



XVIII CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR
São Paulo Expo – 13 à 15 de setembro de 2023

O AR NÃO É MAIS O MESMO, POLUENTES ANTROPOGÊNICOS TORNAM COMPULSÓRIO O TRATAMENTO DO AR URBANO

PAPER 68

RESUMO

Ar, matéria-prima para climatização de ambientes internos, deu sinais de novos tipos de contaminantes, os poluentes gasosos que assumem protagonismo e requerem tecnologias suplementares à filtração mecânica. A qualidade do ar está online, na Microsoft Clima (msn.com), em diversas localidades do mundo, recomendando fecharmos as janelas e aplicarmos purificadores de ar.

A capitulação da atmosfera pelos poluentes PM₁₀, PM_{2,5}, óxidos nitrosos, carbônicos e ozônio dá-se por distintos fenômenos antropogênicos. Os gases são os poluentes críticos, tornando inócuos os mais eficientes filtros, ou seja estamos diante de um desafio de controlar a concentração de substâncias no mesmo estado físico do ar atmosférico. Verificando a ANSI/ASHRAE standard 62.1 e EN13779 observa-se a total ausência de tecnologias por rota úmida; e nas publicações mais recentes sobre o combate de ativos biológicos são citadas tecnologias ativas como ozonólise, emissão UVc e filtros eletrostáticos, enquanto que tecnologias da rota úmida, como a lavagem do ar, sequer são elencadas. Na revisão da NBR16401 existe a previsão de uso de tecnologias por rota úmida para filtração líquida do ar, inclusive em arranjos sem filtros mecânicos.

Neste trabalho, analisamos os resultados de instalação de tomada de ar com a tecnologia de rota úmida nos sistemas de climatização de ambiente interno com objetivo de demonstrar a eficiência e aplicabilidade da tecnologia para material particulado e gases. A operação dos lavadores de ar com líquido refrigerado minimiza o impacto termo-higrométrico. Tecnologias depuradoras consagradas no controle de poluentes industriais, passam a ser adequadas na tomada de ar urbano em edificações climatizadas.

Palavras-chave: Contaminação do ar . Filtração do ar. PM_{2,5}. CO₂. Qualidade do ar interno.

ABSTRACT

Air, the raw material for indoor air conditioning, has shown signs of new types of contaminants, the gaseous pollutants that assume protagonism and require additional technologies to mechanical filtration. Air quality is online, at Microsoft Weather (msn.com), in several locations around the world, recommending that we close the windows and apply air purifiers.

The capitulation of the atmosphere by pollutants PM₁₀, PM_{2.5}, nitrous and carbonic oxides and ozone occurs through different anthropogenic phenomena. Gases are the critical pollutants, making the most efficient filters innocuous, that is, we are facing the challenge of controlling the concentration of substances in the same physical state of atmospheric air. Checking the ANSI/ASHRAE standard 62.1 and EN13779, the total absence of wet route technologies is observed; and in the most recent publications on combating biological assets, active technologies such as ozonolysis, UVc emission and electrostatic filters are cited, while wet route technologies, such as air washing, are not even listed. In the revision of NBR16401 there is a provision for the use of wet route technologies for liquid air filtration, including arrangements without mechanical filters.

In this work, we analyze the results of air intake installation with wet route technology in indoor air conditioning systems in order to demonstrate the efficiency and applicability of the technology for particulate matter and gases. Operating liquid-cooled air scrubbers minimizes thermo-hygrometric impact. Depuration technologies established in the control of industrial pollutants, are now suitable for taking in urban air in air-conditioned buildings.

Keywords: Air contamination. Air filtration. PM_{2.5}. CO₂. Indoor air quality.

1 INTRODUÇÃO

Eventos naturais catastróficos tornaram-se rotina nos quatro cantos do mundo, incluindo gigantescos incêndios florestais, chuvas de granizo no Rio de Janeiro em pleno verão, tornados no sul do Brasil e chuvas torrenciais com centenas de milímetros de água em poucas horas, colocam as mudanças climáticas como tema central de muitas nações e grupos defensores do planeta, pois um planeta distópico, um lugar ruim para se viver não serve para ninguém, mesmo a despeito da inércia e resiliência ambiental, conceitos a saber:

