantes a outros estudos realizados em diferentes locais do Brasil (Tab. 3), fato este que reforça a validade do método para uma análise preliminar e com baixos custos.

No trabalho desenvolvido por Bucco [17], as concentrações obtidas em Curitiba/PR foram calibradas a equipamentos de amostragem ativa, sendo que as concentrações de NO_2 ficaram acima das encontradas dentro no Campus da Univates. Ao final do estudo de Bucco [17], a autora verificou que a diferença entre as concentrações de NO_2 obtidas entre a amostragem passiva e a ativa variou entre $-10,39 \mu g/m^3$ e +

$9,14 \mu g/m^3$. Já as concentrações de O_3 não foram satisfatórias, pois, segunda a autora, o tempo de exposição não foi suficiente para o poluente ser absorvido ou pelas condições atmosféricas desfavoráveis.

Tab. 3: Comparação entre concentrações de NO_2 e O_3 obtidas em diferentes estudos

Autores	NO_2 ($\mu g/m^3$)	O_3 ($\mu g/m^3$)	Local do estudo
Bucco [17]	18,99 a 56,12	sem resultados satisfatórios	Curitiba/PR
Vieira [18]	0,11 a 3,10	0,66 a 4,80	Passo Fundo/RS
Francisco [24]	não abordado no trabalho	22,39 a 89,56	Araraquara/SP
Concentrações obtidas neste estudo	0,4 a 13,5	2,6 a 28,9	Lajeado/RS

Fonte: Elaborado pelas autoras (2017).

Diferentemente do estudo desenvolvido por Bucco [17], Vieira [18] empregou a técnica de amostragem passiva, porém, sem fonte de calibração.

O estudo desenvolvido por Francisco [24] se desenvolveu tanto em áreas urbanas como rurais de Araraquara/SP. Este autor calibrou somente um ponto à uma estação que realiza monitoramento ativo, sendo que a correlação entre a coleta ativa e a passiva foi de 0,951, mostrando assim, uma alta correlação.

Relacionando os valores obtidos nestes estudos, que em alguns foram calibrados, é possível afirmar que a metodologia adotada no presente estudo é eficaz.

Realizando a comparação entre os dados meteorológicos cedidos pelo Núcleo de Informações Hidrometeorológicas (NIH) da Universidade do Vale do Taquari - UNIVATES, verificou-se que em todas as campanhas em que foram registradas elevadas concentrações de ambos poluentes estudados, a radiação solar medida apresentou índices elevados, se comparado aos dias em que as concentrações não foram elevadas.

Os dados meteorológicos registrados no Campus ao longo das campanhas podem ser conferidos na Fig. 4 e Tab. 4. Alguns fatores meteorológicos influenciam diretamente a diluição e difusão dos poluentes na atmosfera, como a temperatura do ar, a direção e velocidade dos ventos e a precipitação. Além destes, também é possível citar a topografia e rugosidade do local. Em centros urbanos costeiros, por exemplo, os poluentes são dispersos pelo vento com maior facilidade do que em centros urbanos [3, 25].

As chuvas podem ser consideradas como fator importante para a autodepuração da poluição contida na atmosfera, tendo em vista que alguns contaminantes gasosos são solúveis e/ou reativos a água. Porém, além de poder ocasionar chuvas ácidas, há também a possibilidade de transporte de poluentes do ar para o solo e corpos hídricos [25].

