

ESTUDO DE POSSÍVEIS ALTERAÇÕES DO CLIMA URBANO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, A PARTIR DA ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA PLUVIAL

INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades e o processo de urbanização, a poluição ambiental aumentou consideravelmente, mas o que tem sido motivo de apreensão é o aumento das concentrações de poluentes na atmosfera, principalmente nos centros urbanos, uma vez que são potenciais causadores de transtornos diretos e indiretos ao meio, ao clima e à população (SMAC, 2021).

A cidade do Rio de Janeiro por ser um dos maiores centros urbanos do Brasil, está lidando com obstáculos consideráveis em relação à degradação do ar atmosférico. A quantidade de veículos, de fábricas e outras atividades contribui para a liberação de substâncias que afetam o meio, a população e influenciam o clima. No âmbito desse problema, Leal *et al* (2004) descreve que o papel dos processos de remoção da poluição por gotas de chuva e nuvem é largamente evidente, já que é a partir deles que ocorre a remoção dos poluentes da atmosfera para a hidrosfera (Leal *et al*, 2004).

Esta pesquisa tem como principal objetivo avaliar possíveis alterações do clima urbano em diferentes sítios na cidade do Rio de Janeiro, com base na análise de parâmetros físico-químicos da precipitação pluviométrica.

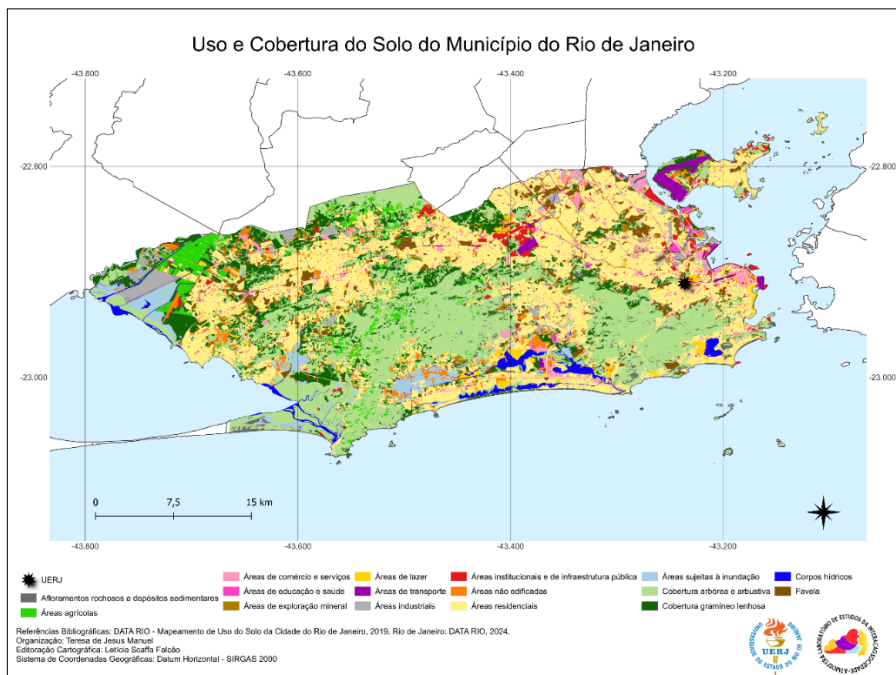
A partir da análise dos resultados preliminares alcançados neste estudo, por meio da quantificação de espécies presentes nas águas pluviais, podemos confirmar as informações já estabelecidas na literatura de que o conteúdo das partículas e dos gases solúveis presentes na água da chuva retrata as características atmosféricas de um determinado sítio (Souza *et al*, 2006), visto que as gotas de chuva atravessam esse ambiente durante a sua precipitação.

Com este estudo, será possível fornecer dados à população sobre a qualidade do ar e da água pluvial na cidade permitindo um conhecimento detalhado sobre o que realmente está presente no ar e na água da chuva e de que forma isso afeta o seu bem-estar

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo é realizado no *Campus Maracanã* da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), no município do Rio de Janeiro, cuja Região Metropolitana abrange um total de 4.930 km², sendo a porção que cabe ao município do Rio de Janeiro correspondente ao território de 1.224 km² (IBGE, 2022), como se pode identificar na figura 1.

