

## FILTRAGEM HIDRODINÂMICA DO AR, MITO OU REALIDADE

**Domenico Capulli** – domenicocapulli@gmail.com

Veltha Despoluição [www.veltha.com.br](http://www.veltha.com.br)

**Gabriel Manteiga**– gabriel.manteiga@outlook.com

Universidade Estadual do Estado do Rio de Janeiro, [www.uerj.br](http://www.uerj.br)

### F2- Qualidade Ambiental Interna

**Resumo.** *O adensamento urbano trouxe uma nova realidade da qualidade do ar, matéria prima dos sistemas de climatização, a pandemia provocada pelo SARSCoV-2 mostrou a fragilidade dos dispositivos de controle da qualidade do ar associada as impropriedades da arquitetura de pele de vidro que impede a gestão dos fluxos de ar natural. Este cenário permitiu o ensaio de diversas tecnologias que já se encontravam em aplicações pioneiras advindas do cenário de elevadas taxas de CO<sub>2</sub> e presença de particulados PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>1,0</sub> oriundos da evolução dos processos de combustão automotiva. A filtragem mecânica tem suas características de aplicação para material particulado bem conhecidas, porém mostram-se ineficazes ou dispendiosas para gases, ativos biológicos e partículas finas. Neste contexto avaliamos neste trabalho as rotas úmidas de tratamento do ar, tradicionais no cenário industrial, mas que carecem de aplicações corriqueiras nas instalações de climatização de ambientes internos, em muito, face ao impacto no teor de umidade que incrementa a energia dispendida no sistema. Nossa abordagem mostra que a umidade não é um contaminante, e que tecnologias de refrigeração associada a formulação de soluções líquidas alcalinas asseguram o efetivo controle de umidade e de contaminantes como vírus e bactérias, bem como a neutralização do ácido carbônico. Incluímos a demonstração gráfica na carta psicométrica do comportamento em sete cidades de regiões do Brasil, e apresentamos os equipamentos típicos de filtragem líquida dinâmica do ar com suas necessidades, como controle de pH, concluindo-se que a filtragem hidrodinâmica se viabiliza quando empregamos periféricos de refrigeração do líquido depurador.*

**Palavras-chave:** *Tratamento do ar, Filtragem do ar, Controle de poluentes, Qualidade do ar interno, Material particulado*

## 1. INTRODUÇÃO

A constatação da melhoria da qualidade do ar após uma precipitação pluviométrica dá a dica de que a lavagem do ar é uma rota eficiente e factível para controle de substâncias alheias a composição natural do ar, quer sejam de natureza física como material particulado PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1,0</sub>, química como óxidos de carbono, enxofre ou nitrogênio ou biológicos como fungos bolores, bactérias e vírus. Atualmente vive-se em diversas ilhas carbônicas caracterizadas por conglomerados de edificações intensamente adensadas que abrigam milhões de pessoas que se deslocam a pequenas e médias distâncias com uso intensivo de veículos a combustão interna que muitas vezes incrementadas por termoelétricas formam bacias aéreas com elevadas concentrações dos gases típicos de combustão, ou seja essencialmente os poluentes críticos da atmosfera urbana. Como solução clássica temos a prática histórica do emprego de filtros mecânicos que por sua simplicidade de aplicação associada ao baixo custo de implantação, transformaram esta rota tecnológica em exclusiva e difundida universalmente, e que caminham par a par com a elevação da criticidade dos poluentes pois a evolução da tecnologia de combustão trouxe elevada redução das taxas de emissão dos motores, porém com a geração de partículas muito finas, inclusive ditas não naturais pois são em sua maioria geradas pelo processo de combustão e moagem mecânica de argila por exemplo, essa corrida trouxe evolução dos meios filtrantes. Já no cenário industrial de emissões de fontes, estacionárias emprega-se a lavagem dos gases de exaustão de forma corriqueira sem nenhuma preocupação com a vaporização do solvente universal, água, haja vista o ar ser descarregado no meio ambiente com parâmetros de emissão que também vem evoluindo em restrição, exigindo-se tecnologias mais eficientes de retenção dos poluentes. Já nas aplicações de tratamento do ar interno de ambientes climatizados ou ventilados mecanicamente com ocupação intensiva, temos a visão de conforto como premissa importante e agora de forma imperiosa a qualidade do ar. A recente pandemia mostrou, novamente a vulnerabilidade destes ambientes desde a década de 90 por ocasião da síndrome dos Edifícios Doentes, temos induzida a necessidade de se elevar as taxas de renovação do ar que historicamente são reduzidas pela corrida da eficiência energética, e que já vinha sendo questionada pela elevada concentração de dióxido de carbono nos ambientes internos devido as recorrentes ocorrências de padrões acima do regulamentado pela RE 09 M.S. e internacionalmente pelaASHRAE62.1 e EPA que chega a constatar valores dezenas de vezes acima do mesmo parâmetro no ambiente externo. Bem a umidade do ar lavado é a barreira tecnológica histórica que inviabiliza o uso desta eficiente tecnologia multimodal que atua nas frações químicas e biológicas. Nosso estudo tem o objetivo de demonstrar a viabilidade da rota úmida como segura, eficiente e viável no tratamento do ar em ambientes climatizados.

## 2. ESTADO DA ARTE

Abordaremos apenas aplicações em ambientes internos, e de forma superficial a tecnologia dos meios filtrantes físicos, haja vista ser uma tecnologia muito difundida com seus pontos favoráveis e frágeis bem contextualizados. O advento da tecnologia split e VRF em unidades no ambiente com excelente controle do nível de ruído, praticidade de produção em larga escala e conseqüente preço de mercado acessível porém muito competitivo não foi capaz de criar, até o momento duas classes de equipamentos os de uso domiciliar e os de uso comercial e corporativo, com alguma tecnologia efetiva de controle de poluentes da atualidade. Sempre o desafio permanente da engenharia “Mais, Melhor e com Menor Custo” - MMMC, nesta toada, no início da década de 70, a crise da energia do petróleo nos levou a incrementar a circulação do ar e reduzir o consumo energético, com as conseqüências da síndrome dos edifícios doentes na década de 90, e que após mais de 20 anos, continuamos com o MMMC pela disseminação de climatização sem dutos de distribuição, com as tecnologias split system e de fluido refrigerante variável VRF ambas com severas limitações na capacidade de qualificar os aspectos físico-químico e biológicos do ar em ambientes climatizados.