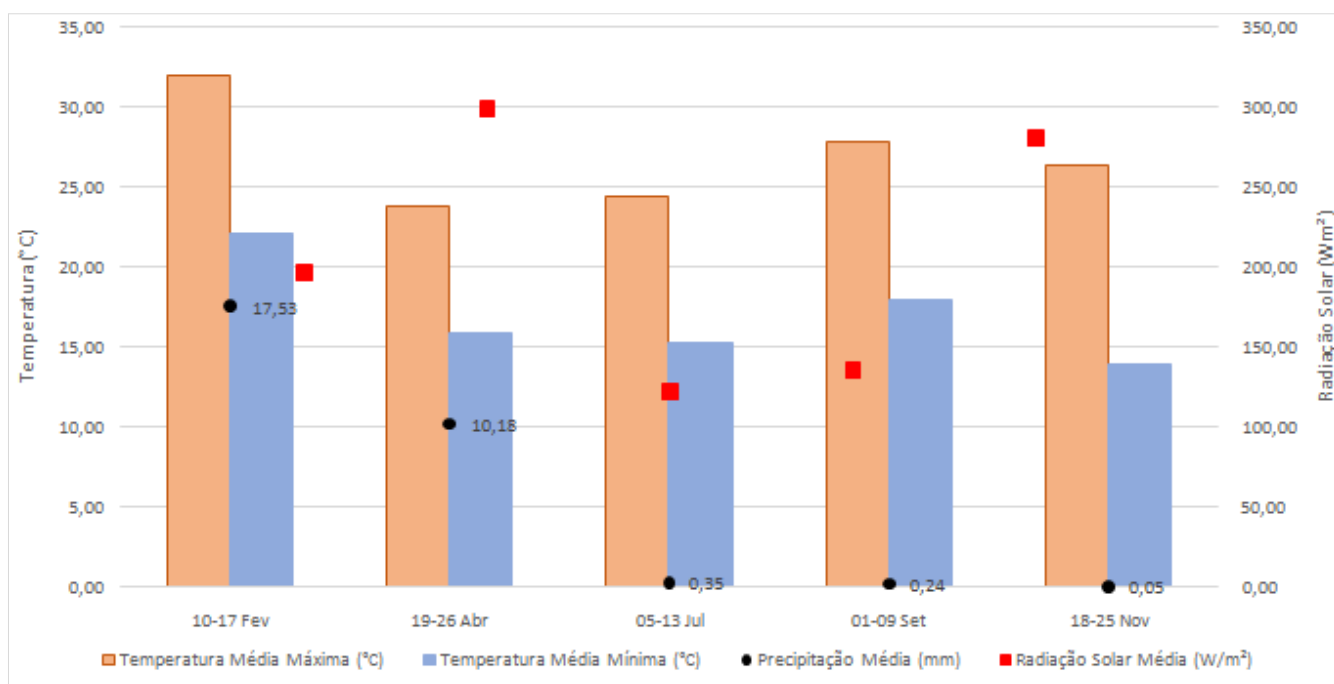


Fig.4: Variáveis meteorológicas registradas durante as campanhas (Fonte: NIH, 2017)

Tab. 4: Dados de ventos registrados durante as campanhas (Fonte: NIH, 2017)

Período	Direção Predominante	Velocidade Média (Km/h)
10-17 Fev	NW	29,16
19-26 Abr	NE	28,79
05-13 Jul	NNW	23,75
01-09 Set	NE	24,5
18-25 Nov	SE	24,54

Além dos dados meteorológicos e físicos do local – topografia e índice de urbanização, Derisio [1] aponta que as condições de estabilidade atmosférica e turbulência também são importantes na utilização de modelos matemáticos, bem como para a dispersão de poluentes.

Além disso, em dias em que ocorreram precipitações, os valores das concentrações de NO_2 foram nulos ou muito baixos. Uma justificativa para este fato se dá pelo poder da chuva diluir ou reagir com alguns poluentes atmosféricos. Conforme apontado por Brena [26], os NO_x reagem com água presente na atmosfera, podendo ocasionar chuva ácida, após as reações entre alguns poluentes, como NO_2 , NO e SO_2 .

No estudo realizado por Vieira [18], tanto o NO_2 como o O_3 apresentaram ligeira redução nas concentrações durante campanhas em que ocorreram precipitações, fato contrário ao

ocorrido no presente estudo, uma vez que foi percebido redução somente nos níveis de NO_2 .

Análise exploratória das amostragens de NO_2

Após as amostragens, foi possível verificar que o ponto que apresentou maior concentração, dentre todas, foi o ponto 4, com $13,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na amostragem realizada em abril/17, seguido do ponto 2 e 8, sendo estes, respectivamente, $8,1$ e $6,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ambos na amostragem de novembro/16.

Comparando os valores de concentração obtidos através das análises com os valores máximos exigidos pela Resolução CONAMA n°. 003/1990 [27] observa-se que em todas as campanhas realizadas os níveis de NO_2 , inclusive o da campanha de abril, não ultrapassaram os padrões primários³ e secundários⁴ da Resolução em questão. Ressalta-se que esta Resolução considera como padrão primário concentrações de até $320 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e até $190 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como padrão secundário, sendo que para ambos, as concentrações não podem ser excedidas mais que uma vez ao ano. Porém, enfatiza-se que a amostragem passiva não é uma metodologia adotada pela Resolução supracitada.

Destaca-se que durante a amostragem de abril, ocorreu na Instituição uma edição de jogos universitários, cujo local de principal concentração de pessoas e veículos coincidiu com o ponto 4 – localizado na entrada do Estádio Olímpico. Este fator pode ser responsável pelos valores observados nesta amostragem, uma vez que os demais pontos apresentaram valores que oscilaram entre $1,3$ e $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, além da ocorrência de precipitação neste período. Conforme os dados apresentados na Fig. 5, fica claro que a ocorrência de precipitação, em altos volumes, durante o período de amostragem, dificulta a absorção de NO_2 nos filtros, tendo em vista que na amostragem de fevereiro, abril, julho e setembro ocorreram períodos com chuva. No mês de fevereiro foram

³Nível de concentração de poluentes atmosféricos que, quando ultrapassadas, podem provocar danos a saúde [27].

⁴Nível de concentração de poluentes atmosféricos que,

quando atingida, causa efeito adverso sobre o bem-estar da população, danos à fauna e flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral [27].

registrados cerca de 140 mm, em abril 81 mm, 2,8 mm em julho e apenas 2,2 mm no mês de setembro.

