



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ÉRICA COELHO PAGEL

Qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e sua relação com os materiais de construção e as atividades humanas

Vitória
2015

ÉRICA COELHO PAGEL

Qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e sua relação com os materiais de construção e as atividades humanas

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental, na área de concentração de Poluição do Ar.

Orientador: Prof. Neyval Costa Reis Jr. PhD
Co-orientadora: Prof. Dr^a Cristina Engel de Alvarez

Vitória
2015

P132q Pagel, Érica Coelho, 1979-
Qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e sua relação com os materiais de construção e as atividades humanas / Érica Coelho Pagel. – 2015.
183 f. : il.

Orientador: Neyval Costa Reis Júnior.

Coorientador: Cristina Engel de Alvarez.

Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Estação Antártica Comandante Ferraz. 2. Ar – Qualidade. 3. Antártida – Trabalho científico de campo. 4. Materiais de construção. I. Reis Junior, Neyval Costa. II. Alvarez, Cristina Engel de. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 628

ÉRICA COELHO PAGEL

Qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) e sua relação com os materiais de construção e as atividades humanas

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental, na área de concentração de Poluição do Ar.

Orientador: Prof. Neyval Costa Reis Jr. PhD

Co-orientadora: Prof. Dr^a Cristina Engel de Alvarez

Aprovada em

COMISSÃO EXAMINADORA

A minha mãe, amiga e exemplo de garra,
Jucy Coelho Pagel e ao meu pai José Carlos Pagel
por me mostrar que temos que ter força e fé nos
momentos mais difíceis da vida.

AGRADECIMENTOS

Em especial aos meus orientadores, professor Neyval Costa Reis Jr. pela amizade e confiança depositadas desde a época do mestrado e à professora Cristina Engel de Alvarez pela inigualável oportunidade de ter me enviado a essa maravilhosa jornada no gelo.

A professora Sandra Beghi pela tentativa e paciência de me apresentar o mundo dos tubos de ensaio e bancadas de laboratório. A professora Marília Nishikawa e a todo o laboratório de microbiologia da FIOCRUZ pelo carinho e cuidado com meus “bichinhos”. Ao professor José Laerte Boechat da UFF/RJ pelo incrível respeito e colaboração nesse trabalho. A professora Jane Méri Santos pelas suas aulas e ensinamentos sempre enriquecedores e ao professor Américo Kerr da USP pela importante contribuição nas análises de EDX e BC.

A CAPES, FAPES, PROANTAR e ao INCT-APA pelo apoio financeiro. E a todos do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da UFES, principalmente aos colegas do grupo NQualiar que contribuíram com todo tipo de apoio, companhia, amizade: Fernanda Cezana, Camila Eller, Elisa Valentim, Juliana, Maria Clara, Paulo Wagner, Nadir, Antônio de Paula, Ayres, Melina, Bruna, Taciana Albuquerque, Elson, Christiano, Igor, Faradiba, Harerton Dourado, Sartin, Enilene, Bruno, Milena, Rita, Alexandre, Edilson, Leandro, Adriano, Maria de Fátima, Rizzieri, Willian, Rose e tantos outros que daqui fazem parte.

A Força Aérea Brasileira e a Marinha do Brasil, em especial a memória do Sargento Roberto Lopes dos Santos, o nosso “Santinho” e ao Soldado Carlos Alberto Vieira Figueiredo, que em nome da ciência e da pátria morreram na tentativa heroica de controlar o fogo da Estação Antártica Comandante Ferraz em fevereiro de 2012. Vocês fazem parte desse trabalho e onde quer estejam, os seus sorrisos, gentilezas e solidariedade sempre estarão comigo.

Aos amigos de TPA e de estadia na EACF, com destaque aos meus irmãos de coração: Andréia Fernandes da Silva, CT Fernando Duffrayer, SGT Rodrigo Peçanha, Anderson Buss Woelffel e tantos outros que compartilhei nesse momento de reclusão única, o espírito de grupo e a extraordinária vivência do “universo paralelo” que chamamos de Antártica.

A minha família em especial ao Leandro e a pequena Júlia, pela difícil tarefa em ser marido e filha de doutoranda. Amo vocês!

À DEUS por permitir que todos esses sonhos se tornassem realidade.

*“Mar calmo nunca fez bom marinheiro”
(ditado popular)*

RESUMO

Muitos estudos têm sido realizados sobre o impacto ambiental das estações de pesquisa no continente antártico. No entanto, a avaliação da qualidade do ar interior nestes ambientes confinados tem sido negligenciada. As edificações antárticas caracterizam-se como arquiteturas enclausuradas nas quais os usuários permanecem por longos períodos, o que as torna um potencial objeto na investigação da Qualidade do Ar Interno (QAI). Esta pesquisa objetivou caracterizar e quantificar aldeídos, material particulado e fungos no ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), relacionar os resultados com as prováveis fontes de emissão de poluentes provindos dos materiais construtivos e das atividades humanas e propor métodos de controle para um melhor desempenho da QAI em futuras construções no continente. Amostradores passivos foram utilizados para coleta de aldeídos e a determinação e quantificação destes foi feita por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência. Foi examinado o número e concentração em massa das partículas no interior da Estação, assim como sua distribuição granulométrica através de um Espectrômetro Portátil de Aerossol. O material particulado com diâmetro menor do que 2.5 μm (MP_{2,5}) foi coletado em filtros de *Teflon*® através de amostradores de baixo volume visando análises químicas e morfológicas. A coleta de fungos foi feita em placas petri com meio de cultura adequado utilizando um impactador Tipo Andersen de um estágio e a identificação das colônias foi feita por métodos de macro e micromorfologia. Os resultados mostraram que a concentração média interna do total de aldeídos registrado foi acima da concentração encontrada em áreas urbanas, ao contrário da média da concentração de partículas e fungos que foi abaixo destes. Mobiliários e revestimentos de madeira compensada podem ter contribuído para a alta concentração de formaldeído (130,94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). A atividade de cozinhar resultou em concentrações médias abundantes de acroleína (43,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na maior parte dos ambientes monitorados. Foi possível identificar a influência de processos individuais, como a incineração, cocção, circulação de pessoas, mediante a concentração em número do tamanho de partícula. Na, K, Cl, Fe, Zn, Si e S foram os principais elementos detectados. A presença significativa de partículas de Fe pode estar associada pelo intenso processo corrosivo dos containers e chapas metálicas que constituem a Estação. Da mesma forma a relevante concentração de partículas de Zn pode estar associada também à emissão proveniente da tinta à base de solvente das paredes metálicas da edificação. Altos níveis de *Black Carbon* (BC) foram registrados na oficina, o qual pode estar associado com a utilização de veículos a diesel. As relações

Interior/Exterior (I/O) para o TSP, PM₁₀, PM_{2.5} e PM₁ medido foram significativamente maiores do que as relatadas para prédios urbanos. Os compartimentos afetados por processos de combustão tendem a apresentar um número significativo de partículas submicrométricas. O domínio das espécies *Aspergillus versicolor* e *Penicillium* sp mostra a existência de potenciais meios de proliferação fúngica no interior da Estação, associado ao carregamento dos mesmos por seus habitantes em suas roupas e utensílios com posterior desenvolvimento ao encontrarem condições ideais de sobrevivência internamente à Estação. Considerando que os aspectos observados na EACF são semelhantes à arquitetura de outras edificações antárticas, pode-se afirmar que a eliminação ou redução das principais fontes de poluição do ar através da setorização dos espaços; a utilização de materiais, produtos e equipamentos com baixa ou zero emissividade e a adoção de um sistema eficiente de renovação de ar são medidas de fundamental importância na concepção de edificações antárticas.

Palavras-chave: Qualidade do ar interno. Atividades humanas. Materiais de construção. Edificações antárticas.

ABSTRACT

A number of studies have been carried out on the environmental impact of research stations on the Antarctic continent. However, the assessment of indoor air quality in these confined environments has been neglected. Antarctic buildings are characterized as cloistered architectures in which users remain for long periods of time, making them a potential object of investigation in the Indoor Air Quality (IAQ). This research aimed at characterizing and quantifying aldehydes, particulate matter and fungi in the indoor air of Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF), as well as relating the results with the likely pollutant emission sources stemmed from building materials and human activities, proposing control methods to enhance the performance of IAQ for future buildings on the continent. Passive samplers were used to collect aldehydes, of which determination and quantification were carried out through High-Efficiency Liquid Chromatography. The number and mass concentration of particles inside the Station was examined, and so was their size distribution through a Portable Aerosol Spectrometer. The particulate matter with diameter lower than 2.5 μm (PM_{2.5}) was collected in Teflon® filters through low-volume samplers aiming at chemical and morphological analyzes. The collection of fungi was made in Petri dishes with suitable culture medium using a one-stage Andersen impactor and the identification of colonies was done by using macro and micromorphology methods. The results have shown that the average internal concentration of the total amount of aldehydes was recorded above the concentration found in urban areas, unlike the average concentration of particles and fungi that were below those. Furniture and plywood coverings may have contributed to the high concentration of formaldehyde (130.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The act of cooking resulted in substantial medium acrolein concentrations (43.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in most of the monitored areas. It was possible to identify the influence of individual processes such as incineration, cooking, movement of persons, by means of particle size number concentration. Na, K, Cl, Fe, Zn, Si and S were the main elements detected. The significant presence of Fe particles may be associated with the intense corrosion process of the metal containers that make up the Station. Likewise, the relevant concentration of Zn particles can be associated with the emission from the solvent-based ink of the metallic walls of the building. High levels of Black Carbon (BC) were registered in the workshop, which may be associated with the use of diesel vehicles. Indoor / Outdoor relations (I/O) for the TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and measured PM₁ were significantly higher than those reported for urban buildings. The compartments affected by combustion processes tend to

show a significant number of submicron particles. The vast amount of *Aspergillus versicolor* and *Penicillium* sp species shows that there are potential means of fungal proliferation inside the Station, associated with the entrainment of those by the inhabitants in their clothes and utensils with continuous growth as such species find ideal conditions for survival inside the Station. Bearing in mind that the aspects observed at EACF are similar to the architecture found in other Antarctic buildings, it can be affirmed that the elimination or reduction of the main sources of air pollution through the sectorization of spaces; the use of materials, products and equipment with low or zero emissivity and the adoption of an efficient system of air renewal are measures of paramount importance in the design of Antarctic buildings.

Keywords: Indoor air quality. Human activities. Building materials. Antarctic buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Esquema da distribuição de tamanho do aerossol atmosférico. A linha sólida é a clássica hipótese de Whitby e colaboradores, e a moda mais à esquerda representada pela linha pontilhada é referente à quarta moda, a moda das partículas ultrafinas (adaptado de FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000).	47
Figura 3-1 – (a) Localização da Antártica no globo terrestre. (b) No detalhe, a Península Antártica, as Ilhas Shetland do Sul e a Ilha Rei George. Fonte: Elaborado a partir de GOOGLE EARTH, 2012.	59
Figura 3-2 – Ilha Rei George, Península Keller e EACF, com representação das estações científicas e Refúgios instalados. Fonte: Adaptado de SCAR, 2012.	60
Figura 3-3 - Vista externa frontal da Estação Antártica Comandante Ferraz em janeiro de 2012.	62
Figura 3-4 – Alguns ambientes internos ao corpo principal da EACF. (a) Sala de estar, (b) Camarote 10, (c) Camarote 21, (d) Dormitório do Grupo do Arsenal, (e) Cozinha, (f) Biblioteca, (g) Academia, (h) Área de Transição - AT, (i) Incinerador, (j) Oficina e (l) Garagem. (Conclusão).....	64
Figura 3-5 – Vista externa do Refúgio II localizado a aproximadamente 5 Km da Estação e separado por um grande relevo acidentado. Fonte: LPP, 2009.	65
Figura 3-6 – (a) Temperaturas médias mensais (b) velocidade do vento média mensal, no período de 1986 a 2011 na EACF. Fonte: CPTEC/INPE, 2013.....	67
Figura 4-1 – Cenário do planejamento e da divisão das etapas de trabalho.....	68
Figura 4-2 – Layout básico do edifício principal da Estação Antártica Comandante Ferraz com a localização dos pontos de monitoramento de aldeídos, MP e fungos.	71
Figura 4-3 –(a) Amostradores Radiello®. (b) Esquema do seu funcionamento. Fonte: FONDAZIONE SALVATORI MAUGERI, 2011.	76
Figura 4-4 – (a) e (b) Amostradores expostos à altura de 1,50m no ambiente da Sala de estar.	76
Figura 4-5 – (a) Esquema de funcionamento do HPLC. (b) Equipamento HPLC do LABSAN - UFES.	77
Figura 4-6 – Cromatograma da mistura dos padrões de carbonil-hidrazonas na concentração de 0,1 µg/mL. 1) Formaldeído, 2) Acetaldeído, 3) Acetona, 4) Acroleína, 5) Propionaldeído, 6) Crotonaldeído, 7) Butiraldeído, 8) Benzaldeído, 9) Isopentanal, 10) Pentanal, 11) o-tolualdeído, 12) m-tolualdeído, 13) p-tolualdeído, 14) Hexaldeído e 15) 2,5-dimetilbenzaldeído.....	78
Figura 4-7 – (a) Perfis cromatográficos referentes a amostra do Camarote 10 e do Padrão na concentração de 0,1 µg/mL. (b) Perfis cromatográficos dos padrões nas concentrações de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 µg/mL mostrando a relação entre área e concentração. Destaque para o pico 1: Formaldeído.....	79
Figura 4-8 – Princípio de funcionamento do LAS. Fonte: GRIMM AEROSOL TECHNIK, 2010.	81

Figura 4-9 – Equipamento LAS integrado aos sistemas de monitoramento meteorológico fazendo as medições do ambiente da Sala de estar. Diário de registro de atividades próximo ao equipamento.....	82
Figura 4-10 – Monitoramento de material particulado fino com Minivol a uma altura padrão de 1,5m na (a) Sala de estar e no (b) Externo Imediato a EACF.....	87
Figura 4-11 - (a) Representação esquemática da fluorescência de raios X por dispersão de energia (FILHO, 1999). (b) Equipamento EDX 700 localizado no Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos do IAG/USP. Fonte: MAIOLI, 2011.....	88
Figura 4-12 – Refletômetro usado para quantificação de BC localizado no Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos do IAG/USP. Fonte: MAIOLI, 2011.....	89
Figura 4-13 – (a) MEV/EDX utilizado na análise morfológica das partículas de MP2,5 localizado no PROPEMM do IFES (b) filtros recortados e colocados no porta amostra.	91
Figura 4-14 – Impactador de um estágio tipo Andersen (a) fechado e (b) aberto. Fonte: DIAS, 2005.	91
Figura 4-15 – (a) Equipamento de amostragem posicionado a 1,5 m de altura no ambiente da Sala de estar. (b) Impactador aberto e sendo limpo após cada amostragem.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1– Principais fontes de contaminação do ar interno e seus respectivos contaminantes.....	27
Quadro 4-1 – Resumo dos materiais de construção, atividades e sistemas de ventilação dos ambientes (continua).....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Diretrizes da OMS para QAI e alguns padrões de países entre eles o Brasil.	41
Tabela 4-1 – Gradiente utilizado para análise dos compostos orgânicos em Cromatografia Líquida.....	78
Tabela 4-2 – Monitoramento de material particulado com LAS. Local de medição, data e hora de início e fim da coleta, dia da semana e duração dos experimentos.	83
Tabela 4-3 – Constantes da declividade da curva e interseção da curva de regressão linear para cada equipamento de Minivol. Fonte: AIRMETRICS, 2011.	85
Tabela 4-4 – Monitoramento de material particulado com <i>Minivol</i> . Local de medição, data e hora de início e fim da coleta, dia da semana, duração dos experimentos e fluxo de ar constante utilizado.	86

LISTA DE SIGLAS

AMRJ – Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro
ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AT – Área de Transição
CC – Composto Carbonílico
COV – Composto Orgânico Volátil
DGA – Dormitório do Grupo do Arsenal
EACF – Estação Antártica Comandante Ferraz
EUA – Estados Unidos da América
FE - Fase estacionária
FM – Fase móvel
GB – Grupo Base
HPLC – *High Performance Liquide Chromatography*
IARC – Agência Internacional de Pesquisa do Câncer
LD – Limite de detecção
LQ – Limite de Quantificação
MCOV – Composto Orgânico Volátil microbiológico
MDF - *Medium density fiberboard*
MDP - *Medium Density Particleboard*
MP – Material particulado
MP_{1,0} – Material particulado menor que 1,0 µm
MP₁₀ – Material particulado menor que 10 µm
MP_{2,5} – Material particulado menor que 2,5 µm
MP₅ – Material particulado menor que 5,0 µm
OMS – Organização Mundial da Saúde
OSB - *Oriented Strand Board*
QAI – Qualidade do ar de Interiores
SED – Síndrome do Edifício Doente
UR – Umidade Relativa
UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Qualidade do ar de interiores (QAI)	20
1.2	Qualidade do ar de ambientes internos em edificações na Antártica	21
1.3	Estudo da Qualidade do Ar de Interiores na Estação Antártica Comandante Ferraz (Brasil)	22
1.4	Objetivo geral	23
1.5	Objetivos específicos	23
1.6	Estrutura do trabalho	24
2	REVISÃO DA LITERATURA	25
2.1	Qualidade do ar de interiores	25
2.2	Síndrome do Edifício Doente (SED)	27
2.3	Influência das atividades humanas e dos materiais construtivos na QAI	29
2.3.1	Presença humana	29
2.3.2	Cocção	30
2.3.3	Fumo	30
2.3.4	Produtos de limpeza e cosméticos	31
2.3.5	Materiais de construção	32
2.4	Legislação sobre qualidade do ar interno	38
2.5	Principais contaminantes do ar interno	43
2.5.1	Compostos Orgânicos Voláteis (COV) - aldeídos	43
2.5.2	Material Particulado (MP)	45
2.5.3	Microbiológicos: Fungos	51
2.6	Trabalhos correlatos	54
3	A REGIÃO DE ESTUDO	59
3.1	A Antártica	59
3.2	A Estação Antártica Comandante Ferraz	61
3.2.1	Condições climáticas próximas a EACF	67
4	METODOLOGIA	68
4.1	Planejamento das etapas de trabalho	68
4.2	O experimento	70
4.2.1	Locais de amostragem	70
4.2.2	Diário de Campo	72
4.2.3	Técnicas de amostragem, Análises laboratoriais e Tratamento de dados	75

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	94
5.1	Artigo 1: “ <i>Indoor air quality as na architectural design parameter for new constructions in Antarctica</i> ”	94
5.2	Artigo 2: “ <i>Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic Research Station</i> ”	121
5.3	Artigo 3: “ <i>Impact of human activities on the concentration of indoor air particles in a Research Station in the Antarctic</i> ”	146
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	165
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	169
	Anexo I	181

1 INTRODUÇÃO

A Antártica é a região mais preservada da Terra. Sua condição de isolamento geográfico promovido pelo Oceano Austral e pelo clima extremo requer uma difícil trajetória e um grande esforço logístico para que suas extensas áreas sejam tocadas pelo homem. Desta forma, o estado de preservação do seu ecossistema, as peculiaridades da região e a distância das potenciais fontes de poluição justificam o grande interesse no continente conhecido como “laboratório natural do Planeta”.

Esse efetivo desenvolvimento de pesquisas continuadas na Antártica depende da existência de Estações Científicas que forneçam abrigo e apoio logístico aos pesquisadores. Desta forma, as características ambientais de clima extremo desse local induzem à concepção de arquiteturas enclausuradas, prevendo-se longos períodos de permanência da sua população no interior das Estações e o desenvolvimento de potenciais fontes de poluição atmosférica, o que as torna um importante objeto na investigação da Qualidade do Ar Interno (QAI).

A qualidade do ar dentro dos edifícios relaciona-se com numerosas enfermidades, tais como tosse, dor de cabeça, irritação nos olhos, garganta e nariz, letargia e, principalmente, o agravamento de doenças respiratórias como asma e rinite, (ONGWANDEE *et al.*, 2011; CARAZO FERNÁNDEZ *et al.*, 2013), além do fato que a mais notável exposição humana ocorre em meios internos, onde uma pessoa passa 90% do seu tempo (GODISH, 2003).

Além disso, é sabido que mensurar a parcela de contribuição de contaminação aérea gerada internamente a um edifício, não é uma tarefa simples devido à variedade de fontes existentes, principalmente em se tratando de monitoramentos em grandes cidades. Estudos em câmaras de teste laboratoriais tentam avaliar a contribuição individualmente de prováveis fontes de emissão de poluentes (GÉHIN; RAMALHO; KIRCHNER, 2008), entretanto sabe-se que há uma grande diferença entre essa técnica e as condições reais de operação de um edifício (SENITKOVA, 2014).

É importante destacar também que o crescimento das atividades humanas na Antártica a partir da implantação de várias Estações pode, em longo prazo, influenciar a composição da atmosfera local (MISHRA *et al.*, 2004). Desta forma, a configuração de uma situação real de funcionamento de uma edificação em solo antártico possibilita identificar e quantificar os

impactos antropogênicos de suas atividades sem a influência competitiva dos grandes centros urbanos, contribuindo cientificamente para o entendimento da poluição do ar interior especificamente gerada pelo edifício.

1.1 Qualidade do ar de interiores (QAI)

Em se tratando de contaminação do ar, há uma associação imediata com fontes de poluição localizadas no exterior dos edifícios, como automóveis e fábricas, por isso é muito comum pensar que a qualidade do ar é um problema relacionado exclusivamente ao ar externo. Entretanto, a contaminação do ar ocorre tanto em exteriores quanto nos interiores das construções, podendo chegar a ser cinco vezes maior dentro das edificações do que ao ar livre, representando uma situação perigosa para saúde humana (GODISH, 2003).

Sabe-se que as características construtivas de uma edificação influenciam diretamente na Qualidade do Ar Interno – QAI (LANGER; BEKÖ, 2013). Fatores como a idade do edifício, a compartimentação interna da construção, a localização e dimensão das aberturas e a eficiência dos sistemas de ventilação e renovação de ar exercem um papel importante na concentração e dispersão de poluentes internos (SANTOS *et al.*, 2011).

Além disso, tem-se que os materiais de construção podem ser responsáveis pela emissão de até 40% dos poluentes no edifício, permanecendo um curto tempo de vida no ambiente ou levando um longo período se manifestando (MISSIA *et al.*, 2010). Da mesma forma, as atividades humanas que são desenvolvidas no ambiente, tais como cozinhar, fumar, varrer, limpar os móveis, utilizar cosméticos, produtos de higiene pessoal e materiais de limpeza, conduzir e guardar veículos, assim como a própria presença humana; também mostram forte impacto na concentração final de poluentes internos (BRANIŠ; ŘEZÁČOVÁ; DOMASOVÁ, 2005; UHDE *et al.*, 2006; BLONDEL; PLAISANCE, 2011; KIM *et al.*, 2011; BÖHLANDT *et al.*, 2012; BUONANNO; STABILE; MORAWSKA, 2014).

O interesse pela qualidade do ar de interiores, datado dos anos 80 do século passado, período de maior impulso das pesquisas nessa área (ANDERSEN, 1975; DOCKERY *et al.*, 1981; HOLLOWELL *et al.*, 1980; MOSCHANDREAS, 1985), faz com que a legislação em vigor acerca dos níveis permitidos de poluentes internos ainda deixe a desejar, não apresentando um critério de regulamentação bem definido. Muitos países ainda não apresentam padrões nacionais e em sua maioria as regulamentações se restringem a locais específicos, como

ambientes climatizados, industriais ou hospitalares. Além disso, há uma ampla variação do conjunto de poluentes abordados entre os órgãos regulamentadores.