Aos filtros mecânicos associaram-se rotas tecnológicas secas, como conceitos no controle de bioaerossóis como a difusão da filtragem mecânica HEPA(High Efficiency Particulate Air), fontes de irradiação U.V., ionização eletrostática, esterilização térmica, como ferramentas para os projetistas de AVACR. Nesse sentido a revisão da NBR16401 prevê como encargo do projetista parametrizar a qualidade do ar na região de inserção do seu projeto, assim como disponibilizar informação ao usuário da edificação os dados da qualidade do ar proporcionado pelo sistema de ventilação e climatização.



Figura 1 Temos em a)Centros urbanos, verdadeiras ilhas carbônicas, geram restrições de circulação dos veículos geradores da poluição, b) realidade brasileira de apenas 319 cidades com monitoramento da qualidade do ar, c) das cidades monitoradas 80% são estações muito simples que não medem as substancias nocivas, d) somente 7 cidades brasileiras com programa de monitoramento da qualidade do ar.

Este era o cenário das ultimas décadas até que, em 2019/2020, ganhamos mais um adversário invisível, assim como os gases, esses minúsculos seres vivos nos obrigam o controle de ativos biológicos, aerotransportados por material particulado, e após dois anos de convívio agressivo com o vírus do SARS-CoV-2, temos a clara percepção de que o eficiente controle das concentrações e tipologia dos constituintes alheios a composição natural do ar é uma demanda permanente e consolidada.

O usuário com o confinamento e a internet, tornou-se muito mais informado, do que formado, porém é para eles que trabalhamos; o usuário hoje de uma forma geral tem seus desejos e direitos atendidos de forma compulsória. Surge então a necessidade de uma norma especifica de qualidade do ar que além do restrito grupo de agentes químicos capitaneados pela concentração de dióxido de carbono, tenham os agentes físico-químicos-biológicos inclusos numa atualização de parâmetros da RE09 da ANVISA/MS.

A ASHRAE 62.1 na sua tabela B-1 estabelece os padrões de qualidade do ar recomendados por distintas instituições para os contaminantes físico e químicos constatados mundialmente nos ambientes internos. A ACGIH com seus índices de exposição biológica (Biological Exposure Indices - BEIs®)infeere por análise de fluidos fisiológicos a contaminação por agentes químicos nos ocupantes de ambientes laborais, mas desde 2013 temos os bioaerossóis e os compostos orgânicos voláteis -COV que são os contaminantes de origem biológica veiculados pelo ar, constituídos por microrganismos cultiváveis ou não, vivos ou mortos ou mesmo fragmentos destes, bem como toxinas e resíduos particulados de todo tipo de ser vivo.

Todas as pessoas são continuamente exposta a inúmeros agentes biológicos, todavia não existem Valores Limites de Exposição(TLV) que possam ser confrontados com concentrações medidas de agentes biológicos nos ambientes, apesar de existir TLV para diversas substancias constituintes dos agentes biológicos. Como agente biológico, classifica-se qualquer microrganismo, inclusive modificado geneticamente, cultura celular e endoparasitas humano que possam provocar infecção, alergias ou intoxicação; e microrganismos entende-se qualquer entidade microbiológica, no mínimo unicelular, com capacidade de se reproduzir e transferir material genético.

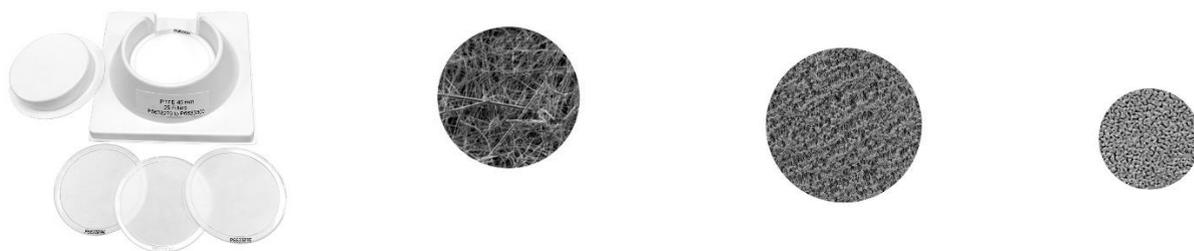
## MERCOFRIO - 13º CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

Conforme, este autor publicou no XVII CONBRAVA 2021, os MVOCs-Microbial Volatile Organic Compounds e os marcadores biológicos(BEIs- Biological Exposure Indices) serão parâmetros mais específicos de qualidade do ar em futuro próximo.

A Covid -19 tornou popular estes termos e conhecimento, mesmo apesar da infecção hospitalar ser uma das maiores “causa mortis” em períodos extra pandêmicos, como o atual que já causou mais de 6,37 milhões de mortes segundo a Universidade Johns Hopkins, número assustador, porém até escrevermos este artigo tínhamos banalizado, em minha mente, dados da OMS de que 4,5 milhões de pessoas morrem anualmente devido a poluição do ar e a surpreendente afirmação do professor de saúde pública da Universidade de Tufts, Douglas Brugge, afirmou que as partículas podem ir do nariz para o cérebro por meio do nervo olfativo, assim, afetando o sistema nervoso central das crianças e podem acelerar o ritmo de declínio cognitivo dos adultos, elevando o risco de problemas como o Alzheimer. O nosso escopo de interesse está restrito aos agentes biológicos com transmissão pelo ar como o atual SARS-CoV-2, e os conhecidos vírus do sarampo, catapora ou varicela, influenza, caxumba, difteria, tuberculose. O novo surto de varíola silvestre monkeypox, vírus que pertence ao gênero orthopoxvirus da família Poxviridae, e é considerada uma zoonose viral (o vírus é transmitido aos seres humanos a partir de animais) com sintomas muito semelhantes aos observados em pacientes com varíola, a transmissão ocorre por contato próximo com lesões, fluidos corporais, gotículas respiratórias, partículas das lesões aerosuspensas e superfícies contaminadas.

Marcadores Futuros de contaminantes biológicos testáveis (por exemplo, endotoxinas, micotoxinas, antígenos ou compostos orgânicos microbianos voláteis); são substâncias microbianas, vegetais ou animais, que podem ser detectadas por ensaios químicos, imunológicos ou biológicos. As relações dose-resposta para alguns bioaerossóis testáveis foram observadas em estudos experimentais e, ocasionalmente, em estudos epidemiológicos. Portanto, T.L.V. para algumas dessas substâncias esta possível de ser estabelecido como marcador futuro da qualidade do ar nos aspectos biológicos, à exemplo do dióxido de carbono CO<sub>2</sub> consagrado marcador da qualidade química do ar.