Quanto aos pontos considerados como branco (ponto 01) e ponto crítico (ponto 05), verificou-se que em ambos a concentração não apresentou níveis que necessitam de atenção, conforme pode-se observar na Fig. 6.

As concentrações no ponto branco oscilaram, de modo geral, entre 1,6 e 2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Já no ponto crítico as concentrações variaram entre 1,5 e 2,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A diferença entre as concentrações obtidas nos pontos supracitados pode ser justificada pelo fato da poluição atmosférica não ser estática ela acaba sendo transportada para outros locais [3, 25].

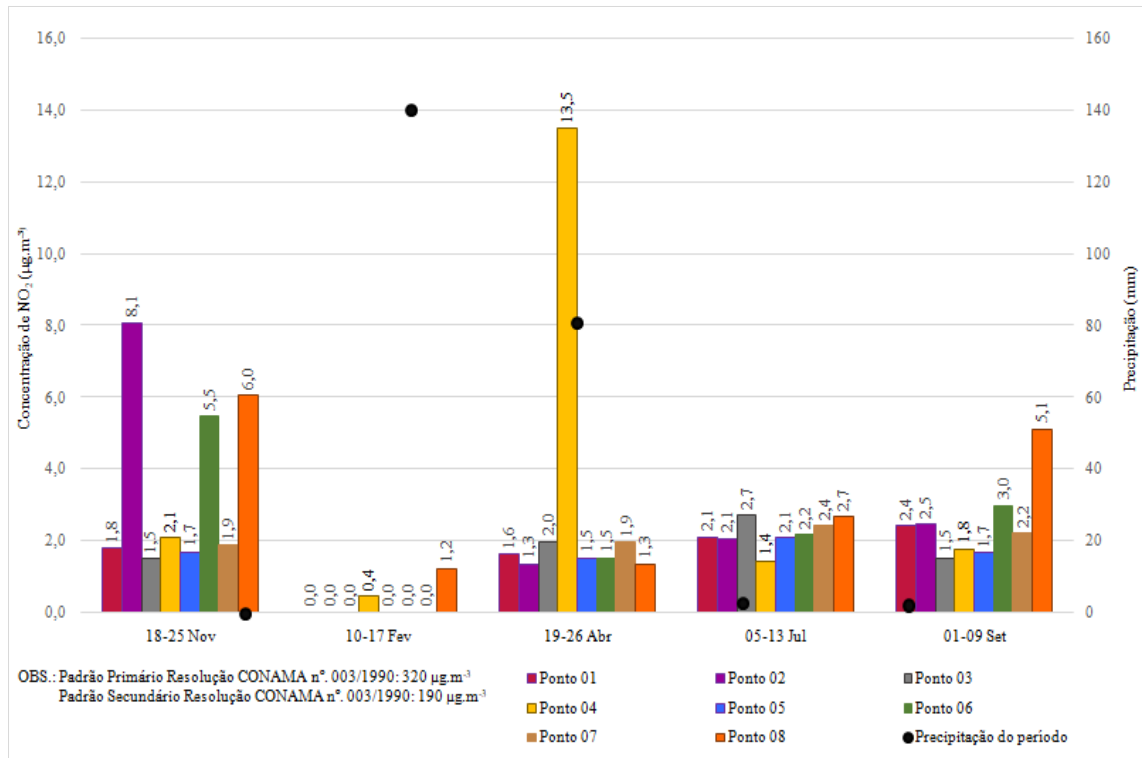


Fig. 5: Concentração de NO₂ conforme cada período de amostragem

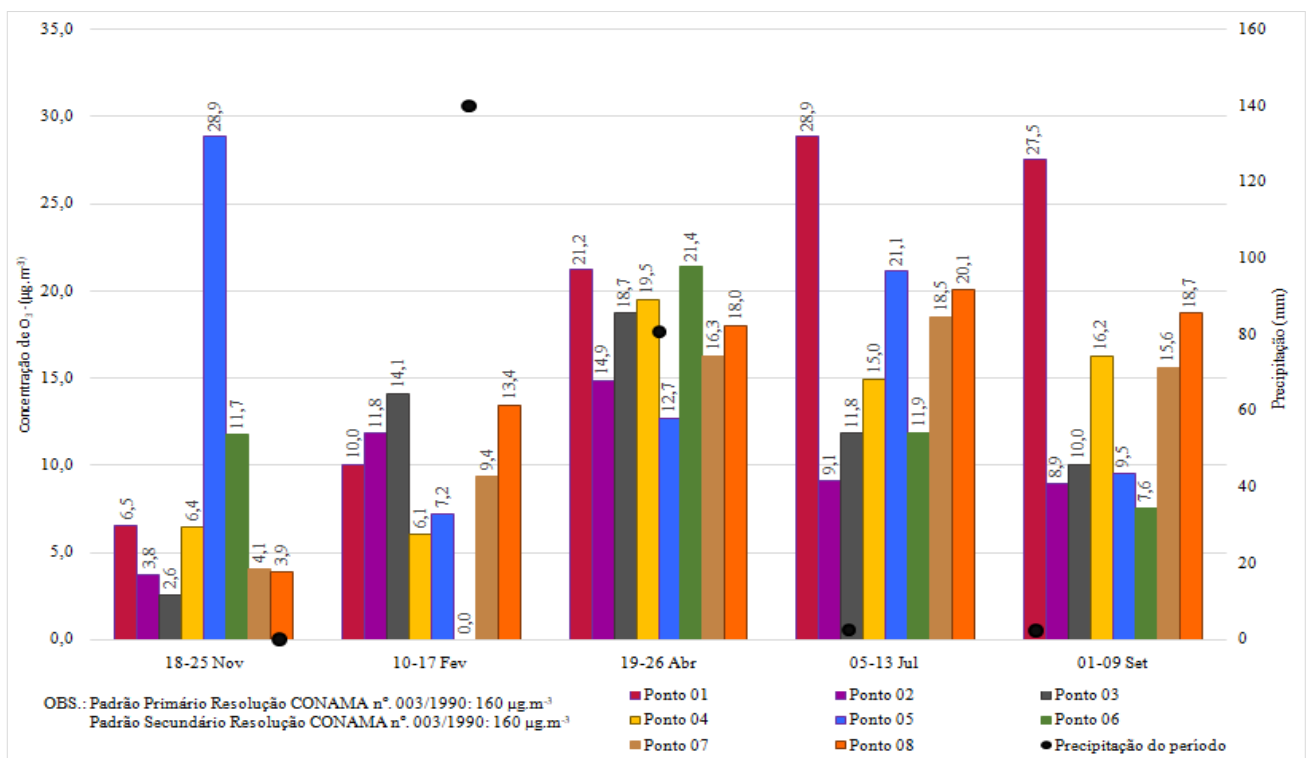


Fig. 6: Concentração de O₃ conforme cada período de amostragem

Análise exploratória das amostragens de O₃

Através da análise das amostragens de O₃ pode-se afirmar que as maiores concentrações ocorreram: no ponto 1 durante a campanha de julho, quando se registrou 28,9 µg/m³; seguido pelo ponto 5, com concentração de 28,9 µg/m³; 27,5 µg/m³ observado na campanha de setembro no ponto 1; e, 21,2 µg/m³ em abril novamente no ponto 1.

Analisando a Fig. 6 constata-se que todas as amostragens de O₃ apresentaram valores abaixo do exigido pela Resolução CONAMA n.º 003/1990 [27], em ambos padrões – 160 µg/m³ tanto para o padrão primário como secundário. Destaca-se que a amostragem passiva não é uma metodologia adotada pela Resolução em questão.