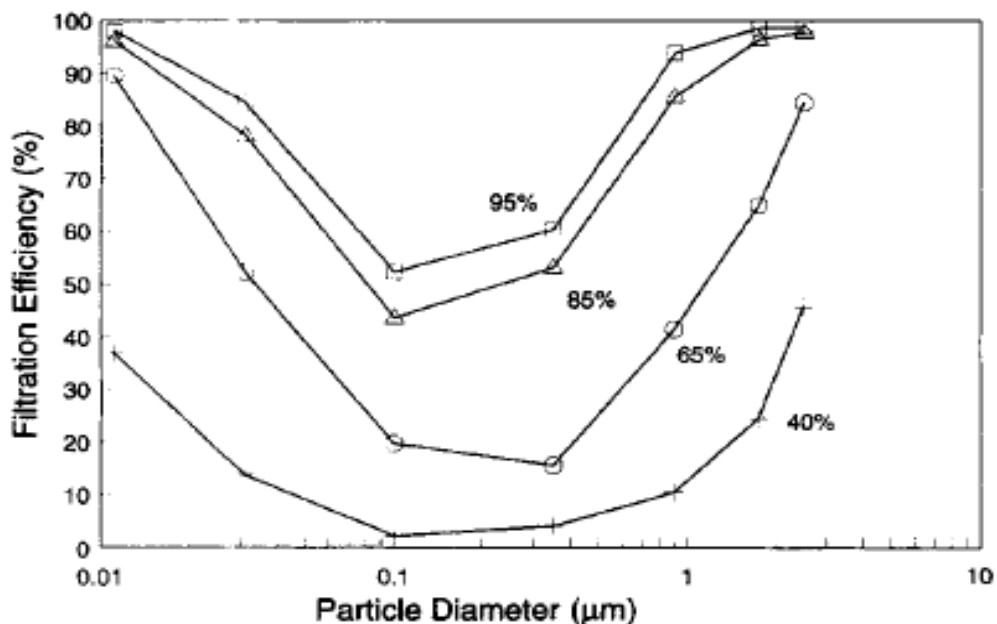
Dois novos conceitos estão muito ligados que são Inércia ambiental e resiliência, esta é a capacidade de resistir a pressões ambientais. Estes termos são um pouco relacionados, e são provavelmente o melhor exemplificados pelas comunidades clímax, ou seja uma comunidade ecológica na fase final da sucessão, na qual a composição da espécie permanece relativamente estável até que ocorra uma perturbação como a poluição. Estes ambientes são capazes de suportar mudanças nas pressões ambientais (resiliência), mas ao mesmo tempo, são lentos para mudar em resposta a mudanças (inércia). Ambas as propriedades são uma função da biodiversidade em uma comunidade clímax. Quanto maior a diversidade, mais estável a comunidade. As florestas temperadas são geralmente mais diversas do que pastagens, assim que sua resiliência e inércia seriam maiores. (autor. Conbrava xxxx p.2)

Os poluentes gasosos assumem o protagonismo do efeito estufa que está provocando o aquecimento do planeta. Dentre estes temos o metano(CH₄) como mais nocivo e impactante, os óxidos nitrosos(NO_x) novas vedetes dos poluentes atmosféricos após a redução drástica dos óxidos de enxofre(SO_x), porém todos de menor emissão que o dióxido de carbono(CO₂), disparado a maior emissão gasosa antropogênica pela queima de combustíveis fósseis.

Ar, matéria-prima para renovação e climatização do ambiente interno deu sinais de contaminação, e agora temos a realidade anunciada. Inclusive a Microsoft Clima(msn.com), em tempo real, informa sobre a qualidade do ar em diversas localidades do mundo, como demonstra o mapa gráfico 2, recomendando para fecharmos as janelas e aplicarmos purificadores de ar. A capitulação da atmosfera pelos poluentes como PM10, PM2,5, óxidos nitrosos e ozônio dá-se por distintos fenômenos antropogênicos, sendo a queima de combustíveis fósseis a mais impactante. O negligenciamento histórico veio à tona graças a pandemia da COVID 19 que evidenciou o invisível e vital ar atmosférico. Historicamente controlamos o que vemos, e nesse sentido foram desenvolvidos no século XVIII sistemas de filtragem da fuligem do carvão, e ao longo dos últimos 60 anos evoluiu-se para tecnologias de filtragem mecânica para retenção cada vez mais eficiente de material

