



REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

AVALIAÇÃO DO CONFORTO AMBIENTAL E DOS BIOAEROSSÓIS FÚNGICOS EM HOSPITAIS PÚBLICOS NA CIDADE DE FORTALEZA, CEARÁ, BRASIL

Josiany Costa de Souza ¹
Lara do Nascimento Lopes ¹
Rita Sannara Bandeira do Nascimento ¹
Jéssica Rocha de Lima ¹
Lydia Dayanne Maia Pantoja ²
* Rinaldo dos Santos Araujo ¹

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL COMFORT AND FUNGAL BIOAEROSOLS IN PUBLIC HOSPITALS IN FORTALEZA, CEARA, BRAZIL

Recibido el 22 de marzo de 2020; Aceptado el 12 de mayo de 2021

Abstract

Indoor air quality and environmental comfort in hospitals are critical factors for the well-being and prevention of diseases for patients, health professionals and visitors. In this context, the present study aimed to assess environmental comfort and atmospheric fungal contamination in hospitals with different degrees of care complexity in a Brazilian big city. The study was carried out in two hospital units of secondary (medium complexity) and tertiary (great hospital) levels, in the city of Fortaleza, Ceará, Brazil. Experimentally, the parameters of temperature, relative air humidity, CO₂ concentration and fungal contamination were evaluated in environments such as the medication room, care room, medical emergency room and intensive care unit. From Brazilian legislation, the results obtained showed that CO₂ showed a high degree of non-compliance (100%) in all hospital environments, except for the emergency room in the tertiary hospital (16%). For fungal contamination, the amount of bioaerosols showed concentrations between 50-250 CFU/m³, well below the recommended limit of 750 CFU/m³. A qualitative identification of the fungi indicated the predominance of *Aspergillus* and *Penicillium* genera, which are pathogenic or toxigenic in nature. In general, the results obtained reinforce the need for periodic monitoring of environmental parameters and the nature of microbial bioaerosols in indoor air of the public hospitals to reduce the health risks of patients and other persons.

Keywords: anemophilous fungi, environmental comfort, indoor air quality, public hospitals.

¹ Departamento de Química e Meio Ambiente, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil.

² Centro de Ciências da Saúde, Universidade Estadual do Ceará, Brasil.

*Autor correspondente: Rinaldo dos Santos Araújo. Departamento de Química e Meio Ambiente. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Avenida 13 de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza, Ceará. 60040-531. Brasil. rinaldo@ifce.edu.br

Resumo

A qualidade do ar interior e o conforto ambiental em hospitais são fatores críticos para o bem-estar e prevenção de doenças a pacientes, profissionais de saúde e visitantes. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o conforto ambiental e a contaminação fúngica atmosférica em ambientes hospitalares com diferentes graus de complexidade de atendimento em uma grande cidade brasileira. O estudo foi realizado em duas unidades hospitalares de níveis secundário (média complexidade) e terciário (hospital de grande porte), na cidade de Fortaleza, Ceará, Brasil. Experimentalmente foram avaliados os parâmetros de temperatura, umidade relativa do ar, CO₂ e contaminação fúngica em ambientes como sala de medicação, sala de atendimento, consultório de emergências médicas e unidade de terapia intensiva. Quando considerada a legislação brasileira, os resultados obtidos mostraram que o CO₂ apresentou elevado grau de desconformidade (100%) em todos os ambientes hospitalares, a exceção do consultório de emergências no hospital terciário (16%). Para a contaminação fúngica, o quantitativo de bioaerossóis apresentou concentrações entre 50 e 250 UFC/m³, bem inferior ao limite recomendado de 750 UFC/m³. A identificação qualitativa dos fungos indicou a predominância dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, os quais são de natureza patogênica e/ou toxigênica. Em geral, os resultados obtidos reforçam a necessidade de um monitoramento periódico dos parâmetros ambientais e da natureza dos bioaerossóis microbianos no ar interior em hospitais públicos como forma de reduzir os riscos à saúde de pacientes, laborais e transeuntes em geral.

Palavras chave: fungos anemófilos, conforto ambiental, qualidade do ar interior, ambiente hospitalar.

Introdução

A Organização Mundial da Saúde (OMS) relata que em média a cada ano morrem 7 milhões de pessoas decorrente de doenças associadas a poluição atmosférica. Além disso, foi apontado que 570,000 crianças menores de 5 anos vão a óbito por doenças associadas a quadros de infecções respiratórias que são intensificados pela má qualidade do ar (WHO, 2018).

As problemáticas associadas a destruição do meio ambiente se tornaram globalizadas, sendo evidenciadas em todo o planeta. Dentre estas, a poluição atmosférica merece destaque por afetar países com alto e baixo grau de desenvolvimento social ou econômico. Ademais, a poluição do ar, intensifica o agravamento de diversos casos de doenças cardiovasculares, asma, infecções respiratórias, além de contribuir para o desenvolvimento de diabetes e síndromes metabólicas (Alderete *et al.*, 2017; Souza, 2019; Sun *et al.*, 2019; Feitosa *et al.*, 2020).

Notadamente, discussões acerca da qualidade do ar interior (QAI) começaram a ser levantadas dentro dos cenários de saúde pública, devido à maior incidência de pessoas com manifestações alérgicas, bem como de doenças em ambientes hospitalares com climatização artificial.

Em nível internacional, nos Estados Unidos, a American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), é responsável por desenvolver padrões e normas vinculadas à ventilação. Tal legislação apresenta parâmetros para conforto ambiental como temperatura, umidade relativa do ar e CO₂, sendo essa legislação um pouco mais restrita que a brasileira.

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece os padrões de referência da qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo descritos pela resolução RE/ANVISA nº 09 de 16 de janeiro de 2003 (Brasil, 2003), a qual determina valores máximos recomendáveis (VMR) para os parâmetros ambientais de temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar, taxa de renovação do ar, CO₂, aerodispersóides totais e contaminação microbiológica (fungos), conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Padrões referenciais da qualidade do ar interior adotados no Brasil (ANVISA) e nos Estados Unidos (ASHRAE)

| Parâmetro | ANVISA (VMR) | ASHRAE |
|-------------------------|--|-------------|
| Temperatura | Verão (23 °C a 26 °C) e Inverno (20 °C a 22 °C) | 23–28 °C |
| Umidade relativa do ar | Verão (40% a 65%) e Inverno (35% a 65%) | 30–65% |
| CO ₂ | ≤ 1000 ppm | Até 700 ppm |
| Fungos | ≤ 750 UFC/m ³ (para relação Interior/Exterior ≤ 1,5), Inaceitável a presença de fungos patogênicos e toxigênicos | - |
| Velocidade do ar | < 0.25 m/s | - |
| Aerodispersóides totais | ≤ 80 µg/m ³ | - |

A QAI pode ser associada a quadros sintomáticos de irritações sofridas pelos ocupantes dos ambientes, sintomas esses que são associados à chamada Síndrome dos Edifícios Doentes - SED (Keyvani *et al.*, 2017; Lu *et al.*, 2018). As manifestações da SED relacionam-se a quadros de: desconfortos laborais, irritações nas mucosas, problemas no sistema nervoso central, enrijecimento do tronco e alergias, afecções na pele, provocadas pelos microrganismos presentes no ar ambiente (Amin *et al.*, 2015; Lim *et al.*, 2016; Shan *et al.*, 2016).