Diferentemente do que ocorreu com o NO₂, o O₃ não apresentou deficiência de absorção em períodos chuvosos, conforme Fig. 6. Verifica-se que tanto na amostragem de fevereiro como na de abril, julho e setembro, em que foram registradas precipitações, houve a detecção de O₃ em todos os pontos. Salienta-se que na amostragem de fevereiro, o amostrador do ponto 6 não foi encontrado no momento de retirada, impossibilitando o conhecimento da sua concentração.

Observando os pontos considerados como branco e crítico, ponto 1 e 5, respectivamente, verifica-se que, assim como para o NO₂, as concentrações apresentaram valores abaixo de exigido pela Resolução CONAMA em questão. As concentrações no ponto 1 variaram entre 6,5 e 28,9 µg/m³, e, no ponto 5 entre 7,2 e 28,9 µg/m³.

Interpolação das concentrações obtidas

De modo geral, os resultados obtidos pela KG e IDQ foram mais satisfatórios do que o VN (Figs. 7 e 8). Desta forma, este foi descartado, uma vez que com os resultados alcançados foram insatisfatórios, impossibilitando a comparação com os outros interpoladores.

Destaca-se que os pontos marcados nas Figs. 7 a 10 correspondem aos pontos expostos na Fig. 1.

Através dos resultados das interpolações – IDQ e KG, observou-se que o método que melhor se ajusta é a KG, já que este, além de apresentar menor erro na validação cruzada, não apresentou núcleos bem delimitados com o IDQ, fator este que não ocorre na realidade, uma vez que os poluentes atmosféricos são dispersos, por exemplo, pela ação dos ventos.