Por outro lado as tecnologias de medição qualitativa e quantitativa de material particulado em suspensão evoluíram quer sejam na coleta e leitura, inclusive de forma contínua, permitindo o monitoramento de partículas em suspensão, concentração de dióxido de carbono e agora, por conta da tecnologia que iremos discutir da filtragem hidrodinâmica refrigerada, a concentração de oxigênio de forma a podermos gerenciar de forma bastante precisa a tomada de ar externo requerida agora em ambientes controlados e com ferramentas de gestão de intervenção inclusive remota.



membrana de PTFE PM 2.5

membrana fibra vidro Gf 1,6 μ

membrana PTFE 0,1 μ

membrana de prata

Figura 2 Evolução das técnicas de medição permitem a certificação de performance na qualidade do ar para índices micrométricos e gasosos.

O mercado foi inundado por diversas apresentações de tecnologias, inclusive algumas com restrições de aplicação em ambientes ocupados, como emissão de raios UVc ou fontes de fotocatalise que atuam, inclusive nos dutos, sendo capazes de eliminar a atividade dos esporos de fungos até os vírus, desde que consiga-se ionizar o ar no potencial suficiente para romper a estrutura do LPS do vírus; esta tecnologia, a do precipitador eletrostático e as lâmpadas UVc são potenciais geradoras de ozônio residual e devem ter seus teores monitorados nos ambientes, haja vista a limitação, para ambiente interno laboral de 0,1 ppm (OSHA/ 8 h /dia), e no afã de alcançar soluções alguns ensaios de pulverização de glutamato de amônio nas pessoas e superfícies, ou seja não estávamos preparados, e neste contexto equívocos ocorrem entretanto atualmente as instalações já começam a dispor de sistemas estáveis e confiáveis de controle de ativos biológicos.

# MERCOFRIO - 13º CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

## 2.1 CRITÉRIOS DE CONFORTO X QUALIDADE DO AR

O controle da umidade, sob a ótica do conforto, na faixa de UR 45-55% @24 °C +/-0,5°C permanece pacificado como o parâmetro de equilíbrio desta mistura gás-líquido vaporizado. Entretanto a vantagem do ar seco favorecer a sensação de conforto, pois eleva o gradiente de vaporização do suor, está em questionamento, pois gera ressecamento das membranas do sistema respiratório dos ocupantes e provoca ressecamento do muco que normalmente deve ser pegajoso e espesso e pode reter alergênicos, partículas e microorganismos, portanto, é mais provável que você fique resfriado porque seu muco não é capaz de reter contaminantes que você respira. O ar seco provoca o agravamento de asma, bronquite, sinusite e hemorragias nasais, além do fechamento dos brônquios o que dificulta o fluxo sanguíneo nos pulmões, com isso aumenta a densidade do sangue e o esforço que o coração precisa realizar para bombeá-lo, ampliando o risco de problemas cardíacos e até de acidente vascular-cerebral (AVC).

Este contraponto entre conforto e efeitos fisiológicos são reais, e a proliferação de umidificadores de ambientes é uma resposta de primeira mão que deve ser incorporada de forma profissional aos sistemas de climatização; já na revisão da NBR16401, seguindo tendência da ASHRAE, temos a metodologias de cálculo de conforto dos ocupantes em ambientes internos climatizados que aceitam faixas mais amplas de conjugação do trinômio das variáveis responsáveis pelo conforto (velocidade-umidade específica e temperatura) a partir do conceito de Temperatura Efetiva Padrão- SET que considera o resfriamento do corpo assegurado pela circulação do ar .

Em 1972 Fanger, na sua publicação de Conforto Térmico estabeleceu a partir do método gráfico que utiliza uma sobreposição em um gráfico psicrométrico para indicar as temperaturas operacionais e a umidade em que o conforto térmico é alcançado no inverno (1,0 clo) e no verão (0,5 clo). Ele é baseado no modelo do voto predito médio (“ Predicted Mean Vote (PMV)”). Este modelo gráfico de zona de conforto tem aplicabilidade limitada a condições em que a taxa metabólica dos ocupantes é de 1,0-1,3 atingida e a taxa de umidade está abaixo de 12 g H<sub>2</sub>O/kg de ar seco. Se esses requisitos forem atendidos e as condições ambientais dentro do edifício estiverem dentro das faixas indicadas, a conformidade térmica ambiental será alcançada conforme preconiza-se na ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

Já a questão da formação de colônias fúngicas de mofo temos que considerar que no controle de umidade se aplica o sistema de circulação do ar que impeça a formação de bolsões de ar estagnado e assegure a renovação e homogeneização do ar; bem este é o ponto histórico que impediu o uso de consagradas tecnologias de tratamento do ar, por via úmida, em sistemas de ar circulante de ambientes internos, mesmo apesar de ter vantagens flagrantes, como performance constante já que não é acumulativo e sim extrativo, atua de forma multimodal em contaminantes físico-químico e biológicos de forma simultânea, não gera descartáveis perigosos pois os contaminantes são neutralizados “in situ”, velocidades de processamento do ar mais elevadas importando em equipamentos mais compactos.

## 2.2 CENÁRIO ATUAL DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO DE AMBIENTES INTERNOS.

Ambientes internos condicionados são ambientes controlados, a questão é que as tecnologias de climatização para condicionar ambientes perseguem a eficiência energética de certificadoras LEED e o desafio do NET Zero das edificações climatizadas, como metas a serem alcançadas nesta década; em contraponto de termos que prever maiores volume de mistura de ar externo para diluição do dióxido de carbono e concentrações crescentes de ativos biológicos e/ou adoção tecnologias de depuração físico-químico-biológica do ar, sempre intensivas em energia em função dos grandes volumes manipulados e as necessidades cinéticas de contato para eficiente transferência de massa e energia.

A humanidade tem desconsiderado as consequências de nossos atos com o meio ambiente, mudanças climáticas também estão alterando os valores extremos de secas e chuvas, causando desconforto e aumento de alergias e doenças respiratórias. Cabe registrar que a umidade não é um contaminante, muito pelo contrario ela é fundamental para nossa permanência em ambientes internos lacrados das edificações com pele de vidro que se mostraram muito inadequadas e vulneráveis na recente pandemia.

