

The reduction of CO2 with the help of vegetation to improve the air quality of workrooms

Ana Paula Magalhães Jeffe ¹, Beatriz Costa Bergler ², Bruna De Carli Borba ³,
Fernanda Werlich dos Passos⁴, Carlos Eduardo Varzola Vaz ⁵

¹ Federal University of Santa Catarina, Brazil
ana.jeffe@posgrad.ufsc.br
beatriz.bergler@posgrad.ufsc.br
bruna.decarli@ufsc.br
werlich.passos@ufscbr
cevv00@gmail.com

Abstract. This article presents a study that addresses the importance of indoor air quality. The research aimed to understand how the use of specific plants can enhance air quality in work environments. The methodology involves a prototype with two sensors to measure CO₂ concentration in a space without natural and mechanical ventilation, considering the use of plants for air purification. The results demonstrate the variation in CO₂ levels with and without the presence of plants and occupants. While a reduction in CO₂ levels was observed with the use of plants, under high occupancy, the vegetation wasn't sufficient to maintain recommended levels. The conclusion emphasizes the need for sensor calibration, as well as the proportional relationship between CO₂ accumulation in the environment and the quantity of plants required to uphold air quality.

Keywords: Internet of Things; Air quality; Big data; Atmospheric Pollutants

1 Introdução

Conforme a atmosfera do trabalho muda da economia industrial para a do conhecimento, o *design* do escritório e da sala de aula procura adaptar-se (Greene & Myerson, 2014). A chamada “classe criativa” de jovens altamente qualificados pode ser encontrada não apenas em seus locais de trabalho, mas também em bares e restaurantes para discutir assuntos profissionais e pessoais, revelando a necessidade de lugares não apenas para negócios, mas sim, para a interação em grupos, em uma cultura de colaboração, exploração, autonomia e iniciativa (Greene & Myerson, 2014). Esses ambientes criativos estão em diferentes contextos, como espaços domiciliares, educacionais ou profissionais, incubadoras ou espaços *maker* e a interação dos ocupantes influencia no seu desempenho. Por exemplo, em um escritório aberto, colegas de trabalho podem compartilhar ideias e tarefas, contudo, a integração

aumenta a concentração de gases no ambiente, podendo gerar distração, problemas de concentração e estresse (Prado, et. al., 2022). Sendo assim, faz-se necessário estudar maneiras de manter os espaços com condições adequadas para convivência e bem-estar dos indivíduos durante as suas horas de ocupação.

1.1 As relações colaborativas e suas consequências no ambiente fechado

Com a evolução das TICs (Tecnologias de Informação e Comunicação), houve a mudança das maneiras de se relacionar no ambiente físico, seja corporativo ou educacional; com a presença de conversas, grupos, compartilhamento de ideias e a construção do conhecimento em conjunto (Molla, 2021).

Sendo assim, segundo Yarn et. Aal. (2013), atualmente os usuários passam mais de 80% do tempo em ambientes fechados, os quais têm rotinas de estudo e trabalho em colaboração com outros indivíduos, permanecendo em ambientes privativos e comuns - cozinhas e *lounges* - ao longo do dia (Wagner, & Watch, 2017). Ambientes internos como espaços de trabalho e salas de aula, normalmente, mantêm uma densidade de pessoas por longos períodos de tempo e com baixa renovação do ar, o que favorece a concentração de dióxido de carbono (CO₂) liberado pela respiração (Prado, et. al., 2022).

O ar impacta diretamente na saúde humana e a má qualidade do mesmo nos ambientes internos tem grande associação a sintomas como tosse, alergias, rinite, entre outras, sendo o acometimento destas doenças reconhecido pela OMS como a Síndrome dos Edifícios Doentes (SED), (Schimer, et. al., 2011). Assim, à medida que a concentração de CO₂ no ambiente é aumentada, tem-se a tendência dos usuários sentirem insuficiência de ar (Schirmer, 2011) e, em concentrações elevadas, pode acarretar em enfermidades crônicas e agudas, tornando os indivíduos letárgicos em locais não saudáveis para longas permanências.