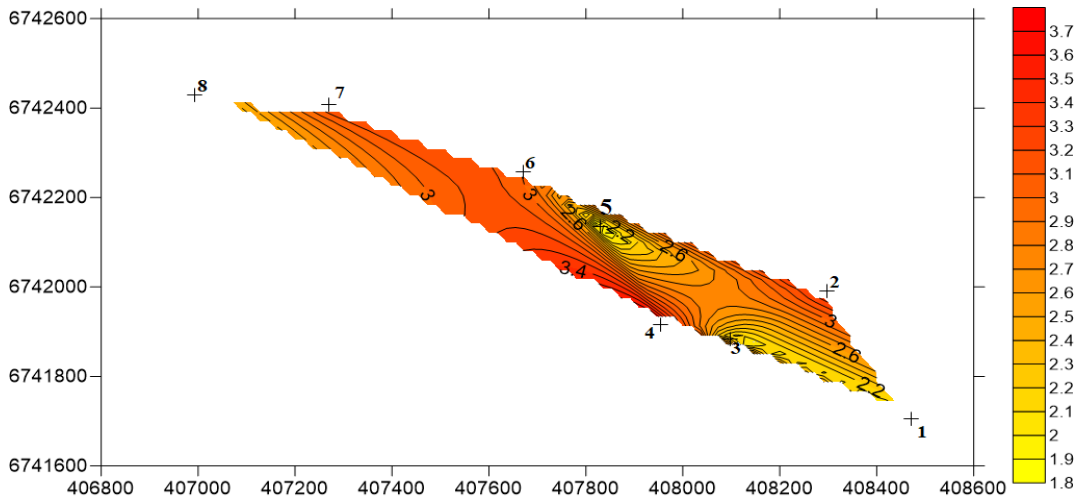


Fig. 7: Interpolação por VN da concentração de NO₂ na amostragem de fevereiro

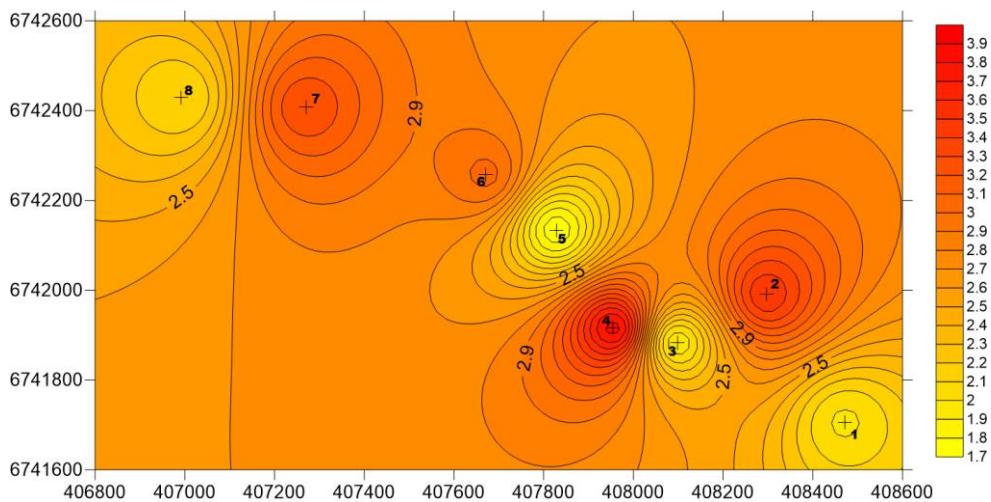


Fig. 8: Interpolação por IDQ da concentração de NO₂ na amostragem de fevereiro

A KG é frequentemente utilizada na espacialização de poluentes atmosféricos. Cintra [28] verificou o efeito da exposição à poluição atmosférica em recém-nascidos, utilizando o método de KG para especializar estas variáveis. Rocha [16] verificou a distribuição de material particulado (MP) no centro de Santa Maria/RS, utilizando técnicas passivas de baixo custo, sendo que ao final realizou-se a espacialização dos resultados obtidos, por meio de KG.

As interpolações com o método de KG, para o NO_2 podem ser verificadas na Fig. 10. Já a Fig. 11, demonstra as interpolações, também com KG, para o O_3 . Destaca-se que a variação de cores informa o nível de concentração, sendo vermelho concentrações altas e, amarelo, baixas.

Analisando a Fig. 9, proveniente da interpolação por KG de cada amostragem de NO_2 , é possível verificar que, durante

este estudo, a área compreendida entre os pontos 1 e 4 apresentou maior concentração deste poluente.

Já as concentrações de O_3 apresentaram menor variação ao longo do local de estudo, como se pode verificar na Figura 10. Observa-se que somente na amostragem O_3 de novembro/16 (j) as maiores concentrações deste poluente foram registradas próximas ao ponto 5. Já nas demais campanhas as concentrações mais expressivas deste poluente ocorreram entre os pontos 1 a 4 – abril (g), julho (h) e setembro (i). Estes resultados podem ser decorrentes de condições climatológicas e topográficas do local, além da circulação interna de veículos. Mas, mesmo assim, não é possível descartar influência de fontes externas, mesmo que estas não sejam significativas, como por exemplo, indústrias próximas ao local de estudo e a circulação de veículos fora do Campus.