particulado de PM10, PM2,5 e PM1. A publicação de Lance Wallace(2008) nos apresenta uma visão histórica dos ensaios de purificadores de ar , desde Offermann et al.(1985), com ensaios no Laboratório Nacional Lawrence Berkeley, com ensaios de filtros planos, plissados, HEPA, eletrostáticos e ionizadores, sob uma mesma métrica de todas as variáveis, estabeleceu o CADR- Clean Air Delivery Rate que é a taxa efetiva de ar limpo entregue pelos sistemas de filtragem onde o HEPA alcançou a maior eficiência seguido pelo filtro eletrostático com 66% do HEPA enquanto que os filtros alcançaram apenas 16,6% da taxa de ar limpo entregue pelo HEPA. Desses primórdios, diversos centros de pesquisa promoveram ensaios exclusivos com as rotas secas, na filtragem de material particulado sólido, alcançando as conhecidas classificações de eficiência por faixa de diâmetro de partículas como o MERV- Minimum Efficiency Rating Value(MERV1 – MERV16) e o Método 52.2 da ASHRAE com o novo padrão de poeira particulada com gramaturas conhecidas. Os resultados dos ensaios no gráfico 1, mostram as curvas de eficiência em “U”, como uma característica típica das tecnologias de filtragem eletro-mecânicas, ensaiadas com a poeira padronizada (“dust spot”) da ASHRAE já corrigida no teor de negro de fumo para a realidade urbana.

Gráfico 1- Curvas típicas de filtragem eletro-mecânica



Fonte: Hanley et al., 1994.

Porém os poluentes mudaram de criticidade passando os gases e aerossóis, inclusive ativos biológicos (bioaerossóis), a assumir um papel preponderante que torna os mais eficientes filtros inôcuos no seu controle. Assim, se requer tecnologias suplementares ou alternativas de tratamento porque estamos

diante do desafio de controlar a concentração de substâncias no mesmo estado físico do ar atmosférico, isto é gasoso.

As medidas paliativas aplicadas de se elevar a taxa de renovação do ar interno mostram-se cada vez mais ineficaz devido à piora da qualidade do ar externo, além do elevado consumo de energia para adequação das condições de conforto requeridas pelos usuários. A EN13779 estabelece classes de qualidade do ar externo(ODA) para se correlacionar com o objetivo da qualidade do ar interno(IDA) e assim estabelecer as classes mínimas de filtragem. As edificações europeias em sua maioria operam com EU7/EU8 informa Lance Wallace(2008).

Gráfico 2 Qualidade do ar em Cidades do Mundo em 30/04/2023-13:30



São Paulo PM_{2,5} : 47 µg/m³, Ruim



Rio de Janeiro PM_{2,5}: 32 µg/m³, Ruim



Aysén-Chile PM_{2,5} : 11 µg/m³, Ruim



México PM_{2,5} :267 µg/m³, Perigoso



Mongól-China PM₁₀:185 µg/m³, insalubre



Tarquínia-Itália PM_{2,5}:10 µg/m³, Bom

Fonte: <https://www.msn.com/pt-br/clima/mapas/airquality>, 2023.

2 O CENÁRIO, NORMAS E TECNOLOGIAS APLICÁVEIS NA QUALIDADE DO AR

Em publicações deste mesmo autor tem-se a caracterização típica dos poluentes quer seja na qualidade do ar externo, quer seja nos ambientes

internos quanto aos aspectos físico-químico-biológicos. As publicações da ISO29463(2017), com as Grupos E- EPA(filtro eficiente para particulados), Grupo H- HEPA(filtro de alta eficiência para particulados) e Grupo U-ULPA(filtro de ultra baixa penetração para particulados); ensaiados sob análise do MPPS(dimensão de partícula com penetração máxima no filtro, ou seja sua eficiência menor), trouxe uma estratificação e expansão das classes de filtragem com ensaios, inclusive para aerosol. Porém, verificando recentes publicações na ANSI/ASHRAE standard 62.1(2022), Position Document on Filtration and Air Cleaning(2015), e Positions on Infectious Aerosols(2022), assim como nas EN13779:2012, sobre a qualidade do ar, nos causa perplexidade o fato de sequer existir uma única citação a cerca de tecnologias de tratamento de particulados, gases e aerosóis por rota úmida. As publicações mais recentes, numa resposta ao combate de ativos biológicos pós-COVID, citam tecnologias ativas como ozonólise, emissão UVc , fotocátalise, filtros eletrostáticos e adsorção, porém esta última com a novidade de opção reacional química da equação classica ácido + base = sal + água, mas também por rota seca com materiais impregnados reativos ao invés de apenas os tradicionais, sujeitos a desorção, como o carvão ativado. Na revisão da NBR16401, em curso, existe a previsão de uso de tecnologias por rota úmida para filtragem líquida do ar, inclusive em arranjos sem filtros mecânicos.