Adicionalmente, algumas outras condições apresentam forte associação com a SED como: a arquitetura do prédio, a movimentação e atividades dos ocupantes dos locais, a presença de material de construção, a inadequada ventilação, a pouca manutenção predial, o envelhecimento dos equipamentos, a falta de limpeza adequada dos ambientes e as condições de funcionamento dos equipamentos de refrigeração (Oliveira *et al.*, 2019).

Todos estes fatores levam a um aumento da concentração de dispersantes no ar como endotoxinas, poluentes químicos e a presença de contaminação microbiológica, como exemplo, os fungos anemófilos (Naimi, 2013; Costa *et al.*, 2019; Shao *et al.*, 2020). Estes também têm relação com quadros de doenças como asma, sinusite, rinite, otite, micotoxicoses, entre outras (Iwasaki *et al.*, 2019).

Alguns trabalhos descrevem como principais fungos relacionados a essas doenças os do gênero *Aspergillus* (Sabino *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2020). Ademais, a literatura retrata também que os fungos mais relevantes relacionados à qualidade do ar e associados à saúde são: o *A. fumigatus*, o *A. flavus*, o *A. terreus*, o *A. niger* e o *A. versicolor* (Hupffer *et al.*, 2017; Asif *et al.*, 2018; Vivek-Ananth *et al.*, 2018).

Nestes termos, este trabalho teve como objetivo avaliar o conforto ambiental e a contaminação fúngica atmosférica em ambientes hospitalares com diferentes graus de complexidade de atendimento na cidade de Fortaleza, Ceará.

Material e método

Área de estudo

A cidade de Fortaleza é a 5ª maior capital brasileira, composta por 2,699,342 habitantes, estando localizada sob as coordenadas geográficas de 3° 43' 6" S e 38° 32' 36" W (IBGE, 2019). A cidade possui área total de 314,930 km² sendo banhada em suas extremidades por 15 praias (34 km de litoral), as quais atraem a presença constante de turistas e outros visitantes (Ceará, 2020).

Do ponto de vista do desenvolvimento urbano, apenas 44.9% das residências apresentam saneamento básico e o índice de desenvolvimento humano (IDH) é de 0.754, em uma escala de 0 a 1. Os níveis de violência são elevados e a distribuição de renda é caracterizada como desigual. Estes fatores influenciam diretamente no número de pessoas que dão entradas nos hospitais públicos de Fortaleza, sobrecarregando os atendimentos nas unidades hospitalares de pequeno, médio e grande porte.

A pesquisa foi realizada em dois ambientes hospitalares públicos de atendimento de saúde. Os locais foram selecionados de acordo com a complexidade em níveis secundário e terciário. O mapa situacional com a localização dos hospitais está apresentado na Figura 1.

O ambiente hospitalar de nível secundário (HSec) foi representado por uma Unidade de Pronto Atendimento (UPA) que por função deve prestar assistência médica de baixa e média complexidade, realizando, quando cabível, encaminhamento ao hospital de maior porte ou terciário. A UPA está localizada sob as coordenadas 3°44'41.2" S e 38°27'14.7" W no bairro Praia do Futuro (IDH = 0.29) e atende até dez bairros no seu entorno, incluindo os bairros Vicente Pizón e Aldeota, que estão entre as comunidades mais populosas da cidade. O hospital terciário (HTerc) é caracterizado por ser uma unidade hospitalar de grande porte com atendimento prioritário a quadros de alta complexidade clínica (traumas, cirurgias, queimaduras etc.). O hospital terciário apresenta as coordenadas geográficas de 3°44'02.4" S e 38°31'53.3" W e está localizado no bairro Centro (IDH = 0.55) da cidade de Fortaleza.

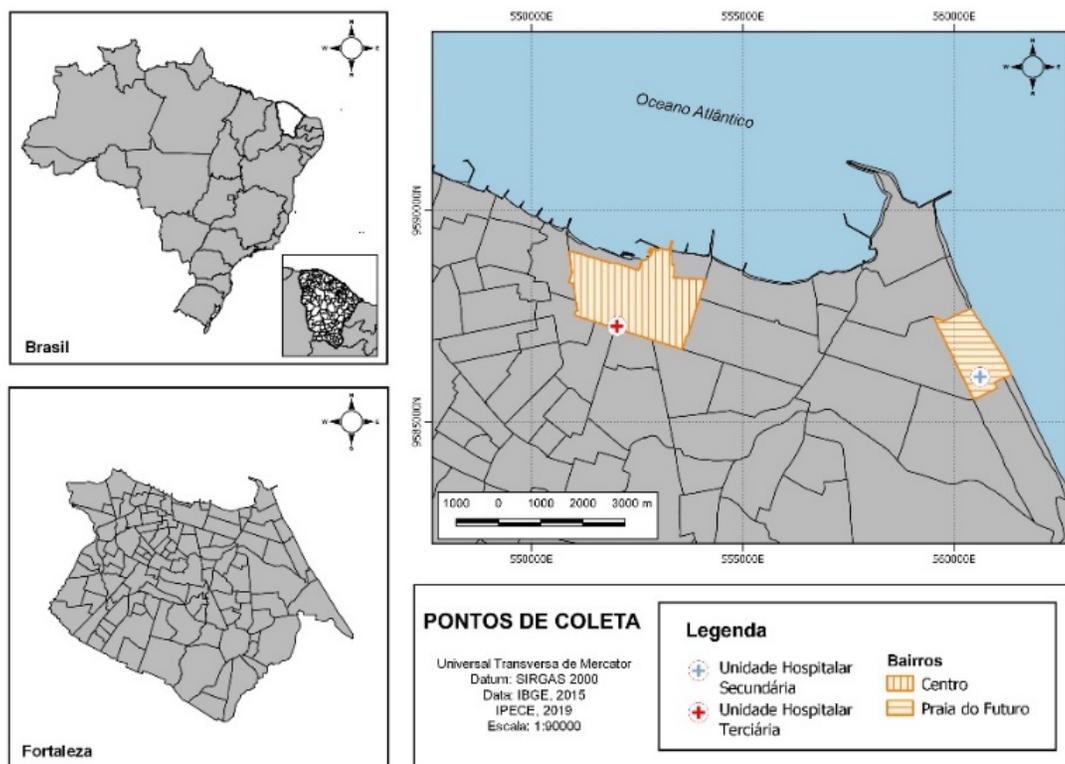


Figura 1. Mapa dos bairros da cidade de Fortaleza apresentando os ambientes hospitalares em estudo.

Fonte: Elaboração própria.