V. CONCLUSÕES

A metodologia de amostragem passiva utilizada no presente estudo mostrou-se viável e de fácil aplicação, podendo ser empregada tanto para o meio acadêmico quanto para empresas e/ou municípios. Apesar de não ser possível mensurar o momento em que ocorrem os picos de poluição, a mesma auxilia na tomada de decisões para o planejamento urbano, por exemplo. Além disso, é um método de baixo custo, fator este que pode ser considerado como facilitador, já que outras metodologias de amostragem são onerosas.

As concentrações dos poluentes estudados, NO_2 e O_3 , apresentaram valores abaixo do exigido pela Resolução CONAMA 003/1990. Os níveis de NO_2 variaram entre $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $13,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Já as concentrações de O_3 oscilaram entre $6,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $28,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Através das concentrações obtidas foi possível constatar que a precipitação é um fator que inviabiliza a coleta de NO_2 . Já a radiação solar impulsiona a formação de novas moléculas de O_3 , o que conseqüentemente, piora a qualidade do ar. O método de interpolação que mostrou melhor ajuste foi a KG, sendo que através deste foi possível determinar quais locais podem ser mais atingidos pelos poluentes estudados. A área entre os pontos 1 e 4 são as que frequentemente apresentaram maior concentração de NO_2 . As concentrações de O_3 apresentaram menor oscilação quanto a espacialização, variando entre os pontos 5, 1 e 4.

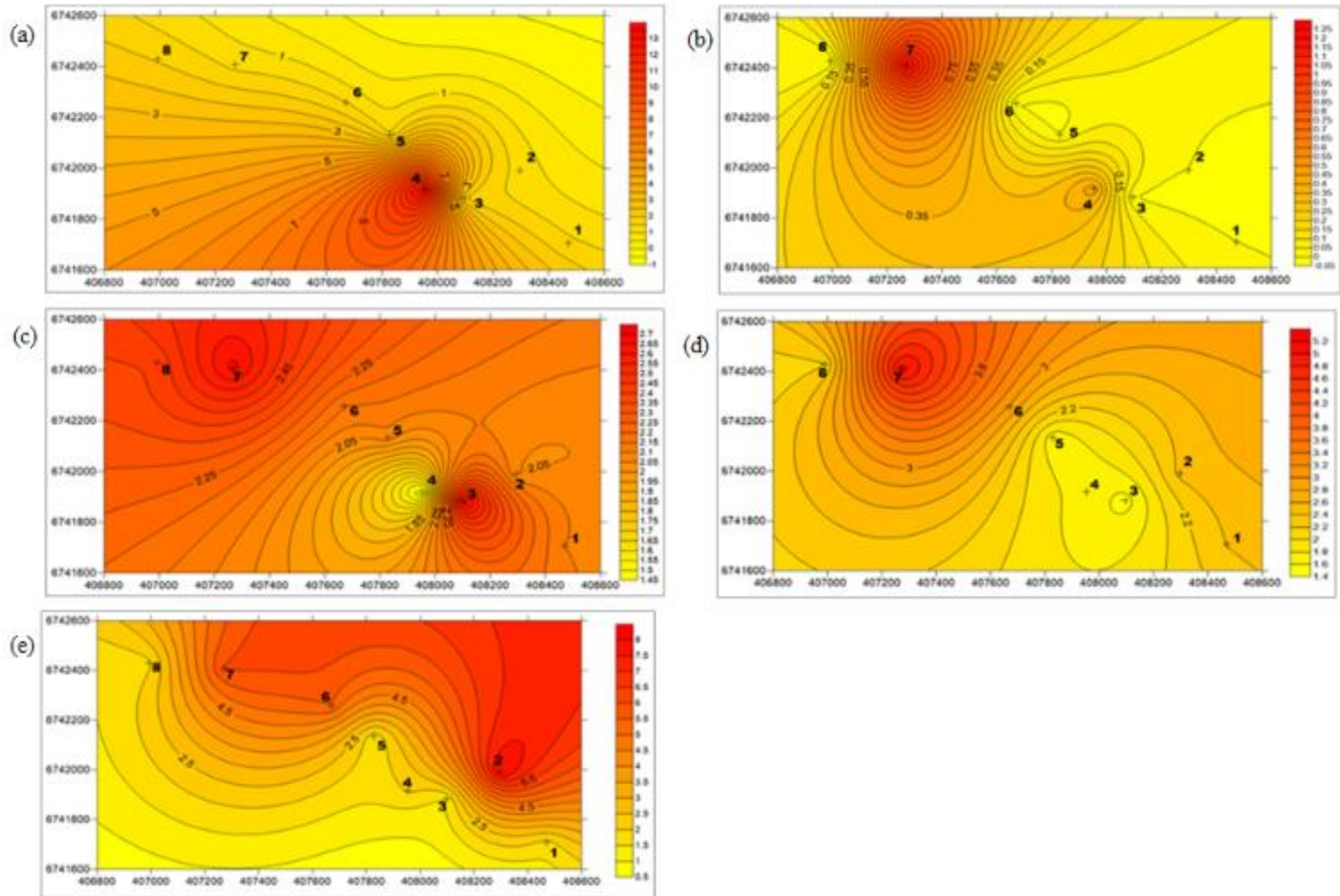


Fig. 9: Interpolação da concentração de NO₂ nas amostragens de fevereiro (a), abril (b), julho (c), setembro/17 (d) e novembro/16 (e)