De forma geral, têm-se classificado como poluentes do ar interno os seguintes elementos: dióxido de carbono - CO₂, monóxido de carbono - CO, dióxido de nitrogênio - NO₂, dióxido de enxofre - SO₂, ozônio - O₃, radônio, chumbo, compostos orgânicos voláteis - COV, material particulado - MP e contaminantes microbiológicos.

Existem na literatura especializada diversos estudos de avaliação da qualidade do ar de interiores, principalmente em regiões densamente ocupadas, sendo comum a análise ser feita utilizando em média um ou dois poluentes para avaliação da qualidade do ar interno, (SEIFERT *et al.*, 1989; KALOGERAKIS *et al.*, 2005; FROMME *et al.*, 2007; BEGUM *et al.*, 2009; FENECH *et al.*, 2010; PEGAS *et al.*, 2012; BRANCO *et al.*, 2014; XIAO *et al.*, 2015).

1.2 Qualidade do ar de ambientes internos em edificações na Antártica

Considerando a avaliação da qualidade do ar interno em climas de alta latitude, verifica-se a existência de estudos em regiões do Ártico (PASANEN *et al.*, 1992; ISBELL; STOLZBERG; DUFFY, 2005; SALONEN *et al.*, 2007; KATSOYIANNIS *et al.*, 2014), que ao contrário da Antártica não se trata de um continente, e sim de uma calota de mar congelado cercado de continentes por todos os lados, com estreitas faixas de oceanos livres. Inúmeras diferenças além da geológica e geográfica caracterizam os dois hemisférios, dentre essas, enquanto o Ártico é uma depressão a Antártica apresenta uma elevação média de 2000 m de altitude, é uma região mais seca, com mais ventos, mais isolada e mais fria. A diferença de temperatura média entre os dois polos é de 15°C, que é o que de fato, possibilitou a existência de populações nativas no Ártico (ALVAREZ, 2003).

Os estudos de avaliação do ar interno em edificações de clima antártico são praticamente inexistentes, com exceção de Duncan *et al.* (2010) que quantificou e identificou as espécies de fungos dominantes no ar interior das três cabanas históricas construídas na Ilha de Ross, da chamada “Era Heroica Antártica”, datadas do início do século XX.

Sendo assim, as pesquisas sobre qualidade do ar em clima antártico são quase em sua totalidade sobre a contaminação do ar externo (ARTAXO; ANDRADE; MAENHAUT, 1990; BEYERSDORF *et al.*, 2010; MAZZERA *et al.*, 2001; MISHRA *et al.*, 2004; PANT;

SIINGH; KAMRA, 2011; PARUNGO; BODHAINE; BORTNIAK, 1981; PEREIRA; LOUREIRO; VASCONSELLOS, 1992; TEINILÄ *et al.*, 2014). A maior parte das pesquisas realizadas relaciona o aumento das visitas turísticas e das atividades de pesquisa das Estações científicas com o aumento da contaminação de determinados poluentes no ambiente antártico o que reforça a importância de se analisar uma Estação Antártica.

1.3 Estudo da Qualidade do Ar de Interiores na Estação Antártica Comandante Ferraz (Brasil)

Considerando o exposto, o presente estudo investigou a qualidade do ar interno das edificações que compunham a Estação Antártica Comandante Ferraz localizada na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, onde anualmente permitia a estadia de um grupo de aproximadamente 65 pessoas entre civis e militares por períodos que variam de um mês a um ano de permanência. Esta foi a primeira vez que a QAI de uma Estação Científica foi avaliada na região da Antártica.

Durante a XXX Operação Antártica em janeiro de 2011 foram avaliados três tipos de contaminantes: aldeídos, materiais particulados e fungos. Os resultados encontrados foram relacionados com as prováveis fontes de emissão de poluentes provindos das atividades humanas e materiais construtivos identificados no local, e comparados com os limites de exposição máxima de poluentes estabelecidos pela legislação nacional e internacional.

O trabalho originalmente concebido tinha o propósito principal de diagnosticar o problema, entendê-lo e propor melhorias nas condições das edificações existentes. Entretanto, em 25 de fevereiro de 2012 houve um incêndio de grandes proporções que destruiu as edificações que compunham o corpo principal da Estação brasileira na Antártica (GLOBO, 2012), fazendo com que o Programa Antártico Brasileiro – PROANTAR promovesse um concurso internacional para a escolha do projeto e posterior construção das novas edificações da EACF, visando, dentre vários aspectos, a efetiva aplicação do conceito de sustentabilidade (BRASIL, 2013). Sendo assim, a QAI é considerada como um importante parâmetro de estudos de Qualidade do Espaço Construído – (*Indoor Environment Quality* - IEQ), em que soluções implementadas ainda na fase de projeto podem contribuir para o melhor desempenho da futura edificação (CATALINA; IORDACHE, 2012). O projeto para as novas edificações da EACF prevê a ocupação máxima no inverno de 34 pessoas e, no verão, de 64 usuários entre civis e militares.

Entretanto é perceptível a pouca importância dada para os aspectos inerentes à QAI na construção de Estações Científicas na Antártica, mesmo considerando o caráter de confinamento da maioria dos ambientes e a saúde de seus ocupantes. Desta forma, é importante ressaltar que, em função dos estudos específicos deste trabalho foi possível subsidiar o desenvolvimento do novo projeto de reconstrução das edificações da EACF, cuja escolha de materiais e componentes foi feita, além dos requisitos técnicos específicos, alicerçado na busca pela melhor Qualidade do Ar Interno.

Sendo assim, o monitoramento dos contaminantes aéreos realizado nas antigas instalações da Estação Brasileira possibilitou que critérios e diretrizes relacionadas à qualidade do ar interior fizessem parte do Termo de Referência (TR) da licitação pública internacional – na forma de concurso de projetos – para as novas edificações da EACF (BRASIL, 2013) incluindo pela primeira vez esse parâmetro na concepção projetual em edificações brasileiras no continente. Espera-se, ainda, que os resultados obtidos possam ser replicados para outras edificações, brasileiras ou não, considerando a similaridade dos ambientes das edificações antárticas, bem como a forma de uso, independente do país de origem.

1.4 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a qualidade do ar interno das antigas instalações da Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF), relacionar com as prováveis fontes de emissão de poluentes provindos dos materiais construtivos e das atividades humanas e propor métodos de controle para um melhor desempenho da QAI direcionados às edificações antárticas.

1.5 Objetivos específicos

Considerando que a metodologia da pesquisa requer a realização de experimentos de campo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Determinação e quantificação de aldeídos no ar interno da EACF;
- Caracterização e quantificação da concentração em número e massa do material particulado em diferentes faixas de tamanho de diâmetro no ar interno à EACF, caracterizando a composição química e morfológica do MP_{2,5};
- Quantificação da concentração e identificação da contaminação microbiológica por fungos no ar em ambientes internos a EACF.

- Diagnóstico e identificação das prováveis fontes de emissão de poluentes aéreos provindos dos materiais construtivos e das atividades humanas decorrentes do funcionamento da Estação Antártica Comandante Ferraz.
- Estabelecimento de métodos de controle da qualidade do ar interno direcionados a edificações antárticas.

1.6 Estrutura do trabalho

A tese esta dividida em sete capítulos contando com essa introdução. O Capítulo 2 apresenta a necessária revisão da literatura sobre qualidade do ar de interiores, buscando fornecer o desejável embasamento conceitual sobre o assunto. O Capítulo 3 apresenta a região de estudo – a Antártica – considerando especialmente suas características atípicas. Inclui-se nesse capítulo a descrição da Estação Antártica Comandante Ferraz. Já o Capítulo 4 descreve a metodologia aplicada nesse estudo apresentando, dentre outros fatores, o planejamento do experimento de campo, as amostragens e as análises laboratoriais.

Os resultados obtidos por essa pesquisa foram organizados na forma de três artigos¹. O primeiro é o principal produto da tese e os outros dois são complementares, uma vez que lidam com temas específicos dentro do objetivo geral do estudo. São eles: *i) Indoor air quality as an architectural design parameter for new constructions in Antarctica*, *(ii) Characterization of indoor particles and their sources in an Antarctic Research Station*, *(iii) Impact of human activities on the concentration of indoor air particles in a Research Station in the Antarctic*. Tais resultados compõem o Capítulo 5 e no Capítulo 6, são apresentadas as conclusões e as principais recomendações para trabalhos futuros. Ao final, as referências bibliográficas utilizadas na pesquisa. Visando a efetiva compreensão da forma de obtenção das informações, o modelo do Diário de campo aplicado durante o experimento foi reproduzido no Anexo I.

¹ Formatação permitida pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA, da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este Capítulo apresenta uma revisão de literatura sobre a qualidade do ar de interiores, abordando conceitos fundamentais para o seu entendimento (Seção 2.1) e um de seus principais problemas discutidos na área – a Síndrome do Edifício Doente (Seção 2.2). A Seção 2.3 descreve as principais atividades humanas e materiais construtivos que influenciam na QAI, uma vez que um dos objetivos desse trabalho é a relação dos resultados encontrados com essas prováveis fontes de contaminação. A Seção 2.4 faz uma síntese acerca da legislação nacional e internacional deste assunto, a fim de proporcionar a comparação posterior dos resultados dessa pesquisa com os limites máximos de exposição estabelecidos.

Já a Seção 2.5 descreve conceitos dos principais contaminantes internos, que foram monitorados nessa pesquisa, ou seja, os aldeídos, o material particulado e os fungos. Por último a Seção 2.6 apresenta alguns trabalhos científicos publicados e correlatos a essa pesquisa.

2.1 Qualidade do ar de interiores

A qualidade do ar de interiores tornou-se um tema de pesquisa importante na literatura científica nos últimos 35 anos. Numerosos estudos têm demonstrado que o ar dentro das edificações é contaminado por uma variedade de poluentes que podem chegar a níveis de concentração cinco vezes maiores do que ao ar livre, gerando efeitos adversos à saúde que podem ser até mais danosos do que exposições em exteriores de cidades industrializadas. As exposições interiores variam de 8 horas diárias em edifícios de escritórios, comerciais e institucionais para 16 a 24 horas diárias em residências. Em contraste, a média de tempo que um indivíduo gasta no exterior é de aproximadamente 2 horas. Deste modo, períodos de exposições prolongadas geralmente ocorrem em meios construídos (GODISH, 2003).

Os efeitos adversos associados à qualidade baixa do ar respirado incluem um grande número de doenças, desde ocupacionais até cardiovasculares, assim como risco de câncer em ambientes específicos. Asma e rinite, por exemplo, são doenças inflamatórias as quais o processo é desencadeado e mantido pela exposição a poluentes presentes no ambiente interno (BOECHAT, 2009). A Organização Mundial da Saúde estima cerca de dois milhões de

mortes anualmente no mundo são atribuídas à contaminação do ar de interiores (CARAZO FERNÁNDEZ *et al.*, 2013).

Na maior parte das situações, o meio interior protege as pessoas de poluentes provindos do exterior. O meio externo está diretamente relacionado com o meio interno já que uma fração destes poluentes infiltra a edificação através de orifícios da construção como portas e janelas, dessa forma a concentração final de poluentes internos é o resultado da infiltração de poluentes provindos de fontes externas ao edifício somado aos poluentes gerados por fontes internas ao mesmo.

Inicialmente o grande interesse pelo tema foi após a descoberta de que baixas taxas de troca de ar nestes ambientes ocasionam um aumento considerável na concentração de poluentes químicos e biológicos no ar interno. Fatores como o *layout* da construção, localização das aberturas e o tipo de ventilação exercem influência direta sobre a qualidade do ar interno (SANTOS *et al.*, 2011).

Paralelamente, houve um grande aumento na diversidade dos materiais construtivos de acabamento e mobiliário, que contém substâncias químicas passíveis de serem dispersas no ar de interiores (WESCHLER, 2009). Itens como carpetes, móveis, roupas e tapetes não somente liberam fibras e substâncias químicas, como também fornecem um ambiente propício para a proliferação de agentes biológicos, tais como bactérias, fungos e ácaros. O tipo de atividade que é desenvolvida no ambiente também mostrou, ao longo das pesquisas desenvolvidas sobre o assunto, forte impacto na concentração final de poluentes. Processos simples de limpeza, por exemplo, como varrer, aspirar e espanar a poeira, normalmente aumenta, por ressuspensão, a concentração de partículas no ar (GÉHIN; RAMALHO; KIRCHNER, 2008).

Embora muitos poluentes sejam comuns à maior parte dos meios construídos, os problemas da qualidade do ar em interiores diferem um pouco de edificações comerciais, institucionais e de escritório quando comparados com residências, principalmente pela característica da população que o frequenta, o período de exposição e a diferença do grau de contribuição das fontes.

Com a crise do petróleo na década de 70 do século passado, houve a necessidade do racionamento de energia, e para manter a eficiência na climatização interna, a solução foi a chamada construção “hermeticamente” fechada. Nesse processo ocorre a diminuição da taxa de ventilação gerando uma maior concentração de poluentes provenientes de fontes internas.

O Quadro 2-1 mostra as principais fontes de emissão de contaminantes no ar interno. De forma geral, têm-se classificado como poluentes do ar interno os seguintes elementos: dióxido de carbono - CO₂, monóxido de carbono - CO, dióxido de nitrogênio - NO₂, dióxido de enxofre - SO₂, ozônio - O₃, radônio, chumbo, compostos orgânicos voláteis - COV, material particulado - MP e contaminantes microbiológicos.

Situação	Fonte de emissão	Contaminantes
Exteriores	Produção industrial	SO ₂ , NO ₂ , NO, O ₃ , MP, CO e COV
	Veículos	CO, NO ₂ , NO, HPA, chumbo, MP, COV
	Solo	Radônio, material particulado
Interiores	Materiais construtivos	
	Pedra, cimento	Radônio
	Madeira compensada	COV, formaldeído
	Isolamento térmico e acústico	Formaldeído, fibras de vidro
	Tintas, adesivos, solventes	COV, chumbo
	Mobiliário e revestimentos	COV
	Materiais úmidos e porosos	Microbiológicos
	Carpetes e papeis de parede	COV e microbiológicos
	Sistemas de ventilação	Microbiológicos
	Atividades	
	Metabolismo/ Presença humana	CO ₂ , COV, MP
	Cocção	CO, CO ₂ , NO ₂ , NO, COV, MP
	Impressoras e fotocopiadoras	O ₃ e COV
	Limpeza	COV, MP
	Fumo	CO, NO ₂ , MP, COV, nicotina, HPA, fenóis, nitrosaminas
Cosméticos	COV	

Quadro 2-1– Principais fontes de contaminação do ar interno e seus respectivos contaminantes.

Fonte: Adaptado de Fernandez et al. (2013).

Após a implantação desse sistema dos prédios “selados”, apareceram os primeiros relatos de queixas em relação à saúde e conforto dos ocupantes de ambientes internos. Em 1982 a Organização Mundial de Saúde (OMS) reconheceu a existência da Síndrome do Edifício Doente (SED), quando comprovou que a contaminação do ar interno de um hotel na Filadélfia foi responsável por 182 casos de pneumonia e pela morte de 29 pessoas por um surto de infecção respiratória, causado por uma bactéria, a *Legionella pneumophila*, presente na poeira do ar condicionado central (INMETRO, 2013).

2.2 Síndrome do Edifício Doente (SED)

A Síndrome do Edifício Doente, terminologia descrita pela União Europeia, consiste na ocorrência de sintomas não específicos, que são comuns à população em geral, mas que numa situação temporal pode ser relacionada a um edifício em particular (WHO, 1983).

Diz-se que um edifício está “doente” quando cerca de 20% de seus ocupantes apresentam sintomas transitórios associados ao tempo de permanência em seu interior, que tendem a

desaparecer após curtos períodos de afastamento. Em alguns casos, a simples saída do local já é suficiente para que os sintomas desapareçam. As reclamações podem estar localizadas em uma determinada área, ou podem estar disseminadas por todo o edifício (INMETRO, 2013).

Em termos amplos os sintomas da SED podem ser divididos em sintomas relacionados às membranas mucosas como irritação dos olhos, nariz e garganta; pele seca e sintomas gerais como dor de cabeça, cansaço, falta de concentração, náuseas, entre outros. Difere de outras síndromes médicas no que se refere ao binômio edifício-trabalhador, ao invés de um estado clínico em um único indivíduo. Tal definição resulta na impossibilidade de avaliação de SED ser usada como um diagnóstico de pessoas individualmente (THÖRN, 1998).

As queixas mais comuns verificadas em avaliações de edifícios são irritações nos olhos, dor de cabeça e fadiga. Queixas sobre chiados no peito e dificuldade respiratória são menos comuns, mas aparecem com mais frequência em edifícios com sistemas de climatização (ONGWANDEE *et al.*, 2011; TURUNEN *et al.*, 2014).

É importante destacar que o diagnóstico de SED pode ser bastante controverso, devido à ausência de biomarcadores objetivos relacionando os sintomas observados com a população exposta à poluição do ambiente interno (BOECHAT, 2009). O nível de iluminação natural em um edifício, por exemplo, também é associado com relatórios de dor de cabeça e letargia durante a permanência no local (APTER; BRACKER; HODGSON, 1994).

Fatores ambientais e pessoais também estão relacionados com a Síndrome do Edifício Doente. Entre os ambientais pode-se destacar alteração na temperatura de interiores, baixa ventilação, umidade relativa do ar abaixo ou acima dos níveis recomendados, paredes úmidas, crescimento visível de fungos, exposição ao fumo, exposição a produtos químicos e poeira. Com relação a fatores de risco individuais, a SED pode estar relacionada ao gênero – maior prevalência em mulheres –, doenças pré-existentes, estresse, depressão e poucas horas de sono. Desta forma a maior parte dos autores consultados considera o problema da SED resultado de uma variedade de fatores e não atribuem a apenas uma ou outra causa (BOECHAT, 2009).

Considerando a complexidade na avaliação da Síndrome do Edifício Doente, foram criadas diversas metodologias, através da aplicação de questionários específicos aos usuários, considerando um conjunto de fatores, sendo o de sintomas o mais utilizado (RAW, 1996). O

tempo médio para se considerar que os sintomas apresentados pelo indivíduo estão associados ao tempo de permanência em um “edifício doente” é de doze meses (RIOS *et al.*, 2009).

Deve-se levar em consideração também que há uma correlação positiva entre os sintomas de prevalência da SED e o aumento da concentração de contaminantes aéreos dentro dos edifícios (ONGWANDEE *et al.*, 2011), sendo assim, a identificação e a posterior eliminação ou redução das fontes de contaminação se torna uma forte aliada no controle da qualidade do ar interno.

2.3 Influência das atividades humanas e dos materiais construtivos na QAI

Sabe-se que a maior parte das fontes internas de contaminação do ar provém, possivelmente, de atividades humanas e dos materiais construtivos e que o controle ou extinção dessas fontes internas é o método mais eficaz para contribuir com a qualidade do ar interno comparando-se com o aumento da ventilação (KEELER; BURKE, 2010).

2.3.1 Presença humana

As próprias pessoas e suas respectivas atividades ocupacionais são um dos maiores contribuintes para a poluição do ar em ambientes fechados, não apenas pela liberação de dióxido de carbono através da respiração ou de substâncias químicas pela transpiração, mas também pelo transporte de microorganismos, tais como bactérias, fungos, vírus e ácaros (BRICKUS; AQUINO NETO, 2001).

Braniš; Řezáčová e Domasová (2005) afirmaram que as atividades ocupacionais podem representar a principal fonte de poeira no ar interno – incluindo fibras de roupas, fragmentos de cabelo, partículas sólidas, células da pele, ressuspensão de partículas de várias origens, papel, esporos fúngicos e outros. Seus estudos demonstraram que em meios urbanos a concentração de partículas grossas – maiores que MP_{2,5} pode ser mais associada com a presença humana e com as atividades internas enquanto que as partículas menores podem ser mais correlacionadas com a poluição de partículas de origem externa.

Resultados similares foram encontrados por Tran *et al.* (2014) que monitoraram material particulado no ar interno de escolas na zona rural, urbana e industrial no norte da França. O estudo mostra que as atividades das crianças impactaram mais fortemente na suspensão da moda grossa (2 a 10 µm) do que na moda fina (< 2 µm). Durante o período das aulas, a

concentração média interna de MP₁, MP₁₋₂, MP₂₋₅ e MP₅₋₁₀ cresceu respectivamente em um fator de 2,9, 3,1, 8,7 e 33,8 comparado com os períodos desocupados. Em síntese a ressuspensão de partículas pela movimentação de pessoas, contribui para o aumento da concentração de partículas grossas, geralmente acima de 1 µm (HE *et al.*, 2004).

2.3.2 Cocção

A atividade de cocção era uma área até então negligenciada de impacto a saúde humana embora seja uma importante fonte de poluentes como material particulado, SO₂, CO e compostos orgânicos voláteis. Cozinhar reflete uma combinação de fatores em função de diferentes ingredientes, tipos de óleo e métodos utilizados. Fritar, assar e grelhar pode exercer diferentes impactos não somente na qualidade da comida como também na emissão de poluentes (SEAMAN; BENNETT; CAHILL, 2009).

Baek, Kim e Perry (1997) relataram à presença de 99 poluentes incluindo partículas respiráveis em suspensão, CO e COV, em churrasarias do estilo Coreano, que utilizam a carne sobre chapas de pedra na brasa. KIM *et al.* (2011) reportaram a emissão da substância acroleína em concentrações significativas de cozinhas domésticas a partir do aquecimento acima de 180 °C com diferentes tipos de óleo, tais como, canola, azeite extra virgem e azeite de oliva. Diferenças de culturas culinárias e o tipo de óleo utilizado na atividade têm se mostrado uma das principais causas de poluição por cocção e por isso alvo de pesquisas (LEE; LI; YIN CHAN, 2001; SEE; BALASUBRAMANIAN, 2008).

Em churrasarias com queima de carvão, Taner, Pekey e Pekey (2013) identificaram elementos incluindo V, Se, Zn, Cr, As, Cu, Ni, e Pb no MP_{2,5}, os quais são metais com potenciais riscos à saúde quando inalados nas partículas finas provenientes da cocção com carvão. Buonanno *et al.* (2013) afirmaram que a atividade de cocção e o meio de transporte foram os fatores que mais influenciaram a concentração de partículas ultrafinas e de *Black Carbon – BC* na avaliação de 103 crianças de 8 a 11 anos na região central da Itália. De forma geral, em ambientes internos, na ausência da fumaça do tabaco, as atividades de cocção são as principais fontes das partículas com diâmetros menores do que 1 µm (WAN *et al.*, 2011).

2.3.3 Fumo

O fumo contém mais de 4000 produtos químicos sob a forma de partículas, vapores e gases com composição variada dependendo do tipo de tabaco consumido. Por isso, a atividade de queima do tabaco, quando presente, é a principal fonte de poluição do ar nos ambientes

internos, a ponto de os níveis de particulados em residências de fumantes serem diversas vezes superiores àqueles observados no ambiente externo (WESCHLER, 2009).

Num estudo realizado em duas grandes cidades na Coréia do Sul, observou-se que, em média, 20% do material particulado suspenso respirável – menor que 10 μm , em locais de fumo permitido – estavam diretamente ligados à atividade de fumar (BAEK; KIM; PERRY, 1997). É ampla a relação entre a presença de fumantes em meios internos e o aumento de diversos poluentes (BÖHLANDT *et al.*, 2012; SLEZAKOVA *et al.*, 2009).

O tabagismo ativo tem sido associado a várias doenças pulmonares e cardíacas além de ser a principal causa de câncer em diversos órgãos e inevitavelmente até de morte. Da mesma forma, o tabagismo passivo, ou seja, a exposição à fumaça ambiental do tabaco tornou-se tão importante para a questão da saúde quanto o tabagismo ativo, já que teve também seu efeito cancerígeno comprovado (IARC, 2012).

Em meados de 1996, o Governo Federal Brasileiro proibiu o fumo em lugares fechados de uso coletivo, baseado em pesquisas realizadas por agências internacionais (BRICKUS; AQUINO NETO, 2001).