O crescente número e variedade de alternativas de filtragem e purificação do ar disponíveis no mercado, torna necessárias a avaliação e a orientação quanto à viabilidade da filtração e limpeza do ar como alternativas atraentes ao invés do incremento da ventilação de ar externo, técnica intensiva no consumo de energia. Adicionalmente, constata-se que a contaminação é multimodal com poluentes em estados físicos distintos e dependendo do tipo de contaminantes a serem removidos seleciona-se o princípio tecnológico para remoção de contaminantes. A publicação da ASHRAE- Position Document on Filtration and Air Cleaning(2021), cita no sumário da última revisão do documento:

- Os filtros mecânicos demonstraram reduzir significativamente as concentrações internas de partículas transportadas pelo ar. Evidências empíricas modestas mostram que seu uso terá efeitos positivos sobre saúde.
- Foi demonstrado que os filtros eletrônicos variam de relativamente ineficazes a muito eficazes na remoção de partículas transportadas pelo ar em ambientes internos. Estudos de ionizadores mostraram resultados que variam de nenhum benefício para algum benefício para sintomas agudos de saúde.
- Existem alguns purificadores de ar absorventes que demonstraram reduzir substancialmente as concentrações de contaminantes gasosos. Existem dados empíricos mínimos que indicam os efeitos dos purificadores de ar sorventes na saúde.
- Foi demonstrado que as tecnologias de oxidação fotocatalítica removem contaminantes nocivos, ser ineficaz na remoção de contaminantes e/ou gerar contaminantes nocivos durante o

processo de purificação do ar. Não há dados sobre como seu uso afeta a saúde.

- Foi demonstrado que a energia germicida ultravioleta (UV-C) inativa vírus, bactérias e fungos. Alguns estudos mostraram que as tecnologias de limpeza do ar usando desinfecção UV-C (também denominada irradiação germicida ultravioleta [UVGI]) produzem efeitos benéficos à saúde.

Há também estudos que falharam em detectar benefícios para a saúde.

- Muitos tipos de purificadores de ar autônomos embalados usando combinações de tecnologias de purificação de ar estão disponíveis. Dados científicos abordando os efeitos desses purificadores de ar em saúde são escassos e inconclusivos.

- Os efeitos negativos para a saúde surgem da exposição ao ozônio e seus produtos de reação. Consequentemente, os dispositivos que usam a reatividade do ozônio para limpar o ar não devem ser usados em espaços ocupados. Extrema cautela é necessária ao usar dispositivos nos quais o ozônio não é usado para fins de limpeza do ar, mas é emitido involuntariamente durante a limpeza do ar processo como um subproduto de sua operação.

Apesar das recomendações sobre desenvolvimentos futuros de dispositivos de filtragem e limpeza de ar serem enfaticamente detalhadas e recomendadas, mais uma vez não são sequer vislumbradas, em quaisquer um dos fóruns técnicos americanos ou europeus, por outro lado o emprego de tecnologias do campo industrial, consagradas pela literatura, como a lavagem do ar por aspersão líquida, fluxo turbulento ou centrifugação, são sequer citadas, apesar do consenso de todos que após uma precipitação pluviométrica o ar fica limpo.

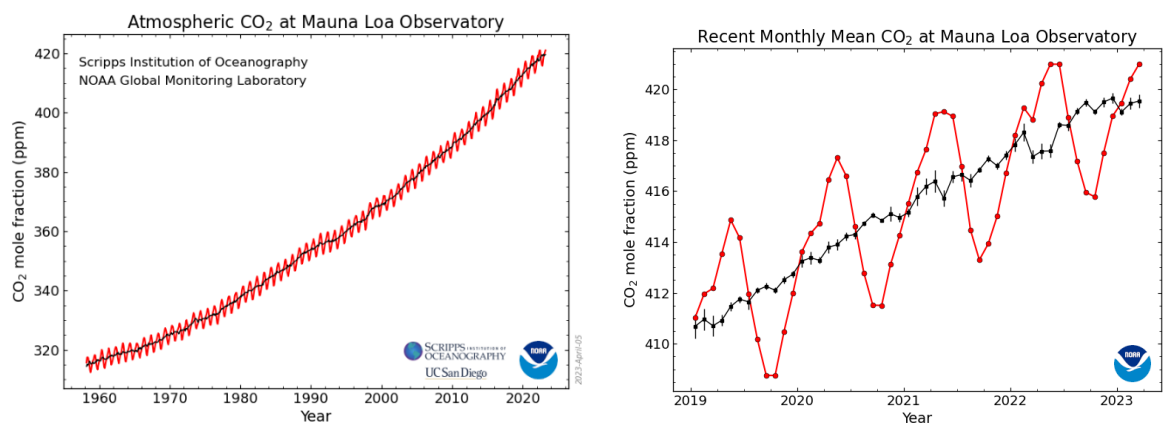
Temos a convicção de que o tratamento do ar por via úmida refrigerada irá assegurar a qualidade do ar, e permitir a redução nas taxas de ventilação do ar externo, face a redução drástica do teor de ácido carbônico, nosso conhecido CO₂, responsável em grande parte pela necessidade de taxas elevadas de ar externo nos sistemas de climatização das edificações.