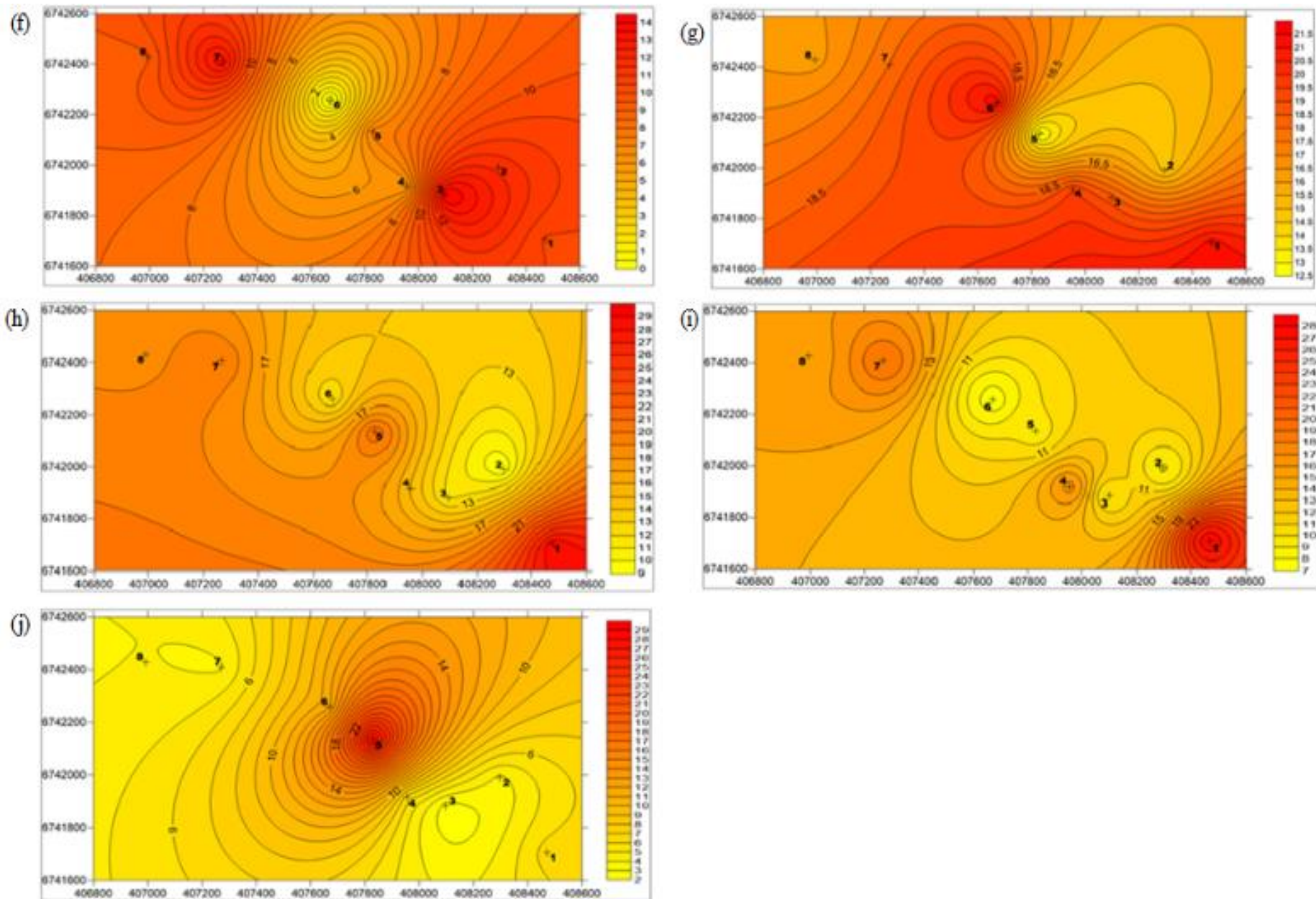


Fig. 10: Interpolação da concentração de O₃ nas amostragens de fevereiro (f), abril (g), julho (h), setembro/17 (i) e novembro/16 (j)