Amostragem

As amostragens foram realizadas de 27 de agosto a 29 de novembro de 2018, no período predominantemente seco (baixa ocorrência de chuvas) na cidade de Fortaleza, de acordo com dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Os dados meteorológicos no período apresentaram precipitações entre 6 e 19.4 mm, ventos com velocidades entre 12 e 14 km/h e temperatura média de 27.2°C.

As amostragens no ambiente hospitalar secundário foram realizadas em uma sala de medicação e em uma sala de atendimento, enquanto no hospital terciário foram investigadas uma Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e um consultório para atendimento de emergências médicas. As áreas exteriores de cada ambiente hospitalar foram monitoradas para fins de comparação. As rotinas de amostragem/coletas foram realizadas em todos os dias da semana em datas não sequenciadas, compreendendo duas semanas de visitação em cada ambiente. No geral, foram realizadas 72 medições de cada parâmetro, distribuídas nos 3 meses de monitoramento.

Determinação dos parâmetros de conforto ambiental

Para monitoramento dos parâmetros de conforto ambiental foi utilizado um analisador portátil de CO₂ AZ-77535 da marca AKSO que registra simultaneamente a temperatura (°C), umidade relativa do ar (UR%) e concentração de CO₂ (ppm) no ar ambiente. As faixas de medição são de: 0 a 5000 ppm para CO₂, de -10 a 60° C para temperatura e de 0.0 a 99.9% para umidade relativa do ar. O equipamento utilizado neste trabalho fez medições durante um período de 30 minutos em cada amostragem, ficando disposto a 1.5 m de altura do chão, conforme recomendado por Stranger *et al.* (2007).

Determinação dos parâmetros microbiológicos

Para a coleta dos bioaerossóis fúngicos foi utilizado um impactador de um estágio modelo N6 tipo Andersen. Para realização da coleta, uma placa de Petri contendo meio de cultura ágar Sabouraud dextrose foi utilizado como suporte para o crescimento dos fungos. O impactador foi ligado por 10 min sob vazão de 28.3 L/min de ar. Ao final de cada coleta, as placas foram vedadas com filme plástico, acondicionadas em caixa térmica e encaminhadas ao laboratório, onde foram deixadas sob incubação por até 7 dias, à temperatura de 27°C para avaliação diária do crescimento fúngico (Brasil, 2003; NIOSH, 1998). Particularmente, as contagens das unidades formadoras de colônias (UFC) nas placas foram registradas após 72 h do crescimento fúngico por inspeção visual com auxílio de uma lupa.

Os valores das unidades formadoras de colônias fúngicas por metro cúbico (UFC/m³) foram calculados de acordo com a Equação 1.

$$UFC/m^3 = \frac{N_{UFC}}{Q \times t}$$

Equação 1

Onde: N_{UFC}: Número de colônias fúngicas observadas, Q é a vazão de aspiração do ar e t é o tempo de amostragem.

A identificação fúngica foi realizada por intermédio de unidades formadoras de colônias viáveis por setor analisado. Após a contagem global realizou-se uma triagem por inspeção visual (Figura 2). As colônias escolhidas foram repicadas para tubos contendo ágar Sabouraud dextrose KASVI para o isolamento fúngico. Em seguida, foram caracterizadas macroscopicamente através do tamanho, bordas, textura, relevo e pigmentação (Sidrim e Rocha, 2004).

Para a análise microscópica foram confeccionadas lâminas preparadas pela técnica de desagregação, onde utilizou-se o corante lactofenol azul-algodão e um pequeno fragmento da colônia, que foi observado através do microscópio óptico com objetiva de 40x. Quando não foi possível chegar a um diagnóstico preciso, a identificação foi feita a partir da técnica de microcultivo, conforme preconizado por Koneman *et al.* (2001) e reproduzido por Pantoja (2016). Para identificação final dos gêneros/espécies seguiu-se a metodologia de Hoog *et al.* (2000) apoiando-se em outras chaves de identificação (Kidd *et al.*, 2016).

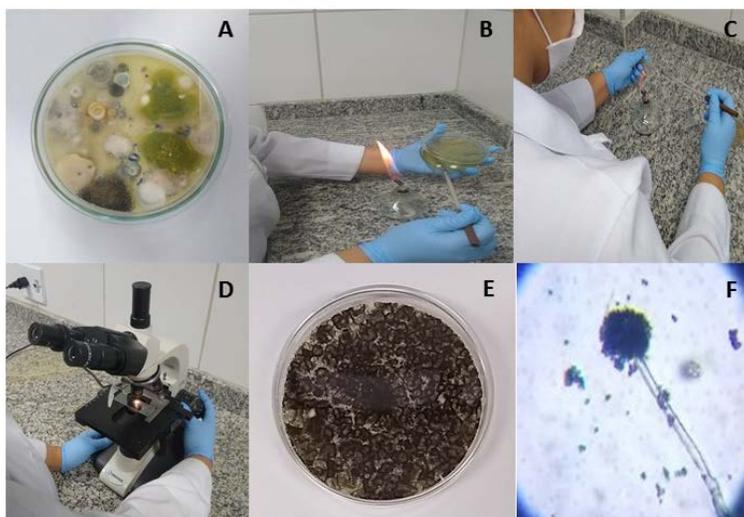


Figura 2. Sequência de imagens do processo de identificação das amostras fúngicas coletadas nas unidades hospitalares em estudo. A: Placa de Petri com presença de colônias fúngicas, B: Isolamento fúngico, C: Confecção das lâminas através de desagregação, D: Leitura da lâmina usando o microscópio, E: Placa de Petri contendo o fungo *Aspergillus niger* e F: Visualização de estrutura do fungo *Aspergillus niger* usando microscópio óptico. Fonte: *Elaboração própria.*

A Figura 3 apresenta os aparatos experimentais usados no monitoramento do conforto ambiental e contaminação microbológica nos hospitais secundário e terciário sob investigação.



Figura 3. Aparatos instrumentais usados no monitoramento do conforto ambiental e da contaminação com fungos anemófilos nos diferentes setores das unidades hospitalares em estudo. 1: Analisador portátil de CO₂, 2: Estufa microbológica, 3: Amostrador de bioaerossóis (impactador) e 4: Microscópio óptico. Fonte: *Elaboração própria.*

Análise estatística dos dados

Para análises dos dados foram consideradas as estatísticas básicas de média e desvio padrão e estimativas do coeficiente de correlação de Pearson (R^2). Os cálculos foram feitos a partir da planilha eletrônica Excel® e do software *Origin Pro8*.