1.2 Perspectivas para a redução de poluentes no interior de edifícios

Tendo em vista a problemática da concentração de CO₂ nos ambientes de trabalho e estudo e suas possíveis soluções, sabe-se que as plantas têm um potencial de promover a renovação do ar através do processo de fotossíntese. Um estudo feito com vasos de plantas no interior dos edifícios mostra que a maioria dos poluentes atmosféricos provenientes de fontes internas ou externas podem ser removidos por meio das mesmas. O estudo foi realizado em doze escritórios de 10m² a 12m² e alguns eram abastecidos com 6 a 8 renovações de ar-condicionado por hora, ou apenas permaneciam com as janelas fechadas frequentemente (Tarran et al., 2013). A partir disso, foram retiradas dez amostras de CO₂ em dois períodos de tempo, por cerca de nove semanas em ambientes com a presença e ausência de vasos de plantas. Como resultados, apontou-se uma redução de 10% nos níveis de CO₂ em escritórios com o uso de ar-condicionado e 25% com os que usam a ventilação

natural. Além do mais, sempre que os níveis subiam acima de 100 ppb qualquer um dos plantios reduzia as cargas em até 75%, sempre abaixo de 100 ppb novamente (Tarran et al., 2013).

Esta solução portátil, flexível e atraente para resolver a poluição do ar, é capaz de complementar qualquer medida de engenharia, podendo ser utilizada em qualquer edifício, e desta forma, tornando-se uma tecnologia padrão para melhorar a qualidade do ar interno (IAQ).

A norma técnica da Resolução ANVISA Nº 09/2003 (Anvisa, 2003), declara que para o monitoramento de ambientes com área útil de até 1.000 m² é necessário apenas um ponto amostral no centro do ambiente, e que os valores máximos recomendados para que se evite possíveis contaminações químicas são de 1000 ppm de dióxido de carbono.

Sendo assim, buscando compreender o impacto do uso de vegetação na qualidade do ar em ambientes de trabalho isentos de ventilação natural, este estudo realizou um experimento por meio de um protótipo com sensores que captam a concentração de CO₂ no ambiente de trabalho estudado, trazendo algumas discussões que podem nortear boas práticas para redução na concentração de dióxido de carbono. Desta maneira, busca-se contribuir com a promoção da melhora na qualidade do ar, e por consequência, melhora na produtividade das pessoas nos ambientes de trabalho.

2 Metodologia

A metodologia de estudo estrutura-se em cinco estágios: (1) realizar a medição com a placa de prototipagem eletrônica de código aberto (Arduino) com sensores de CO₂, para obter dados vindos do ambiente interno; (2) armazenamento de dados; (3) tratamento dos dados para interpretar a concentração de CO₂; (4) Associar os resultados obtidos com a permanência das pessoas e com a inserção e proporção de vasos de plantas, a fim de avaliar o impacto da vegetação na redução de concentração de CO₂ no ar.

O processo de desenvolvimento da primeira etapa, iniciou com o desenvolvimento do protótipo do sensor para as medições. Posteriormente, foram realizados alguns testes preliminares no local escolhido para o estudo. Os dados coletados foram salvos em uma base de dados virtual, e, em seguida, realizou-se o processamento dos dados e as análises dos resultados.

2.1 Montagem do protótipo

Inicialmente, foi realizada a montagem do protótipo com os seguintes componentes:


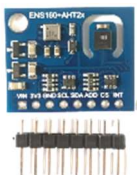


Elementos	Imagem ilustrativa	Descrição
Arduino UNO		Placa de prototipagem eletrônica de código aberto é um microcontrolador composto por circuitos de entrada e de saída.
Sensor ENS160+AHT2X		Sensor de CO2, para monitorar a qualidade do ar em ambientes internos (400 a 65.000 ppm)
Sensor MQ135		Sensor de CO2, para monitorar a qualidade do ar em ambientes internos (10 a 1.000 ppm)
Conectores (jumpers, USB)		São fios elétricos para realizar conexões entre componentes

Tabela 1. Elementos constituintes do protótipo. Fonte: Autores, 2023.