Como o título do trabalho sugere, a matéria prima está modificada; hoje temos na Europa as classes de qualidade do ar externo da seguinte forma: ODA 1- se aplica onde as diretrizes da OMS (2005) e quaisquer normas nacionais de qualidade do ar padrões ou regulamentos para ar externo sejam cumpridos; ODA 2 - se aplica onde as concentrações de poluentes excedem as diretrizes da OMS ou quaisquer padrões ou regulamentos nacionais de qualidade do ar para ar externo por um fator de até 1,5; ODA 3 - se aplica onde as concentrações de poluentes excedem as diretrizes da OMS ou quaisquer padrões ou regulamentos nacionais de qualidade do ar para ar externo por um fator superior a 1,5, e surge a citação dos poluentes gasosos típicos a serem considerados na avaliação do ar ambiente externo para o projeto de sistemas de ventilação e ar condicionado, como os óxidos de carbono, enxôfre e nitrogênio, ozônio, chumbo e compostos orgânicos voláteis; nesse sentido a standard 62.1 da ASHRAE(2022) no appendix E-tableE-1 lista "ips literi" os seis poluentes classificados pela EPA-NAAQS- National Ambient Air Quality Standards (40 CFR part 50), em outras edições era uma

mistura de padrões de diversas entidades internacionais e americanas trazendo grande ambiguidade e dificuldade de aplicação.

Mas, atualmente a descarbonização da atmosfera do nosso planeta é um desafio da humanidade, pois os reflexos são globais, como demonstrado nos impressos gráficos do clima em localidades ermas onde o ar está ruim ou péssimo. Já, se considerarmos o impacto gasoso, a questão é mais democrática, pois o dióxido de carbono é um gás e como tal se expande continuamente, conforme medição em localidades isoladas como Manua Loa no Hawai que mostram a mudança da tangente, alertada em 2000, configurada conforme demonstrado no grafico 3, onde temos a evolução em cordilheira das taxas de CO₂ na atmosfera global com valores como 421 ppm de CO₂ em abril de 2023.

Gráfico 3 Evolução da concentração de ácido carbônico na atmosfera



Fonte: <https://gml.noaa.gov/ccg/trends/mlo.html>, 2023.

3 FILTRAGEM LÍQUIDA DO AR

Desde 2009 estamos desenvolvendo e acompanhando implantações em tomadas de ar externo para climatização em locais com contaminantes como o negro de fumo e poeira urbana como também odores e atmosfera salina típica de zona costeira. Resultados satisfatórios e pioneiros de aplicações empíricas nos estimulam a evoluir com aplicação de tecnologias exclusivamente de rota úmida associadas a ciclos refrigerados para redução da temperatura do fluido de lavagem do ar abaixo da temperatura de bulbo úmido da região, bem como periféricos de controle de pH visando assegurar meio alcalino que garanta a neutralização de ácidos, inclusive o carbônico (CO₂). A operação dos lavadores de ar com líquido refrigerado minimiza o impacto termo-higrométrico e elimina a necessidade de "fan coil" dedicado ao ar externo.

Foto 1 Cenário TAE@precipitador hidrodinâmico refrigerado@ambiente interno.



Fonte: autor no campo, 2023.