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] José Carlos Derisio, “Introdução ao controle de poluição ambiental”, 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- [2] CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, <http://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>, acessado dia 10/10/2017.
- [3] Neise Ribeiro Vieira, “Poluição do Ar – Indicadores Ambientais”, Rio de Janeiro: E-papers (220 p.), 2009.
- [4] Brasil - Ministério do Meio Ambiente, <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade-do-ar/poluentes-atmosf%C3%A9ricos>, acessado dia 20/02/2017.
- [5] FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/poluentes.asp>, acessado dia 20/02/2017.
- [6] G. Tyler Miller Jr., “Ciência Ambiental”, 11 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.
- [7] Maria do Carmo Calijuri and Davi Gasparini Fernandes Cunha, “Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão”. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.
- [8] Julio Cesar Rocha, “Introdução à Química Ambiental”, 2 ed, Porto Alegre: Bookman, 2011, e-book.
- [9] APA - Agência Portuguesa do Ambiente, <http://qualar.apambiente.pt/index.php?page=5&subpage=7>, acessado dia 20/02/2017.
- [10] Henrique de Melo Lisboa and Mauricy Kawano, “Monitoramento de Poluentes Atmosféricos”. In: Henrique de Melo Lisboa and Mauricy Kawano, “Controle da poluição atmosférica”, Montreal: ENS/UFSC, 2007. E-book.
- [11] Marcus Porfírio, “Proposta Metodológica para O Monitoramento de Gases Poluentes Derivados de Veículos Automotores em Centros Urbanos”, Dissertação de Mestrado em Transportes Urbanos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.
- [12] CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. <http://ar.cetesb.sp.gov.br/publicacoes-relatorios/>, acessado dia 10/06/2016.
- [13] Sarah Lindley and T. Walsh, “Inter-comparison of interpolated background nitrogen dioxide concentrations across Greater Manchester, UK”, *Atmospheric Environment*, vol. 39, no. 15, pp. 2709–2724, 2005.
- [14] IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, <http://cod.ibge.gov.br/A3I>, acessado dia 17/07/2017.
- [15] UNIVATES, <https://www.univates.br/institucional/univates-em-numeros>, acessado dia 30/10/2017.
- [16] José Renato Rocha, “Poluição do Ar por Material Particulado no Bairro Centro de Santa Maria/RS: Uma Análise a Partir de Variáveis Geourbanas e Geológicas”, Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia - Meio Ambiente e Sociedade, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2008.
- [17] Magali Vieira Santiago Bucco, “Construção e Testes de Validação de Amostradores Passivos para Dióxido de Nitrogênio e Ozônio”, Dissertação de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.
- [18] Letícia Canal Veira, “Uso de Amostradores Passivos para o Monitoramento do Ar”, Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2012.
- [19] Hana Shechter, “Spectrophotometric Method for Determination of Ozone in Aqueous Solutions”, *Water Research*, vol. 7, n. 5, pp. 729-739, 1973.
- [20] W.J. Massman, “A Review of the Molecular Diffusivities of H₂O, CO₂, CH₄, CO, O₃, SO₂, NH₃, N₂O, NO, and NO₂ in Air, O₂ And N₂ Near Stp”, *Atmospheric Environment*, vol. 32, no. 6, pp. 1111-1127, 1998.
- [21] Luciano Drosda, M dos Santos, Renê Mikami, Ana B Cristina, Celso Kochem Vendramin, A Antônio and Celso A A Kaestner, “Procedimentos de Validação Cruzada em Mineração de Dados para ambiente de Computação Paralela”, *Anais IX Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul*, Caxias do Sul, RS, 2009.
- [22] Rogério Alves Santana and Nerilson Terra Santos, “Utilização de Técnicas Geoestatística na Otimização de Amostragem em Parcelas de Povoamentos de Tectona Grandis”, *Anais XIX Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística*, São Pedro, SP, 2010.
- [23] Shirley Rego, Haerte de Melo, Mônica Macedo, Luis Gustavo Fernandes and Dennys Bizerra, “Utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) na Identificação de Possíveis Áreas Sob o Risco de Inundação”. *Anais IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*. Recife, PE, 2012.
- [24] Ana Paula Francisco, Débora Alvim, Luciana Gatti, Célia Regina Pesquero and João Vicente de Assunção, “Tropospheric Ozone and Volatile Organic Compounds on a Region Impacted by The Sugarcane Industry”, *Revista Química Nova*, vol. 39, no. 10, pp. 1177-1183, 2016.
- [25] Philippi Jr., A., et al., “Curso de gestão ambiental”. 2. ed. Barueri: Manole, 2014.
- [26] Nilson Antonio Brena, “A Chuva Ácida e os Seus Efeitos Sobre as Florestas”, 2 ed, São Paulo, 2009. E-book.
- [27] CONAMA, “Resolução n.º 003, de 28 de junho de 1990”. Brasília: DOU de 22/08/1990.
- [28] Camila Marcia Villegas Cintra, “Biomonitoramento da poluição atmosférica em domicílios de um distrito da cidade de São Paulo: uma associação entre peso ao nascer, acúmulo de elementos-traço e danos mutagênicos em *Tradescantia pallida*”, Tese de Doutorado em Patologia – Faculdade de medicina, Universidade de São Paulo, SP, 2014.