O sensor de medição ENS160 utiliza uma solução digital de sensor multigás com quatro elementos sensoriais que podem ser usados em uma ampla gama de aplicações. O controle independente da placa de aquecimento permite a detecção de compostos orgânicos voláteis (VOCs) e oferece algoritmos inteligentes para processar medições brutas do sensor no *chip*. Esses

algoritmos calculam a concentração equivalente de CO₂ - índice de qualidade do ar (AQIs). Por outro lado, o sensor MQ135 - segue a tipologia MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) - e apresenta uma integração de alta densidade de funções lógicas a um *chip*. Este último sensor é baseado em silício e utiliza transistores de efeito de campo (FET) na elaboração dos circuitos, como o MOSFET - responsável por controlar a tensão e a corrente elétrica para o funcionamento do dispositivo.

Utilizaram-se estas duas tipologias de sensores de CO₂ visando comparar o desempenho entre os mesmos - os quais têm padrões de funcionamento e abrangência diferentes - pois com a realização de alguns testes preliminares verificou-se que há diferenças de alcance e concentração do gás (ppm) em cada sensor. Após a montagem, foi realizado o desenvolvimento do código para que houvesse o funcionamento adequado dos sensores e, após algumas tentativas, chegou-se ao código final.

Foi escolhido como ambiente de estudo o laboratório de uma universidade, de aproximadamente 14,86m², que possui estações de trabalho com computadores e mesa de reuniões, conforme planta baixa apresentada na figura 2. As portas e janelas do ambiente foram mantidas fechadas, para que não houvesse a circulação do ar durante a permanência das pessoas. Durante o experimento não houve uso da ventilação natural ou mecânica.

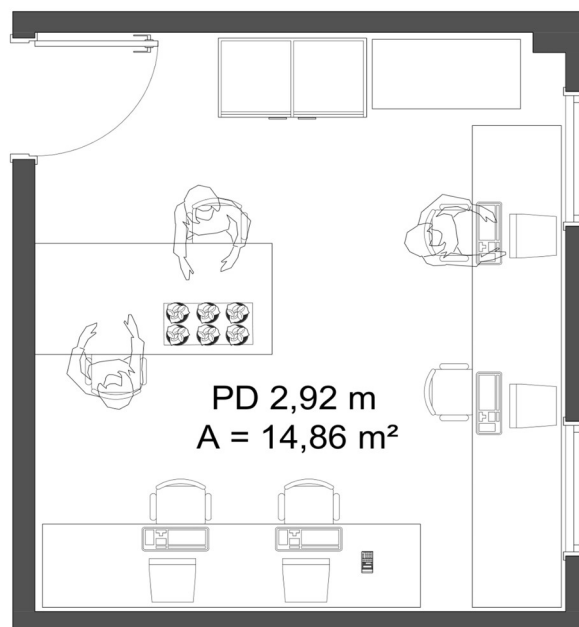


Figura 2. Planta baixa do ambiente de estudo.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Para este estudo foi realizado um levantamento acerca de diferentes espécies de plantas que se adaptam a ambientes fechados e que possuem a capacidade de auxiliar na purificação do ar interno, somente com a utilização de ar condicionado sem renovação de ar. A partir deste levantamento, escolheu-se utilizar a planta Espada-de-São-Jorge (*Sansevieria zeylanica*) por ser uma das melhores vegetações para melhorar a qualidade do ar interno absorvendo passivamente as toxinas e contribuindo com o bem-estar dos usuários (Afrasiabian et al., 2016).

2.2 Medições de concentração de CO₂, armazenamento e tratamento de dados

Para a realização do experimento e extração de dados, foi estipulada uma divisão de dias e períodos para realizar as medições acerca da concentração de dióxido de carbono com a permanência de usuários em um espaço fechado e inserção com a intervenção das plantas (figura 3). O experimento contou com a participação de três voluntários, os quais permaneceram no ambiente e realizaram as medições.