2.3.4 Produtos de limpeza e cosméticos

Produtos de limpeza, ambientadores perfumados, produtos de lavanderia, produtos de higiene pessoais e cosméticos têm, nas últimas décadas, evoluído o seu número de fragrâncias incluindo uma complexa quantidade de substâncias químicas perigosas, dentre estas, os compostos orgânicos voláteis, e que muitas vezes nem são divulgados ao público através dos seus rótulos (STEINEMANN, 2009).

Em 1950 o benzeno, que tem sua toxicidade reconhecida internacionalmente desde 1897, foi encontrado em muitos produtos de limpeza especialmente aqueles que contêm solventes aromáticos. No início de 1980 começou haver uma mudança na composição da maior parte desses produtos, substituindo a utilização de aromáticos clorados por agentes ativos à base de glicol éter e fazendo com que o benzeno quase tenha desaparecido (WESCHLER, 2009).

Entretanto, a produção de substâncias químicas vem aumentando perceptivelmente de forma progressiva no planeta em geral. Em 1930 foram produzidas um milhão de toneladas de produtos químicos e, na primeira década do século XXI, já era mais de 400 milhões de toneladas, sendo mais de 100 mil as substâncias registradas na União Europeia, e 30 mil delas comercializadas em quantidades superiores a uma tonelada (COSTA, 2009).

Um estudo publicado em 2009 revelou um número elevado de pessoas com reações a produtos aromáticos presentes em fragrâncias, sendo que 19% deles apresentaram problemas respiratórios, dores de cabeça e irritação nos olhos (STEINEMANN, 2009). Outra relação encontrada foi no aumento do número de prevalência de asma em indivíduos expostos a produtos de limpeza (QUIRCE; BARRANCO, 2010).

Além disso, outros trabalhos na literatura mostram elevadas concentrações de aerossol, principalmente de partículas finas e ultrafinas, a partir do uso de sprays em produtos de higiene pessoal e cosméticos (GÉHIN; RAMALHO; KIRCHNER, 2008; UHDE *et al.*, 2015). Esses produtos caracterizam pela contribuição de altas concentrações de partículas no ar interno em um curto período de tempo, correspondendo ao tempo requerido para aplicação e uso (CONNER *et al.*, 2001). Essas partículas podem servir de veículos para o transporte de substâncias químicas perigosas presentes na composição desses produtos, penetrando mais profundamente no trato respiratório humano.

Contudo, os produtos de limpeza e cosméticos em geral ainda têm notavelmente uma menor atenção como contaminantes internos, fazendo com que haja uma necessidade de melhor compreensão dos componentes desses produtos, os riscos e seus efeitos adversos a saúde (WESCHLER, 2009).

2.3.5 Materiais de construção

Ao longo do último século, têm ocorrido grandes mudanças em relação aos materiais de construção e produtos de consumo usados em ambientes fechados. Isto mostra que os ocupantes das edificações de hoje estão expostos a substâncias diferentes daquelas expostas aos ocupantes de 50 anos atrás e que com a rápida evolução da indústria da construção civil, a cada dia com uma quantidade e diversidade de novos produtos, os ocupantes daqui a 50 anos também estarão expostos às substâncias diferentes das de hoje (WESCHLER, 2009).

Os materiais de construção têm demonstrado serem os responsáveis pela emissão de até 40% dos poluentes internos do edifício, podendo ter um curto tempo de vida no ambiente ou levando um longo período se manifestando (MISSIA *et al.*, 2010). Mobiliários, produtos de acabamento, revestimentos e elementos de decoração são fontes de emissão de diversas substâncias químicas, tais como, formaldeído, benzeno e tolueno.

Tradicionalmente a seleção de um material para um projeto de uma edificação tem sido feita primariamente baseada nos seguintes fatores: custo, valores estéticos, disponibilidade e

durabilidade. Atualmente, com as iniciativas sustentáveis de “construções verdes”, muitos projetos incorporam a escolha de materiais de acabamento e produtos caracterizados como “reduzido ou não tóxico”, “baixa emissão de COV” ou “livre de PVC” com a suposição que eles irão reduzir a exposição dos ocupantes ao potencial perigoso das substâncias químicas (SENITKOVA, 2014).

A seleção de materiais de baixa emissividade é indiscutivelmente um grande passo na melhora da qualidade do ar interno, entretanto, muito se tem para avançar, pois se sabe que há uma grande diferença entre as emissões de um material monitorado individualmente em câmaras de teste laboratoriais e sob as condições reais de operação de um edifício. Diversos fatores podem influenciar, como por exemplo, a variação de temperatura e umidade em uma edificação em relação às condições padrões laboratorial, a adsorção dos poluentes emitidos pela superfície de outros materiais e a interação entre os compostos químicos (SENITKOVA, 2014).

Neste contexto o monitoramento dessas emissões em uma edificação em funcionamento torna-se de suma importância no avanço dos estudos da qualidade do ar de interiores.

2.3.5.1 Produtos de madeira industrializada

Após a Segunda Guerra Mundial a madeira compensada, laminada ou aglomerada substituiu a madeira maciça em muitos mobiliários e revestimentos. Atualmente é muito comum o seu uso em armários de cozinha, cômodas, mesas, camas e móveis em geral. Nos EUA a produção de madeira compensada aumentou, entre 1954 a 1975, de quatro milhões para 16 milhões de m²/ano (APA, 2015).

Esses painéis, conhecidos comercialmente como painéis de partículas de média densidade – MDF (*Medium density fiberboard*), MDP (*Medium Density Particleboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) e aglomerados – são painéis de madeira industrializada que sofrem uma combinação de processos produtivos a alta pressão para formação das chapas duras de fibras. Para garantir a adesão das fibras e formação dessas chapas faz-se a aplicação de resinas durante a prensagem do material, e são essas resinas adesivas as responsáveis pelas emissões no ambiente (CAMPOS; LAHR, 2004).

O uso de adesivos na construção civil tem registros de mais de dois mil anos antes de Cristo, porém antigamente, usavam-se produtos naturais como óleo de baleia, ovo, borracha, pasta de farinha e outros. Até o início do século XX ocorreu pouca evolução no estudo dos adesivos,

sendo utilizados até a Primeira Guerra Mundial adesivos à base de proteínas animais (CAMPOS; LAHR, 2004).

Por volta de 1930, começou a ser empregada em escala industrial a primeira resina sintética à base de fenol-formaldeído. Nesta mesma época também foi iniciado o uso de adesivo à base de ureia-formaldeído, principalmente na produção de móveis e madeira compensada. Após a Segunda Guerra Mundial, novos adesivos foram desenvolvidos, podendo destacar o resorcinol-formaldeído, com custo maior que os citados anteriormente, porém com cura à temperatura ambiente e maior resistência à água. Atualmente os principais adesivos empregados na fabricação de painéis à base de madeira são os adesivos sintéticos, destacando-se o fenol-formaldeído, o resorcinol-formaldeído, a ureia-formaldeído e a melamina-formaldeído. Estas quatro resinas compõem, aproximadamente, 90% de todas as resinas adesivas em painéis de madeira, sendo todas elas derivados de combustíveis fósseis (CAMPOS; LAHR, 2004). Sendo que a ureia-formaldeído é mais utilizada em móveis e acabamentos internos e o fenol-formaldeído mais utilizado em materiais de aplicação em meio externo devido a sua maior resistência a água (BÖHM; SALEM; SRBA, 2012).

Essas resinas, embora comuns na utilização em produtos de madeira industrializada, emitem ao longo da vida útil do produto um Composto Orgânico Volátil, do grupo dos aldeídos, denominado formaldeído, que é classificado como carcinogênico humano pela Organização Mundial da Saúde. Desde então, padrões voluntários têm sido adotados pelas indústrias de forma a limitar as emissões de formaldeído e o uso de resinas com menor emissão deste composto tem sido uma prática (WESCHLER, 2009). Em 1994 já se registrava que 10% das queixas de qualidade do ar de interiores estavam relacionadas com o mobiliário (SPAUL, 1994).

Desta forma inúmeros estudos se dedicam a avaliar as emissões de formaldeído provenientes dos materiais construtivos. Böhm, Salem e Srba (2012) mediram em câmaras de teste laboratoriais as emissões de formaldeído de materiais de construção e acabamento com diferentes tipos de madeira utilizada na República Tcheco, encontrando em seus resultados concentrações diferentes entre os tipos de placas, mas resultados abaixo do padrão nacional Tcheco.

Gunschera *et al.* (2013) avaliaram o impacto dos materiais de construção nos níveis de formaldeído no ar de interiores, em uma câmara teste de 48 m³ sob condições climáticas controladas imitando condições de uma casa: a superfície interna foi composta de placas de gesso e a base coberta com piso laminado, os espaços entre os gesso foram selados e depois

preparados com *primer*, por último foram cobertos com papel de parede com cola antialérgica e de baixa emissão, e pintadas com tinta a base de água. Foi instalado um ventilador residencial e alguns testes foram feitos com mobiliário e carpete.

Uma das principais revelações do estudo é de que as concentrações de formaldeído no ar interno em condições reais de operação de uma edificação serão sempre influenciadas por múltiplos parâmetros, e não simplesmente pelo cálculo a partir da taxa de emissão de área específica de cada material de construção como normalmente é feito (GUNSCHERA *et al.*, 2013).

2.3.5.2 Tintas

Em 1950 as tintas à base de água (látex) começaram a substituir as tintas à base de solvente (óleo). Destaca-se que as tintas à base de água emitem menos poluentes como compostos orgânicos voláteis do que as tintas à base de solventes, contudo, ainda são uma importante fonte de emissão de COV em ambientes internos (WESCHLER, 2009).

Atualmente um grande passo da indústria em direção a edifícios sustentáveis ou “verdes” se deu com o desenvolvimento das chamadas tintas de “baixa emissividade de COV” ou “zero-COV”, correspondendo a produtos com a taxa de solvente entre 50 g/l e 250 g/l no primeiro caso e abaixo de 5 g/l no segundo caso, entretanto, poucos estudos ainda investigam a eficiência desse produto. SCHIEWECK e BOCK (2015) analisaram em testes de câmara a composição química e as características de emissão de várias tintas vendidas no mercado como “baixa emissividade de COV” ou “zero-COV”. Com base nos resultados apresentados, as diferenças entre essas tintas e as tintas convencionais não foram tão significativas quanto o esperado.

Outro problema para a qualidade do ar interno é o pó das tintas proveniente das atividades de pintura. Um estudo realizado por Huang, Yin e Yap (2010) encontraram que tanto as tintas a base de água quanto às tintas a base de solvente, produzem um tipo de pó considerado perigoso a saúde humana, uma vez que, quase todas as partículas emitidas tinham diâmetros menores do que 10 µm. Entretanto o predomínio de partículas com diâmetros menores do que 1 µm e elevadas concentrações de chumbo e zinco na poeira das tintas a base de solvente, comprovam que estas são mais prejudiciais à saúde do que as primeiras.

2.3.5.3 Outros materiais

O uso de derivados de plástico tem crescido significativamente desde 1950 na construção civil, na forma de tubulações, revestimentos de superfícies e mobiliários, principalmente após a adição de ftalatos nos plastificantes, responsáveis pela flexibilidade e maleabilidade do material. São essas substâncias as responsáveis, também, pela emissão ao longo da vida útil do produto. Uma importante aplicação dos plastificantes na indústria da construção civil é na produção do PVC – polyvinyl chloride (KEELER; BURKE, 2010).

Existem ainda vários tipos de fontes construtivas de contaminação do ar que podem ser citadas: a utilização de fibra de vidro para isolamento térmico e acústico, o amianto em coberturas e caixas de águas, os retardantes de chama e muitos outros (WESCHLER, 2009).

2.3.5.4 Protocolos e Programas de Certificações de Produtos

A premissa que o controle das fontes é a maneira mais eficaz de reduzir a poluição do ar de interiores resulta na busca de novas soluções pela indústria da construção civil na redução das emissões (NIU; BURNETT, 2001). Existem vários protocolos para o teste de emissões e programas de certificação de produto que estão se preocupando com a QAI juntamente com muitos outros aspectos ambientais (EUROFINS, 2015).

Os EUA, por exemplo, possuem alguns sistemas de etiquetagem de produtos como o Selo Verde (*Green Seal- USA*) que estabelece critérios para seleção de tintas; o Guarda Verde (*Green Guard-USA*) que possui recomendações sobre as especificações de vários produtos em relação a suas emissões e o Produto Ambientalmente Preferível (*Environmentally Preferable Product-USA*) que certifica produtos em relação a suas emissões químicas.

Na Europa também já existem inúmeros rótulos voluntários que ajudam a promover os produtos de baixa emissão no mercado. Pode-se citar: na Alemanha tem-se o EMICODE, de natureza privada que etiqueta produtos para instalação de revestimentos de piso, tais como adesivos, selantes, vernizes; o Anjo Azul (*Blue Angel*), privado, mas promovido pelo Governo, que caracteriza diversos tipos produtos utilizados em meios internos, foi a primeira etiquetagem de produto instituída no mundo; o GuT que classifica a baixa emissividade de COV de carpetes e o Comitê da Saúde relacionado a Avaliação de Produtos da Construção (*Committee for Health-related Evaluation of Building- AgBB*), promovido pelo Governo e que estabelece procedimentos para aprovação e seleção de todos os tipos produtos de construção relevantes no impacto a qualidade do ar interno.

Na Finlândia tem o M1, selo privado promovido pelo Governo que classifica a emissão de materiais de construção; na Dinamarca tem o *Indoor Climate Label – ICL*, selo privado promovido pelo Governo abrangendo a classificação de todos os tipos de produtos relevantes no impacto ao ar interno e na França, a Agência Ambiental e Saúde Ocupacional e Segurança (*Agency for environmental and occupational health and safety - AFFSET*), promovida pelo Governo institui um protocolo voluntário para produtos de construção e acabamento, que deve se tornar obrigatório e pode até ser prorrogado para produtos de consumo (EUROFINS, 2015).

Atualmente com a preocupação de se construir edificações sustentáveis e com menor impacto ao meio ambiente, assim como, a avaliação de todo ciclo de vida da construção, há a procura crescente por programas de certificações dos edifícios, como por exemplo a certificação americana LEED - *Leadership in Energy & Environmental Design*; a alemã DGNB - *Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen*; a francesa HQE - *High Environmental Quality*; a certificação do Reino Unido BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*, e a australiana *Green Star*.

A maioria desses programas de certificação aborda a qualidade do ar de interiores como parâmetro. Ainda de natureza limitada nesse aspecto, recomendam o uso de produtos de baixa emissão, entre muitos outros critérios, para se atingir a classificação mais elevada para um edifício sustentável. A certificação LEED, por exemplo, criada em 1994, teve sua última atualização em 2013 e desde a versão 2009 já se pode cobrar a utilização de produtos com baixa emissão (EUROFINS, 2015).

Ainda que todos tenham o objetivo comum de reduzir a variedade e a concentração de substâncias químicas emitidas pelos materiais de construção, os protocolos e programas de certificação têm abordagens consideradas diferentes entre si. Uma das questões importantes, por exemplo, na avaliação de compostos orgânicos voláteis, é que os produtos devem ser avaliados com base em compostos orgânicos individuais, e não só, em compostos orgânicos totais, pois os últimos isoladamente podem ser maus indicadores. Assim como a avaliação dos COV totais não deve ser descartada, pois a exposição humana se faz através da interação entre as diversas substâncias químicas e não apenas uma isoladamente (KEELER; BURKE, 2010).

Ademais, os selos que classificam os produtos como “baixa emissão” ou “zero COV”, têm diferentes critérios e valores-limite, e diferentes métodos de ensaio laboratoriais, dependendo do histórico local e dos especialistas envolvidos, fazendo com que possa haver divergências

nos resultados. Para preencher essa lacuna a União Europeia lançou um selo único, o Conforto do Ar Interno - *Indoor Air Comfort* - IAC, harmonizando os métodos de ensaio utilizados na classificação de produtos de baixa emissão de COV, além disso, inclui um programa interno de qualidade no local da produção para garantir a produção contínua de produtos de baixa emissão, auditorias no local, re-testes e certificação, resultando, em um nível muito elevado de confiabilidade na declaração sobre as emissões de COV (EUROFINS, 2015).

Não se pode esquecer também do fato que no meio interno não se está apenas exposto a significativas quantidades de produtos químicos provenientes dos materiais de construção, mas a diversos outros contaminantes de diversas origens. Por isso a importância do estabelecimento de limites de exposição máxima a esses poluentes, tal como também a incorporação de parâmetros de controle de suas fontes pelos programas de certificação.

Além disso, a não existência de padrões em determinados países, ou regulamentações falhas de qualidade do ar em ambientes internos, principalmente no que se referem a cobrir o extenso espectro de materiais e poluentes existentes atualmente, faz com que os ocupantes das edificações sejam expostos à mistura total desses poluentes e aos seus diversos efeitos adversos a saúde sem critérios e limites bem discutidos.

2.4 Legislação sobre qualidade do ar interno

A legislação nacional e internacional sobre qualidade do ar interno ainda não apresenta um critério de regulamentação bem definido. Muitos países ainda não apresentam padrões nacionais e há uma ampla variação do conjunto de contaminantes abordados. Além disso, alguns países apresentam diretrizes específicas para um setor, e há ainda uma diferença entre a origem das regulamentações. Alguns padrões são baseados nos resultados de estudos científicos, outros derivam de experiências práticas ou ainda há aqueles baseados no conhecimento consensual (CHARLES *et al.*, 2005).

A Organização Mundial da Saúde - OMS, escritório regional na Dinamarca desenvolveu diretrizes para qualidade do ar interno para serem usadas em meios não industriais. Essas diretrizes foram desenvolvidas em 1987 e sua última revisão foi em 2010, resultado da contribuição de mais de sessenta cientistas internacionais, e pela primeira vez, com orientações para proteger a saúde global do impacto de produtos químicos no ar interior. É importante relatar também que essas diretrizes para a qualidade do ar interno engloba apenas

um conjunto de contaminantes químicos, incluindo: benzeno, CO, formaldeído, naftaleno, NO₂, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, radônio, tricloroetileno e tetracloroetileno. Outros contaminantes, tais como o material particulado, por exemplo, é recomendado pela OMS utilizar as diretrizes traçadas para exposição ao ar externo (WHO, 2010).

Em relação à exposição a contaminantes microbiológicos, em outubro de 2006 um grupo de trabalho da OMS se reuniu para identificar os principais grupos de riscos e formular relevantes diretrizes específicas a esses tipo de contaminação objetivando a proteção a saúde pública em espaços internos (WHO, 2007).

Entretanto para todos os contaminantes abordados a OMS estabelece apenas diretrizes e não um padrão obrigatório, cabendo a cada país instituir o seu. A União Europeia (EU) não chegou a regular os reais padrões de qualidade do ar interior para os países membros, mas tem avançado na uniformização da indústria de material de construção através da proposição de um conjunto de códigos de produtos utilizados em todo o continente. Assim, produtos de construção devem conter uma etiqueta de aviso que informa os consumidores sobre os riscos contidos no material para o ar interior (EUROFINS, 2015).

Alguns países europeus instituíram diretrizes e regulamentações próprias, como por exemplo a Alemanha, que criou em 1996 um Guia da QAI com referenciais para o ar interno e, desde então, vem sendo atualizado incluindo novas substâncias (IRK, 2011). Portugal criou um programa de Certificação Energética de Climatização e Ar Interior cujos edifícios novos que almejam o selo devem ser auditados e possuir concentrações máximas dentro dos limites estabelecidos por um conjunto de contaminantes físico-químicos e microbiológicos (SCE, 2009).

Nas Américas, o Canadá instituiu diretrizes para QAI em meios residenciais onde resume, com base em estudos científicos, os riscos causados por poluentes específicos no ar interior e fornecem um nível de exposição recomendado abaixo do quais os efeitos na saúde são improváveis de ocorrer. A primeira vez que o Canadá emitiu uma avaliação de riscos e orientação de gestão sobre os poluentes do ar interior foi em 1987. Estas diretrizes são revisadas e atualizadas frequentemente (HEALTH CANADA, 2014).

Os EUA, apesar de reconhecer a qualidade do ar de interiores através de inúmeras publicações e programas, não possuem padrões específicos para o assunto. O padrão Nacional para Qualidade do Ar Ambiente (*National Ambient Air Quality Standards – NAAQS*)

desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (*U.S. Environmental Protection Agency – EPA*) requerido pela Lei do Ar Limpo (*Clean Air Act*) foi desenvolvido para qualidade do ar externo, mas pela ausência de um padrão de QAI é também aplicado para níveis de contaminação interna do ar. Essa regulamentação é revista a cada cinco anos (NAAQS/EPA, 2012).

De forma a subsidiar os níveis de exposição em interiores os EUA possuem algumas regulamentações específicas como a Administração de Segurança e Saúde Ocupacional Americana (*U.S. Occupational Health and Safety Administration – OSHA*), o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional Americano (*U.S. National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH*) e o Conselho do Governo Americano de Higienistas Industriais (*The American Council of Governmental Industrial Hygienists – ACGIH*) que recomendam limites máximos de exposição de poluentes aéreos para meios industriais.

No Brasil a primeira medida de interesse da QAI foi a instituição da Sociedade Brasileira de Meio Ambiente e Controle de Qualidade de Ar de Interiores – “BRASINDOOR” – em 1995 com o objetivo de promover o intercâmbio de diferentes especialidades na questão da qualidade do ar interno. Entretanto, a necessidade de se combater a chamada Síndrome do Edifício Doente tornou-se evidente quando, em abril de 1998, o então Ministro das Comunicações, Sérgio Motta, faleceu após ter seu quadro clínico agravado em função de fungos alojados em dutos do sistema de climatização (INMETRO, 2013).

Em agosto do mesmo ano, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, órgão regulamentador do sistema de saúde, publica a Portaria nº 3.523, estabelecendo, para todos os ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo, a obrigatoriedade de elaborar e manter um plano de manutenção, operação e controle dos sistemas de condicionamento de ar. Apesar de todo o esforço empreendido pela ANVISA, faltava ainda criar critérios que avaliassem se a adequação dos procedimentos adotados pelas empresas estava tendo bons resultados na avaliação do ar interno.

A Tabela 2-1 mostra um comparativo entre as diretrizes da OMS para QAI e as regulamentações de alguns países do mundo, entre eles o Brasil.

Tabela 2-1 - Diretrizes da OMS para QAI e alguns padrões de países entre eles o Brasil.