Neste cenário à aplicação de novas tecnologias de tratamento do ar, inclusive previstas na parte 3 Qualidade do Ar da nova edição da NBR16401, ganham espaço para interagir na fluido dinâmica dos sistemas de climatização, criando circuitos paralelos ou integrados ao da circulação do ar, com tecnologias capazes de extrair contaminantes de todas naturezas, inclusive o CO<sub>2</sub> na filtragem líquida alcalina do ar através de purificadores do ar em rota úmida e que permite ajustar a umidade relativa do ar, ou seja os usuários passam a ter gestão do ar no aspecto qualidade, em que se busca sua composição natural.

MERCOFRIO - 13º CONGRESSO INTERNACIONAL DE  
AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

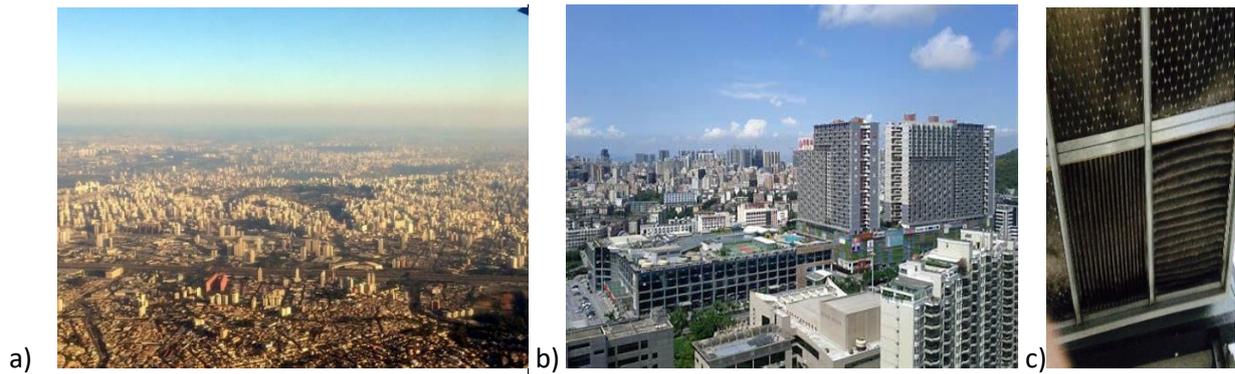


Figura 3 Em a) Cidade de São Paulo com cinturão de poluentes, b) a mesma cidade com céu limpo após precipitação pluviométrica, c) conjunto de filtros saturados de tomada de ar externo em hospital no centro da capital paulista. A ambiência de inserção dos projetos de climatização deve considerar os cenários mais críticos de qualidade do ar e adotar tecnologias mais eficientes nas bacias aéreas saturadas.

As rotas úmidas interferem na composição e teores de umidade do ar insuflado, apesar de serem tecnologias conhecidas e consagradas, necessitam de customização para esta aplicação, nos conceitos de controle de umidade e controle de ativos biológicos capazes de promover colonizações em superfícies como os fungos e seus esporos. A lavagem do ar com água natural tem eficiência relevante pois a água é classificada na química como o solvente universal; entretanto nesta aplicação invertida, a de insuflação do ar depurado em ambientes internos, mesmo que apesar de as taxas de concentração de poluentes serem 1.000 vezes menores, de miligramas das chaminés de fontes estacionárias para microgramas na qualidade do ar, temos particularidades a serem observadas e parâmetros a serem ajustados como tensão superficial da água, pH para controle do ácido carbônico  $\text{CO}_2$  e o impacto da umidade elevada, um verdadeiro tabu no segmento por conta de ocorrências fúngicas em função de operações inadequadas.

O emprego de resfriadores de ar classificados como evaporativos ou adiabáticos, em sistemas de ventilação de ambientes, em circuitos abertos, tem larga tradição principalmente em regiões secas como o planalto central, onde se consegue uma redução da carga térmica do ar expressiva pela vaporização da água, tendo-se como resultado um ar de brisa na temperatura de bulbo úmido da região. A grande evolução destes dispositivos deu-se pelo desenvolvimento de colmeias de celulose capazes de se umectarem e promoverem uma troca térmica mais efetiva na passagem do ar através da mesma. Entretanto estes dispositivos apresentam graves restrições de uso em ambientes com poluentes urbanos que ancoram na superfície celulósica provocando entupimentos e formação de núcleos de ativos biológicos. São superfícies estáticas que expostas ao fluxo de ar recebem toda carga de contaminantes em sua superfície que acaba se prestando a base de ancoragem e formação de depósitos.

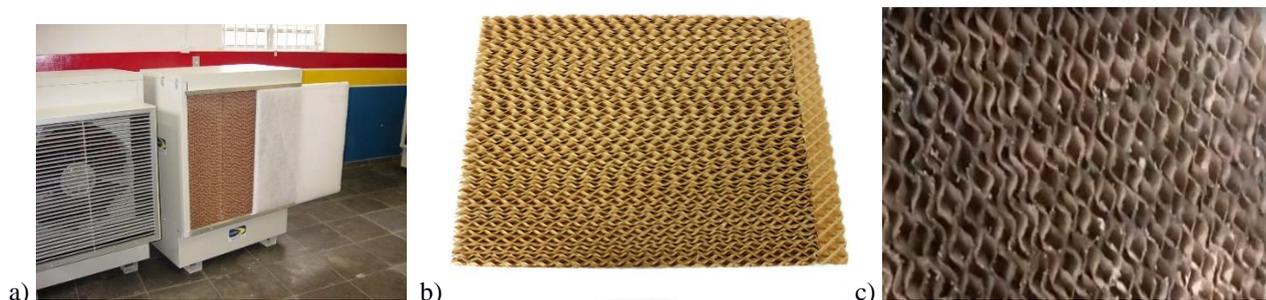


Figura 4 a) Gabinete com ventilador e colmeia de resfriador evaporativo do ar, b) estrutura interna de colmeia de celulose de umectação do ar por vaporização induzida, c) colmeia suja com ancoragem profunda de poluentes urbanos.