Figura 1 - Mapa de Uso e Cobertura do Solo da RMRJ com a Estação de Coleta



Fonte: Autoria de Leticia Scaffa Falcão, 2024

Na execução deste projeto, além da análise da concentração de alguns íons, foram analisados a condutividade elétrica e o potencial hidrogeniônico (pH).

O equipamento utilizado para a leitura da condutividade foi um HM Digital TDS-3 portátil e para os valores de pH, foi utilizado o modelo pH Basic da AKSO. As técnicas e métodos empregados na análise dos íons foram: cloreto (Cl^-) – Método 4500- Cl^- B, nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-) - Método 4110 B, amônia (NH_3) - Método 4500- NH_3 F, sulfato (SO_4^{2-}) - Método 4500- SO_4^{2-} e carbonato (CO_3^{2-}) - Método 2340 C (Rice, 2017).

REFERENCIAL TEÓRICO

A partir do século XVIII a urbanização brasileira cresceu, tornando as cidades mais significativas no contexto da organização social. Em meados desse século, surgiram os primeiros núcleos urbanos no Brasil, estabelecidos às margens dos rios que desembocavam ao

longo da costa, visando questões estratégicas de deslocamento e segurança. (Corrêa; Vazquez; Vanzela, 2018).

Souza e Terra (2017) afirma que o processo de urbanização no Brasil ocorreu de forma diferenciada, se comparada ao que aconteceu nos países mais desenvolvidos, que embora tenha ocorrido um processo de urbanização mais lento, apresentou uma distribuição socioeconômica mais equitativa.

O século XX foi marcado pelo surgimento de grandes áreas urbanas, resultado do processo de urbanização existente tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. O homem, ao planejar e ocupar as cidades, buscou seu desenvolvimento e dinamização, sem se preocupar com os efeitos que poderiam causar ao homem e ao meio, acabando por interferir de forma significativa no clima local.

Alguns estudos demonstram que o adensamento populacional e urbano, em conjunto com a localização geográfica de uma cidade, exerce grande influência na configuração do clima urbano. O clima urbano é, por conseguinte, resultado da interferência de todos os fatores que atuam sobre a atmosfera urbana, contribuindo para a alteração do clima local (Dias; Nascimento, 2014).

Para Monteiro e Mendonça (2003), o clima nas cidades é considerado resultado da transformação do ambiente natural e da sua subsequente troca por um ambiente construído.

De acordo Silva *et al* (2014), um dos maiores desafios para o século XXI está relacionado às questões ambientais. Os impactos ambientais causados pela urbanização têm se intensificado nas últimas décadas, principalmente nas áreas urbanas densamente povoadas.

Segundo Abreu (2005), a poluição atmosférica altera o ecossistema, ou seja, o sistema de relações de que as espécies necessitam para sobreviver e existir, sendo um dos principais desafios globais, sobretudo nos centros urbanos

No ano de 1990, os parâmetros de qualidade do ar em âmbito nacional foram definidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e aprovados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente por meio da Resolução nº 03/1990 (CONAMA, 1990).

De acordo com SMAC (2021), as ações realizadas nos centros urbanos acarretam grandes impactos na atmosfera. A poluição atmosférica pode ser oriunda de fontes fixas ou móveis, respectivamente indústrias e veículos automotores; e os mecanismos de remoção desses poluentes da atmosfera podem ser a deposição seca e úmida, dependendo da sua forma.

A precipitação da chuva desempenha um papel essencial na limpeza da atmosfera, uma vez que, além da água, diversos elementos em suspensão, como o CO₂, são removidos, impactando no equilíbrio do pH. O CO₂ proveniente de fontes naturais influencia o pH da

água da chuva, tornando-a levemente ácida, pois a sua dissolução nas nuvens e na chuva forma o H_2CO_3 , que, por ser um ácido fraco, atribui à água um pH igual a 5,6. Quando a chuva apresenta pH inferior a 5,6, ela passa a ser classificada como chuva ácida (FLUES; HAMA e FORNARO,2003).