Neste trabalho analisamos os resultados de ensaio em uma instalação implantada em 2017 num shopping no Rio de Janeiro-RJ com o objetivo de extrair a névoa salina do ar que provocou corrosão de todos os instrumentos elétricos de medição do empreendimento, culminando com um apagão em pleno horário comercial. A instalação, além de qualificar nos aspectos físico-químico, tem controle termohigrométrico, pois não há dissipação térmica na sala, sendo aplicado um banco de resistências e um evaporador secundário na linha de forma a garantir ao longo de todo ano e sob qualquer condição o "set up" de projeto: 24°C@55% U.R. Desde a entrega o sistema protege o ambiente interno e a observância do elevado teor de material fuliginoso abatido pelo equipamento que opera por centrifugação líquida multiventuri, demonstrou-se adequado para que seja avaliado nos aspectos de extração hidráulica de material particulado e absorção de dióxido de carbono. Os parâmetros sob análise serão material particulado nas frações de PM₁₀, PM_{2,5} e PM_{1,0}, enquanto que o gasoso será o dióxido de carbono (CO₂). Temos assim a análise em espectros equivalentes aos aplicados em unidades de tratamento do ar (UTA). Neste ponto cabe registrar que no tocante ao abatimento hidráulico de material particulado, a filtragem líquida tem uma característica exclusiva de performance constante em contraponto à filtragem mecânica que ao longo de sua vida útil oscila desde 60% da nominal no início da campanha, até a valores acima da nominal quando na iminência de saturação.

4 ENSAIO DE CAMPO E CENÁRIOS SIMULADOS

Para a execução dos ensaios de campo foram empregados sensores de medição desenvolvidos em projeto de pesquisa apoiado pela FAPERJ que utiliza três módulos sensores dedicados, um para medição da concentração de particulados (PM1.0, PM2.5, PM4.0 e PM10), outro para medição de concentração de CO₂ e um último para medição de temperatura, umidade e pressão atmosférica.

A medição de particulado é realizada através da contagem óptica de partículas baseada em espalhamento de laser com capacidade de autolimpeza, sendo as grandezas PM4.0 e PM10 estimadas e as grandezas PM1.0 e PM2.5 efetivamente medidas. Já a medição de concentração de dióxido de carbono é baseada no método de espectroscopia não dispersiva em infravermelho de alta exatidão, sendo compensado automaticamente por variações lentas de calor e umidade. O sensor de CO₂ opera na faixa de 0 a 40.000ppm com uma incerteza expandida de medição de ± 50 ppm, e por fim o sensor integrado para medição de temperatura, umidade e pressão atmosférica é um sensor microeletromecânico (MEMS) com filtro digital IIR integrado. Esse sensor tem sua melhor capacidade de medição estimada de $\pm 0,12$ hPa para pressão atmosférica absoluta, ± 3 % para umidade relativa e ± 1 °C para temperatura.

O ensaio aplicou dois sensores, sendo instalado um na trajetória de fluxo de admissão de ar(MCQA2), gerado pela função autoaspirante do precipitador hidrodinâmico, e outro(MCQA3), a jusante da rede de dutos de insuflação na sala de medidores junto ao piso, ou seja ambiente climatizado com ar depurado.

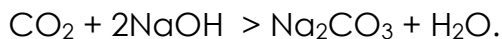
Foto 2 Sensores In-Out e medidor de CO₂ portátil



Fonte: autor no campo, 2023.

A instalação é formada por precipitador hidrodinâmico com vazão de até 3.000 m³/h de ar externo consumindo um total de 6,3 kW incluindo a refrigeração por unidade compacta da Danfoss e banco de resistências de aquecimento. Os ensaios foram desenvolvidos sob protocolo de monitoramento contínuo num período de seis dias(21-27/04/2023) de tempo estável, com reduzido tráfego por conta de feriado, em localidade nobre da cidade estritamente residencial e a cerca de 200 m de canal de ligação