Nesta toada, os lavadores de gases tipo torre de recheio, com anéis de Pall ou Rashing, tanto contracorrente como co-corrente, (“scrubbers”), lavadores venturi e os precipitadores hidrodinâmicos alcançam, se construídos com estrita observação dos parâmetros da literatura, uma performance para retenção de particulados equivalente ou superior à dos filtros mecânicos classe F8 (65-85% $\text{PM}_{2,5}$ ), ou seja, são capazes de reter partículas que se prestam como aerotransportadoras dos microrganismos portanto controlando, indiretamente, a população de microrganismos.

## MERCOFRIO - 13º CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

Na lógica funcional dos equipamentos pela rota úmida temos alguns processos físicos de atuam na eficiente extração do material particulado que é o carreamento, ou seja o arraste hidráulico do material particulado umectado e a lixiviação independentemente da tensão superficial da partícula pois o efeito é mecânico.

A customização da aplicação destes equipamentos, por rota úmida, recebe aditivos no liquido circulante capaz de maximizar o desempenho e a conformidade operacional, como o emprego de detergentes alcalinos biodegradáveis, capazes de reduzir a tensão superficial do líquido e garantir o encharcamento hidráulico da partícula e que, simultaneamente, alcalinizam o meio garantindo a continuada retenção de dióxido de carbono por reação química estável na formação de bicarbonato de sódio, e por garantir um pH no liquido, é capaz de dissolver a capa de LPS-lipopolissacarídeo de microrganismos, que são inativados. Portanto o simples uso de detergente alcalino inodoro, estável e biodegradável assegura o controle dos poluentes biológicos, químicos e otimiza a extração de material particulado, bem como impede a formação de incrustações bioativas no próprio equipamento.



Figura 5 a) e b) Resíduos de material particulado abatido, basicamente negro de fumo inerte, c) tanque com liquido alcalino cor âmbar e pH=8, sem nenhuma formação de biofilme após 5 meses de pandemia com a água e detergente alcalino.

### 2.3 A TIPOLOGIA MÚLTIPLA DOS CONTAMINANTES.

Bem somos todos pacíficos na questão de que os ativos biológicos são vulneráveis à ação de agentes alcalinos conforme o mote da campanha de combate da COVID19 de “lavem as mãos” com detergente alcalino, e assim se dá em toda microbiologia.

Já a questão do dióxido de carbono, um marcador de qualidade do ar, apesar de classificado como inerte, é na realidade um ácido orgânico fraco e já está patente que conviver por longos períodos em atmosferas ricas no ácido carbônico(ou dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ ) acidula o sangue, e a longo prazo provoca a descalcificação dos ossos(fosfato e carbonato de cálcio) pela reação clássica de ácido + base = sal + água. Estudos no Canadá registrados na edição de 2020 do “Residential Indoor Air Quality Guidelines (RIAQG)” cita que já em 1987 se demonstrava os efeitos adversos fisiológicos diretos à saúde (ou seja, aumento da acidez do sangue) que foram observados em humanos após várias semanas de exposição contínua, com base na literatura de saúde e toxicológica disponível na época. Recentemente grande parte da literatura sobre saúde humana explorou concentrações de exposição ao  $\text{CO}_2$  bem acima do que seria esperado em ambientes fechados em circunstâncias normais (< 3.000 ppm), sendo portanto cenários improváveis; entretanto alguns estudos de exposição prolongada ou repetida ao  $\text{CO}_2$  exploraram concentrações de exposição típicas para ambientes internos canadenses. Por exemplo, sintomas respiratórios ou de membrana mucosa (irritação nos olhos, garganta dolorida ou seca, nariz entupido, congestionado, coriza, espirros e tosse) eram mais prováveis de serem relatados por indivíduos expostos a concentrações de  $\text{CO}_2$  > 800 ppm do que indivíduos expostos a níveis mais baixos de  $\text{CO}_2$  (Tsai, Lin e Chan 2012; Norbärk et al. 2011). Concentrações de dióxido de carbono > 1.000 ppm foram associadas a um risco maior de apresentar rinite (espirros ou nariz escorrendo ou entupido) (Simoni et al. 2010). Outros estudos em condições controladas ou em ambientes escolares ou de escritórios mostraram associações entre aumento da prevalência de sintomas neurofisiológicos e concentrações elevadas de  $\text{CO}_2$ . Níveis de dióxido de carbono > 984 ppm foram associados com falta de concentração (da Conceição Ferreira e Cardoso 2014) e aqueles > 1500 ppm com maior prevalência de dores de cabeça, tonturas, cabeça pesada e cansaço (Myhrvold, Olsen e Lauridsen 1996). Lu et al. (2015) e Muscatiello et al. (2015) relataram maiores chances de experimentar sintomas neurofisiológicos com níveis aumentados de  $\text{CO}_2$ . As conclusões publicadas por distintos centros de pesquisa mundiais reunidas no RIAQG de 2020, mostram de forma inequívoca não haver sentido se aceitar composições atmosféricas internas com elevadas taxas de  $\text{CO}_2$ , ou seja até 3 x a reinante no ambiente externo, sob a premissa primaz do conforto termo- higrométrico. A gestão do sistema de climatização de ambientes internos deve permitir a especificação de pontos operacionais de temperatura, umidade e concentração de dióxido de carbono. No controle deste último parâmetro,  $\text{CO}_2$ , a filtragem hidrodinâmica ja demonstrou por laudos circunstanciados a redução do  $\text{CO}_2$  interno à níveis inferiores em 10,5 % aos externos em ambientes ocupados(GHS laudo RJ, 06/04/2009.RT n.º

## MERCOFRIO - 13º CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

02232/09.-Rev 00) ao invés dos 1000ppm da RE09 ou o valor recomendado pela ASHRAE de 700ppm + [CO<sub>2</sub>] externo e que deverá ser vigente na nova edição da NBR16401.

Na realidade o projetista de HVAC vive um dilema difícil entre equilibrar o consumo de energia com as exigências cada vez mais imperativas acerca da qualidade do ar, não só nas concentrações de material particulado mas com certeza nos teores gasosos, biológicos e até radioativos representados pelas emissões do decaimento do radônio contido em areias da construção, classificadas como NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), que tem restrições típicas de 800 Bq/m<sup>3</sup>, como uma única ocorrência teto anual, o Becquerel mede a atividade radioativa do ambiente, enquanto o Sievert(Sv= J/kg) mede a dosimetria de radioatividade absorvida por seres vivos.