Resultados

Avaliação do conforto ambiental

Os resultados encontrados para os parâmetros de conforto ambiental nos ambientes monitorados das duas unidades hospitalares estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Estatísticas básicas dos parâmetros de conforto ambiental nos ambientes hospitalares em estudo na rede pública de atendimento da cidade de Fortaleza, Ceará.

| Parâmetro | Hospital secundário (HSec) | | Hospital terciário (HTerc) | | |
|-----------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|------|------|
| | Sala de atendimento | Sala de medicação | Consultório de emergências | UTI | |
| T (°C) | Média | 25.1 | 23.6 | 24.1 | 23.6 |
| | DP | 0.8 | 1.1 | 0.5 | 1.1 |
| | < mínimo ^a | 4% | 33% | 16% | 25% |
| | > máximo ^a | 8% | 4% | 12% | - |
| UR (%) | Média | 51.8 | 43.9 | 65.1 | 53.1 |
| | DP | 5.1 | 4.4 | 3.4 | 2.6 |
| | < mínimo ^a | 8% | 16% | - | - |
| | > máximo ^a | - | - | 46% | 4% |
| CO ₂ (ppm) | Média | 1600 | 2466 | 616 | 1584 |
| | DP | 429 | 586 | 87 | 165 |
| | > Limite ^a | 100% | 100% | 16% | 100% |

T: temperatura, UR: umidade relativa do ar. DP: Desvio padrão. ^areferencial ANVISA. - Não observado.

A temperatura na unidade hospitalar secundária (HSec) apresentou nas salas de atendimento e medicação, respectivamente, médias de 25.1°C e 23.6°C, conforme apresentado na Tabela 2, entretanto cerca de 4% das medições na sala de atendimento estiveram abaixo do valor mínimo recomendado pela legislação brasileira e 8% acima do referencial máximo, indicando um quantitativo de aproximadamente 12% de desconformidades térmicas. Na sala de medicação o total de desconformidade foi de 33%, relacionadas a sensações de frio, correspondente a valores abaixo do mínimo permitido (23°C). Estes resultados confirmam a necessidade de avaliações periódicas no sistema de ar-condicionado destes ambientes hospitalares.

Na unidade hospitalar terciária (HTerc) os ambientes apresentaram médias de temperatura de 24.1°C no consultório de emergências médicas e de 23.6 °C na UTI. No consultório, a porcentagem de desconformidade em relação ao valor mínimo foi de 16% e em relação ao máximo de 12%. Na UTI as porcentagens de desconformidade foram de 25% somente para medidas em desacordo em relação a sensação de frio, conforme preconiza a legislação da ANVISA.

Vieira *et al.* (2019) em seu estudo encontraram médias diárias nesses ambientes de 18°C e 23°C para distintas UTI em um hospital público de João Pessoa, Paraíba, os quais são inferiores aos observados neste trabalho. UTIs são notadamente classificados pela ANVISA como um ambiente crítico, caracterizado por ser um local fechado onde existe maior risco de infecções por ocorrerem procedimentos invasivos. Neste contexto, Melo *et al.* (2019) realizaram monitoramento em uma UTI neonatal e relataram intervalo de temperatura entre 23°C e 24°C, o qual é próximo ao encontrado na área crítica da unidade hospitalar terciária em estudo.

Na amostragem da umidade relativa do ar, a sala de atendimento do HSec apresentou média de 51.8% enquanto na sala de medicação o nível foi de 43.9%. As desconformidades encontradas foram baixas, correspondentes a 8% e 16% em relação ao valor mínimo deste parâmetro nos mesmos ambientes. No HTerc as médias de umidade relativa do ar foram de 65.1% e 53.1%, respectivamente no consultório de emergências e UTI e as desconformidades observadas foram de 46% e 4%, ambas em relação ao padrão máximo de umidade (65%). Notadamente o valor relativamente elevado de umidade do ar no consultório de emergências denota uma condição propícia ao desenvolvimento de microrganismos, principalmente fungos.

Em relação a umidade relativa do ar, Demirel *et al.* (2017) em uma unidade hospitalar para recém-nascidos na Turquia averiguaram o conforto ambiental e a poluição causada por fungos. Os autores relataram umidades relativas do ar com níveis entre 36% e 60%, os quais se assemelham aos observados na sala de medicação e na UTI dos hospitais investigados. Vieira *et al.* (2019) também analisaram a umidade relativa do ar nos turnos da manhã, tarde e noite em um ambiente hospitalar, encontrando valores médios deste parâmetro de 57.4%, 53.06% e 64.46%, os quais corroboram com as médias encontradas em alguns dos ambientes analisados neste estudo.

As desconformidades em valores da umidade relativa do ar podem facilitar o favorecimento dos processos de desintegração química e contaminação biológica, reduzindo a qualidade do ar e promovendo o aumento do surgimento de doenças respiratórias e alérgicas (Brickus *et al.*, 2013; Khodakarami e Nasrollahi, 2012).

No tocante as concentrações de CO₂, as médias da sala de atendimento e medicação no HSec foram respectivamente 1600 ppm e 2466 ppm com 100% de desconformidades para ambos os locais quando considerado o limite determinado pela ANVISA (Tabela 2). Na unidade HTerc as

médias encontradas no consultório de emergências médicas e UTI foram respectivamente de 616 ppm e 1584 ppm. Como verificado no HSec, uma desconformidade de 100% também foi observada na UTI do HTerc, enquanto o consultório de emergências médicas foi o ambiente mais regular para os níveis de CO₂, com apenas 16% de irregularidades. Notadamente, na sala de atendimento do HSec há uma porta frequentemente aberta com livre acesso a transeuntes locais. Já na sala de medicação, o ambiente permanece fechado, porém o fluxo de pessoas é bastante intenso.

Machado *et al.* (2016) em estudos de avaliação da qualidade do ar em um centro cirúrgico de um hospital terciário no Sul do Brasil observaram que todos os ambientes analisados estavam dentro dos valores estabelecidos pela legislação brasileira para a concentração de CO₂, perfil contraditório ao observado neste trabalho.

Schirmer *et al.* (2010) investigaram a presença de CO₂ em três UTIs de uma unidade hospitalar terciária e observaram concentrações elevadas (> 1141 ppm), acima dos valores estabelecidos pela ANVISA. Os resultados deste estudo corroboram com os valores encontrados na atual pesquisa quanto às concentrações de CO₂ na sala de medicação e na UTI das unidades hospitalares secundária e terciária. Os autores relacionaram os níveis altos de CO₂, a fatores como a quantidade de pessoas, entrada de ar, quantidade portas e janelas. Além disso, o CO₂ também é um indicador de falta de ventilação dos ambientes (Sterling, 1993; Brasil, 2003).

Adicionalmente, um estudo de correlação entre os parâmetros de conforto ambiental e o meio exterior foi conduzido. Os perfis de correlação e os valores do coeficiente Pearson (R^2) estão apresentados na Figuras 4 e 5. As diversas classificações das correlações em: muito alta (0.9 a 1.0); alta (0.7 a 0.9), moderada (0.5 a 0.7); baixa (0.3 a 0.5) e insignificante (< 0.3) foram estabelecidas a partir de Akoglu (2018) e usadas para fins de comparação.