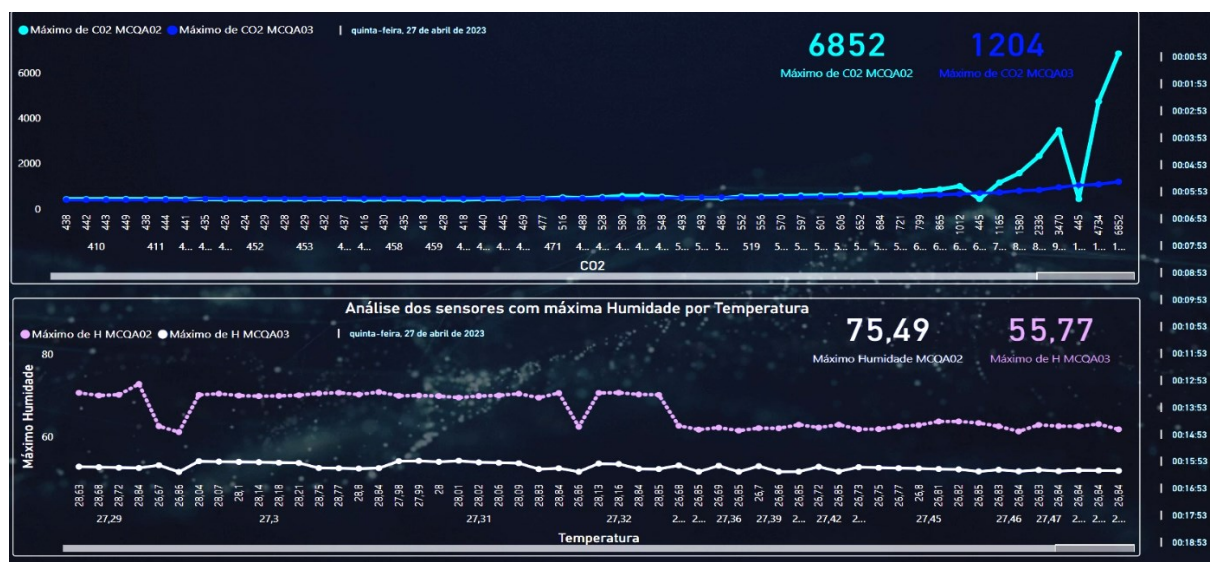
lagoa -mar com água salgada, esta é a ambiência de inserção da instalação. Foi ainda coletado líquido do equipamento no início e final do ensaio com vista a caracterizar condutividade elétrica por presença salina da atmosfera costeira e formação de carbonatos, gerados na reação de neutralização do dióxido de carbono pelo hidróxido de sódio contido no detergente empregado, conforme reação clássica ácido com base alcalina



Após alguns dias de extrema estabilidade dos dados de reduzida incidência de poluentes na região, optamos por gerar na última hora de medição a simulação de cenários extremos com vista a caracterizar o abatimento de material particulado e dióxido de carbono. Para tal foi empregado um cilindro de 10kg de dióxido de carbono, descarregado no ambiente da casa de máquinas que não recebe limpeza regular, contendo elevadas quantidades de material particulado urbano que foi resuspenso. As grelhas de tomada de ar não dispõem de nenhum tipo de filtro mecânico.

Os gráficos a seguir apresentados demonstram a estabilidade e a perturbação provocada de maneira que se alcançou valores de 6852 ppm de CO₂ no sensor de entrada e simultaneamente 1204 ppm no ambiente interno, comprovando redução de 82,4%, constatada pela elevação de 166% no teor de carbonatos no líquido circulante. Cabe registrar que o dióxido de carbono é mais sóvel no líquido gelado empregado no equipamento. O gráfico de umidade mostra a estabilidade alcançada pelo controle operante há 6 anos, através de sensores de temperatura e umidade.

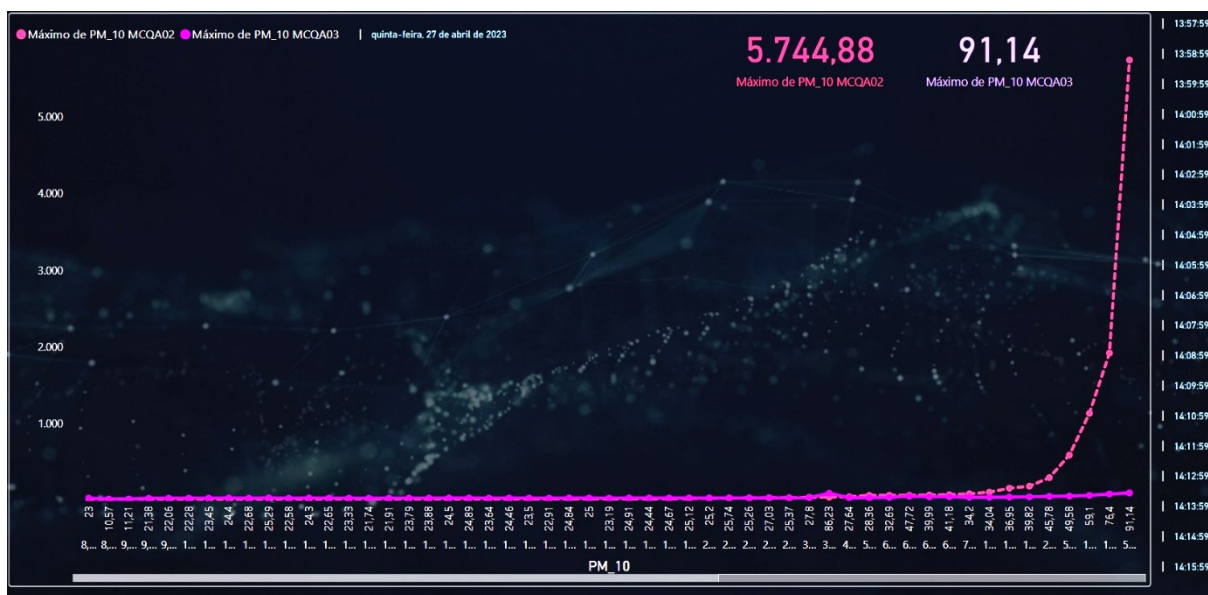
Gráfico 4- Solubilização e Absorção química de CO₂ em Cenário simulado