	ANVISA BRASIL (2003)	WHO EUROPE (2010)	NAAQS EPA (2012)	CANADÁ (2014)	HONG KONG (2003)	ALEMANHA (2011)	PORTUGAL (2009)
CO ₂	1000 ppm				<800 ppm (8h) (excelente) <1000 ppm (8h)(bom)	<1000 ppm (inofensivo) 1000-2000ppm (elevado) >2000ppm (inaceitável)	984 ppm
CO		90 ppm (15 min) 25 ppm (1h) 10 ppm (8h) 50 ppm (30min)	9 ppm (8h) 35 ppm (1h)	25 ppm (1h) 10 ppm (24h)	<1,7ppm (8h) (excelente) <8,7ppm (8h)(bom)	52 ppm (30min) 13 ppm (8h)	10,7 ppm
NO ₂		200 µg/m ³ (1h) 40 µg/m ³ (1 ano)	100 ppb (1h) 53 ppb (1ano)	480 µg/m ³ (1h) 100 µg/m ³ (24h)	<40 µg/m ³ (8h) (excelente) <150 µg/m ³ (8h) (bom)	350 µg/m ³ (30min) 60 µg/m ³ (7dias)	
SO ₂			75 ppb(1h)				
O ₃		120 µg/m ³ (8h)	0,075 ppm (8h)	40 µg/m ³ (8h)	<50 µg/m ³ (8h) (excelente) <120µg/m ³ (8h)(bom)		200 µg/m ³
Radônio		2,7 p Ci/L (1 ano)	4 p Ci/L (1 ano)		<150Bq/m ³ (excel ente) <200Bq/m ³ (bom)		400 Bq/m ³
Chumbo		0,5 µg/m ³ (1 ano)	0,15 µg/m ³ (3 meses)				
HCHO		100 µg/m ³ (30 min)		50 µg/m ³ (8h) 123 µg/m ³ (1h)	<30 µg/m ³ (8h) (excelente) <100µg/m ³ (8h)(bom)		100 µg/m ³
TCOV					<200 µg/m ³ (excelente) <600 µg/m ³ (bom)	<300 µg/m ³ (sem objeções) 300- 1000µg/m ³ (com objeções) >1000 µg/m ³ (inaceitável)	600 µg/m ³
MP _{2,5}		10 µg/m ³ (1 ano) 25 µg/m ³ (24 h)	12 µg/m ³ (1ano) 35 µg/m ³ (24h)	15 µg/m ³ (sem fumantes) 35 µg/m ³ (com fumantes)		25 µg/m ³ (24 h)	
MP ₁₀		20 µg/m ³ (1 ano) 50 µg/m ³ (24h)	50 µg/m ³ (1ano) 150 µg/m ³ (24h)		55µg/m ³ (1 ano) 180µg/m ³ (24h)		150 µg/m ³
PTS	80 µg/m ³						
Fungos	750 UFC/m ³	500 UFC/m ³		> 50 UFC/m ³ única espécie (investigação) até 150 UFC/m ³ diversas espécies (aceitável) até 500 UFC/m ³ domínio <i>Cladosporium</i> (aceitável) espécie patogênica (inaceitável)			500 UFC/m ³
Bactérias					<500UFC/m ³ (excelente) <1000UFC/m ³ / bom		500 UFC/m ³
Legionella							100 UFC/Lágua

**ppm= partes por milhão ppb= partes por bilhão µg/m³ = micrograma por metro cúbico de ar p Ci/L= picocuries por litro Bq/m³= Becquerel por metro cúbico UFC/m³= unidades formadoras de colônia por metro cúbico de ar

Diante dessa necessidade, publicou-se, em outubro de 2000, a Resolução nº 176, contendo parâmetros biológicos, químicos e físicos através dos quais é possível avaliar a qualidade do ar interior. Em 16 de janeiro de 2003 considerando a necessidade de revisar e atualizar a legislação brasileira pertinente no assunto criou-se a Resolução – nº 9 em substituição a anterior (ANVISA, 2003).

A Resolução nº 9 determina os Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo em relação aos níveis de concentração de CO₂, material particulado total, fungos, temperatura, umidade e velocidade do ar (ANVISA, 2003).

É importante ressaltar que o Brasil não possui legislação específica para a Qualidade do Ar Interior em ambientes sem climatização artificial. Entretanto, de acordo com Nunes (2005), até o ano de 2005, apenas a Federação Russa e o Brasil apresentavam padrões quantitativos para fungos no ar de interiores, o que mostra que embora exista um crescente interesse na QAI há ainda poucas diretrizes e padrões capazes de suprir os problemas de contaminação do ar em edificações (BARDANA, 2003).

No Brasil existe ainda, com enfoque para alguns casos específicos, a norma regulamentadora do Ministério de Trabalho, NR-15, Anexo nº 11 (MTE, 2011), que caracteriza como insalubridade quando ultrapassados os limites de tolerância de exposição a mais de 200 agentes químicos durante as atividades ou operações no local de trabalho. E a Consulta Pública nº 109/2003 (ANVISA, 2003a), referente a indicadores de qualidade do ar interior em ambientes de serviços de Saúde com várias recomendações, e dentre elas, valores máximos aceitáveis para contaminantes de origem química, tais como as partículas respiráveis menores que 10 µm, fenol, formaldeído, etanol e cloro.

A preocupação com o ar interno também está presente em alguns países asiáticos. Hong Kong estabeleceu um Guia de Certificação do Ar Interno em Escritórios e Espaços Públicos (INDOOR AIR QUALITY MANAGEMENT GROUP, 2003) e o Japão, desde 1960, tem sido pioneiro no desenvolvimento de valores de referência para a qualidade do ar interior impulsionado após a Segunda Guerra Mundial pelo número crescente de edifícios. Devido ao espaço residencial limitado no Japão – que se destaca por sua alta densidade populacional –, os edifícios são cada vez maiores e mais altos, o que reflete na realização de rápidos

progressos nas técnicas arquitetônicas e materiais utilizados (MINISTRY OF HEALTH, 2004).

Em 1980 o governo japonês definiu guias rígidas para níveis aceitáveis de emissões químicas de compensado e MDF. Entre 1996 e 2003, instituiu normas sobre o formaldeído em edifícios residenciais restringindo sua aplicação em função do nível de emissão do produto e da área do ambiente. A porcentagem de lares com níveis inaceitáveis de formaldeído caiu de 25% para 5,6%, durante esse período. Substâncias químicas têm sido consideradas as principais causas de SED no Japão, devido ao grande número de casas novas ou reformadas (MINISTRY OF HEALTH, 2004).

2.5 Principais contaminantes do ar interno

O objetivo desta Seção é apresentar os conceitos fundamentais dos principais contaminantes no ar de interno monitorados nessa pesquisa, são eles: os compostos orgânicos voláteis do grupo aldeídos (2.5.1), o material particulado (2.5.2) e os fungos (2.5.3).

2.5.1 Compostos Orgânicos Voláteis (COV) - aldeídos

Compostos Orgânicos Voláteis são compostos orgânicos, excluindo o carbono elementar, o monóxido de carbono (CO), o dióxido de carbono (CO₂), o ácido carbônico (H₂CO₃), carbonetos metálicos (C⁻) e carbonatos (CO₃⁻²) e que têm um ponto de ebulição relativamente baixo, de 50° a 260° (JACOBSON, 2002). Possuem cadeias menores que vinte átomos (<C₂₀) e têm origem, tanto em processos naturais – vegetação, excrementos de animais, metabolismo humano –, como em processos antropogênicos – automóveis, processos industriais, incineração.

Em geral, os COV podem ser subdivididos de acordo com seu tempo de vida na atmosfera, sendo que quanto maior o comprimento da sua cadeia de hidrocarbonetos, menor o seu tempo de residência. Sendo assim o metano (CH₄) teria maior tempo de vida em relação aos outros COV e, por isso, na química da atmosfera estudam-se separadamente o metano e os compostos orgânicos voláteis não metanos - COVNM. Devido ao grande número de COV existentes, há ainda uma lacuna de índices adequados para quantificar todos os níveis desses compostos. Ademais há também uma lacuna na organização dos padrões de COV para o ar interno (NIU; BURNETT, 2001).

O grupo dos aldeídos, também conhecido como compostos carbonílicos (CC) dentro dos compostos orgânicos voláteis, tem sido alvo de interesse para os estudos da QAI devido ao grande impacto a saúde humana de algumas substâncias e também por representarem uma parte significativa dentre os poluentes em meios internos (BÖHM; SALEM; SRBA, 2012; CLARISSE *et al.*, 2003; MARCHAND *et al.*, 2006).

Dentre os compostos carbonílicos atmosféricos, os mais abundantes são o formaldeído (HCHO) e o acetaldeído (CH₃CHO), embora exista uma fração significativa desses compostos – cerca de 10% - sob a forma de propionaldeído (CH₃CH₂CHO), acroleína (CH₂=CHCHO) e benzaldeído (C₆H₅CHO), entre outros (ANDRADE *et al.*, 2002).

Podem ser emitidos diretamente por fontes naturais ou antropogênicas ou serem formados na atmosfera por reações químicas a partir de outros COV sendo os principais precursores dos compostos carbonílicos os hidrocarbonetos de origem antropogênica e natural. Essa degradação fotoquímica dos compostos orgânicos pode ser representada pelos radicais R[•] com espécies reativas O₃, OH[•], HO₂[•], NO₃ (SEINFELD; PANDIS, 2006). O mecanismo básico de produção de CC pode ser representado genericamente pelas equações abaixo:



Em relação às emissões diretas as principais fontes desses COV em interiores provêm dos materiais construtivos e das atividades humanas envolvendo produtos de limpeza, solventes e outros. A emissão associada ao material de construção é a parcela de maior contribuição em ambientes internos e a taxa destes compostos encontrada em interiores chega a exceder em cinco vezes a taxa em exteriores (JACOBSON, 2002).

No entanto até a década de oitenta do século passado são poucos os dados relativos aos valores de concentração de CC no ar, principalmente em áreas remotas, devido às limitações dos métodos analíticos quanto à sensibilidade e seletividade (ANDRADE *et al.*, 2002).

A substância desse grupo que é encontrada em quantidade evidente de todas as emissões é o formaldeído (HCHO) provindo principalmente de mobiliário e revestimentos com madeira compensada ou aglomerados. Seus efeitos a saúde humana já são de conhecido interesse

científico tais como irritação nos olhos, pele, trato respiratório, asma, alergia e efeitos carcinogênicos (FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000).

Embora o formaldeído fosse previamente classificado pela Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC) no grupo 2A – provável carcinogênico para humanos –, em 2004 ele foi reclassificado como agente do grupo 1, ou seja, com causa comprovada de câncer em humanos (IARC, 2012).

2.5.2 Material Particulado (MP)

Partículas em suspensão, também conhecidas como aerossóis, é um grupo de substâncias ou materiais no estado sólido ou líquido, cujas dimensões são suficientemente pequenas para se manter em suspensão na atmosfera durante algum tempo. Denominadas de partículas primárias quando emitidas diretamente ou de secundárias, quando formadas na atmosfera através da aglomeração com outras partículas ou condensação de gases aquecidos. O aerossol atmosférico é produzido por diversas fontes de emissão – naturais ou antropogênicas –, com tamanhos variados e é caracterizado pela sua distribuição e composição, apresentando propriedades físico-químicas diferenciadas e diferentes graus de toxicidade (SEINFELD; PANDIS, 2006).

Uma distribuição de tamanho pode ser explicada como uma variação da concentração – em número, área superficial, volume ou massa de partículas por unidade de volume de ar – com o tamanho das partículas. A composição química do material particulado pode apresentar uma grande variedade de substâncias, por isso sua caracterização é de fundamental importância devido ao grau de toxicidade que pode existir em sua composição (GODISH, 2003).

Considerando que mais da metade da vida as pessoas estão expostas em meios internos vários estudos associam a exposição ao MP com o aumento de diversas doenças cardiovasculares, respiratórias, tais como rinite, asma e até câncer (ORMSTAD, 2000).

Outra caracterização fundamental do material particulado é a sua morfologia. A forma da partícula é um importante fator que influencia os processos de impactação e deposição no sistema respiratório. A variedade de formas existentes para as partículas é ilimitada. Alguns exemplos podem ser citados, como as esféricas, cúbicas, irregulares, com formato de flocos, fibras, cadeias, plaquetas ou escamas.

2.5.2.1 Caracterização do tamanho das partículas

Partículas comportam-se distintamente em diferentes faixas de tamanho, sendo este o principal fator determinante para o comportamento do aerossol. Em geral, é expresso em relação ao seu diâmetro aerodinâmico equivalente, definido como o diâmetro de uma esfera de densidade unitária ($\rho_p = 1 \text{ g/cm}^3$) que tem a mesma velocidade terminal de sedimentação que a partícula em questão (HINDS, 1999).

A distribuição granulométrica das partículas em relação ao seu tamanho é de grande interesse devido aos efeitos adversos a saúde provocados por essas partículas em certas faixas de tamanho. Partículas “muito grandes” – aproximadamente $15 \mu\text{m}$ ou maiores – quando inaladas, não ultrapassam as vias aéreas superiores, sendo removidas ainda no nariz e garganta, e portanto, não alcançando os pulmões. Partículas “pequenas” – aproximadamente $10 \mu\text{m}$ ou menores, quando inaladas, têm um maior impacto sobre os seres humanos porque possuem um tempo de vida suficientemente longo podendo chegar até o sistema respiratório inferior, alcançando assim os alvéolos pulmonares.

Os aerossóis, que possuem diâmetro menor do que $10 \mu\text{m}$, entram no sistema respiratório incluindo faringe, cavidade nasal, laringe, traqueia e brônquios, e os aerossóis de diâmetro de $0,5$ a $1 \mu\text{m}$ podem atingir até os alvéolos e bronquíolos. As partículas penetram em diferentes profundidades, sendo, portanto o seu diâmetro um dos parâmetros determinantes para o seu alcance de penetração (BLIEFERT; PERRAUD, 2009). A maior parte dos efeitos adversos a saúde são associados à moda menor que $1 \mu\text{m}$ principalmente devido a facilidade de interação dessas partículas com as células pulmonares (FRANCK *et al.*, 2011).

Pacyna apud Almeida (1999) apresenta uma classificação para o material particulado onde esse é dividido em frações denominada “fina” - diâmetros menores de $2,5 \mu\text{m}$, frequentemente chamado de $\text{MP}_{2,5}$, e “grossa” - diâmetros maiores do que $2,5 \mu\text{m}$. Ambas as frações, no geral, originam-se separadamente, são transformadas separadamente, removidas da atmosfera a partir de diferentes mecanismos e têm diferentes composições químicas como representado pela Figura 2-1. Portanto, a distinção entre a moda fina e grossa é fundamental na discussão física, química, monitoramento, ou efeitos sobre a saúde dos aerossóis (SEINFELD; PANDIS, 2006).

As partículas finas, com diâmetros menores de $2,5 \mu\text{m}$, são comumente denominadas partículas respiráveis, e prevalecem em número, mas devido ao seu pequeno tamanho

representam um baixo percentual em massa do total de partículas em suspensão. Têm em sua composição concentrações significativas de íons como sulfato, nitrato e amônio, carbono elementar, compostos orgânicos condensados e uma variedade de metais. São produzidas por processos de nucleação e condensação de substâncias na atmosfera e, portanto, subdividida em duas partes: a faixa de nucleação e a faixa de acumulação (JACOBSON, 2002).

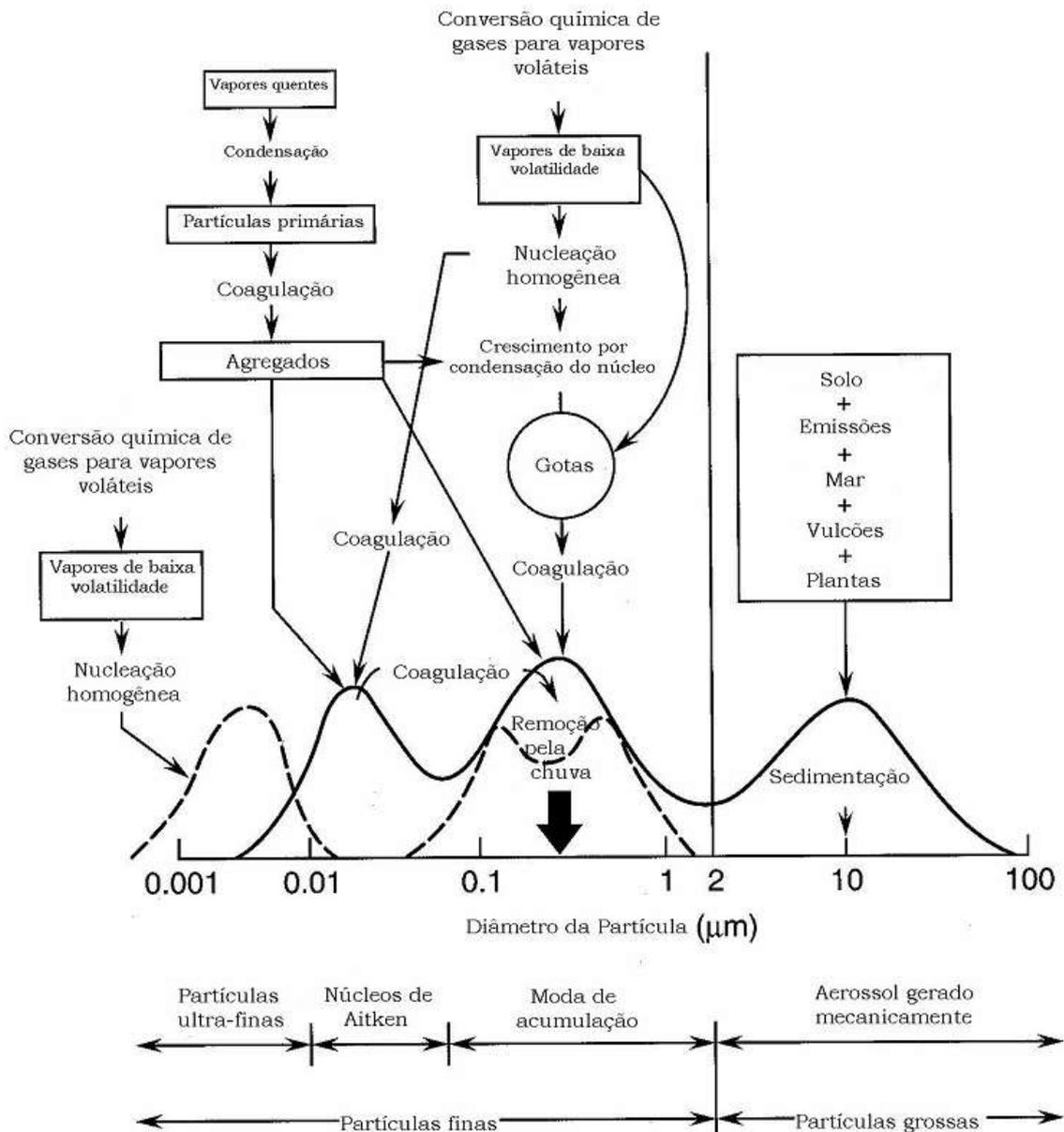


Figura 2-1 - Esquema da distribuição de tamanho do aerossol atmosférico. A linha sólida é a clássica hipótese de Whitby e colaboradores, e a moda mais à esquerda representada pela linha pontilhada é referente à quarta moda, a moda das partículas ultrafinas (adaptado de FINLAYSON-PITTS; PITTS JR, 2000).

- Faixa de nucleação: compõem-se de partículas de diâmetro aproximadamente menor que 0,08 µm, sendo denominadas de partículas ultrafinas aquelas que possuem diâmetro menor que 0,01 µm. Na faixa de nucleação as partículas são geradas por processos que envolvem

condensação de vapores quentes ou durante o processo de transformação de gases em partículas.

- Faixa de acumulação: compõem-se de partículas com diâmetro aproximadamente entre 0,08 e 2,5 μm usualmente compondo a faixa com a maior parte do aerossol em massa. São geradas a partir da coagulação de partículas da moda nucleação bem como da condensação dos vapores em partículas pré-existentes, causando o crescimento desta faixa de tamanho.

As partículas pertencentes à moda grossa – diâmetros maiores do que 2,5 μm – podem ser originadas por uma diversidade de fontes antropogênicas, através de processos mecânicos, ou naturais, como partículas de ressuspensão de solo, cinzas, fuligem, pólen entre outros. Os principais elementos encontrados nessa moda são de origem mineral, como a sílica, alumínio, ferro, potássio, cálcio, entre outros metais alcalinos e em parcela menor pode-se encontrar carbonatos e compostos orgânicos. Em função de seu tamanho, estas partículas grossas são rapidamente removidas pelo processo de precipitação atmosférica ou pela sedimentação por ação da gravidade (JACOBSON, 2002).

Em geral em interiores as partículas derivam de duas fontes: internas e externas. A maior parte das partículas da moda fina é originada de atividades antropogênicas como os processos de combustão, aquecimento, cocção ou a fumaça do tabaco (BRANIŠ; ŘEZÁČOVÁ; DOMASOVÁ, 2005). Há também uma forte relação das partículas dessa faixa com a presença de fontes externas em meios urbanos, uma vez que possuem maior facilidade de infiltração pelas frestas da edificação, mesmo que as janelas estejam fechadas (VIANA; DÍEZ; RECHE, 2011).

A moda grosseira em interiores resulta, em sua maioria, de processos provindos das atividades humanas, principalmente quando a contribuição da taxa de ventilação natural é baixa (BRANIŠ; ŘEZÁČOVÁ; DOMASOVÁ, 2005). GELLER *et al.* (2002) mostra que atividades como usar aspirador de pó na limpeza, varrer, tirar pó dos móveis e lavar carpetes, apresentam uma relação de 50-80% na contribuição da concentração de partículas na faixa de 2-10 μm em meios internos. Nessa mesma faixa, o mesmo estudo mostra que a penetração de partículas oriundas do meio externo variava de 10-40%.

Em meios internos o MP pode ser associado com efeitos em curto prazo incluindo irritação nos olhos, nariz e garganta, dores de cabeça, tonturas e fadiga, contribuindo para os sintomas da Síndrome do Edifício Doente. Há uma ligação mais comum também entre os efeitos em

curto prazo, em ocupantes de edificações expostos a uma concentração maior da moda fina em relação à grossa (MASSEY *et al.*, 2012).

2.5.2.2 Caracterização química das partículas

Embora a maior parte dos elementos tóxicos são encontrados em partículas finas, só a caracterização por tamanho não garante segurança na avaliação dos efeitos adversos a saúde humana. Este ponto merece uma reflexão, visto que a legislação ambiental brasileira e internacional estabelecem padrões da qualidade do ar somente em termos da concentração em massa do material particulado. No entanto, há que se considerar que partículas de emissões de veículos a diesel, por exemplo, apresentam potencial tóxico significativamente maior do que a mesma massa de aerossol marinho (MARTINS, 2010).

Desta forma, assim como a caracterização por tamanho, a caracterização química da partícula é fundamental devido ao grau de toxicidade que pode existir em sua composição, mesmo assim, existem muito poucos estudos que tratam da composição química de particulados em meios internos relacionando a suas fontes. Esse número baixo de estudos em relação a meios externos pode ser atribuído à complexidade na determinação da origem, dada a uma ampla variedade de fontes em interiores (VIANA; DÍEZ; RECHE, 2011).

O material particulado apresenta uma considerável variabilidade de elementos químicos em sua composição, chegando a ser constituído por centenas de compostos ou substâncias químicas diferentes, podendo representar uma complexa mistura com potencial tóxico, carcinogênico, inflamatório, alérgico e outros efeitos adversos. Quatro são os fatores que influenciam na extensão do dano desses efeitos sobre cada indivíduo. São eles: a concentração, a duração da exposição, a toxicidade e a suscetibilidade individual (SEINFELD; PANDIS, 2006).

A moda fina, em ambientes externos, apresenta em sua composição, íons como sulfato, nitrato e amônia, carbono elementar, compostos orgânicos condensados e uma variedade de metais, tais como chumbo, mercúrio, cádmio, vanádio, cromo e outros. Esses metais uma vez depositados no trato respiratório humano podem ocasionar severos danos à saúde. Além disso, as partículas finas têm grande capacidade de absorção, em associação com poluentes secundários resultando em um maior nível de toxicidade quando comparadas com as partículas grossas (ALMEIDA, 1999).

A composição química da moda grosseira em ambientes externos também é muito diversificada, há o predomínio de partículas de origem orgânica e mineral, incluindo sílica, alumínio, potássio, ferro, cálcio e outros (ALMEIDA, 1999).

Nesse contexto no que se diz respeito à composição química, a maior parte dos estudos tem limitado o seu interesse para a toxicidade de metais, no entanto, as partículas de carbono elementar encontrado em ambientes internos também tem forte influência sobre os efeitos negativos a saúde humana, relacionados ao sistema respiratório, arritmias cardíacas, alterações na pressão sanguínea e aumento da mortalidade cardiovascular (BUONANNO *et al.*, 2013).