Cabe ressaltar que alguns dos processos físico-químicos ocorridos na atmosfera acarretam a formação de chuvas com caráter ácido ou básico, dependendo apenas do tipo e da quantidade do poluente. Poluentes como o SO_2 e os NO_x 's diminuem o valor do pH, enquanto substâncias como os CO_3^{2-} e NH_3 elevam o pH.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos na tabela 1 os dados da qualidade do ar e, na tabela 2 os resultados das análises da água pluvial.

Tabela 1. Dados da Qualidade do Ar – Estação Tijuca, MonitoAr Rio, SMAC (concentração $\mu g/m^3$).

DATA	HORA	Temp ($^{\circ}C$)	[NO_2]	[NO]	[NO_x]	[O_3]	[MP_{10}]
28/09	1h30	22,65	6,46	0,97	7,42	55,44	20,67
19/11	9h30	29,43	-	-	-	77,19	27,33
23/11	19h30	24,63	26,87	2,19	29,06	57,91	18,83
11/01	16h	39,98	56,01	6,3	62,34	61,52	37,5
31/01	7h30	27,68	38,84	4,12	42,95	32,89	31,83
07/03	2h40	25,75	18,66	1,34	20,01	-	7,17

Fonte: Autoria própria, 2024.

Tabela 2 -Composição química da água pluvial coletada no campus Maracanã-UERJ (mg/mL).

LQP = Limite de Quantificação Praticada.

AMOSTRA	pH	CE	[SO_4^{2-}] LQP10	[NO_3^-] LQP0,4	[NO_2^-] LQP0,4	[Cl] LQP0,5	[$CaCO_3$] LQP1	[NH_3] LQP0,02
Nº 1	6,4	7	9	0,32	0,005	1,51	X	X
Nº 2	6,76	10	9	0,576	0,39	1,90	6,03	1,25
Nº 3	6,43	2	9	0,39	0,005	2,37	0,9	0,42
Nº 4	6,12	15	9	0,971	0,39	1,42	8,20	0,9
Nº 5	6,22	4	9	0,39	0,005	2,84	0,9	0,41
Nº 6	6,19	12	9	0,39	0,39	0,98	9,08	0,56

Fonte: Autoria própria, 2024.

Iniciando a análise dos dados dispostos na tabela 1, podemos afirmar que a concentração dos gases NO_2 , NO , NO_x , O_3 e do Material Particulado (MP_{10}) encontra-se dentro do limite aceitável pelo CONAMA.

As concentrações obtidas na análise da água pluvial para os íons SO_4^{2-} , NO_3^- e NO_2^- estavam abaixo do LQP. Essa baixa concentração é corroborada ao levar-se em consideração os valores de pH encontrados, pois, segundo Marques (2011), os poluentes que agravam a poluição da chuva, tornando-a mais ácida, são os óxidos de enxofre e os óxidos de nitrogênio. Dessa forma, podemos justificar que as chuvas incidentes no bairro do Maracanã nos dias da coleta apresentaram valores de pH acima de 6, encontrando-se quase na faixa da neutralidade.

Nesse trabalho, averiguou-se que a presença da amônia (NH_3) e as altas concentrações dos íons Ca^{2+} , ambos provenientes de atividades antrópicas, exercem papel importante como agentes neutralizadores do pH das águas pluviais da região.

A concentração de NH_3 emitida para a atmosfera, no caso do município do Rio de Janeiro, é atribuída ao lançamento de esgoto não tratado na Baía de Guanabara (Guimarães e De Melo, 2006).

Estudo realizado por Conceição *et al* (2011) sobre a composição química das águas pluviais na bacia do Alto Sorocaba-SP, demonstrou que as altas concentrações dos íons Ca^{2+} na atmosfera são provenientes de atividades antrópicas.

Na análise de correlação dos resultados de qualidade de água e dos poluentes atmosféricos, buscou-se justificar as possíveis variabilidades da qualidade da água pluvial a partir da correlação não-paramétrica de Spearman, pela Matriz de Correlação (tabela 3).

Tabela 3 - Matriz de Correlação entre os poluentes do ar e os parâmetros de qualidade das águas pluviais.