Fonte: 3 R Brasil Tecnologia Ambiental, 2023.

Já o comportamento do material particulado extraído hidraulicamente apresenta resultados impressionantes de 98,41% de redução para PM₁₀, já o resultado de pico para PM_{2,5} alcançou 97,7% , e para PM_{1,0} significativos 94,8% valor que eleva a tecnologia de tratamento do ar pela rota líquida ao nível equivalente mínimo de uma filtragem mecânica como F9(85-95% PM_{2,5}). A análise dos líquidos inicial e final do precipitador hidrodinâmico demonstra um incremento do teor inicial de carbonatos de 14,9 mg/l que alcançou 39,7 mg/l como CaCO₃ , enquanto o pH passou de 7 para 7,99 e a condutividade elétrica de 132,5 para 153 µS/cm demonstrando incremento de ions salinos no período.

Gráfico 5- Filtragem Líquida PM₁₀ em Cenário simulado



Fonte: 3 R Brasil Tecnologia Ambiental, 2023

Gráfico 6- Filtragem Líquida PM_{1,0} e PM_{2,5} em Cenário simulado



Fonte: 3 R Brasil Tecnologia Ambiental, 2023.

Trata-se da migração de tecnologias depuradoras consagradas em processos industriais de controle de poluentes de fontes fixas que passam a ser adequados aos requerimentos de tomada de ar urbano em edificações climatizadas.

5 CONCLUSÕES

A queda da qualidade do ar por agentes poluidores urbanos representa uma séria ameaça à saúde pública, principalmente em cidades densamente povoadas. Poluentes multimodais físico-químicos e aerossóis com ativos biológicos emitidos pela própria respiração em ar interno de edificações em áreas urbanas, requerem tecnologias versáteis e abrangentes capazes de processar com eficiência constante essa mistura de poluentes sem gerar poluentes secundários ou nocivos aos ocupantes, assim como descartáveis de resíduos classe IIA. Os resultados alcançados mostram eficiências bastante elevadas para material particulado crítico $PM_{2,5}$ e $PM_{1,0}$ alcançando o nível de filtração fina (F9) em estágio único, além de eficiência segura para poluentes gasosos associada à tecnologia universal para controle da umidade. Assim devemos incrementar os ensaios em situações diferentes e incluir agentes biológicos, ozônio e óxidos de nitrogênio, visando consagrar uma nova perspectiva para o tratamento do ar através da filtração depurativa via líquida.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos gestores e técnicos do Shopping Leblon pela disponibilização e suporte de campo para os ensaios, a 3R Brasil Soluções ambientais na pessoa do Eng. Rogério Regazzi pelas medições de campo e processamento dos dados, e a GHS de Cristiane Lacerda pela presteza na análise química dos líquidos coletados.

REFERÊNCIAS

ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning, ASHRAE Board of Directors January 29, 2015, Reaffirmed by Technology Council February 2, 2021 - Expires February 2, 2024.

ASHRAE Positions on Infectious Aerosols, ASHRAE Board of Directors October 13, 2022 - expires October 13, 2025.

ASHRAE Standard 62.1- Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality (ANSI Approved), 2022.

EN 13779- Ventilation and Air-Conditioning in Non-Residential Buildings –2012.

ISO 29463 - High efficiency filters and filter media for removing particles from air part 1-5, 2017.

Lance A Wallace, Effectiveness of Home Air Cleaners in Reducing Indoor Levels of Particles report to Environment, Canada 2008.