O carbono elementar ou fuligem, caracterizado pelo material carbônico que não volatiliza abaixo de aproximadamente 550°C (JACOBSON, 2002), são as partículas de maior absorção de luz na atmosfera e foi considerado no relatório de 2012 das Nações Unidas sobre os Efeitos da Poluição do Ar, como o melhor indicador de substâncias prejudiciais em MP₁₀ e MP_{2,5} emitidas tipicamente por fontes de combustão (BUONANNO *et al.*, 2013).

A maior parte do carbono elementar em interiores, de 70 a 100%, na ausência da atividade de tabagismo, queima de madeira, cocção e atividades envolvendo velas, pode ser de origem externa, uma vez que o carbono elementar é um subproduto de combustão incompleta emitido primariamente a partir de veículos. Já as concentrações de carbono orgânico em meios internos podem ser associadas a fontes externas e internas tais como cocção, produtos de limpeza, solventes, plastificantes e pesticidas (STABILE; FUOCO; BUONANNO, 2012).

Embora a configuração da distribuição espacial das unidades construídas em estações de pesquisa antárticas possam se diferenciar é comum a existência de ambientes e usos semelhantes (VARGAS *et al.*, 2013). Esses usos caracterizam como preocupantes fontes de emissão de material particulado, como por exemplo, cozinhar, utilizar cosméticos, limpar, fazer exercício físico, executar manutenção predial, incinerar resíduos e à própria circulação de pessoas e veículos podem ser cruciais para o aumento da concentração de poluentes em ambientes internos antárticos.

2.5.2.3 Caracterização morfológica das partículas

A morfologia e formato do aerossol variam de acordo com sua composição química. Quanto mais velha a partícula maior é o seu número de camadas e agregados. Se o aerossol é uma

partícula higroscópica, ele absorve água quando exposto à alta umidade relativa, tornando-se esférico. Se íons estão presentes a umidade relativa diminui e cristais sólidos se formam na partícula. Alguns aerossóis observados são lisos, outros globulares, outros contêm camadas e outros ainda são fibrosos (JACOBSON, 2002). Como as partículas originadas a partir de processos de combustão ou outros processos a altas temperaturas são geralmente esféricas, observa-se que a identificação do formato da partícula distinguindo as esféricas das não esféricas pode ajudar no indicativo da origem das fontes (CONNER *et al.*, 2001).

A identificação da origem das partículas tanto por sua caracterização química quanto pela sua morfologia pode ajudar na classificação de partículas de origem externa e principalmente das exclusivamente de origem interna. Em interiores, essas técnicas foram utilizadas por alguns estudos para identificação de fontes internas de material particulado, embora ainda haja poucos trabalhos desse tipo em comparação com o meio externo (ORMSTAD; GAARDER; JOHANSEN, 1997; TOVALIN-AHUMADA; WHITEHEAD; BLANCO, 2007).

2.5.3 Microbiológicos: Fungos

Os contaminantes microbiológicos são caracterizados como um material particulado de origem biológica, também chamado de bioaerosol, compreendendo bactérias, fungos, ácaros, vírus e outros com tamanhos entre 0,01 a 100 µm. Possuem significativa importância no papel da poluição do ar de interiores devido à positiva associação entre a prevalência de sintomas adversos a saúde com esses contaminantes no ar interno (BARDANA, 2003; JUSSILA *et al.*, 2002).

Os fungos representam um grupo ubíquo e diversificado de organismos cujo propósito principal é degradar a matéria orgânica sendo, por isso, de fundamental importância no ciclo de energia do planeta. Antigamente eram classificados como vegetais e somente a partir de 1969 ganharam um reino próprio, o reino Fungi. Suas principais características são: organismos eucarióticos – com núcleo isolado individualmente – e se distinguem dos outros eucariotos pela parede celular rígida composta de quitina e glicano, heterotróficos e podem se reproduzir de forma sexuada ou assexuada, podendo ser unicelulares ou multicelulares (MURRAY; ROSENTHAL; PFALLER, 2014).

Quando presentes no ambiente interno em níveis aumentados em comparação ao ambiente externo, os fungos podem ser responsáveis por distúrbios irritativos e doenças infecciosas ou alérgicas através dos seus esporos, fragmentos ou Compostos Orgânicos Voláteis

Microbiológicos - COVM. As principais doenças causadas pelos fungos são: a asma alérgica, a rinite alérgica, a sinusite alérgica, micoses broncopulmões e pneumonites. Há também uma positiva relação entre os níveis medidos de fungos no ar e sintomas inespecíficos como: nariz entupido, garganta seca e pele seca, sugerindo uma relação com sintomas da Síndrome do Edifício Doente (HARRISON *et al.*, 1992).

Nas últimas décadas, houve um melhor entendimento da participação dos fungos nos sintomas da SED, atribuindo aos mesmos um papel como bioindicadores da qualidade do ar interno (CABRAL, 2010). Entretanto, ainda existem controvérsias sobre o que seria um nível aceitável de fungos no interior de edificações, já que em função da quantidade de substrato disponível, das condições meteorológicas, geográficas, estações do ano, tipologias construtivas, materiais de construção e das atividades desenvolvidas, podemos observar uma ampla variação espacial e temporal dentro de um mesmo ambiente (BASILICO *et al.*, 2007). Por isso percebe-se que têm crescido o número de estudos que investigam os níveis de bioaerosóis em meios internos em diferentes regiões do planeta (SALONEN *et al.*, 2007; DUNCAN *et al.*, 2010; HAAS *et al.*, 2014).

Os monitoramentos em ambientes internos mostram, em geral, que a concentração de fungos é influenciada pelo ambiente externo, embora os níveis internos sejam sempre maiores que os medidos externamente. O número de unidades formadoras de colônias revela-se maior quando as portas e janelas estão fechadas, mostrando à forte influência de prováveis fontes internas provindas em sua maior parte de atividades humanas e materiais de construção (KALOGERAKIS *et al.*, 2005).

Fontes como plantas, animais de estimação, restos de comida, assim como atividades dos ocupantes do ambiente tais como, conversar, espirrar, tossir, caminhar, lavar e usar o vaso sanitário podem favorecer o aumento de contaminantes microbiológicos. A presença de humanos é considerada o maior parâmetro de elevação na contagem de bioaerosóis em edificações (SALONEN *et al.*, 2007).

O uso de diferentes tipos de sistemas de ventilação influencia na dispersão aérea de fungos sendo, em geral, encontrados menores níveis de concentração em edifícios naturalmente ventilados do que em edifícios selados (HARRISON *et al.*, 1992).

Não só a contagem de fungos deve ser levada em consideração, destacando-se a importância da identificação destes, uma vez que algumas espécies ao serem inaladas podem ser

patogênicas. Mais de oitenta gêneros de fungos foram associados com sintomas de alergias do trato respiratório. *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus* e *Fusarium* são os gêneros alergênicos mais comuns (KALOGERAKIS *et al.*, 2005) sendo que a *Alternaria* estaria particularmente associada a quadros de asma (CABRAL, 2010).

Fungos são capazes de crescer em meios naturais ou em materiais sintéticos, especialmente se estiverem úmidos. Material inorgânico, como poeira, pode ser um bom substrato para alguns tipos de fungos, especialmente o *Aspergillus fumigatus* e *Aspergillus versicolor*. A madeira é altamente vulnerável ao ataque de fungos do tipo *Cladosporium* e *Penicillium*, sendo reportadas infestações de materiais de construção à base desse material, principalmente se a mesma foi seca em estufas. Mobiliário e produtos de compensados industrializados são suscetíveis à infestação de *Aspergillus*, *Trichoderma* e *Penicillium* (KALOGERAKIS *et al.*, 2005).

Outros materiais de construção, como placas de gesso, favorecem o crescimento de *Stachybotrys chartarum*. Revestimentos tais como, papéis de parede, amplamente usados nas superfícies internas são ótimos substratos para a maior parte dos fungos que colonizam interiores principalmente o *Penicillium*. Fibras de vidro para isolamento são ideais para o crescimento de *Aspergillus versicolor*, *Alternaria*, *Cladosporium* e algumas espécies de *Penicillium*. Nas superfícies com pinturas deterioradas tem-se o predomínio do *Aureobasidium pullulans* e nas superfícies com tinta acrílica observa-se o favorecimento da *Alternaria*, *Cladosporium* e *Aspergillus* (KALOGERAKIS *et al.*, 2005).

Desta forma, o *Aspergillus* e o *Penicillium* são gêneros de fungos geralmente considerados de ampla origem em meios internos, formando menos de 4% de seus esporos no ar exterior (FLANNIGAN, 1997; HAAS *et al.*, 2014).

Em se tratando de ambientes com uma boa qualidade do ar interno, ou seja, que não se tem a predominância de fontes internas, o *Cladosporium* é sempre o fungo dominante seguido do *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, leveduras e *Mycelia sterilia*, uma vez que, o primeiro é o fungo predominante universal, representando cerca de 50% do total fúngico existente na atmosfera. Desta forma, pode-se haver uma variação na ordem entre esses cinco gêneros, mas sempre predominando o *Cladosporium* em relação aos outros (CABRAL, 2010).

Os fungos, portanto são importantes bioindicadores da QAI, os quais em edifícios doentes predominam os gêneros do *Penicillium* e *Aspergillus* indicando a existência de um número significativo de fontes internas (CABRAL, 2010; HAAS *et al.*, 2014).

Umidade, nutrientes, oxigênio, luz e temperatura são os fatores mais importantes que influenciam no crescimento de fungos sendo entre 18°C e 32°C a faixa de temperatura ideal para o crescimento para a maior parte das colônias. Entretanto, a quantidade de água, temperatura e outros fatores requeridos podem variar de acordo com a espécie.

A faixa de temperatura para a existência de fungos pode variar de -6°C a 60°C e há aqueles que requerem quantidades significativas de água, tais como *Acremonium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Rhodotorula*, *Stachybotrys*. Já as outras espécies, que são xerófilas e preferem condições secas, são: a *Eurotium* e a *Wallenia*. Há ainda os fungos xerotolerantes, ou seja, suportam algumas situações atípicas produzindo esporos capazes de tolerar condições secas, tais como, *Aspergillus sydowi*, *Aspergillus versicolor* e *Penicillium* (BARDANA, 2003).

Em climas extremos como no Ártico, os níveis de fungos encontrados em exteriores foram muito pequenos principalmente devido às baixas temperaturas, baixa umidade e à falta de nutrientes (SALONEN *et al.*, 2007). Entretanto alguns gêneros de fungos como o *Penicillium* e o *Aspergillus* são encontrados em ambientes internos em regiões frias, provindos originalmente de fontes internas e devido à facilidade de adaptação da espécie (BASILICO *et al.*, 2007; CONNELL *et al.*, 2006).

É estimada cerca de um milhão e quinhentos mil espécies fúngicas, sendo que pelo menos 600 espécies são de conhecido contato com os humanos e menos de 50 são frequentemente identificadas e relacionadas nos estudos epidemiológicos em meios internos (KHAN; KARUPPAYIL, 2012).

2.6 Trabalhos correlatos

Esta seção relata sucintamente alguns trabalhos publicados na literatura científica e correlatos de alguma forma com a pesquisa em questão, há exemplos: qualidade do ar interno em alta latitude (ISBELL; STOLZBERG; DUFFY, 2005); contribuição de materiais de construção na QAI (MISSIA *et al.*, 2010); Material particulado e QAI (MASSEY *et al.*, 2012; TRAN *et al.*, 2014); e por fim a avaliação de COV, NO₂, PM₁₀ e bioaerossóis em ambientes internos,

caracterizando o exemplo mais próximo deste trabalho considerando o conjunto de contaminantes abordados (PEGAS *et al.*, 2012).

Isbell, Stolzberg e Duffy (2005) mediram as concentrações de tolueno e benzeno em duas residências no Alasca, sendo uma com ventilação forçada e outra sem ventilação forçada. A importância do estudo deve-se ao fato de que nos últimos 25 anos, têm crescido o número de queixas de saúde relacionadas ao clima em altas latitudes. Em climas subárticos, as pessoas frequentemente gastam 70% do seu tempo no interior das residências. As medições foram feitas com cartuchos de adsorção passiva e a concentração foi determinada por dessorção térmica e cromatografia gasosa. Os locais da amostragem foram à Sala de estar e a garagem e os cartuchos foram coletados com 12h de exposição.

Os resultados mostraram uma forte relação entre as taxas de benzeno e tolueno encontradas na garagem e na Sala de estar, sendo que a garagem é a principal fonte de compostos aromáticos de toda a casa. A residência com ventilação forçada tem menores níveis de concentração desses compostos do que a residência sem ventilação forçada. No Alasca, mais do que em outros estados americanos, muitas casas têm anexado garagens com veículos de grande porte, combustíveis estocados, pequenos motores, motocicletas, cortadores de grama e serras elétricas, maximizando a exposição das pessoas a esses componentes durante o longo período de seis meses de inverno. Níveis de tolueno são quase sempre encontrados em ambientes fechados devido, principalmente, à infiltração das emissões provindas dos automóveis e do armazenamento de gasolina em garagens anexas as edificações. O estudo relata que dos 48 estados americanos, as duas maiores fontes antropogênicas de benzeno e tolueno são as emissões de combustíveis e a fumaça de cigarro (ISBELL; STOLZBERG; DUFFY, 2005).

Missia *et al.*, (2010) realizaram um experimento de campo com o objetivo de avaliar a contribuição das emissões provindas dos materiais de construção. Foram realizadas medições internas e externas em cinco cidades europeias no verão e no inverno entre 2007 e 2008. As medições foram realizadas em quatro edifícios por cidade, sendo um de uso público, uma escola e duas residências. Foram utilizados amostradores passivos, conhecidos como Radiello®, durante um período de uma semana. Para alguns materiais selecionados foram feitos testes utilizando amostradores ativos em uma câmara de fluxo dinâmica, técnica conduzida de acordo com a ISO 16000-10, onde os amostradores são colocados em uma câmara fechada com um fluxo contínuo de ar limpo sobre o material escolhido. Também

foram preenchidos questionários sobre os locais e períodos de amostragem, assim como informações sobre a própria construção e seus usos.

Os resultados mostraram que as principais fontes de COV provêm de vernizes a base de óleo; o mobiliário e os revestimentos são responsáveis pela significativa concentração de formaldeído e, por outro lado, as emissões de acetaldeído estão associadas principalmente às atividades humanas e os níveis de tolueno estão relacionados com as emissões do tapete e do mobiliário (MISSIA *et al.*, 2010). Os materiais de construção especificamente são responsáveis por aproximadamente 40% do nível das emissões dos poluentes internos. Embora, numerosos estudos têm investigado os níveis da poluição de interiores, a vinculação da concentração dos COV às suas fontes internas ainda é bem limitada (MISSIA *et al.*, 2010).

Massey *et al.*, (2012) monitoraram material particulado MP₁₀, MP₅, MP_{2,5} e MP_{1,0} interno e externo à residências localizadas no norte da Índia, na cidade de Agra, entre outubro de 2007 e março de 2009. O clima da cidade é tropical, e sendo cidade turística, é compreensivo que sua maior fonte de poluição seja o veicular, contribuindo para 60% da poluição total do ar. Nesse estudo foram monitoradas dez casas situadas na beira de estradas e no centro urbano durante o verão e o inverno. Os parâmetros meteorológicos, tais como, velocidade e direção do vento, temperatura e umidade relativa foram registrados.

Foi utilizado para amostragem do material particulado um aparelho portátil de espectrometria de aerossol, coletando amostras contínuas em um período de 24h alternadamente interno e externo à residência. Foram 20 amostras por mês, sendo 10 internas e 10 externas, resultando em 288 amostras. O aparelho foi posicionado na Sala de estar, onde as pessoas permanecem por mais tempo. Foram feitos questionários com as características da residência, tais como a presença de carpetes, atividades de fumo, janelas abertas, e presença de pessoas com efeitos adversos à Saúde (MASSEY *et al.*, 2012).

Os resultados dos estudos de Massey *et al.*, (2012) mostram uma forte correlação entre o meio externo e interno, sendo que os níveis de aerossol externamente têm um alto impacto nos níveis internos por infiltração dessas partículas. Os meses de inverno apresentam maior concentração do que no período do verão. As casas a beira de estradas possuem concentração maior da moda grosseira ultrapassando as diretrizes da OMS. O MP_{2,5} e MP_{1,0} são atribuídos principalmente a fontes veiculares e apresentam uma maior relação exterior/interior do que as

partículas grossas, sugerindo maior eficiência na infiltração dessas frações para dentro das residências.

Foi relatada a presença dos seguintes sintomas: irritação nos olhos, dores de cabeça, tosse, frio, tonturas e asma. Verificou-se uma ligação mais comum desses sintomas em ocupantes onde a exposição à moda fina foi maior que a grossa, especialmente os problemas relacionados à asma, sistema respiratório e irritação nos olhos. O estudo sugere a necessidade de pesquisar e monitorar as partículas finas e ultrafinas e sua relação com os efeitos tóxicos, além do controle das partículas grossas (MASSEY *et al.*, 2012).

Tran *et al.*, (2014) monitorou o material particulado – MP₁, MP₁₋₂, MP₂₋₅ e MP₅₋₁₀, no ar de três escolas em diferentes zonas de localização – rural, urbana e industrial, no norte da França através de dois Espectrômetros Portáteis de Aerossol de fabricação da *Grimm Technologies* com registro em intervalos de 5 segundos. A concentração de MP foi monitorada interna e externamente, além dos registros de parâmetros de conforto – temperatura e umidade relativa, e de CO e CO₂ registrados continuamente através do equipamento TSI Q-Trak também com intervalos de registro de 5 segundos.

A média semanal de concentração em massa de MP₁₀ durante as aulas variou de 70 a 99 µg/m³, excedendo o valor limite diário recomendado no país que é de 50 µg/m³, entretanto as partículas finas não excederam o valor limite diário recomendado de 25 µg/m³. Os resultados foram comparados com os períodos de ocupação e sem ocupação no ambiente, mostrando que as atividades das crianças impactam na suspensão da moda grossa (2 - 10 µm) mais fortemente do que na moda fina, enquanto que, o exterior parecia ser apenas levemente variável. Não foi encontrado influencias significativas devido à diferença das zonas de localização, mas foi encontrado diferenças na concentração em relação ao fato onde as professoras tinham o hábito de abrir as portas e janelas – confirmado através dos questionários aplicados, resultando em uma melhor diluição do ar interno e uma mais baixa concentração de MP₁₀.

Durante as lições, a concentração média interna de MP₁, MP₁₋₂, MP₂₋₅ e MP₅₋₁₀ aumentaram respectivamente em um fator de 2.9, 3.1, 8.7 e 33.8 comparados com os períodos desocupados, confirmando o fato de que as atividades humanas têm um amplo impacto na concentração de material particulado dentro das edificações.

Pegas *et al.*, (2012) avaliaram as concentrações de COV, NO₂, PM₁₀, bioaerossóis e parâmetros de conforto – temperatura, umidade relativa, CO e CO₂ – dentro e fora de duas escolas na região de Aveiro, Portugal medidas entre abril e junho de 2010. Foram utilizados medidores automáticos portáteis para avaliação da temperatura, umidade relativa, CO e CO₂. Os microbiológicos foram coletados em placas petri e quantificados em UFC/m³ e para os COV foram utilizados amostradores passivos da Radiello® e análise por cromatografia gasosa e detecção por ionização em chama. Para a amostragem de PM₁₀ foram utilizados quatro amostradores de baixo volume, observando que as medições foram realizadas por duas semanas simultaneamente em uma sala de aula e no playground para cada escola.

A escola localizada na zona suburbana se mostrou mais exposta às emissões industriais do que a instituição localizada no centro da cidade. Especialmente essa última, mostrou que parte significativa da contaminação por partículas no interior da escola provinha das emissões veiculares externas, fumaça de cigarro, assim como a queima de biomassa dos restaurantes e padarias próximos (PEGAS *et al.*, 2012).

Uma forte correlação dos níveis de CO₂ e de elevados níveis de microbiológicos no interior das salas foi inicialmente atribuído ao número de ocupantes. Em geral as concentrações de COV são maiores internamente do que externamente nas escolas, e quase todos os COV identificados demonstram uma forte relação com fontes internas à edificação. A soma total de compostos orgânicos voláteis identificados no exterior foi significativamente baixa, da mesma forma que os níveis de MP₁₀ foram sempre maiores internamente do que externamente, com exceção para os finais de semana, sugerindo que a atividade física dos alunos e os trabalhos em sala de aula contribuem altamente na emissão e ressuspensão de partículas (PEGAS *et al.*, 2012).

Em edificações antárticas, em que provavelmente as concentrações internas são influenciadas significativamente por fontes decorrentes do próprio funcionamento do edifício, a análise da qualidade do ar interno é de suma importância para o entendimento de estratégias de controle e redução da poluição interna em projetos de edificações no continente. De forma a completar os estudos científicos acerca da qualidade do ar de edificações e atingir os objetivos propostos nesta pesquisa, foi feita uma campanha experimental investigativa de forma a caracterizar a qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz, monitorando o conjunto dos seguintes contaminantes: Aldeídos, Material Particulado e Fungos.

3 A REGIÃO DE ESTUDO

Este Capítulo apresenta a região de estudo – a Antártica (Seção 3.1), escolhida por suas edificações apresentarem uma eminente preocupação com a qualidade do ar interno, uma vez que, em geral, seus ambientes permanecem fechados e sua população caracteriza-se por longos períodos de estadia em seu interior. A Seção 3.2 descreve especificamente o objeto de análise - a edificação da Estação Antártica Comandante Ferraz. Na seção 3.2.1, são apresentadas as condições climáticas próximas a EACF apenas como forma de contextualizar a edificação aos parâmetros meteorológicos externos existentes.

3.1 A Antártica

A Antártica é a região mais fria, com mais vento e mais seca da Terra, isolada geograficamente pelo Oceano Austral (Figura 3-1), motivos pelos quais não existem populações nativas (ALVAREZ, 2003). Seu clima extremo e sua localização geográfica remota fazem com que suas extensas áreas estejam intocadas pelo homem e ainda, portanto, preservadas. Essa condição tem incentivado o grande interesse científico em investigar o *status* natural do ar, solo, água, gelo e biota para avaliação de vários impactos antropogênicos (MISHRA *et al.*, 2004).

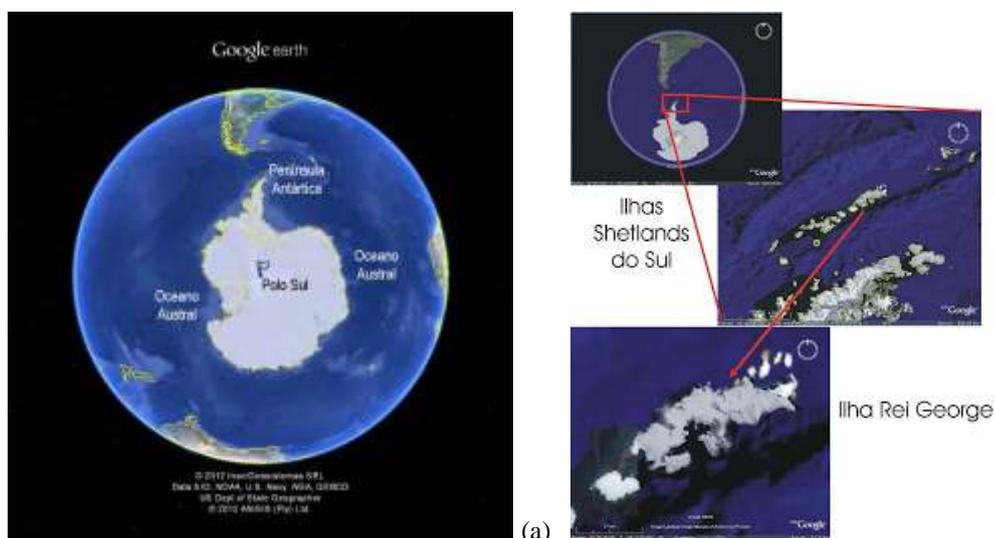


Figura 3-1 – (a) Localização da Antártica no globo terrestre. (b) No detalhe, a Península Antártica, as Ilhas Shetland do Sul e a Ilha Rei George. Fonte: Elaborado a partir de GOOGLE EARTH, 2012.