Figura 3. Organização para a medição em escala maior.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No primeiro período, alternou-se entre 1 hora de permanência das pessoas, com 1 hora de ambiente vazio, para que pudesse avaliar quais são os níveis de concentração de CO₂ normais em um ambiente sem a circulação de ar e sem plantas. No segundo período, houve a permanência das pessoas por 1 hora com a inserção de 6 unidades de plantas, e alternância com o ambiente vazio, para que se avaliasse como ficariam os níveis de concentração de CO₂ com a inserção da vegetação no local. No terceiro período, ocorreu novamente a permanência das pessoas por 1 hora no ambiente, mas desta vez, com o

dobro da quantidade de plantas e a alternância com o ambiente vazio, visando avaliar se ocorria uma possível diminuição ou estabilização nos níveis de CO₂ com o aumento de plantas.

Os dados gerados durante o experimento foram salvos em arquivo txt, organizados de forma cronológica e sequencial. Foram gerados resultados de cada período de medição, onde comparou-se os valores obtidos pelos dois sensores de acordo com os períodos e critérios de permanência no ambiente de estudo.

3 Resultados

A fim de se avaliar os dados coletados, gerou-se resultados que demonstram os níveis de concentração de CO₂ ppm (partes por milhão de dióxido de carbono) coletados pelos dois sensores utilizados, a fim de comparar os as medições realizadas com os mesmos. Também, foram obtidos resultados comparando as diferentes situações sem e com o uso das plantas, com a finalidade de se verificar se houve a redução na concentração de dióxido de carbono com a permanência da vegetação no ambiente de estudo.

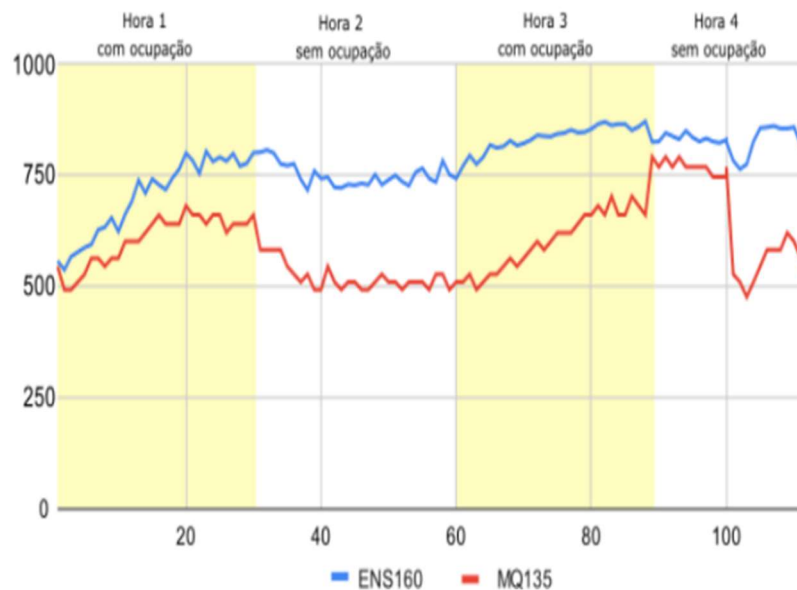


Figura 4. Medições de CO₂ sem o uso de plantas.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No primeiro período de medição (figura 4), realizado sem a utilização das plantas no ambiente, observa-se que, ambos os sensores apresentam que os

níveis de concentração de CO₂ aumentam durante os intervalos com ocupação, e decaem com o ambiente vazio. Este comportamento se repete em todos os períodos de medição, independente do uso das plantas para o auxílio da purificação do ar. Pelos resultados das medições do sensor MQ 135, constatou-se que há redução representativa nos níveis de CO₂ com o ambiente desocupado. O que demonstra que existe uma relação entre a velocidade em que ocorre a diminuição destes níveis e o tempo que isto leva para ocorrer.