### 3. DEPURADORES DE AR TÍPICOS POR ROTA ÚMIDA

Como tudo tem pros e contras, o uso de lavadores úmidos em linha do fluxo de ar, promovem alterações de suas condições termo- higrométricas, por efeitos de transferência de massa e energia, sendo os contaminantes removidos por arraste hidráulico, reação química ou dissolvidos no meio líquido. São tecnologias tipicamente multimodais pois atuam no controle de poluentes físicos, químicos e biológicos, quer sejam inorgânicos ou orgânicos. Ajustes nas condições de operação (“set point”) do sistema devem ser realizadas para compensar o aumento de umidade de maneira a atender os requisitos de conforto.

Quando falamos da eficácia destas tecnologias de rota úmida, tem-se que ter em mente o conceito fundamental que está baseado na necessidade de convergência da entropia para maximizar as transferências de massa e o uso de água alcalina refrigerada para minimizar o impacto na entalpia do sistema. Portanto a eficácia dos depuradores de ar via úmida está diretamente vinculada ao meio mecânico de contato entre os fluidos em fases distintas, e para alcançar este efeito sinérgico temos, a seguir, as rotas tecnológicas que exercem uma ação depuradora do ar por rota úmida

I) Lavadores de Gases (“scrubbers”) e torres de recheio, equipamentos estáticos que dispõem de carenagem retangular ou circular tipo torre, onde ocorre a aspersão de uma solução líquida alcalina num ambiente de velocidade reduzida de maneira a permitir a umectação e arraste hidráulico do material particulado, condensação de vapores, solubilização de gases e/ou reação química de oxidação de ativos biológicos, porém a eficiência é limitada, devido ao reduzido contato; para contornar isto pode-se operar com enchimentos que aumentam a superfície de contato como anéis de pall e rashing, com a consequente elevação da perda de carga podendo atingir mais de 1000 Pa. São equipamentos com os prós de baixo custo, tecnologia simples e de domínio público, e que tem como pontos negativos a eficiência menor e as grandes dimensões. Os modelos verticais são mais efetivos pois tem um tempo de residência gás - líquido maior no contrafluxo das correntes.

II) Lavadores Venturi com elevada sinergia de contato promovido por uma grande corrente de líquido no ramal principal que induz um vácuo no ramal aferente em “Y” para aspirar o ar induzido em uma garganta venturi com elevada energia de contato que favorece as transferências de massa e energia em regime turbulento, o aumento de consumo de energia é diretamente proporcional a eficiência. Requerem elevadas alturas para montagem do arranjo vertical fato que inviabiliza seu uso em ambientes internos.

III) Precipitadores Hidrodinâmicos, equipamentos dinâmicos e autoaspirantes que consorciaram o efeito venturi com a força centrífuga objetivando elevada sinergia de contato para favorecer as transferências de massa e energia. Requerem construção em matérias nobres face a intensa abrasão e um consumo de energia proporcional a eficiência alcançada. Trata-se de um reator dinâmico que promove as reações de neutralização e arraste hidráulico de partículas a partir de 0,5 µ, com elevada eficiência principalmente operando com líquido refrigerado. Tem como ponto negativo o investimento mais elevado e o consumo de energia inferior ao dos venturi e equivalente ao das torres de enchimento.

Recentes desenvolvimentos aplicam sistema de refrigeração, via expansão direta ou com serpentina de água gelada, imersa no circuito hidráulico do fluido depurador, solução líquida alcalina, agora refrigerada, de maneira a retirar energia do fluxo gasoso favorecendo a solubilização de gases, odores e do dióxido de carbono num meio reacional alcalino capaz de transformar este gás num sólido solúvel de forma a garantir o controle desta emissão deste gás do efeito estufa. Outros periféricos que as tecnologias de rota úmida aceitam são o uso da aplicação de lâmpadas UV-C imersas em líquido em sistemas da rota úmida visando garantir o controle de microrganismos vivos no circuito hidráulicos destes equipamentos principalmente em sistemas de tomada de ar para climatização de ambientes internos.

Esta versão de tecnologias de rota úmida, operando com líquido refrigerado, pode-se operar com o processamento parcial da vazão de maneira a “secar” o ar na mistura com o saldo da vazão no retorno do fluxo ao evaporador; outra forma seria prever uma serpentina com uma capacidade maior de retirar calor latente e garantir o controle de umidade, em contrapartida estas tecnologia não geram elementos descartáveis contaminados( descarte Classe IIA), atuam no controle de toda tipologia de contaminantes presentes no ambiente e tem performance constante pois é um processo extrativo, invés de retenção mecânica dos filtros que requerem a formação da camada inicial de filtrado (“wall cake”) para alcançar sua melhor performance.

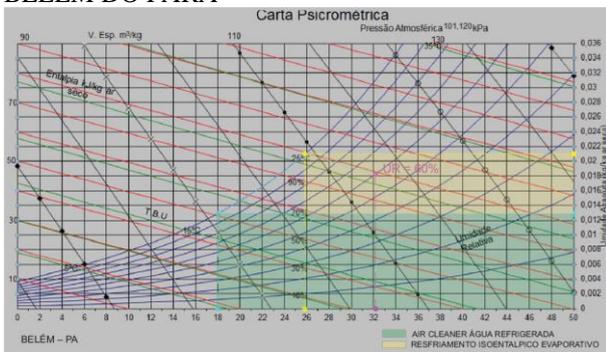
# MERCOFRIO - 13º CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

Em conclusão, o sistema de climatização de ambientes internos deve ser capaz de controlar a umidade em níveis adequados a fisiologia dos usuários, e ao mesmo tempo abaixo dos limites que propiciem o crescimento fúngico ( $UR > 70\%$ ), planejar uma distribuição de fluxos em varredura nos ambientes eliminando zonas de ar estagnado, e em associação de uma eficiente tecnologia de depuração do ar pela extração ou filtração de esporos e fungos que possam ancorar em superfícies úmidas, e ali iniciar uma colonização danosa a saúde e as instalações. A malha de controle do sistema tem um papel fundamental para absorver as oscilações de densidade ocupacional dos ambientes internos e as sazonalidades da localidade de inserção do projeto. Estas ferramentas com certeza serão aliadas aos profissionais do segmento na convicção dos empreendedores da necessidade de que o ar deve ser condicionado nos aspectos de temperatura, umidade e qualidade físico-químico-biológico.