	Temp	[NO_2]	[NO]	[O_3]	[MP_{10}]	pH	CE	[NO_3^-]	[NO_2^-]	[Cl^-]	[CaCO_3]	[NH_3]
Temp	1,0											
[NO_2]	0,9	1,0										
[NO]	0,9	1,0	1,0									
[O_3]	0,6	0,4	0,4	1,0								
[MP_{10}]	0,7	0,7	0,7	0,1	1,0							
pH	-0,3	-0,5	-0,5	0,4	-0,3	1,0						
CE	0,6	0,0	0,2	0,6	0,3	-0,6	1,0					
[NO_3^-]	0,9	0,9	0,9	0,7	0,6	-0,2	0,6	1,0				
[NO_2^-]	0,7	0,3	0,3	0,9	0,1	-0,3	0,9	0,7	1,0			
[Cl^-]	-0,1	0,2	0,2	-0,5	0,3	0,5	-0,8	-0,2	-0,7	1,0		
[CaCO_3]	0,3	-0,3	-0,3	0,7	-0,2	-0,6	0,9	0,3	0,9	-1,0	1,0	
[NH_3]	0,6	0,2	0,2	1,0	0,1	0,1	0,6	0,8	0,9	-0,6	0,6	1,0

Fonte: Autoria própria, 2024.

Nesse estudo foi possível identificar uma forte correlação entre os valores de condutividade e as concentrações NO_2^- e CaCO_3 ($\rho = 0,9$), o que pode ser explicado pela influência de atividades poluidoras na região como a presença de indústrias e circulação de veículos.

O coeficiente de correlação das concentrações de NO_3^- com as de NO_x 's é de 0,9; esse valor pode ser justificado devido ao fato desses óxidos serem formadores do ácido nítrico (HNO_3) nas águas pluviais. A elevada concentração de O_3 e a significativa correlação das concentrações de NO_2^- (oriundo dos NO_x) e NH_3 , $\rho = 0,9$ e $\rho = 1,0$, respectivamente, reflete a importância desses compostos nitrogenados na formação do ozônio.

A correlação positiva ($\rho = 0,9$) entre o NO_2^- com a NH_3 e o CaCO_3 , sugere que a variação entre eles é diretamente proporcional. A correlação existente entre Cl^- e CaCO_3 , apresenta o valor de $-1,0$, indicando uma correlação negativa muito forte, significando uma variação entre eles inversamente proporcional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da concentração dos poluentes do ar fornecidos pela SMAC encontrarem-se dentro dos limites aceitáveis, as análises de alguns parâmetros físico-químicos das águas pluviais evidenciaram a presença de outras substâncias no ar atmosférico. Seguindo a lógica, devido às fortes correlações e as características urbanas da região, podemos dizer que a qualidade do ar na região tem sofrido bastante influência das atividades antrópicas.

A importância da qualidade do ar é uma questão global, que tem impacto em toda a comunidade; por isso, deve ser encarada pela sociedade e autoridades públicas não somente como uma questão econômica, política e social, mas, sim, como uma questão de saúde pública.

Com monitoramento adequado, formulação de políticas públicas eficazes, melhorias de infraestruturas, investimento tecnológico e criação de ações mitigadoras, é possível promover um ambiente urbano mais saudável e resiliente. Qualquer proposta visando solucionar esse problema deve incluir mudanças na organização do espaço urbano, que reflete a desigualdade existente numa sociedade baseada no capitalismo.

Palavras-chave: Análise da água pluvial, Qualidade do ar atmosférico, Parâmetros físico-químicos, Sistema Clima Urbano.

REFERÊNCIAS

ABREU, Maurício Lobo. **Ocorrência de chuva ácida em unidades de conservação da natureza urbanas—estudo de caso no parque estadual da pedra branca—Rio de Janeiro-RJ**. Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ, 2005. Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2005/MauricioLoboAbreuPEAMB2005.pdf>. Acesso em: 2 mai, 2024.

CONCEIÇÃO, Fabiano Tomazini da; SARDINHA, Diego de Souza; NAVARRO, Guillermo Rafael Beltran; ANTUNES, Maria Lúcia Pereira; ANGELUCCI, Vivian Andréa. Composição química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Química Nova**, [S.L.] v.34, n. 4, p.610-616, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000400011>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/RbFFqHC7SfbZHVvCYrfQhLG/?lang=pt>. Acesso em: 12 abr, 2024.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). **RESOLUÇÃO CONAMA nº 003, de 28 de junho de 1990**. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_siskonama&task=arquivo.download&id=100. Acesso em: 26 fev, 2024.