Os valores de correlação entre os parâmetros de conforto ambiental nas duas unidades hospitalares em estudo estão apresentados na Figura 4. Na unidade hospitalar secundária a correlação interior e exterior foi “muito alta” ($0.9 < R^2 < 1.0$) para o parâmetro de umidade relativa do ar nas salas de medicação e atendimento do HSec e “alta” para temperatura e CO₂ nestes mesmos ambientes. Na unidade hospitalar terciária (HTerc) as correlações também se mostraram do tipo “muito altas” ou “altas”, com valores de R^2 moderadamente superiores aos observados no HSec. Estes valores elevados de correlação podem ser atribuídos a presença das atividades contínuas em cada ambiente com entrada e saída de pessoas. Leung (2015) relacionou as fontes de poluição interna e condições de ventilação as variações da qualidade do ar interior. Morawska *et al.* (2017) retrataram em seus estudos a contribuição do meio exterior na quantidade e natureza dos bioaerossóis do meio interior.

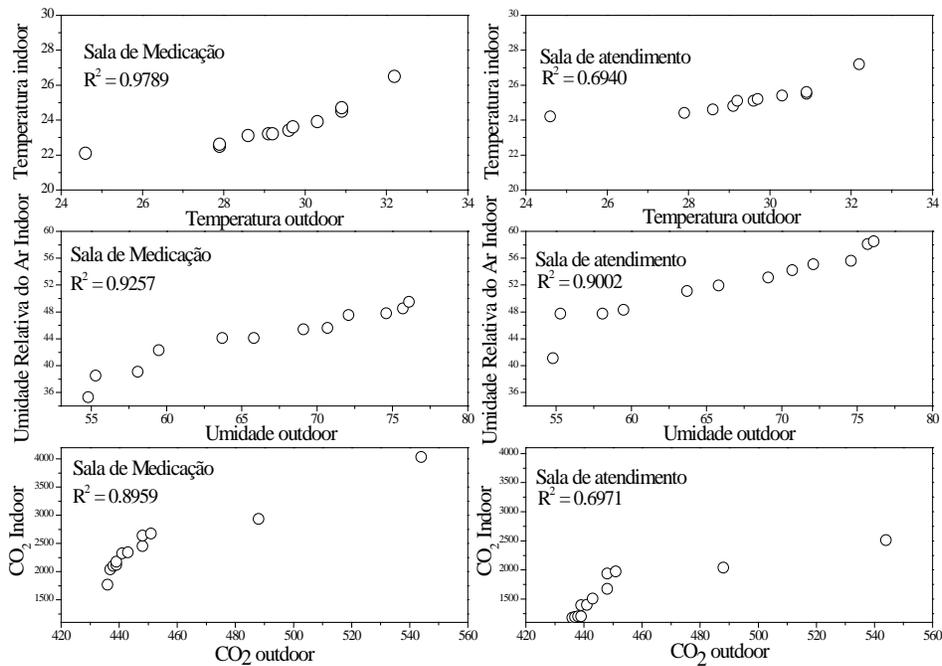


Figura 4. Perfil de correlação entre os parâmetros de conforto ambiental e o meio exterior em uma unidade hospitalar secundária na cidade de Fortaleza, Ceará.

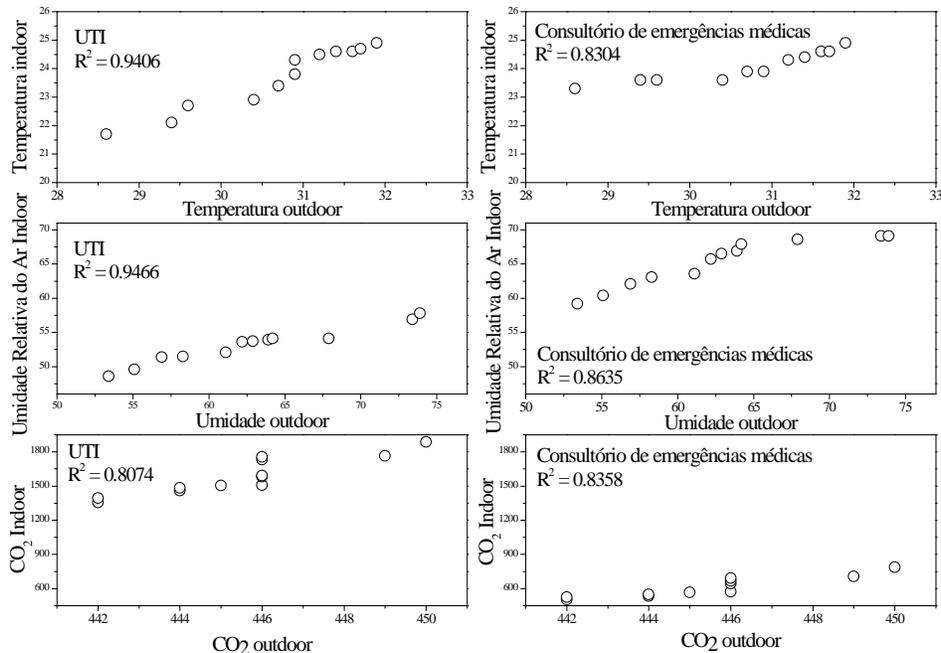


Figura 5. Perfil de correlação entre os parâmetros de conforto ambiental e o meio exterior em uma unidade hospitalar terciária na cidade de Fortaleza, Ceará.

Avaliação da contaminação fúngica

A contaminação microbiana influencia diretamente na qualidade do ar interior, sendo responsável em muitos casos pela ocorrência e intensificação de diversos quadros infecciosos em hospitais. A Tabela 3 apresenta o quantitativo fúngico nos diferentes ambientes hospitalares em estudo na cidade de Fortaleza, Ceará.

Tabela 3. Distribuição do quantitativo fúngico nos ambientes hospitalares em estudo na cidade de Fortaleza, Ceará.

| Parâmetro (UFC/m ³) | Hospital secundário (HSec) | | Hospital terciário (HTerc) | |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|-----|
| | Sala de atendimento | Sala de medicação | Consultório de emergências | UTI |
| Média | 107 | 91 | 124 | 51 |
| DP | 41 | 52 | 60 | 45 |
| Menor valor | 70 | 53 | 42 | 17 |
| Maior valor | 201 | 240 | 233 | 180 |
| > Limite ^a | - | - | - | - |

DP: Desvio padrão. ^areferencial ANVISA. - Não observado.

Os resultados das concentrações fúngicas estimadas nos diferentes ambientes ocupacionais dos hospitais secundário e terciário em estudo se mostraram todos em conformidade com o regulamentado pela legislação brasileira da ANVISA (< 750 UFC/m³), ratificando e evidenciando a boa qualidade do ar.

A Figura 6 apresenta a caracterização qualitativa dos gêneros fúngicos nos ambientes hospitalares investigados. Nas unidades hospitalares secundária e terciária, os gêneros mais frequentes foram o *Penicillium* e os *Aspergillus flavus* e *A. niger*, os quais pertencem ao filo Ascomycota, da família Trichocomaceae e *Rhizopus* e *Mucor*, pertencentes ao filo Zygomycota, da família Mucoraceae. Notadamente, estes fungos provocam impactos negativos as atividades humanas, secretando metabólicos que provocam danos à saúde das pessoas (Houbranken e Samson, 2011).