Na década de cinquenta do século passado, cientistas de várias partes do mundo estavam despertando para o grande potencial da Antártica, cuja ocupação e exploração poderiam ser possíveis a partir do desenvolvimento tecnológico em franca ascensão naquela época. A

presença humana na região mais isolada do planeta requer uma difícil trajetória e um grande esforço logístico. A necessidade de expedições planejadas e fixação de estações científicas para abrigo dos pesquisadores mostraram-se fundamentais para o processo (PROANTAR, 2001).

Devido ao crescente interesse científico, em 1959 foi assinado o Tratado Antártico, em Washington, onde os países com atividades na Antártica firmam um acordo sobre o uso do continente, com o compromisso de não o tornar objeto de discórdia internacional. O Tratado prevê a adesão de qualquer membro das Nações Unidas e o Brasil aderiu ao Tratado Antártico em 1975, e em dezembro de 1982, realizou sua Primeira Expedição àquele continente (SOUZA, 2008).

A escolha da Península Keller, na Ilha Rei George (Figura 3-2), para a possível instalação da futura estação brasileira, foi motivada principalmente por uma orla pouco acidentada, o que facilitaria o apoio logístico a partir do mar durante o verão.

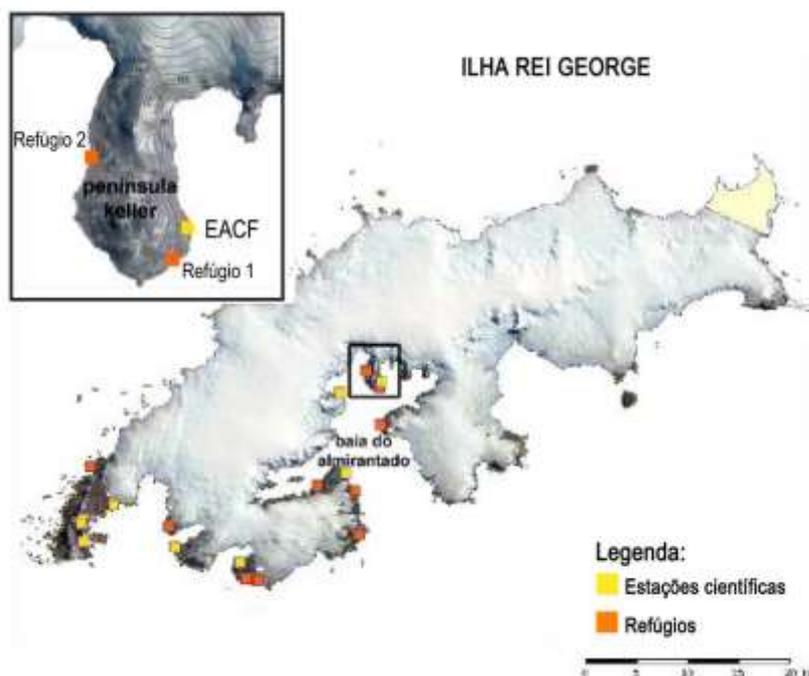


Figura 3-2 – Ilha Rei George, Península Keller e EACF, com representação das estações científicas e Refúgios instalados. Fonte: Adaptado de SCAR, 2012.

Em 1984 foi inaugurada a Estação Antártica Comandante Ferraz e criado o Comitê Nacional de Pesquisas Antárticas e, a partir de então, todos os anos são realizadas as Operações Antárticas – OPERANTAR, onde um grande contingente de pesquisadores brasileiros é levado àquela região para estudos em diversas áreas (ALVAREZ, 2003).

Dentre as ilhas, a Rei George, onde está implantada a Estação brasileira – que inclui também dois Refúgios –, em função das condições climáticas mais amenas e pela facilidade de acesso, é caracterizada pela presença de vários outros países que desenvolvem pesquisas naquele continente, configurando-se como a região mais povoada da Antártica.

3.2 A Estação Antártica Comandante Ferraz

A Estação Antártica Comandante Ferraz (LAT. 62°05'S e LONG. 58°24'W), fundada em 6 de fevereiro de 1984 está localizada na Península Keller, Baía do Almirantado, Enseada Martel. A Península Keller está a cerca de 3.200 km do Polo Sul e a 4.000 km de Rio Grande (RS), ponto de partida dos navios brasileiros rumo à Antártica (SOUZA, 2008).

A edificação inicial foi composta por oito contêineres metálicos, confeccionados com vedação do tipo “sanduíche” com as partes externas em aço corrugado, preenchido com poliuretano expandido e revestidos internamente com lambris de madeira. A área total da Estação era de 150 m² e podia acomodar até 12 pessoas. Durante os anos seguintes, a Estação sofreu diversas reformas e ampliações; outros contêineres foram sendo anexados à sua estrutura inicial (ALVAREZ, 2003) e posteriormente, com a implementação do Plano Diretor da EACF a partir de 2005 (ALVAREZ; CASAGRANDE; SOARES, 2007), várias modificações foram implementadas, inclusive descaracterizando a construção por containers e ampliando a área útil do corpo principal em cerca de 70%.

Esse crescimento da estrutura física de Ferraz, dos seus equipamentos e sistemas de operação até a implementação do Plano Diretor, nem sempre ocorreu de forma adequada com preocupações formais ou ambientais. Tal efeito também é perceptível em outras Estações demonstrando que a ocupação humana na região da Península Antártica com sua intensa atividade, tem trazido, com raras exceções, um preocupante efeito quando se avalia a questão do impacto no ambiente (ALVAREZ; CASAGRANDE; SOARES, 2007).

As características ambientais extremas da Antártica delimitam a sustentabilidade e a ocupação humana. Desta forma, a arquitetura abarca uma função determinante de proteção e manutenção dos índices de conforto humano. A tipologia construtiva adotada na Estação brasileira resulta em uma arquitetura relativamente enclausurada e o modo de vida local implica em longos períodos de permanências pelos seus habitantes em seu interior.

Essa é uma característica geral das estações da Antártica em que o foco é na eficiência energética da edificação, principalmente no consumo energético e no conforto térmico. A Qualidade do Ar Interior não era uma questão de grande preocupação, especialmente para as estações mais antigas, como a EACF.

Em janeiro de 2012, a EACF já possuía cerca de 2.500 m² no corpo principal (Figura 3-3) e capacidade para abrigar aproximadamente 65 pessoas por campanha entre civis e militares.



Figura 3-3 - Vista externa frontal da Estação Antártica Comandante Ferraz em janeiro de 2012.

As atividades científicas vinculadas ao Programa Antártico Brasileiro – PROANTAR são desenvolvidas durante todo o ano, mas era no verão, com a presença dos pesquisadores e da equipe de manutenção do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro – AMRJ, responsáveis pelos trabalhos de manutenção predial e obras civis na Estação, que se atingia a lotação máxima, fazendo com que a mesma se caracterizasse pela intensa atividade.

Já no inverno a ocupação restringia-se a um número de 15 a 20 habitantes, pertencentes ao Grupo Base² e alguns pesquisadores de áreas específicas, que permaneciam na Estação por um ano. Uma pesquisa desenvolvida em paralelo com esse trabalho revelou que 70% desse grupo desenvolve suas ocupações principais no interior da Estação, resultando em um tempo médio maior de 16 h de permanência dentro do edifício no verão (PAGEL *et al.*, 2015). Supõe-se que esse tempo seja bem maior no inverno.

Internamente a Estação possuía diversos ambientes que atendiam aos seus usuários, alguns climatizados e outros não (Figura 3-4).

² Grupo Base, chamado de GB, é composto por 15 militares da Marinha do Brasil encarregados da administração da Estação, apoio e segurança dos pesquisadores.



(a) Sala de estar



(a) Sala de estar



(b) Camarote 10



(c) Camarote 21



(d) Dormitório do Grupo do Arsenal - DGA



(e) Cozinha

Figura 3.4 – Alguns ambientes internos ao corpo principal da EACF. (a) Sala de estar, (b) Camarote 10, (c) Camarote 21, (d) Dormitório do Grupo do Arsenal - DGA, (e) Cozinha, (f) Biblioteca, (g) Academia, (h) Área de Transição - AT, (i) Incinerador, (j) Oficina e (l) Garagem. (Continua).



(f) Biblioteca



(g) Academia



(h) Área de Transição - AT



(i) Incinerador



(j) Oficina



(l) Garagem

Figura 3-4 – Alguns ambientes internos ao corpo principal da EACF. (a) Sala de estar, (b) Camarote 10, (c) Camarote 21, (d) Dormitório do Grupo do Arsenal, (e) Cozinha, (f) Biblioteca, (g) Academia, (h) Área de Transição - AT, (i) Incinerador, (j) Oficina e (l) Garagem. (Conclusão)

Dentre seus ambientes a Estação Antártica Comandante Ferraz contava com os seguintes setores: 1. Dormitórios: camarotes duplos; um Dormitório do Grupo do Arsenal da Marinha - DGA com sanitários; um camarote com sanitário destinado ao chefe da Estação; e banheiros coletivos. 2. Áreas de convívio social: sala de estar e refeições; biblioteca; academia e Auditório. 3. Áreas de serviço: cozinha; despensas; lavanderia e padaria. 4. Áreas de

trabalho/operação: laboratórios; enfermaria; oficinas; incinerador de resíduos; paióis; casa de máquinas e de geradores; garagens; área de interligação e transição entre essas áreas de trabalho/operação (Área de Transição – AT); dentre outras.

De forma geral, estes ambientes não possuíam sistema adequado para renovação do ar, com isso o usuário, quando possível, utilizava as janelas como mecanismo de controle. O sistema de aquecimento utilizado consistia em um mecanismo central de circulação de água quente, alimentado por uma caldeira, que permitia o controle individual da temperatura dos ambientes através de calefatores individuais.

Além do corpo principal da Estação, o Brasil possui na Península Keller, um heliponto e módulos de apoio que necessitam estar mais afastados, tais como os laboratórios de Meteorologia, Ozônio, *Very Low Frequency* – VLF, e os denominados “Ipanema” e “Punta Plaza”, também vinculados às Ciências Atmosféricas.

As demais unidades afastadas são vinculadas ao apoio logístico e segurança, como a Estação de Rádio, os Refúgios I e II, a Cafangoria e o módulo de mergulho. O Refúgio II é a unidade mais afastada, distando aproximadamente 5 km da Estação, com acesso restrito por terra à pé em parte do percurso, ou pelo mar, separado por um grande relevo acidentado, caracterizando, portanto de rara presença humana (Figura 3-5). O Refúgio foi inicialmente construído como uma unidade a ser utilizada em uma situação de emergência, quando a EACF contava com uma população reduzida. Com seu crescimento, o Refúgio II passou a ser utilizado, eventualmente, como apoio à equipes que permaneciam acampadas nas suas proximidades.



Figura 3-5 – Vista externa do Refúgio II localizado a aproximadamente 5 Km da Estação e separado por um grande relevo acidentado. Fonte: LPP, 2009.

Projetar edificações para a Antártica significa lidar com condicionantes incomuns aos meios urbanos tradicionais, pois além do rigor climático devem ser considerados os aspectos

relativos ao apoio logístico disponível, o que acaba determinando a configuração final da proposta e a escolha dos materiais (ALVAREZ, 2003). Em uma análise *in loco*, verificou-se a ocorrência de diversos problemas relacionados à corrosão e a umidade no interior da EACF, como consequência da junção da utilização de materiais metálicos, à salinidade e aos fortes ventos (ALVAREZ; CASAGRANDE; SOARES, 2007). No estudo de FANTICELE (2011) foi detectado um acúmulo de umidade próximo ao piso e também no mobiliário, onde especialmente os armários fechados e os colchões ficam mofados e com nítidos sinais de umidade. A presença do mofo em um espaço fechado como o da Estação é preocupante em relação à prevalência de doenças principalmente respiratórias em seus habitantes.

Outro fator de relevância na saúde dos ocupantes da EACF refere-se à localização de potenciais fontes de poluição do ar nas dependências da Estação como geradores, incinerador de resíduos, atividade de fumo, cocção, materiais, obras, trânsito de veículos, dentre outros. A presença dessas fontes, atrelada ao modo de vida local é o que motivou à avaliação da qualidade do ar interior da EACF, temática do presente estudo.

Sendo assim, inicialmente, esse trabalho pretendia investigar a QAI da Estação brasileira e propor melhorias nas edificações existentes em relação à esse parâmetro. No entanto, o dia 25 de fevereiro de 2012 foi assinalado, para o Brasil e para várias nações parceiras, como um dia de tristeza. O incêndio ocorrido na Estação Antártica Comandante Ferraz destrói o denominado corpo principal da EACF, deixando dois militares mortos e alguns feridos e marcando aquele carnaval como um dos mais tristes vivenciados pelos brasileiros (GLOBO, 2012).

Esse fato fez com que o Programa Antártico Brasileiro – PROANTAR promovesse uma licitação internacional na modalidade de concurso público, para a escolha do projeto e posterior construção das novas edificações da EACF visando, entre outros aspectos, a preocupação com a qualidade do ar interior, em função dos estudos específicos desenvolvidos por essa pesquisa (BRASIL, 2013).

Mesmo sendo o objetivo principal desse trabalho a avaliação do ar dos ambientes internos da EACF é importante contextualizar as condições climáticas registradas próximas a EACF e descritas na Seção 3.2.1. Os dados meteorológicos externos apresentados são médias mensais dos monitoramentos de 1986 a 2011.

3.2.1 Condições climáticas próximas a EACF

Segundo dados do Programa Meteorológico Antártico Brasileiro coletados no módulo de Meteorologia, localizado próximo a EACF, pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC/INPE, entre os anos de 1986 a 2011 as temperaturas médias mensais no local variaram entre 1,2°C em dezembro a -6,4 °C no mês de julho e as médias das temperaturas máximas oscilaram entre 4,3 °C a -3,3 °C em janeiro e julho respectivamente. Já as médias das temperaturas mínimas variaram entre 0,4 - °C em janeiro a -9,7°C em julho. Em relação ao vento as velocidades médias mensais apresentaram uma oscilação entre 5,2 a 5,7 m/s de novembro a maio – sem considerar as rajadas – tendo seu maior aumento no mês de outubro com 6,7 m/s (CPTEC/INPE, 2013). É importante relatar também que não há direção do vento predominante, sendo característica a intensa mudança de sua direção. A Figura 3-6 mostra as temperaturas médias e velocidade do vento média próximas a EACF no período de 1986 a 2011.

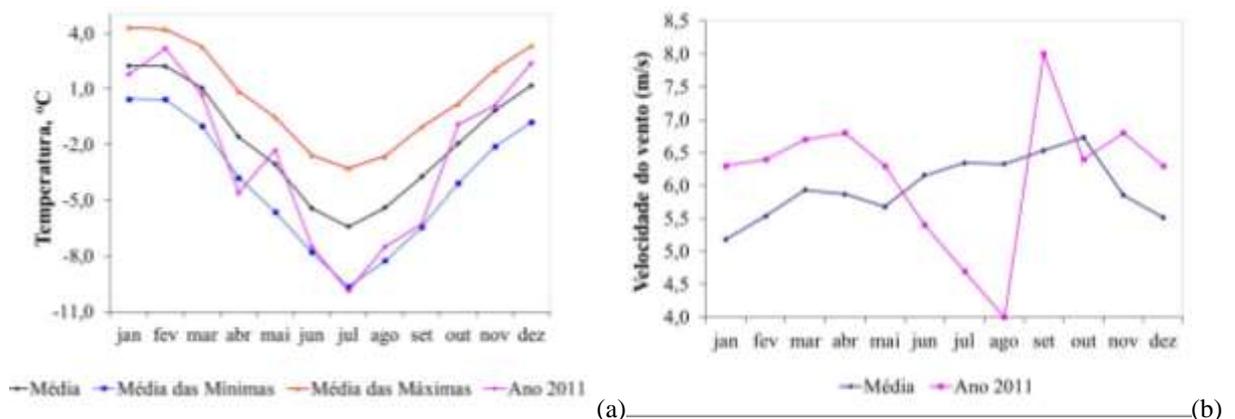


Figura 3-6 – (a) Temperaturas médias mensais (b) velocidade do vento média mensal, no período de 1986 a 2011 na EACF. Fonte: CPTEC/INPE, 2013.

A Península Keller, assim como a maioria das regiões litorâneas na Antártica, caracteriza-se pelas bruscas mudanças meteorológicas e pela grande frequência de dias nublados. Não há, no entanto, a incidência de raios - descargas elétricas. A temperatura média anual é de -2,8°C, tendo sido registrada a mínima absoluta, em 1991, de -28,5°C, enquanto a máxima absoluta, registrada em 1998, foi de 14,4°C. Em relação aos ventos, a rajada mais veloz, registrada em 2010, foi de 178 km/h. A precipitação média anual é de 508,5 mm, a umidade média é 82% e a pressão média é 991 hPa. Há chuvas durante o verão, que podem se converter em neve, repentinamente. Durante o inverno, predomina a precipitação de neve, cujo acúmulo é variável, podendo chegar a 3m (BRASIL, 2013).

4 METODOLOGIA

Este Capítulo tem como objetivo descrever a metodologia aplicada nesta pesquisa e está dividido, de forma geral, em planejamento das etapas de trabalho (Seção 4.1) e descrição do experimento realizado (Seção 4.2).

4.1 Planejamento das etapas de trabalho

Uma vez que o propósito principal do trabalho foi avaliar a qualidade do ar interno da Estação Antártica Comandante Ferraz diagnosticando o problema e propondo melhorias na construção de novos projetos na Antártica sob o ponto de vista da QAI, as etapas dessa pesquisa foram divididas em três grandes cenários: Estudo do problema, Atividades de campo e laboratoriais, Resultados e diagnóstico (Figura 4-1).

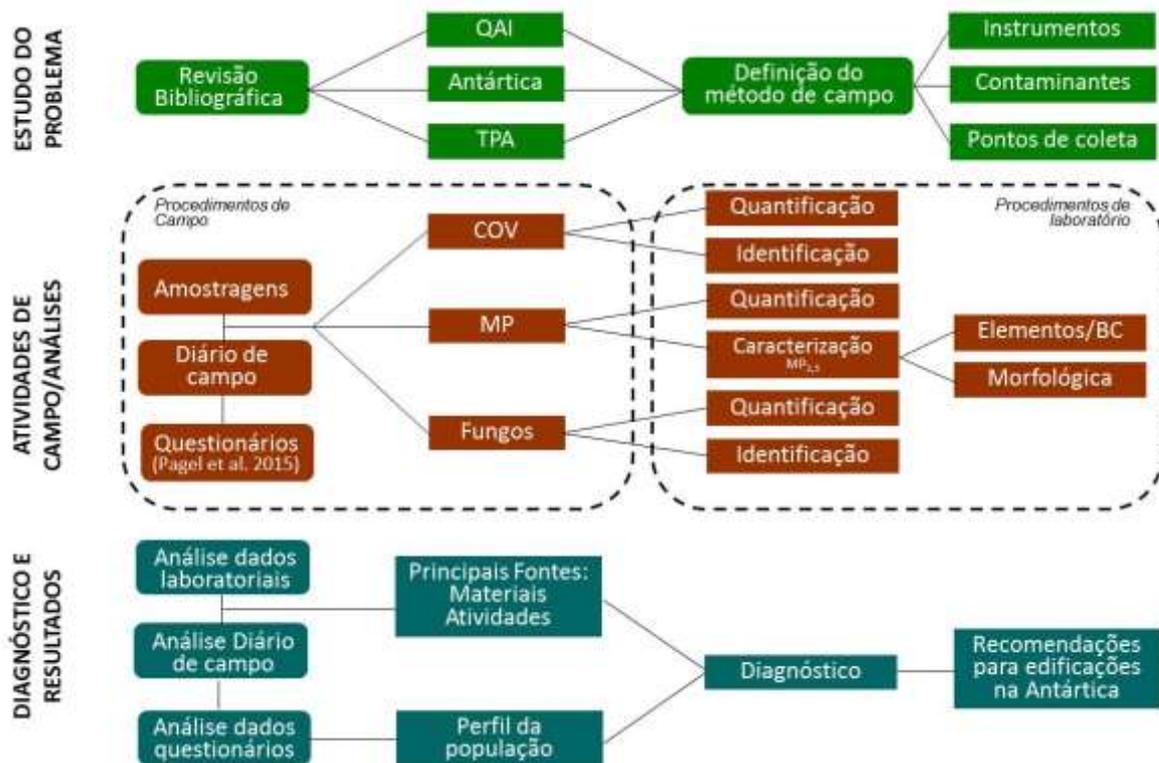


Figura 4-1 – Cenário do planejamento e da divisão das etapas de trabalho.

Primeiramente foi feita uma ampla revisão bibliográfica acerca do tema da qualidade do ar dentro das edificações; os principais contaminantes abordados pela literatura; as técnicas de amostragem mais viáveis de serem aplicadas a este trabalho, assim como o entendimento da Antártica, no que diz respeito às pesquisas já desenvolvidas; às edificações existentes; e à viabilidade de um experimento de campo de QAI.

Em agosto de 2011, o pesquisador responsável pela coleta de dados da pesquisa em questão realizou um Treinamento Pré-Antártico – TPA, com duração de uma semana na Ilha da Marambaia – RJ, executado anualmente sob a responsabilidade da Marinha do Brasil e com certificação válida por cinco anos. É comum também a exigência para todos os futuros habitantes da Estação uma diversidade de exames médicos o que caracteriza em geral, uma população saudável residente nas edificações antárticas. Além disso, o treinamento Pré-Antártico é uma importante e consciente preparação através de atividades físicas, simulações da vivência da rotina da Estação, práticas de convivência em grupo e palestras sobre as pesquisas brasileiras desenvolvidas no continente, além da apresentação de normas e técnicas de segurança, permanência e deslocamento na Antártica.

O PROANTAR conta com dois navios da Marinha do Brasil – “Ary Rongel” e o “Almirante Maximiliano”, conhecido como “Tio Max”, além de aviões quadrimotor C-130 Hércules, pertencente à Força Aérea Brasileira – FAB. O ponto de partida do Brasil para se chegar até a EACF dá-se pela Estação de Apoio Antártico – ESANTAR, localizada no campus da Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG/RS, local responsável pela manutenção e distribuição dos vestiários e equipamentos adequados para utilização nas Operações Antárticas brasileiras.

A trajetória segue do Rio Grande do Sul no Brasil até a cidade de Punta Arenas no Chile, onde se aguarda até mesmo por vários dias consecutivos, as melhores condições meteorológicas, seja pelo mar ou pelo ar, para se atravessar um dos mares mais agitados do mundo e um clima bastante caracterizado pela sua instabilidade, sendo muito comum o surgimento de nevascas e ventanias, bem como a frequente redução da visibilidade pela incidência de nevoeiros (ALVAREZ; VARGAS; VIDIGAL, 2013). Se as condições forem favoráveis os aviões Hércules da FAB seguem viagem até base chilena Presidente Eduardo Frei, na Ilha Rei George, Antártica. Desse local até a Estação Antártica Comandante Ferraz são 4 h de navio. Em casos excepcionais esse percurso pode ser feito por helicóptero levando em torno de 20 minutos.

De conhecimento prévio desse grande esforço logístico associado à limitação física em relação ao espaço restrito na aeronave, ao deslocamento dos equipamentos de monitoramento em solo antártico e a possibilidade de condições meteorológicas adversas durante os experimentos foram então definidos os métodos de amostragens de QAI mais apropriados às condições logísticas e ambientais. Além disso, foram observados também os equipamentos

que seriam necessários para análise laboratorial, dando seguimento à aquisição dos instrumentos dentro dos recursos disponíveis e firmamento de parcerias para análise com outras Instituições. Esse último aspecto, juntamente com o objetivo da pesquisa, delimitou a escolha do grupo de contaminantes que seria abordado e os pontos de coleta para avaliação.