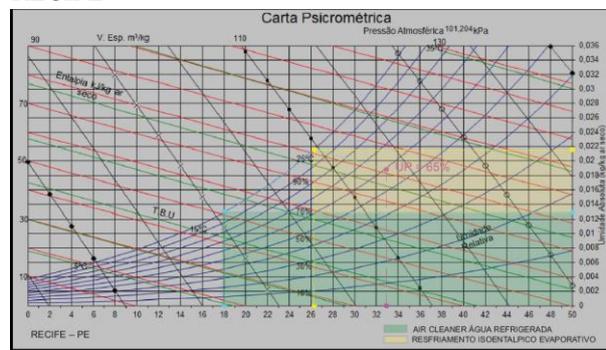
## 4. SIMULAÇÃO DO IMPACTO DA FILTRAGEM LÍQUIDA DO AR X RESFRIAMENTO ISOENTÁLPICO NA CARTA PSICOMÉTRICA EM DIFERENTES CENÁRIOS REGIONAIS DE CAPITAIS DO LITORAL E DO INTERIOR, DO SUL AO NORTE E DO LESTE AO OESTE.

Dados da Tabela A4 Parâmetros climatológicos de Projeto, na condição verão com incidência de 2% na planilha da temperatura de bulbo seco (Tbs) máximo coincidente com temperatura de bulbo úmido (Tbu)- NBR16401.

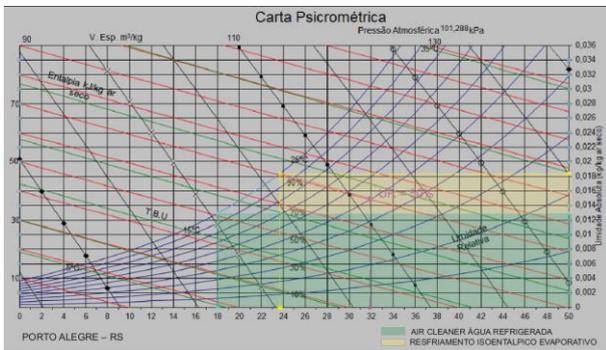
### BELEM DO PARÁ



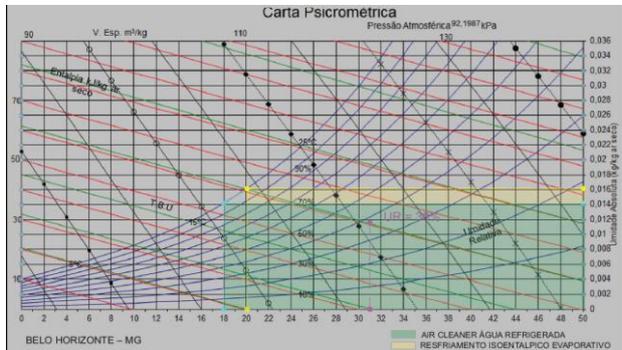
### RECIFE



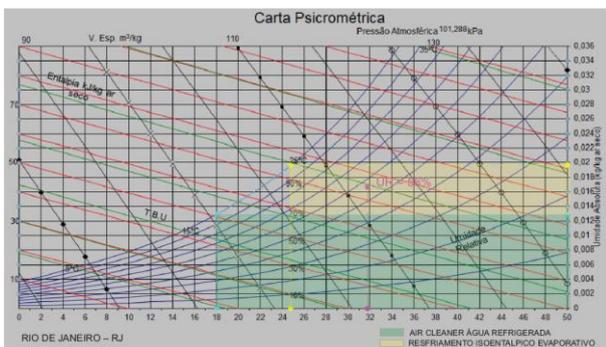
### PORTO ALEGRE/RS.



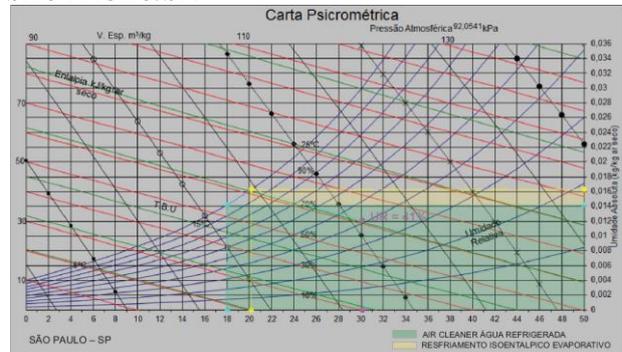
### BELO HORIZONTE/MG.



### RIO DE JANEIRO/RJ.



### SÃO PAULO/SP.



# MERCOFRIO - 13º CONGRESSO INTERNACIONAL DE AR CONDICIONADO, REFRIGERAÇÃO, AQUECIMENTO E VENTILAÇÃO

BRASÍLIA/DF, Dois pontos operacionais

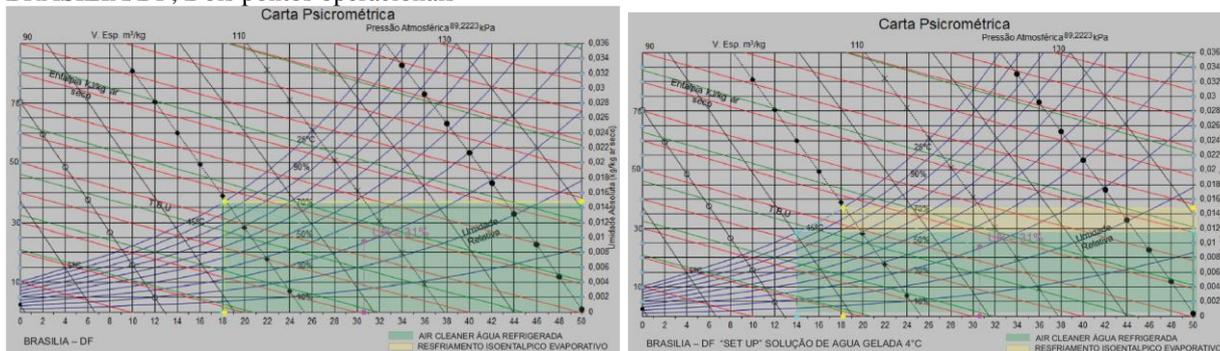


Figura 6 Carta psicrométrica em diversas metrópoles brasileiras, com comparativo entre tecnologias de filtragem líquida com efeito evaporativo em lavadores de ar versus centrifugação líquida refrigerada, com simulação de mudança do ponto de operação como ferramenta de controle da umidade na simulação da cidade de Brasília.