Nos períodos de medição com o uso das plantas no ambiente (figuras 5 e 6), nota-se com os dados gerados pelo sensor MQ135 que há um decaimento significativo nos níveis de CO₂, principalmente na primeira hora em que a sala é desocupada, após ser ocupada. Na segunda medição (figura 5) vemos que os níveis atingem patamares acima dos 750 ppm com ocupação, e com o ambiente desocupado estes níveis chegam abaixo dos 500 ppm. No caso do período sem o uso das plantas (Figura 4), os dados gerados pelo mesmo sensor mostram que esta diferença é menor.

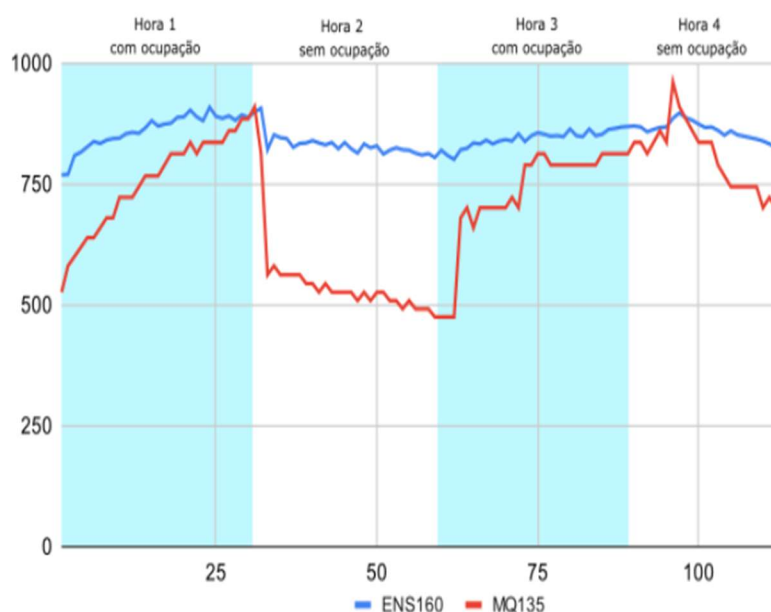


Figura 5. Medições de CO₂ com o uso de plantas.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Nos dois primeiros períodos de medição (figura 4 e 5) as condições do ambiente no momento de início das medições eram as mesmas, com o ambiente fechado e sem ocupação anterior. A diferença no momento das medições nestes dois momentos foi que, para o segundo período houve o uso da vegetação. Neste caso nota-se uma diferença e uma maior variação nos valores medidos pelo sensor MQ 135, do que para o sensor ENS 160.

De forma geral observou-se nos resultados obtidos que houve uma maior variação nos dados gerados pelo sensor MQ 135 em relação ao sensor ENS 160, o que demonstra uma maior sensibilidade deste sensor na leitura dos níveis de CO₂. Esta diferença de comportamento nas medições entre os dois sensores, pode ter ocorrido devido às diferenças de funcionamento de cada um, ou devido a falta de calibração do sensor ENS 160, sendo que houve a calibração do sensor MQ 135.