CORRÊA, Ricardo Henrique Alves; VAZQUEZ, Gisele Herbst; VANZELA, Luiz Sergio. Projeto estratégico de ocupação do fundo de vale do córrego da Aldeia no perímetro urbano de Fernandópolis/SP. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 458-472, 26 fev. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/21753369.010.002.ao15>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/9WLG6bcVhxxfRMvmfNtz3LF/?lang=pt>. Acesso em: 25 mar, 2024.

DIAS, Marcel Bordin Galvão; NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira. Clima urbano e ilhas de calor: Aspectos teórico-metodológicos e estudo de caso. **Periódico Eletrônico X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [S.L.], v. 10, n. 12, pp.27-41, 2014. <https://doi.org/10.17271/1980082710122014902>. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/902. Acesso em: 18 abr, 2024.

FLUES, Marlene; HAMA, Patrícia; FORNARO, Adalgiza. Avaliação do nível da vulnerabilidade do solo devido à presença de termelétrica a carvão (Figueira, PR-Brasil). **Química Nova**, [S.L.], v. 26, n. 4, p. 479-483, ago. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422003000400006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/wdDTsDNpTdbFBwfyGFjFDxC/?lang=pt>. Acesso em 21 jan, 2024.

GUIMARÃES, Giselle Parno; MELLO, William Zamboni de. Estimativa do fluxo de amônia na interface ar-mar na Baía de Guanabara: estudo preliminar. **Química Nova**, [S.L.], v. 29, n. 1, p. 54-60, fev. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422006000100012>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/B7Kfv9dx5QJHfz3DgPQtVjJ/?lang=pt>. Acesso em: 12 mar, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Brasil) (2022). **Cidades e Estados do Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>. Acesso em: 15 abr, de 2024.

LEAL, Tatiana F. M.; FONTENELE, Anna P. G.; PEDROTTI, Jairo J.; FORNARO, Adalgiza. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. **Química Nova**, [S.L.], v. 27, n. 6, p. 855-861, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422004000600003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/czPXPQBm74RBj8njKzLYGzS/?lang=pt>. Acesso em: 22 fev, 2024.

MARQUES, Rodrigo. **Avaliação temporal da composição química das águas de chuva e do material particulado inalável: estudo aplicado à Cuiabá-MT**. 2011. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo e MENDONÇA, Francisco (ORGS). **Clima urbano**. São Paulo: Ed. Contexto, 2003, 192p.

RICE, Eugene W.; BRIDGEWATER, Laura; American Public Health Association (Eds.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, DC: American public health association, ed. 23, 2017. Disponível em: <https://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>. Acesso em: 2 fev, 2024.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE DA CIDADE (Rio de Janeiro). **Boletim da Qualidade do Ar**. Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar – MonitorAr-Rio. Prefeitura do Rio de Janeiro: SMAC, 2021. Disponível em: <https://ambienteclima.prefeitura.rio/monitoramento-diario-da-qualidade-do-ar>. Acesso em: 15 abr, de 2024

SILVA, José Adailton Barroso; BARROSO, Rita de Cássia Amorim; RODRIGUES, Auro Jesus; COSTA, Sylvania Santana; FONTANA, Raphael Luiz Macêdo. A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. **Caderno de Graduação**, Ciências Humanas e Sociais Unit, Aracaju, v.2, n.2, p.197-207, 2014. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernohumanas/article/view/1723>. Acesso em: 25 mai, 2024.

SOUZA, Patricia Alexandre de; MELLO, William Zamboni de; MALDONADO, Juan; EVANGELISTA, Heitor. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. **Química Nova**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 471-476, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422006000300013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/zcd7c7MvRVdFMwBdqgix7MC/?lang=pt>. Acesso em: 6 Mar, 2024.

SOUZA, Joseane de; TERRA, Denise Cunha Tavares. Rio de Janeiro: rumo a uma nova região metropolitana. **Cadernos Metrópole**, [S.L.], v. 19, n. 40, p. 817-840, dez. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2017-4006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cm/a/G4jkhrgtd93rmsYs8M7r34C/?lang=pt>. Acesso em: 14 mai, 2024