Os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são comumente relatados por sua associação a má qualidade do ar em ambientes hospitalares, como também a quadros clínicos, provocando infecções nosocomiais (Osman *et al.*, 2018). Estes fungos mostraram frequências de 50% a 91.6% nos hospitais investigados.

O *Aspergillus* por sua vez tem relação com diversas doenças alérgicas, e dentre as espécies mais conhecidas destacam-se o *A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. terreus*, *A. niger* e *A. oryzae* (Hawksworth *et al.*, 2011; Hassan *et al.*, 2016), tendo sido o *A. flavus* e o *A. niger* as os mais frequentes nos ambientes hospitalares monitorados neste estudo. Este perfil de ocorrência microbiana conduz a uma preocupação sob a qualidade do ar nos ambientes hospitalares e a necessidade de

implementação de rotinas de monitoramento e descontaminação nos espaços de saúde pública, haja visto que a natureza patogênica desses microrganismos não é permitida pela legislação brasileira em ambientes públicos e coletivos climatizados.

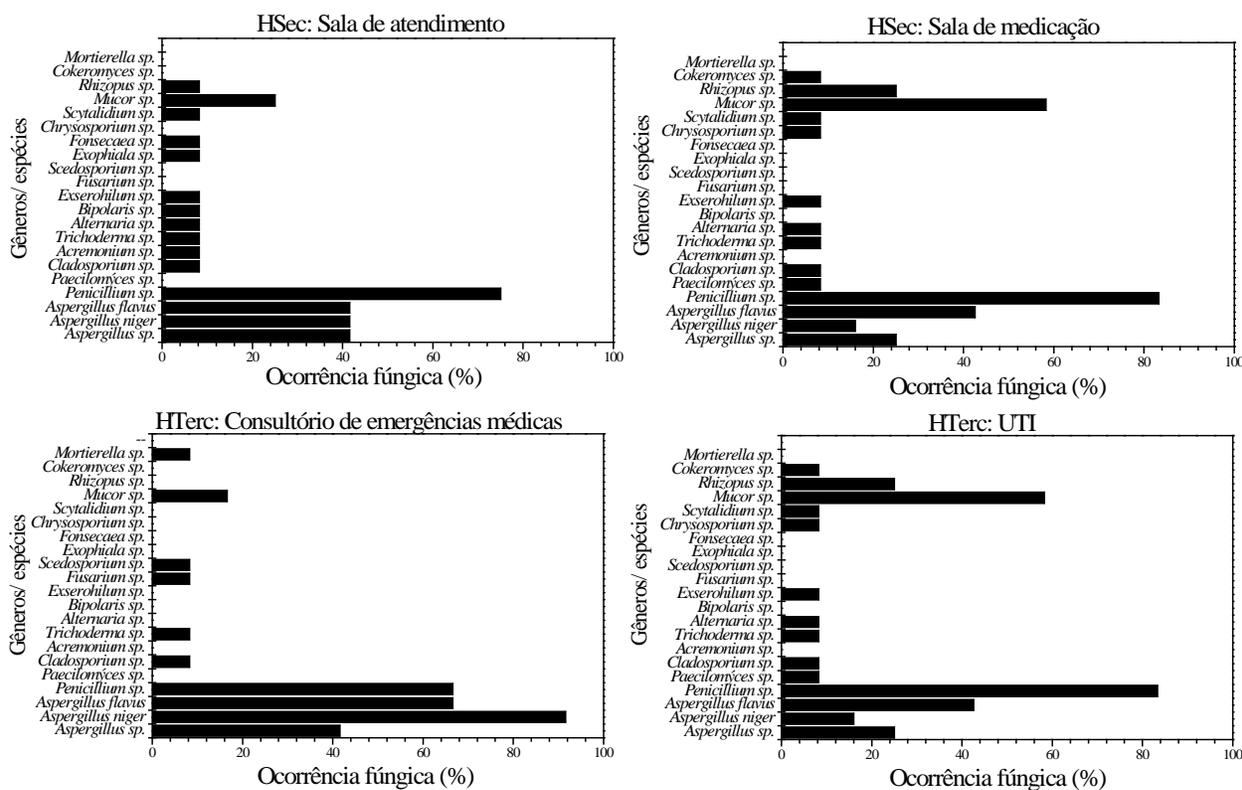


Figura 6. Perfil de gêneros/espécies de fungos nos ambientes hospitalares em estudo na cidade de Fortaleza, Ceará.

Outros gêneros fúngicos como *Mucor* e *Rhizopus* são considerados saprófitos e algumas de suas espécies provocam doenças ao ser humano. Nestes gêneros a estrutura é caracterizada por apresentar hifas irregulares asseptadas ou septadas com potencial de se reproduzir sexuadamente, favorecendo a formação de zigósporos, facilitando a sua dispersão em qualquer ambiente (Skiada *et al.*, 2018).

Em estudo realizado por Gonçalves *et al.* (2018) foi investigado uma UTI de uma unidade hospitalar no Rio Grande do Sul e identificou-se nos turnos da manhã e da tarde sete gêneros diferentes de fungos, sendo os mais frequentes o *Aspergillus*, o *Penicillium* e *Cladosporium*, com ocorrências de aproximadamente 7%. Apesar dos níveis baixos, os resultados qualitativos foram similares aos observados neste trabalho.

Conclusões

Em geral, os parâmetros de conforto ambiental (temperatura, umidade e CO₂) apresentaram desconformidades nas duas unidades hospitalares públicas monitoradas. Resultados do perfil de inter-relação entre os ambientes interior e exterior mostraram correlações de “alta” a “muito altas” em ambas as unidades hospitalares investigadas, mostrando que o ambiente *indoor* sofre influência do ambiente *outdoor*.

Para a contaminação fúngica verificou-se que os microrganismos mais incidentes em todos os ambientes hospitalares avaliados foram os gêneros *Aspergillus* e *Penicillium*, os quais merecem cuidado, pois podem atuar como patógenos primários, agravando a saúde humana nestes sítios.