Da análise dos gráficos e áreas delimitadas pelas rotas tecnológicas temos, a zona amarela com maiores teores de umidade e a verde como zona gerenciável de umidade, com o diferencial primordial do controle de agentes físico-químicos e biológicos extraídos do fluxo com elevada eficiência e performance constante. Quanto as questões de transferência de massa entre fluidos em estados físicos gasoso e líquido podemos concluir que:

Temos a demonstração clara de que a depuração do ar refrigerada nos precipitadores hidrodinâmicos consegue disponibilizar um ar com umidade absoluta 61% menor que o resfriamento isoentálpico tradicional ou mesmo a lavagem do ar com água, em regiões tropicais úmidas.

A filtragem líquida refrigerada tem vantagens termo- higrométricas nas zonas litorâneas e tropicais sobre o resfriamento isoentálpico.

O resfriamento isoentálpico alcança a mesma quantidade de água, umidade absoluta, em regiões secas tornando imperioso a operação da filtragem líquida com um ponto de operação da solução refrigerada mais baixo, por exemplo solução à 30 % de etileno glicol a 4°C em Brasília e alcançando, assim níveis menores de umidade, além de gestão das condições reinantes nos ambientes.

O grande diferencial da rota úmida é o fato de atuar em todas as tipologia de contaminantes inclusive para sais dissolvidos na umidade típica de zonas costeiras onde a tomada de ar externo torna elegível apenas estes tipos de equipamentos e dispositivos visando a preservação da confiabilidade operacional e a preservação patrimonial.

Raciocínio idêntico temos nas aplicações para redução do teor de dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio (“gás dos pântanos”) ou a condensação de compostos orgânicos voláteis (VOC) sendo assim a solução inclusive para situações críticas de insalubridade laboral por questões térmicas e/ou químicas.

## 5. CONCLUSÃO

O argumento da umidade incontrolável nos processos de filtragem líquida do ar está contornado, pelo emprego de sistemas de refrigeração que permitem gerenciar a extração por condensação da água. O comparativo gráfico da tecnologia de filtragem líquida refrigerada com o tradicional resfriamento evaporativo demonstra que além de alcançar valores gerenciáveis de temperatura e umidade, em algumas regiões esse esforço termodinâmico não é tão elevado.

A evolução das tecnologias de tratamento das emissões atmosféricas ou da tomada de ar em sistemas de ventilação e climatização está diretamente atrelado a valoração da matéria-prima: ar, que acreditamos, num futuro próximo, passe a ser cobrado, principalmente em processos de separação de gases da atmosfera para comercialização. A conjunção com as novas percepções quanto ao “direito” de respirar um ar saudável e biologicamente seguro, até para ameaças biológicas e químicas novas e desconhecidas trazendo a conscientização do quanto somos afetados, a nível pessoal, uma grande esperança de termos soluções que preservem a qualidade do ar como uma questão primaz nos projetos; contribuição fundamental para disseminação das ferramentas da filtragem líquida para serem utilizadas nos projetos do segmento de ventilação e tratamento do ar em sistemas de climatização.

### Agradecimentos

Registramos nossos agradecimentos ao Eng. Luíz Fernando Bueno, da LFB engenharia pelo pioneirismo na aplicação da filtragem líquida em sistemas de climatização no Kinoplex Calhau/MA e no catering Newrest Guarulhos

## 6. REFERÊNCIAS

- ACGIH. 2022 TLVs and BEIs baseados na documentação dos Limites de Exposição Ocupacional(TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposições(BEIs).ABHO 2022.
- ANSI/ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- ASHRAE. 2010. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE *Standard* 55-2010.
- ASHRAE. 2010. Ventilation for acceptable indoor air quality. ANSI/ASHRAE *Standard* 62.1-2010.
- Brugge Douglas Traffic-related particulate matter affects behavior, inflammation, and neural integrity in a developmental rodent model. Department of Public Health Sciences, Tufts University 2021.
- Da Conceição Ana Maria, Massano Cardoso Qualidade do ar interno e saúde em escolas. *Jornal Brasileiro de Pneumologia* 2014.
- Fanger, P. O. Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering 1972.
- <https://butantan.gov.br> notícias variola dos macacos sintomas transmissão
- Laudo GHS RT n.º 02232/09. Relatório técnico de qualidade do ar Givaudan 2009.
- NBR16401 Instalações de ar condicionado sistemas centrais e unitários ABNT 2008.
- Resolução RE09 ANVISA Ministério da Saúde 2003.
- RIAQG Residential Indoor Air Quality Guidelines Water and Air Quality. Bureau Health Canada 2021.
- Tsai, Lin e Chan 2012; Norbärk et al. carbon dioxide 2011. Lignes directrices sur la qualité de l'air intérieur résidentiel DIOXYDE DE CARBONE. Bureau Health Canada 2021.

## HYDRODYNAMIC AIR FILTRATION, MYTH OR REALITY

**Abstract** Urban densification brought a new reality of air quality, raw material of air conditioning systems, the pandemic caused by SARSCoV-2 showed the fragility of air quality control devices associated with the inadequacies of the glass skin architecture that prevents management of natural air flows. This scenario allowed the testing of several technologies that were already in pioneering applications arising from the scenario of high CO<sub>2</sub> rates and the presence of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>1.0</sub> particulates arising from the evolution of automotive combustion processes. Mechanical filtration has its application characteristics for particulate matter well known, but they are ineffective or expensive for gases, biological actives and fine particles. In this context, we evaluate in this work the humid air treatment routes, traditional in the industrial scenario, but which lack common applications in indoor air conditioning installations, largely due to the impact on the moisture content that increases the energy spent in the system. Our approach shows that moisture is not a contaminant, and that refrigeration technologies associated with the formulation of alkaline liquid solutions ensure effective control of moisture and contaminants such as viruses and bacteria, as well as the neutralization of carbonic acid. We included the graphic demonstration in the psychrometric chart of behavior in seven cities in regions of Brazil, and we present the typical equipment of dynamic liquid air filtration with their needs, such as pH control, concluding that hydrodynamic filtration is feasible when we use debugger liquid cooling.

**Keywords:** Air treatment, Air filtration, Pollutant control, Indoor air quality, Particulate matter