Considerando as potencialidades e restrições das atividades inerentes à pesquisa foram selecionados para a avaliação os Compostos Orgânicos Voláteis – COV do grupo aldeídos, o Material Particulado e os Fungos. Simultaneamente com essas coletas foi realizado um minucioso diário de campo, que juntamente com os resultados das análises laboratoriais permitiu a identificação das prováveis fontes de emissão provindas provavelmente dos materiais construtivos e/ou das atividades humanas.

Por fim com base no conjunto de resultados traçou-se o diagnóstico da qualidade do ar interno da antiga edificação da Estação Antártica Comandante Ferraz e as recomendações para melhor QAI direcionadas às novas edificações na Antártica.

4.2 O experimento

O experimento de campo foi realizado dentro do período disponível na XXX Operação Antártica, operacionalizada pela Marinha do Brasil e pela Força Aérea Brasileira entre os dias 13 de janeiro a 04 de fevereiro de 2012. Os locais e períodos de amostragem de aldeídos, MP e fungos são descritos na Seção 4.2.1, o Diário de campo utilizado na Seção 4.2.2, as técnicas de amostragem de campo, análises laboratoriais e tratamento de dados na Seção 4.2.3.

4.2.1 Locais de amostragem

A Figura 4-2 mostra uma representação esquemática da estação, que indica os pontos de amostragem para o ensaio de campo. A estação é dividida em dois grandes ambientes: (i) os compartimentos com condicionamento (ii) os compartimentos sem condicionamento. Os compartimentos condicionados abrangem os dormitórios, academia, biblioteca, sala de estar, cozinha, banheiros. Os compartimentos sem condicionamento são as áreas de serviços, que incluem a oficina de manutenção, área de geração de energia, incinerador, garagem e uma área de transição entre os setores operacionais (AT). Enquanto as áreas condicionadas têm aquecimento, as áreas não condicionadas têm apenas proteção básica da cobertura e das paredes (sem controle de temperatura). Este arranjo é muito comum em estações antárticas, em geral, uma vez que a o rigor climático, especialmente durante o inverno, restringe o

movimento entre edifícios. Assim, áreas de serviço são normalmente ligados por um ambiente de transição protegido, enquanto que os alojamentos e laboratórios são ambientes condicionados.



Figura 4-2 – Layout básico do edifício principal da Estação Antártica Comandante Ferraz com a localização dos pontos de monitoramento de aldeídos, MP e fungos.

Foi utilizado como critério de escolha dos locais de amostragem os ambientes que representassem uso intensivo da Estação (sala de estar, cozinha, biblioteca, academia); ambientes de permanência prolongada (camarotes e o Dormitório do Grupo do Arsenal - DGA); e ambientes com prováveis fontes internas de poluição (oficina, área de incineração, área de Transição - AT, garagem).

Algumas análises foram feitas em ambiente externo próximo a Estação a fim de se comparar com os resultados obtidos internamente. Foram realizadas a 13,5 m do eixo da face frontal da edificação situada a leste, onde se localiza o mastro da bandeira e uma amostragem de material particulado foi realizada a 6,0 m da face posterior da Estação situada a oeste onde se localiza uma luminária de poste. Também foram feitos experimentos em ambiente externo mais afastado, o Refúgio II, distante aproximadamente 5 Km da EACF. A medição foi

realizada em um ponto localizado a 2,0 m do Refúgio II. Essas coletas externas mais afastadas objetivavam a comparação dos resultados entre os ambientes de maior atividade humana, ou de áreas bem próxima a estes, com um ambiente natural sem a presença permanente do homem.

4.2.2 Diário de Campo

Durante a campanha as medições foram acompanhadas através do preenchimento de um diário de campo composto por um bloco de anotações que era deixado ao lado dos equipamentos de monitoramento a fim de obter registros momentâneos pelos habitantes da EACF. Também foi realizado um questionário para cada ambiente, registrando os materiais de construção aplicados, as atividades praticadas durante a amostragem e outras fontes de emissão esperadas (Anexo I). Este questionário foi feito baseado no modelo proposto para Avaliação da Qualidade do Ar em Interiores descrito pela THE EUROPEAN STANDARD (2006).

Mais especificamente o questionário se divide em cinco seções: a primeira relata informações sobre a campanha de amostragem com o registro do número de identificação, período de início e fim de amostragem, temperatura e umidade do local; a segunda parte contém dados sobre o local da amostragem, como a idade da construção, dimensões, utilização de sistema de aquecimento, posição do ambiente no edifício e localização dos equipamentos de amostragem; a terceira seção registra as condições de ventilação antes e durante a amostragem; a quarta seção relata os materiais de construção utilizados, as últimas reformas realizadas, os mobiliários, equipamentos e as condições do ambiente; a quinta seção relata as atividades dos usuários e o horário das suas realizações no ambiente. Foi também contado o número de ocupantes, presença ou não de fumo e registrados os produtos de limpeza, frequência de utilização, cuidado com móveis e cosméticos manipulados.

O resumo das informações levantadas no Diário de Campo encontra-se sintetizado no Quadro 4-1 e serviram como base para a compreensão dos resultados descritos no próximo Capítulo.

Quadro 4-1 – Resumo dos materiais de construção, atividades e sistemas de ventilação dos ambientes (continua).

Ambientes	Materiais de Construção	Atividades	Sistemas de ventilação
<p>Sala de estar Idade: > 20 anos. (A Sala de estar existe desde 1987. Sofreu três grandes reformas sendo a primeira em 1990 e a última em 2005).</p>	<p>Piso: réguas de madeira laminada coladas. Paredes: réguas de madeira envernizada. Última manutenção: Jan/2012 - lixa e reparador de madeira. Teto: painéis de divisória. Mobiliário: 4 sofás de couro sintético, bar em madeira envernizada, mesas em MDF, cadeiras de plástico e alumínio. Equipamentos: 1 TV, 1 karaóque, 1 som, 1 máquina de gelo e 8 aquecedores a óleo diesel ligados no nível 1.</p>	<p>Três refeições diárias: café da manhã, almoço e jantar. Durante as refeições passagem de aproximadamente 64 pessoas. Ambiente de estar e celebrações. Proibido fumo. Limpeza diária: após todas as refeições. O chão é varrido e aplicado desinfetante. O mobiliário é limpo com álcool. Uma vez por semana é realizada uma limpeza maior nos móveis, chão, janelas e portas.</p>	<p>4 janelas voltadas para face externa Leste quase sempre fechadas. 1 janela Sul voltada para afastamento interno sempre aberta. Vãos abertos para a Cozinha. Três portas de acesso: para os Camarotes, para o hall de acesso e para AT. Portas sempre fechadas mas com fluxo intenso de passagem</p>
<p>Camarote 10 Idade: 10 - 20 anos. (ala de Camarotes que sofreu uma grande reforma em 2005 com ampliação do seu espaço interno).</p>	<p>Piso: réguas de madeira laminada colada. Paredes: painéis de divisória com isolante térmico (poliuretano). Teto: painéis de divisória. Mobiliário: 2 camas, 1 escrivaninha e armários em madeira. Última manutenção: Jan/2012 - prateleiras e armário - lixa e reparador para madeira. Equipamentos: 2 notebooks, 1 cadeira e 1 aquecedor a óleo diesel desligado.</p>	<p>Descanso e higiene pessoal. Utilização de cosméticos. A noite ocupação permanente de 2 pessoas. A maior parte durante o dia desocupado. Proibido fumo. Limpeza 2 vezes por semana. O chão é varrido e aplicado desinfetante. Portas 1 vez por semana - reparador "óleo de peroba" na face circulação.</p>	<p>1 janela Norte voltada para afastamento interno raramente aberta. Porta sempre fechada com eventual fluxo de passagem.</p>
<p>Camarote 21 Idade: 1 - 2 anos. (ala de Camarotes mais recente da Estação, construída em 2010).</p>	<p>Piso: réguas de madeira laminada coladas. Paredes: painéis de divisória com isolante térmico (poliuretano). Teto: painéis de divisória. Mobiliário: 2 camas, 1 escrivaninha e armários em MDF revestidos com lâmina. Primeira utilização na campanha de 2011. Equipamentos: 2 notebooks, 1 cadeira e 1 aquecedor a óleo diesel ligado no nível 1.</p>	<p>Descanso e higiene pessoal. Utilização de cosméticos. A noite ocupação permanente de 2 pessoas. A maior parte durante o dia desocupado. Proibido fumo. Limpeza 1 vez por semana. O chão é apenas varrido sem aplicação de desinfetante.</p>	<p>1 janela voltada para face externa Oeste raramente aberta. Porta sempre fechada com eventual fluxo de passagem.</p>
<p>DGA Idade: 10 - 20 anos. (Em 2008/2009 sofreu uma grande reforma incluindo a colocação do forro de madeira no teto).</p>	<p>Piso: réguas de madeira laminada coladas. Paredes: painéis de divisória com isolante térmico (poliuretano). Teto: réguas de madeira envernizada. Mobiliário: 5 beliches e 2 camas, 1 escrivaninha e armários em madeira. Última manutenção: Jan/2012 - uma parte do forro do teto foi trocado e tratado com reparador para madeira. Equipamentos: 1 TV, 1 computador, 1 DVD, 1 cadeira e 2 aquecedores a óleo diesel ligados no nível 2.</p>	<p>Descanso e higiene pessoal. Uso de cosméticos. À noite e 30 minutos antes e após as refeições ocupação de aprox. 12 pessoas. Nos outros horários do dia permanece desocupado. Proibido fumo. Embora haja presença de fumantes não exercendo a atividade local. Limpeza: 1 vez ao dia. O chão é varrido e aplicação de desinfetante. Os móveis são eventualmente limpos com "óleo de peroba".</p>	<p>3 janelas voltadas para face externa Sul que frequentemente são abertas durante o dia e fechadas durante a noite. Possui três portas: 1 porta interna a circulação da Estação, 1 de acesso ao banheiro suite e 1 porta de acesso a sala onde guardam os macacões de trabalho permanentemente fechadas com eventual fluxo de passagem.</p>
<p>Cozinha Idade: 10 - 20 anos. (Sofreu uma reforma em 2008/2009 com a abertura "passa-pratos" para a Sala de estar).</p>	<p>Piso: piso cerâmico. Paredes: painéis de divisória com isolante térmico (poliuretano). Teto: painéis de divisória com isolante térmico (poliuretano). Mobiliário: armários de MDF revestidos com fórmica. Equipamentos: 2 geladeiras, 1 microondas, 1 forno combinado a gás, 1 fogões industriais de 4 bocas a gás, 1 forno simples a gás e 1 aquecedor a óleo diesel ligado.</p>	<p>Cocção, frituras e preparo de alimentos. Os botijões de gás se localizam no afastamento interno próximo ao ambiente. Ocupação por volta de 6 pessoas durante o horário das refeições. Durante o dia a frequência é menor mas constante. Proibido fumo. Limpeza diária: após todas as refeições. O chão é varrido e aplicação de desinfetante. O mobiliário é limpo com álcool.</p>	<p>1 janela Sul voltada para o afastamento interno, onde se localiza os botijões, sempre aberta. 1 porta voltada para o Sul de acesso ao afastamento interno permanentemente fechada. 2 vãos livres, um de passagem e outro do tipo "passa-pratos" abertos para a Sala de estar.</p>

Quadro 4-2 – Resumo dos materiais de construção, atividades e sistemas de ventilação dos ambientes (continua).

<p>Biblioteca Idade: < 5 anos. (Construída em 2007/2008).</p>	<p>Piso: réguas de madeira laminada coladas. Paredes: réguas de madeira envernizada. Teto: painéis de divisória com isolante térmico (poliuretano). Mobiliário: Estantes de madeira, 3 mesas de MDF revestidas com fórmica, 1 sofá de três lugares em tecido, 6 cadeiras de escritório. Em 2011 o ambiente em anexo foi transformado em CPD. Última manutenção: Jan/2012 - as portas: lixa e reparador para madeira. Equipamentos: notebooks e 3 aquecedores a óleo diesel ligados. Presença de livros, revistas, violões e DVDs.</p>	<p>Estudo e pesquisa. Ocupação moderada. Alguns horários da manhã e das tarde aproximadamente 6 pessoas. Durante as refeições e a noite sem ocupação permanente. Proibido fumo. Limpeza 1 vez por semana o chão é varrido e aplicação de desinfetante. O mobiliário é limpo com álcool.</p>	<p>Possui duas faces externas para o Sul com 4 janelas e para o Leste com 1 janela e 1 porta externa. Janelas estão sempre fechadas. 3 portas: 1 externa eventualmente aberta, 1 de acesso ao CPD e 1 de acesso a circulação interna da Estação quase sempre mantidas abertas.</p>
<p>Academia Idade: < 10 anos. (Grande reforma em 2005/ 2006 com aplicação de alguns revestimentos em 2007).</p>	<p>Piso: piso vinílico colado. Paredes: painéis de divisória com isolante térmico (poliuretano). Teto: painéis de divisória com isolante térmico (poliuretano). Mobiliário: máquinas de musculação, 3 esteiras, 1 bicicleta ergométrica e 1 móvel de madeira para o som. Equipamentos: 1 TV, 1 som, 1 DVD e 2 aquecedores a óleo diesel ligados. Presença de colchonetes e caneleiras de ginástica.</p>	<p>Musculação e ginástica. Ocupação moderada: 1 a 10 pessoas em atividade física. Durante as refeições e a noite sem ocupação permanente. Proibido fumo. Mas faz divisão com o ambiente da churrasqueira onde é permitida essa atividade. Limpeza 1 vez por semana: O chão é varrido e aplicação de desinfetante. O mobiliário é limpo com álcool. Limpeza frequente dos colchonetes pelos usuários com álcool após as atividades.</p>	<p>Ambiente localizado no meio do corpo da Estação. 3 janelas Norte voltadas para a área de transição (AT) e 5 janelas Sul voltadas para o ambiente da Churrasqueira. A maior parte das janelas ficam permanentemente abertas. 1 porta Sul voltada para o ambiente da churrasqueira. A porta é aberta frequentemente.</p>
<p>AT Idade: > 20 anos (Não sofreu nenhuma modificação relevante nos últimos 25 anos).</p>	<p>Piso: bloco intertravado de concreto. Parede: chapas metálicas pintadas com tinta óleo. Teto: telha metálica. Última manutenção: Jan/2012 – aplicação de antiferrugem e pintura nova com tinta óleo. Equipamentos: 3 refrigeradores e 1 freezer. Presença de caixas de marfinites e eventuais equipamentos de pesquisa.</p>	<p>Espaço de intensa passagem de pessoas e veículos. Ambiente de saída dos laboratórios o que permite a presença ou passagem de pessoas e várias substâncias de pesquisa como peixes, aves, solos e algas. Ambiente de saída do Paiol Central de Gêneros: intensa passagem de veículos durante as atividades de carga e descarga. Limpeza 1 vez por semana: o chão é varrido.</p>	<p>Ambiente localizado no meio do corpo da Estação. Não possui janelas nem portas imediatas. Possui ventilação natural moderada já que o portão do espaço adjacente da Oficina fica sempre aberto dia e noite. Ambiente sem calefação.</p>
<p>Incinerador Idade: < 5 anos</p>	<p>Piso: bloco intertravado de concreto. Parede: chapas metálicas. pintadas com tinta óleo. Teto: telha metálica. Última manutenção: Jan/2012 – aplicação de antiferrugem e pintura nova com tinta óleo. Equipamentos: 1 incinerador. Presença de marfinites contendo os lixos a serem incinerados.</p>	<p>Incineração do lixo orgânico, papel higiênico e guardanapos. 1 ou 2 vezes por semana dependendo da demanda. 1 pessoa durante a atividade que dura a manhã e tarde. Externamente próximo a saída da chaminé há a presença forte de fumaça durante a atividade. Limpeza: 1 vez por semana: o chão é varrido.</p>	<p>Não possui janelas nem portas imediatas. Grande vão aberto para a Oficina. Possui ventilação natural moderada já que o portão do espaço adjacente da Oficina fica sempre aberto dia e noite. Ambiente sem calefação.</p>
<p>Oficina Idade: 10 - 20 anos. (Sofreu várias modificações sendo a última em 2009/2010 com a criação do mezanino).</p>	<p>Piso: bloco intertravado de concreto. Parede: chapas metálicas pintadas com tinta óleo. Teto: telha metálica. Última manutenção: Jan/2012 – aplicação de antiferrugem e pintura nova com tinta óleo. Mobiliário: várias mesas de trabalho e armários em madeira. Equipamentos: furadeira, máquina de solda, lixadeira e maçarico. Presença de tintas.</p>	<p>Manutenção da Estação: corte e solda de metais, corte e lixa de madeira, pinturas diversas. Ocupação de até 5 pessoas durante o turno da manhã e tarde. Limpeza: 1 vez por semana: o chão é varrido.</p>	<p>Não possui janelas. Possui ventilação natural frequente devido a permanência aberta do portão de acesso externo durante o dia e a noite. Ambiente sem calefação.</p>

Quadro 4-2 – Resumo dos materiais de construção, atividades e sistemas de ventilação dos ambientes (conclusão).

<p>Garagem Idade: < 5 anos</p>	<p>Piso: bloco intertravado de concreto. Parede: chapas metálicas pintadas com tinta óleo. Teto: telha metálica. Última manutenção: Jan/2012 – aplicação de antiferrugem e pintura nova com tinta óleo. Equipamentos: 6 motos de neve e 8 quadricúlos a diesel.</p>	<p>Guarda de veículos. Guarda de materiais: barras de aço, madeira, telhas, pó de pedra e óleo lubrificante. Presença esporádica de pessoas. Não há atividade de limpeza neste ambiente.</p>	<p>Não possui janelas. Possui 1 portão Leste de acesso externo Possui ventilação natural frequente devido a permanência aberta do portão durante o dia. Durante a noite é fechado. Ambiente sem calefação.</p>
<p>Externo Imediato</p>	<p>Piso: bloco intertravado de concreto e solo natural. Equipamentos próximos: 4 tratores, 1 barco, 2 lanchas e 2 botes movidos a óleo diesel. Presença de tanques de reservatório de óleo.</p>	<p>Na face leste frontal da Estação freqüente passagem de pessoas e veículos, tratores, saída com botes e de barco. Próximo a parada de navios. Presença frequente de aves e pinguins. Nas faces laterais sul e norte, e principalmente a face posterior oeste da Estação presença de muitas obras de manutenção e solo natural remexido.</p>	
<p>Refúgio II Idade: > 20 anos</p>	<p>Piso: Solo natural. Localizado a 5 Km da Estação. Refúgio em madeira com base estrutural em aço. Não sofreu nenhuma reforma ou manutenção.</p>	<p>Ambiente frequentemente sem a presença humana. Proibido o acesso de veículos. Acesso realizado apenas de botes, motos de neve ou a pé. Presença frequente de aves, focas e pinguins. Presença próxima de musgos.</p>	

4.2.3 Técnicas de amostragem, Análises laboratoriais e Tratamento de dados

Esta Seção apresenta as Técnicas de amostragem de campo, Análises laboratoriais e Tratamento de dados utilizados na caracterização e quantificação dos contaminantes monitorados por essa pesquisa: Aldeídos (4.2.3.1), Material Particulado (4.2.3.2) e Fungos (4.2.3.3).

4.2.3.1 Aldeídos

Os aldeídos fazem parte do grupo de Compostos Orgânicos Voláteis de maior investigação em monitoramentos do ar de interiores, devido estarem fortemente associados aos materiais construtivos além de representarem um grupo de compostos considerados perigosos a saúde humana (JACOBSON, 2002).

No experimento realizado por essa pesquisa utilizou-se para coleta amostradores passivos conhecidos como Radiello® (FONDAZIONE SALVATORI MAUGERI, 2011), específicos para esta finalidade. Estes amostradores contêm um corpo difusivo poroso de polipropileno, cilíndrico que envolve cartuchos com uma malha de aço inoxidável preenchida com o reagente 2,4-DNPH (dinitrofenilhidrazina). Esta substância é responsável pela reação com os

aldeídos no ar ambiente criando as correspondentes 2,4 dinitrofenilhidrazones (Figura 4-3). O DNPH é o mais popular método de coleta de aldeídos (BARRO *et al.*, 2009).

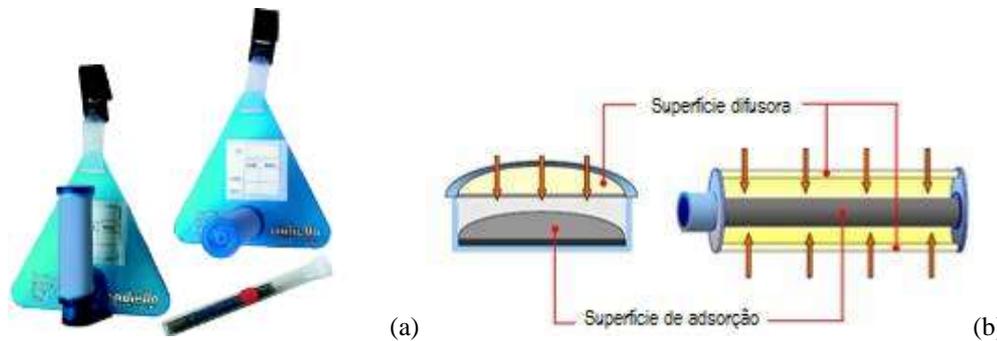


Figura 4-3 –(a) Amostradores Radiello®. (b) Esquema do seu funcionamento. Fonte: FONDAZIONE SALVATORI MAUGERI, 2011.

As campanhas de amostragem duraram 7 (sete) dias para todos os ambientes, com exceção da amostragem da cozinha que durou 3 (três) dias devido ao possível limite de saturação do amostrador. Todos os monitoramentos ocorreram apenas internamente à Estação devido à restrição do cartucho amostrador em relação à umidade (FONDAZIONE SALVATORI MAUGERI, 2011) e também pela pouca influência do meio externo na concentração média interna deste contaminante (GILBERT *et al.*, 2005). Os cartuchos foram expostos em diferentes ambientes internos da Estação, em uma altura padrão de 1,5m (THE EUROPEAN STANDARD, 2006), considerada a altura média da respiração humana, e sempre que possível centralizado ao ambiente (Figura 4-4).



Figura 4-4 – (a) e (b) Amostradores expostos à altura de 1,50m no ambiente da Sala de estar.

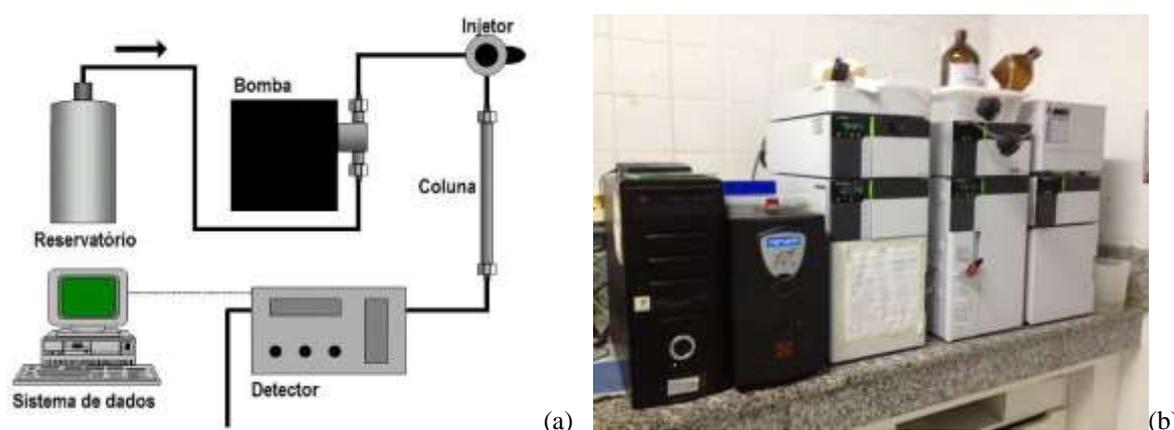
Foram feitos um total de 16 amostras e quatro brancos, sendo dois brancos de campo e dois brancos de laboratório, entendendo-se como brancos aos amostradores que não foram expostos ao ambiente com o objetivo de detectar ruídos de fundo ou mostrar uma possível contaminação das amostras durante o transporte ou armazenagem. Os brancos de campo foram abertos e imediatamente fechados e os brancos de laboratório não foram abertos em

nenhum momento até a análise. A concentração média dos brancos foi subtraída da concentração encontrada para cada composto.