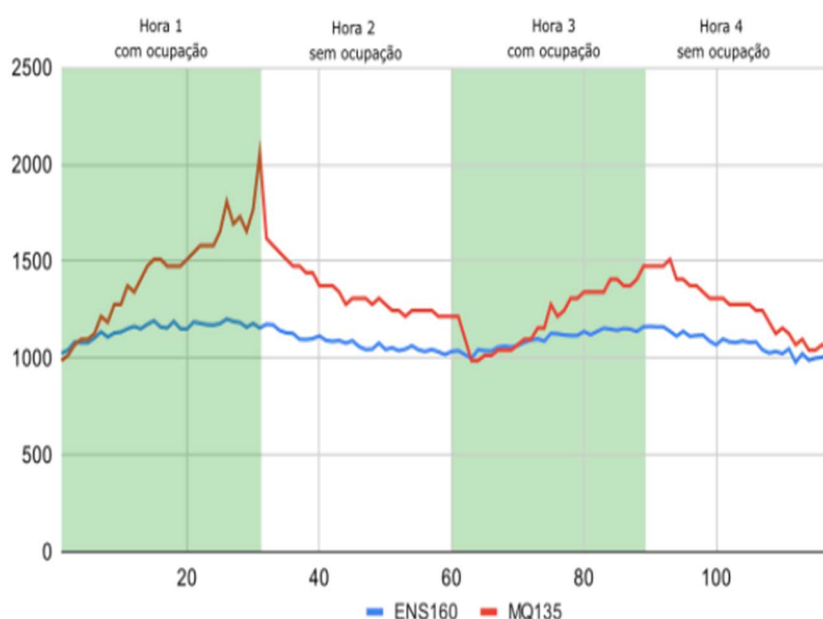


Figura 6. Medições de CO₂ com o uso de 2 vezes mais plantas. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No último período de avaliação realizado (figura 6), houve um aumento significativo na concentração de CO₂, ultrapassando os níveis recomendados pela Resolução ANVISA N° 09/2003, chegando em picos acima de 2.000 ppm. Tal fato possivelmente ocorreu, dado o acúmulo de quantidade de Dióxido de Carbono, visto que houve a permanência de pessoas no local no mesmo dia no período da manhã, condições diferentes dos outros períodos de medições. Outro fator que pode ter contribuído para este acúmulo foi que o ambiente de estudo permaneceu fechado e sem renovação de ar nos períodos entre as medições.

Apesar do acúmulo de CO₂ observado devido a um tempo maior de ocupação no ambiente, no terceiro período de medição também houve um decaimento nos níveis de Dióxido de Carbono devido ao uso das plantas, porém menor que o segundo período (figura 5). Entretanto neste caso observou-se que nem o aumento na quantidade de plantas foi proporcional ao acúmulo de CO₂, ao ponto de reduzir os níveis abaixo de 1.000 ppm, conforme limite estabelecido pela Resolução ANVISA N° 09/2.003. Assim sendo necessário trazer outras soluções para estabilização dos níveis de concentração e melhora na qualidade do ar.

Redução dos níveis de CO₂ - Por sensor

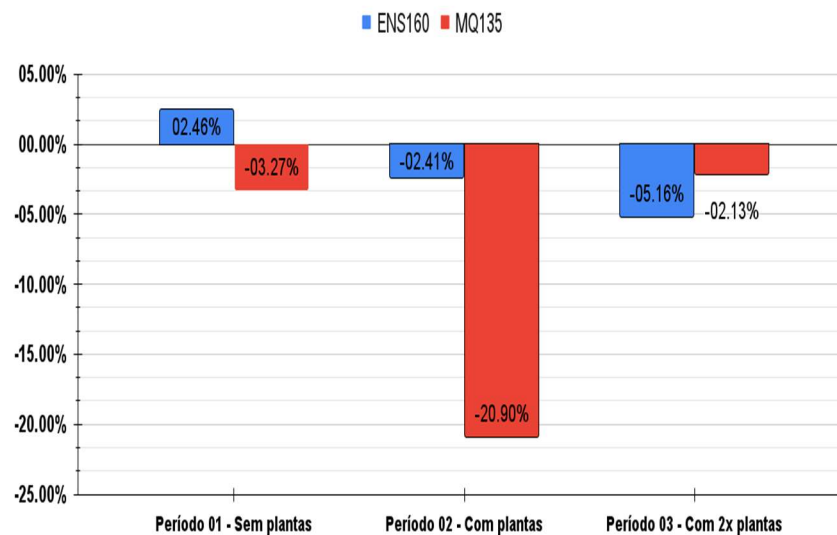


Figura 7. Medições de CO₂ com o uso de 2 vezes mais plantas.
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Os resultados de ambos os sensores demonstraram que com o uso das plantas houve redução da concentração de CO₂ no ambiente. Observou-se que do primeiro período medição sem plantas para o segundo com plantas, houve uma redução de 17,63 pontos percentuais nos dados gerados pelo sensor MQ135 (figura 7). Por meio dos dados gerados pelo sensor ENS 160 os resultados demonstram que também houve redução dos níveis de CO₂, apesar de menor, de 7,62 pontos percentuais entre o primeiro e o terceiro período com o uso do dobro de plantas (figura 7). O que vai de encontro com estudos feitos por Tarran, et. Al (2023), mostrando que com a presença de vasos de plantas, se obtém uma redução significativa na concentração de CO₂ e CO (P<0,004) em escritórios com e sem ar-condicionado em uma média de 8 a 14%.