Referências bibliográficas

- Akoglu, H. (2018) User's guide to correlation coefficients, *Turkish journal of emergency medicine*, **18**(2), 91-93.
- Alderete, T. L., Habre, R., Toledo-Corral, C. M., Berhane, K., Chen, Z., Lurmann, F. W., Weigensberg, M. J., Goran, M. I., Gilliland, F. D. (2017) Longitudinal associations between ambient air pollution with insulin sensitivity, β -cell function, and adiposity in Los Angeles Latino children, *Diabetes*, **66**(7), 1789-1796.
- Amin, N. D. M., Akasah, Z. A., Razzaly, W. (2015) Architectural Evaluation of Thermal Comfort: Sick Building Syndrome Symptoms in Engineering Education Laboratories, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, **204**, 19–28.
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2013a) *Standard 62.1-2013 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Acesso em 10 de março de 2020, disponível em: <http://www.myiaire.com/product-docs/ultraDRY/ASHRAE62.1.pdf>
- ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2013b) *Standard 55-2013 – Thermal Environmental Conditions For Human Occupancy (Ansi Approved) And User's Manual Set*. Acesso em 10 de março de 2020, disponível em: https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/55_2013_b_20141209.pdf
- Asif, A., Zeeshan, M., Hashmi, I., Zahid, U., Bhatti, M. F. (2018) Microbial quality assessment of indoor air in a large hospital building during winter and spring seasons, *Building and Environment*, **135**, 68-73, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.03.010.
- Brasil (2003) *Resolução n° 9 de 16 de janeiro de 2003*, determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Acesso em: 10 de março de 2020, disponível em: https://bvsm.sau.gov.br/bvs/sau/legis/anvisa/2003/rdc0009_16_01_2003.html.
- Brickus, L. S. R., Waissmann, W., Moura, M. A (2013) Qualidade do Ar dos Ambientes de Interiores. In Mendes, R. (Eds.), *Patologia do Trabalho*, 3a ed., Atheneu, São Paulo, 783-808.
- Ceará (2020) *A cidade*, Prefeitura de Fortaleza. Acesso em 10 de março de 2020, disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/a-cidade>
- Costa, R. F. W., Rodrigues, M. A., Rosa, T. C., Silva, L. L., Garcia, Melo, J. S., Souza, M. P. (2019) Qualidade do ar em ambientes comerciais fechados: prevenindo patologias associadas à permanência diária em espaços com climatização artificiais, *Revista Científica Doctum: Multidisciplinar*, **2**(1), 1-9.

- Demirel, R., Sen, B., Kadaifciler, D., Yoltas, A., Oketen, S., Ozkale, E., Berikten, D., Samson, D., Haliki, U.A., Yilmaz, N., Abaci, G. O., Aydogdu, H., Asan, A., Kivanc, M., Ozdil, S., Sakartepe, E. (2017) Indoor airborne fungal pollution in newborn units in Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, **187**(7), 362- 373.
- Feitosa, A. S., Pinheiro, L. M., Kotinscri, D. A. A. S., Pereira, J. G., Meira, M. D. D. (2020) Influência da qualidade do ar na saúde do adolescente, *Lecturas: Educación Física y Deportes*, **24**(260), 42-66, doi: <https://doi.org/10.2337/db16-1416>
- Gonçalves, C. L., Mota, F. V., Ferreira, G. F., Mendes, Pereira, E. C., Freitas, C. H., Vieira, J. N., Villarreal, J. P., Nascente, P. S. (2018) Airborne fungi in an intensive care unit, *Brazilian Journal of Biology*, **78**(2) 265-270, <https://doi.org/10.1590/1519-6984.06016>
- Hassan, A. S., Al-Hatmi, A. M., Shobana, C. S., Diepeningen, A. D. V., Kredics, L., Vágvolgyi, C., Homa, M., Meis, J. F., Hoog, G. S., Narendran, V., Manikandan, P., (2016) Antifungal susceptibility and phylogeny of opportunistic members of the genus *Fusarium* causing human keratomycosis in South India, *Medical Mycology*, **54**(3), 287-94, doi: <https://doi.org/10.1093/mmy/myv105>
- Hawksworth, D. L., Crous, P. W., Redhead, S. A., Reynolds, D. R., Samson, R. A., Seifert, K. A., Taylor, J. W., Wingfield, M. J., Abaci, O., Aime, C., Asan, A., Bai, F. Y., Beer, Z. W., Begerow, D., Berikten, D., Boekhout, T., Buchanan, P. K., Burgess, T., Buzina, W., Cai, L., Cannon, P. F., Crane, J. L., Damm, U., Daniel, H. M., Van Diepeningen, A. D., Druzhinina, I., Dyer, P. S., Eberhardt, U., Fell, J. W., Frisvad, J. C., Geiser, D. M., Geml, J., Glienke, C., Gräfenhan, T., Groenewald, J. Z., Groenewald, M., Gruyter, J., Guého-Kellermann, E., Guo, L. D., Hibbett, D. S., Hong, S. B., Hoog, G. S., Houbraken, J., Huhndorf, S. M., Hyde, K. D., Ismail, A., Johnston, P. R., Kadaifciler, D. G., Kirk, P. M., Kõljalg, U., Kurtzman, C. P., Lagneau, P. E., Lévesque, C. A., Liu, X., Lombard, L., Meyer, W., Miller, A., Minter, D. W., Najafzadeh, M. J., Norvell, L., Ozerskaya, S. M., Oziç, R., Pennycook, S. R., Peterson, S. W., Pettersson, O. V., Quaedvlieg, W., Robert, V. A., Ruibal, C., Schnürer, J., Schroers, H. J., Shivas, R., Slippers, B., Spierenburg, H., Takashima, M., Taşkın, E., Thines, M., Thrane, U., Uztan, A. H., Van Raak, M., Varga, J., Vasco, A., Verkley, G., Videira, S. I., Vries, R. P., Weir, B. S., Yilmaz, N., Yurkov, A., Zhang, N. (2011) The Amsterdam declaration on fungal nomenclature, *Mycotaxon*, **116**(1), 491-500, doi: <https://doi.org/10.5598/imafungus.2011.02.01.14>
- Hoog, G. S., Guarro, J., Gené, J., Filgueiras, J. (2000) *Atlas of Clinical Fungi*, 2a ed., Universitat Rovira i Virgili, Tarragona-Reus, 1126 pp.
- Houbraken, J., Samson, R. A. (2011) Phylogeny of *Penicillium* and the segregation of trichocomaceae into three families, *Studies in Mycology*, **70**(1), 1-51, doi: <https://doi.org/10.3114/sim.2011.70.01>
- Hupffer, H. M., Weyermuller, A. R., Alves, D. (2017) O material particulado e o direito à qualidade do ar das gerações presentes e futuras, *Revista da Faculdade de Direito da UFG*, **40**(1), 188-207, doi:10.5216/rfd.v40i1.31966.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) Cidades@_ Acesso em 07 março de 2019, disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>
- Iwasaki, M., Kanda, J., Hishizawa, M., Kitano, T., Kondo, T., Yamashita, K., Takaori-Kondo, A. (2019) Effect of laminar air flow and building construction on aspergillosis in acute leukemia patients: a retrospective cohort study, *Journal of Health*, **19**(38), 1-8.
- Keyvani, S., Mohammadyan, M., Mohamadi, S., Etemadinezhad, S. (2017) Sick Building Syndrome and Its Associating Factors at a Hospital in Kashan, Iran, *Iranian Journal of Health Sciences*, **5**(2), 19-24, doi:10.29252/jhs.5.2.19.
- Khodakarami, J., Nasrollahi, N. (2012) Thermal comfort in hospital-A literature review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **16**(6), 4071-4077.
- Kidd, S., Halliday, C., Alexiou, H., Ellis, D. (2016) *Descriptions of medical fungi*, 3a ed., Newstyle Printing, Australia, 278 pp.
- Koneman, E. W., Allen, S. D., Janda, W. M., Schreckenberger, P. C., Winn Junior, W. C. (2001) *Diagnóstico Microbiológico: Texto e Atlas Colorido*, 5a ed., MEDSI, Rio de Janeiro, 1465 pp.
- Leung, L. (2015) Validity, reliability, and generalizability in qualitative research, *Journal of Family Medicine and Primary Care*, **4**(3), 324-327, doi: <https://doi.org/10.4103/2249-4863.161306>