4 Discussão

Por meio do estudo realizado podemos concluir que os níveis de CO₂ obtidos com o uso de dois sensores com funcionamento distintos, podem gerar uma variação significativa nos dados de medição, o que pode vir a afetar os resultados obtidos. Portanto, para uma maior confiabilidade na obtenção dos dados, é importante a calibração dos sensores e a verificação da sensibilidade dos mesmos na medição dos níveis de CO₂. Como limitações, temos as características dos sensores que foram utilizados, que são modelos mais simples de baixo custo, que possibilitam realizar medições em ambientes universitários. Estes poderão ser utilizados em disciplinas do curso de arquitetura que visam abordar temas de prototipagem eletrônica e modelagem com estudantes de graduação.

Também foi possível concluir que o uso de plantas específicas para melhoria da qualidade do ar interno reduz os níveis de dióxido de carbono em um ambiente fechado e sem ventilação natural. Entretanto, também existe uma relação de proporção entre o acúmulo de CO₂ no ambiente e a quantidade de plantas, que deve ser suficiente para manter os níveis de dióxido de carbono dentro dos níveis recomendados.

Em pesquisas futuras, pretende-se constituir gêmeos digitais em experimentos de outros espaços de trabalho e educacionais, visando melhorar a saúde e o desempenho dos usuários nos ambientes internos. Assim como realizar novas medições a fim de relacionar a proporção de quantidade de plantas para reduzir a concentração de CO₂ no ar, comparando os resultados obtidos.

Referências

Afrasiabian, H., Hododi, R., Imanieh, M. H., & Salehi, A. (2016). Therapeutic Effects of Sansevieria Trifasciata Ointment in Callosities of Toes. *Global Journal of Health Science*, 9, 264. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v9n2p264>

Csurhes, S., & Edwards, R. (n.d.). Potential Environmental Weeds in Australia: Candidate Species for Preventative Control.

Irga, P. J., Torpy, F. R., & Burchett, M. D. (2013). Can hydroculture be used to enhance the performance of indoor plants for the removal of air pollutants? *Atmospheric Environment*, 77, 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.04.078>

Norma Regulamentadora (NR). (2022). *NR-33 Segurança e saúde nos trabalhos em espaços confinados*.

Redlich, C. A., Sparer, J., & Cullen, M. R. (1997). Sick-building

Yarn, K.-F., Yu, K.-C., Huang, J.-M., Luo, W.-J., & Wu, P.-C. (2013). *Utilizing a Vertical Garden to Reduce Indoor Carbon Dioxide in an Indoor Environment*. 20(10).

Torpy, F. R., Irga, P. J., & Burchett, M. D. (2014). Profiling indoor plants for the amelioration of high CO₂ concentrations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(2), 227–233. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.12.004>

Tarran, J., Torpy, F., & Burchett, M. (2023). *Use of living pot-plants to cleanse indoor air—research review*.

Schirmer, W. N., Pian, L. B., Szymanski, M. S. E., & Gauer, M. A. (2011). A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. *Ciência & Saúde Coletiva*, 16, 3583–3590. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232011000900026>

Prado, R. A. J. D., Cordeiro, L. F. A., Alexandre, J. L. D. A., & Sales, A. T. (2022). Monitoramento das condições ambientais (CO₂, temperatura e umidade) através de sensores de baixo custo em ambiente escolar. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 9(21), 97–107. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2022\)092106](https://doi.org/10.21438/rbgas(2022)092106)