- Lim, F. L., Hashim, Z., Said, S. M., Than, L. T. L., Hashim, J. H., Norbäck, D. (2016) "Sick Building Syndrome (SBS) among Office Workers in a Malaysian University—Associations with Atopy, Fractional Exhaled Nitric Oxide (FeNO) and the Office Environment", *Science of The Total Environment*, **536**, 353-361, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.137>
- Lu, C. Y., Tsai, M. C., Muo, C. H., Kuo, Y. H., Sung, F. C., Wu, C. C. (2018) Personal, psychosocial and environmental factors related to sick building syndrome in official employees of Taiwan, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **15**(1), 7-17, doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph15010007>
- Machado, E. C. M., Limberger, V. C., Schneider, R. C. S., Corbellini, V. (2016) Avaliação da qualidade do ar de um centro cirúrgico de um hospital do sul do Brasil, *Revista de Salud Pública*, **18**(3), 447-458.
- Melo, A., Souza, H., Aquino, A. (2019) Monitoramento de variáveis ambientais em UTI neonatal, *XI Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*, Belém, Pará, Brasil.
- Morawska, L., Ayoko, G. A., Bae, G. N., Buonanno, G., Chao, C. Y. H., Clifford, S., Fu, S. C., Hanninen, O., He, C., Isaxon, C., Mazaheri, M., Sathammer, T., Waring, W. S., Wierzbicka, A. (2017) Airborne particles in indoor environment of homes, schools, offices and aged care facilities: The main routes of exposure, *Environment International*, **108**, 75-83, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.07.025>
- Naimi, M. (2013) Effective of sick building syndrome on irritation of the eyes and asthma, *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, **1**(12), 1529-1534.
- NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health (1998) NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM): Bioaerosol sampling (Indoor Air) 0800, 4a ed., NIOSH, United States of America.
- Oliveira, E. R., Mazzurama, M. M., Oliveira, T. D. (2019) Edificações saudáveis e a síndrome do edifício doente, *II Painel de Pesquisa em Arquitetura*, Ijuí, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Osman, M. E., Ibrahim, H. Y., Yousef, F. A., Elnasr, A. A. A., Saeed, Y., Hameed, A. A. A. (2017) A study on microbiological contamination on air quality in hospitals in Egypt, *Journal Indexing & Metrics*, **27**(7), 953-968, doi: <https://doi.org/10.1177/1420326X17698193>
- Pantoja, L. D. M. (2016) *Estimativa dos níveis de bioaerossóis e compostos orgânicos voláteis fúngicos em ambientes ocupacionais no município de Fortaleza-Ceará*, Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 170 pp.
- Sabino, R., Veríssimo, C., Viegas, C., Brandão, J., Parada, H., Martins, C., Furtado, C., Clemons, K. V., Stevens, D. A. (2014) Aspergillus em ambiente hospitalar: um risco para o desenvolvimento de infecções nosocomiais?. *Instituto Nacional de Saúde*, **3**, 10-13.
- Santos, R. A. C., Steenwyk, J. L., Menendez, O. R., Mead, M. E., Silva, L. P., Bastos, R. W., Izquierdo, A. A., Goldman, G. H., Rokas, A. (2020) Genomic and phenotypic heterogeneity of clinical isolates of the human pathogens *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus lentulus*, and *Aspergillus fumigatiaffinis*, *Frontier in Genetics*, **11**, 459, doi: <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00459>
- Schirmer, W. N., Gauer, M. A., Szymanski, M. S. E. (2010) Qualidade do ar interno em ambientes hospitalares climatizados – verificação de parâmetros físicos e da concentração de dióxido de carbono, *Tecno-Lógica*, **14**(2), 61-68.
- Shan, X., Zhou, J., Chang, V. W.-C., Yang, E.-H. (2016) Comparing Mixing and Displacement Ventilation in Tutorial Rooms: Students' Thermal Comfort, Sick Building Syndromes, and Short-Term Performance, *Building and Environment*, **102**, 128-137.
- Shao, X., Liang, S., Li, X., Liang, C., Yan, S. (2020) Quantitative effects of supply air and contaminant sources on steady contaminant distribution in ventilated space with air recirculation, *Building and Environment*, **171**, 1-54, doi: <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.970384>
- Sidrim, J. J. C., Rocha, M.F.G. (2004) *Micologia médica à luz de autores contemporâneos*, Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 396 pp.
- Skiada, A., Lass-Floerl, C., Klimko, N., Ibrahim, A., Roilides, E., Petrikos, G. (2018) Challenges in the diagnosis and treatment of mucormycosis, *Medical mycology*, **56**, 93-101.



- Souza, F. T. (2019) Morbidity Forecast in Cities: A Study of Urban Air Pollution and Respiratory Diseases in the Metropolitan Region of Curitiba, Brazil, *Journal of Urban Health*, **96**, 591-604.
- Sterling, E. (1993) Indoor air quality for hospitals, *CHES/SCHI*, **13**(4), 9-15.
- Stranger, M., Potgieter-Vermaak, S.S., Van Grieken, R. (2007) Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium, *Environment International*, **33**(6), 789-797.
- Sun, S., Tian, L., Cao, W., Lai, P.C., Wong, P. P. Y., Lee, R. S.Y., Mason, T. G., Kramer, A., Wong, C. M. (2019) Urban climate modified short-term association of air pollution with pneumonia mortality in Hong Kong, *Science of The Total Environment*, **645**(1), 618-624, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.311>
- Vieira, E. M. A., Silva, L. B., Nascimento, J. A., Silva, J. M. N., Leite, W. K. S. (2019) Prioridade perceptiva e critérios de satisfação de atributos ambientais em unidades de terapia intensiva, *Ambiente Construído*, **19**(1), 181-194.
- Vivek-Ananth, R. P., Mohanraj, K., Vandanasree, M., Jhungran, A., Craig, J. P., Samal, A. (2018) Comparative systems analysis of the secretome of the opportunistic pathogen *Aspergillus fumigatus* and other *Aspergillus* species, *Scientific Reports*, **8**(66), 2-16, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25016-4>
- WHO, World Health Organization (2018) Ambient Air Pollution – a major threat to health and climate. Acesso em 08 de fevereiro de 2020, disponível em: <https://www.who.int/air-pollution/news-and-events/how-air-pollution-is-destroying-our-health>