Após a amostragem os cartuchos foram identificados, acondicionados em seu recipiente de vidro de origem e guardados em um refrigerador a 4°C na Estação até serem transportados sob as mesmas condições ao Brasil. Chegando ao laboratório de Saneamento da Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, os 2,4-dinitrofenilhidrazones foram extraídos introduzindo 2 mL de acetonitrila diretamente ao recipiente de origem, que foi fechado novamente e agitado por 30 minutos. A solução final de cada amostra foi então, filtrada e guardada em vials, a 4°C até serem analisadas (FONDAZIONE SALVATORI MAUGERI, 2011).

A análise foi feita por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC - *High Performance/Pressure Liquide Chromatography*) utilizando coluna C18 de fase-reversa, ou seja, fase estacionária apolar. A detecção foi realizada por espectrofotometria de absorção na região do UV, operado com um comprimento de onda de 365 nm, com temperatura fixa de 37°C.

O sistema cromatográfico utilizado localiza-se no Laboratório de Saneamento Ambiental – LABSAN, da UFES da marca Shimadzu, modelo CBM-20A, equipado com um degazeificador DGU-20AS, uma bomba quaternária LC-20AT, um injetor automático SIL-20AHT e um detector de fotodiodo SPD-M20A (Figura 4-5).



A coluna cromatográfica utilizada nos estudos foi uma Zorbax ODS – C18, da Agilent Technologies (250 x 4,6 mm, 5µm) conectada a uma pré-coluna de mesma composição. A aquisição e processamento dos dados foram feitos utilizando o software da Shimadzu LC Solutions (versão 1.22SP1). As separações cromatográficas foram realizadas com a

combinação de duas fases móveis (A e B). A fase móvel A foi composta por água miliQ enquanto a fase móvel B foi acetonitrila 100%. O fluxo utilizado foi de 2,0 mL/min, com temperatura constante de 37°C. Para todas as análises o volume de injeção foi de 10 µL e a separação dos compostos foi obtida conforme o gradiente mostrado na Tabela 4-1. O gradiente de eluição é utilizado para separar diferentes compostos pelo seu diferente tempo de retenção (COLLINS; BRAGA; BONATO, 2006).

Tabela 4-1 – Gradiente utilizado para análise dos compostos orgânicos em Cromatografia Líquida.

Tempo (min)	Fase Móvel A (%)	Fase Móvel B (%)
0	40	60
7	40	60
20	0	100
21	40	60
30	40	60

A determinação dos compostos carbonílicos presentes no ar foi realizada conforme o método oficial da Agência Americana de Proteção Ambiental, US EPA, método TO-11A (EPA, TO-11A, 1999). A qualificação e quantificação dos aldeídos presentes nas amostras foram realizadas por comparação com padrão TO11/IP-6A (cód. 47285-U - Supelco, Bellefonte EPA, USA). O padrão é uma mistura de 15 derivados carbonílicos (C₁ a C₈), grau de pureza de 99% e concentração de cada derivado igual a 15 µg/mL (Figura 4-6).

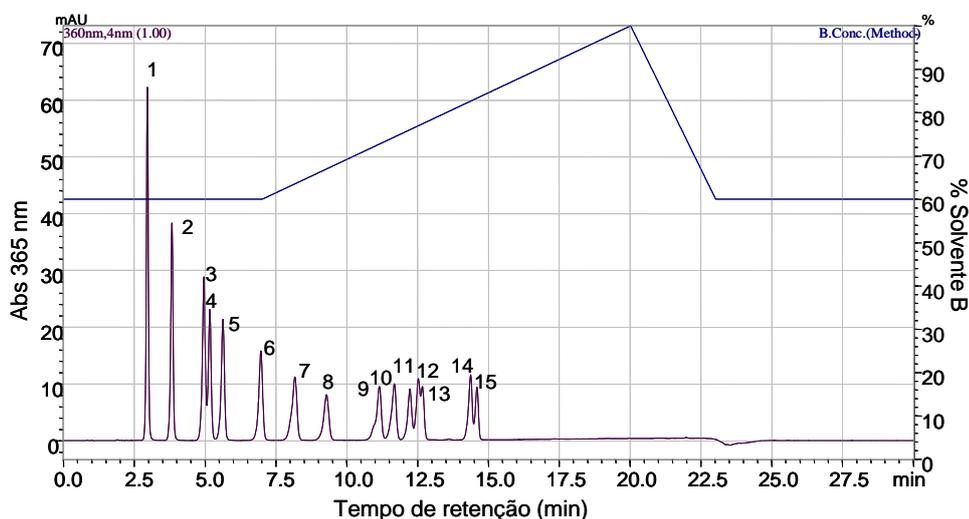
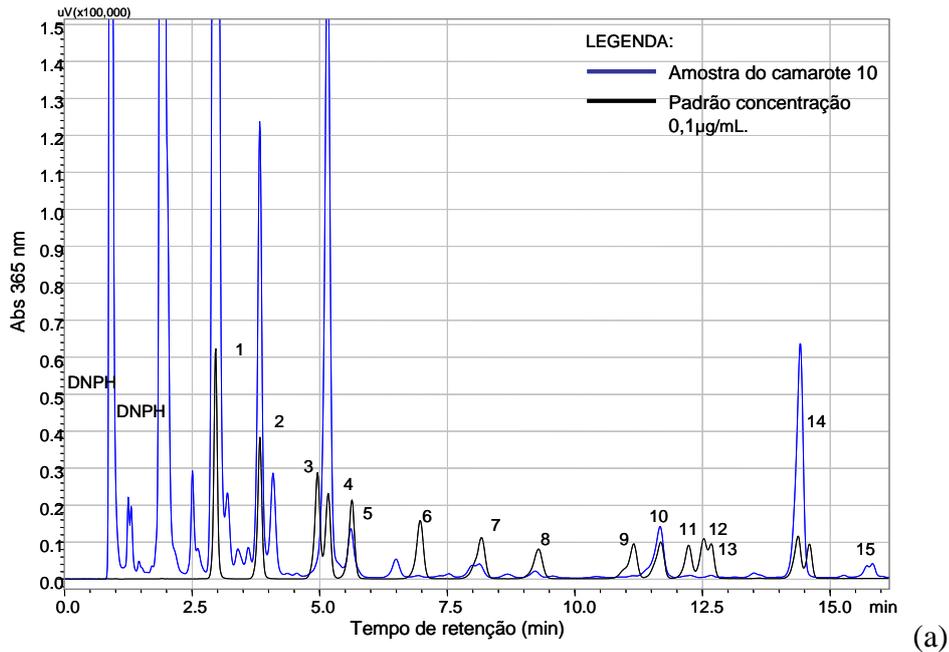
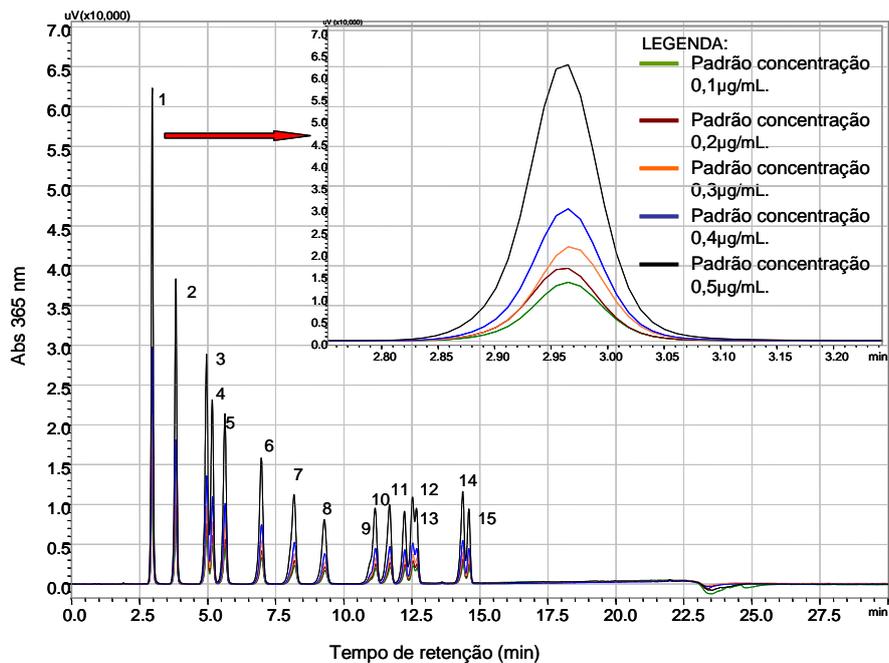


Figura 4-6 – Cromatograma da mistura dos padrões de carbonil-hidrazonas na concentração de 0,1 µg/mL. 1) Formaldeído, 2) Acetaldeído, 3) Acetona, 4) Acroleína, 5) Propionaldeído, 6) Crotonaldeído, 7) Butiraldeído, 8) Benzaldeído, 9) Isopentanal, 10) Pentanal, 11) o-tolualdeído, 12) m-tolualdeído, 13) p-tolualdeído, 14) Hexaldeído e 15) 2,5-dimetilbenzaldeído.

A Figura 4-7 mostra como é feita a avaliação qualitativa para cada composto comparando o tempo de retenção do padrão com o correspondente na amostra.



(a)



(b)

Figura 4-7 – (a) Perfis cromatográficos referentes a amostra do Camarote 10 e do Padrão na concentração de 0,1 µg/mL. (b) Perfis cromatográficos dos padrões nas concentrações de 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 µg/mL mostrando a relação entre área e concentração. Destaque para o pico 1: Formaldeído.

Para quantificação foi calculado o limite de detecção (LD) e o limite de quantificação (LQ) para cada composto estudado segundo o Guia para validação de métodos analíticos e bioanalíticos (ANVISA, 2003c). Os limites de detecção e quantificação, neste estudo, foram então determinados a partir da construção de três curvas analíticas utilizando soluções do padrão nas concentrações de 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 e 0,50 µg/mL.

O limite de detecção (LD) é a menor quantidade do analito presente em uma amostra que pode ser detectado, porém não necessariamente quantificado, sob as condições experimentais estabelecidas (ANVISA, 2003c). É dado pela expressão abaixo:

$$LD = \frac{DP_a \times 3}{IC} \quad (4-1)$$

Onde: DP_a é o desvio padrão do intercepto com o eixo do Y de, no mínimo, 3 curvas de construídas contendo concentrações do padrão próximas ao suposto limite de quantificação; IC é a inclinação da curva.

O limite de quantificação (LQ) é a menor quantidade do analito em uma amostra que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis sob as condições experimentais estabelecidas (ANVISA, 2003c). É dado pela expressão:

$$LQ = \frac{DP_a \times 10}{IC} \quad (4-2)$$

Onde: DP_a é o desvio padrão do intercepto com o eixo do Y de, no mínimo, 3 curvas construídas contendo concentrações do padrão próximas ao suposto limite de quantificação; IC é a inclinação da curva de calibração.

O cálculo da concentração C em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ foi calculado de acordo com a expressão (FONDAZIONE SALVATORI MAUGERI, 2011):

$$C = \left(\frac{m}{Q \times t} \right) \times 1.000.000 \quad (4-3)$$

Onde: m = massa do aldeído determinada por Cromatografia em μg e t = tempo de exposição em minutos. Q é a vazão de amostragem em mL/min, dada pelo fabricante para cada substância. Essa vazão possui uma variação de 1% a cada variação de 10 °C de temperatura a partir de 25 °C e é invariável a taxa de umidade entre 15-90% e velocidade do vento entre 0,1 e 10 m/s.

4.2.3.2 Material Particulado

Em interiores boa parte da contaminação do ar composta por Material Particulado é altamente relacionada à presença de fontes internas principalmente provindas das atividades humanas dentro das edificações (GÉHIN; RAMALHO; KIRCHNER, 2008).

Para avaliação de Material Particulado no ar interno da EACF foram realizados dois tipos de experimentos:

- a) Monitoramentos contínuos utilizando Espectrômetro Portátil de Aerossol – *optical Laser Aerosol Spectrometer* - com o objetivo de caracterização e quantificação da concentração em número e massa do material particulado em diferentes faixas de tamanho de diâmetro (Seção 4.2.3.2.1).
- b) Coleta de MP_{2,5} utilizando amostrador portátil de partículas de baixo volume – *Minivol*, com o objetivo de caracterização química elementar, detecção da presença de *Black Carbon* - BC e identificação morfológica (Seção 4.2.3.2.2).

4.2.3.2.1 Caracterização e quantificação da concentração em número e massa do Material Particulado

Para caracterizar e quantificar a concentração em número e massa do material particulado foi utilizado um Espectrômetro Portátil de Aerossol – *optical Laser Aerosol Spectrometer/ LAS* – modelo *Dust monitor 1.109* de fabricação da *Grimm Technologies, Germany*, capaz de detectar 31 faixas de tamanhos de partículas, caracterizando-as em intervalos de classes de 0,25 µm a > 32 µm. Este espectrômetro trabalha com fluxo constante de ar controlado por uma bomba a 1,2 L/min ± 5% previamente calibrado com certificado de calibração válido até 28/02/2013.

Para a medição do tamanho de partícula pela técnica de difração de luz a laser o diâmetro é determinado a partir do volume da partícula. Todas as partículas presentes na amostra são submetidas à medição, já que toda a amostra passa pelo feixe de laser (Figura 4-8). Os métodos óticos baseados na difração da luz por partículas suspensas em um fluido têm sido usados para a análise de tamanho de partícula em interiores (MASSEY *et al.*, 2012).

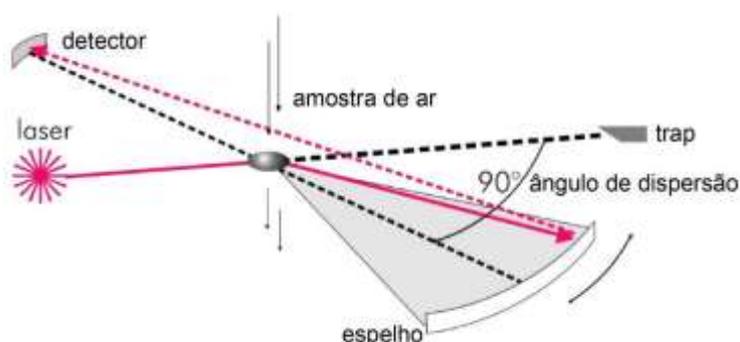


Figura 4-8 – Princípio de funcionamento do LAS. Fonte: GRIMM AEROSOL TECHNIK, 2010.

Ao passar por esse feixe de laser cada partícula emite uma luz de dispersão própria dentro de um ângulo de 90°. Esta luz de dispersão é direcionada para o detector fotodiodo de alta velocidade através de um espelho de grande angular. A dispersão de cada partícula é então contada e a intensidade do sinal de espalhamento da sua luz caracteriza sua granulometria correspondente

As medições foram registradas com frequência de 1 minuto e armazenadas em um *data logger* no próprio equipamento em número de partículas por litro para cada intervalo de classe (FROMME *et al.*, 2007). O Espectrômetro Portátil de Aerossol - LAS - foi equipado com sensores integrados modelo 1.154 de fabricação da *Grimm Technologies, Germany* para registro de temperatura, umidade e velocidade do vento, também com frequência de 1 minuto de forma a caracterizar as condições do ambiente durante o monitoramento.

O equipamento foi localizado em diferentes locais internos da Estação sempre que possível centralizado ao ambiente. Foram realizadas também medições no Externo Imediato e em ambiente externo mais afastado da Estação, próximo ao Refúgio II. Todas as atividades desenvolvidas no momento da coleta foram registradas através de um diário localizado próximo ao equipamento (Figura 4-9).



Figura 4-9 – Equipamento LAS integrado aos sistemas de monitoramento meteorológico fazendo as medições do ambiente da Sala de estar. Diário de registro de atividades próximo ao equipamento.

O tempo de monitoramento foi de no mínimo 24 h para os ambientes internos da Estação com exceção da Sala de estar, que foi monitorada durante sete dias consecutivos por ser o ambiente de maior utilização da EACF caracterizando a sua importância. O externo imediato foi monitorado em torno de 7 h e o Refúgio II em torno de 2 h. Esses tempos de duração foram estipulados pelas condições meteorológicas externas disponíveis no momento e a

duração total da campanha de monitoramento. A Tabela 4-2 mostra o local, a data de início e fim e a duração do monitoramento com o LAS.

Tabela 4-2 – Monitoramento de material particulado com LAS. Local de medição, data e hora de início e fim da coleta, dia da semana e duração dos experimentos.

Filtro	Local	Início (data e hora)	Dia da semana	Fim (data e hora)	Dia da semana	Duração (h)
FTSS08	Sala de estar	14/01/2012 12:34	sábado	21/01/2012 13:26	sábado	168:52
FTSS01	Camarote 10	21/01/2012 15:23	sábado	23/01/2012 13:55	segunda-feira	46:32
FTSS01	Camarote 21	23/01/2012 14:03	segunda-feira	24/01/2012 14:03	terça-feira	24:00
FTSS01	DGA	24/01/2012 14:19	terça-feira	25/01/2012 14:37	quarta-feira	24:18
FTSS02	Cozinha	27/01/2012 17:05	sexta-feira	28/01/2012 17:11	sábado	24:06
FTSS05	Biblioteca	25/01/2012 16:59	quarta-feira	26/01/2012 16:58	quinta-feira	23:59
FTSS03	Academia	28/01/2012 17:51	sábado	29/01/2012 17:50	domingo	23:59
FTSS04	AT	29/01/2012 18:19	domingo	30/01/2012 18:33	segunda-feira	24:14
FTSS04	Incinerador	30/01/2012 18:40	segunda-feira	01/02/2012 13:20	quarta-feira	42:40
FTSS04	Oficina	02/02/2012 13:20	quinta-feira	03/02/2012 20:02	sexta-feira	30:42
FTSS04	Garagem	03/02/2012 20:11	sexta-feira	05/02/2012 16:07	domingo	43:56
FTSS06	Externo Imediato I	13/01/2012 11:10	sexta-feira	13/01/2012 18:09	sexta-feira	6:59
FTSS07	Refúgio II	01/02/2012 15:36	quarta-feira	01/02/2012 17:34	quarta-feira	1:58

A concentração em número das partículas foi apresentada pela sua contagem em cm^3 de ar, sendo:

$$N_p = \frac{N_{LAS}}{1000} \quad (4-4)$$

Onde N_p é a concentração absoluta de partículas por cm^3 de ar em cada intervalo de classe, N_{LAS} é a concentração de partículas por litro de ar registrada pelo LAS em cada intervalo de classe.

A concentração mássica foi apresentada em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo (SEINFELD; PANDIS, 2006):

$$M = \frac{\pi \times D^3}{6} \times \rho \times N_p \quad (4-5)$$

Onde M é a massa de partículas medidas em cada intervalo de classe em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, D é o diâmetro médio das partículas no intervalo de classe, ρ é a densidade do material em $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ e N_p é a concentração de partículas por cm^3 de ar em cada intervalo de classe, sendo necessário dividir N_p por 10^6 para converter a concentração de partículas por cm^3 de ar em concentração de partículas por m^3 de ar.

Foi adotado $2 \text{ pg}/\mu\text{m}^3$ como valor arbitrário para a densidade das partículas segundo metodologia adotada por Conner e Williams (2004). Para converter a unidade de $\text{pg}/\mu\text{m}^3$ para $\mu\text{g}/\mu\text{m}^3$ foi necessário dividir ρ por 10^6 .

Na análise dos resultados, os cálculos das concentrações numéricas e de massa são apresentados em médias horárias, com exceção dos locais externos, que por se tratarem de um menor tempo de monitoramento foram apresentados em média de 10 minutos.

4.2.3.2.2 Caracterização química e morfológica das partículas finas – $\text{MP}_{2,5}$

O Material Particulado fino foi coletado em filtros de *Teflon*® conforme metodologia descrita na Seção 4.2.3.2.2.1 com intuito de caracterizar quimicamente os elementos majoritários e a presença de *Black carbon* (4.2.3.2.2.2), e caracterização morfológica (4.2.3.2.2.3).

4.2.3.2.2.1 Coleta do $\text{MP}_{2,5}$

A coleta do material particulado para caracterização química foi feita por dois amostradores portáteis de baixo volume, *Minivol*, com baterias recarregáveis, de fabricação da *Airmetrics, Eugene, USA*. Estes amostradores permitem a coleta de $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} ou PTS. Para este estudo os equipamentos foram configurados de modo a efetuar a separação das partículas coletando apenas o $\text{MP}_{2,5}$, denominado também de partículas respiráveis e, portanto, de grande importância do ponto de vista de sua deposição no trato respiratório humano.

A entrada do amostrador é composta de um impactador que separa as partículas pelo tamanho, sendo que, sua eficiência de coleta do tamanho definido depende da velocidade com que o fluxo de ar passa pela placa de impactação. O *Minivol* calibrado para as condições padrão, definidas por uma pressão atmosférica de 760 mmHg e a uma temperatura de 298°K, opera a uma vazão de 5,0 L/min. No procedimento de calibração usado pelo *Airmetrics*, o medidor de vazão – rotâmetro – é calibrado usando um dispositivo medidor de vazão certificado pela *Nist-Certified* gerando-se uma curva de regressão para calibração do equipamento para diferentes vazões (AIRMETRICS, 2011):

$$Q_{@std} = m_{vol} \times Q_{ind} + b_{vol} \quad (4-6)$$

Onde $Q_{@std}$ é a vazão nas condições padrão indicada no medidor de fluxo padrão (L/min), Q_{ind} é a vazão indicada pelo rotâmetro do amostrador (L/min), m_{vol} é a declividade da curva de

regressão linear e b_{vol} é a interseção da curva de regressão linear para cada equipamento indicados na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 – Constantes da declividade da curva e interseção da curva de regressão linear para cada equipamento de Minivol. Fonte: AIRMETRICS, 2011.

Constantes	Minivol 5553	Minivol 5554
m_{vol}	1,1253	1,1436
b_{vol}	-0,3505	-0,484

Neste estudo para manter a eficiência do diâmetro de corte, a vazão do amostrador foi então ajustada para as condições de temperatura e pressão local, de modo que a vazão que passa pelo impactador seja mantida em 5,0 L/min. A vazão de ajuste é calculada pela equação abaixo (AIRMETRICS, 2011):

$$I_{sp} = \frac{5,0 \left(\sqrt{\frac{P_{act}}{P_{std}} \times \frac{T_{std}}{T_{act}}} \right) - b_{vol}}{m_{vol}} \quad (4-7)$$

Onde I_{sp} é a vazão de ajuste para as condições locais (L/min), P_{std} é a pressão na condição padrão (760 mmHg), T_{std} é a temperatura na condição padrão (298°K), P_{act} é a pressão na condição de amostragem (mmHg) e T_{act} é a temperatura na condição de amostragem (°K).

O MP_{2,5} foi coletado em filtros de Teflon de fabricação da *Whatman*[®], diâmetro de 47mm com anel de suporte, *filter pore size* de 2 µm e eficiência de 99,95% de retenção para partículas até 0,3 µm. Antes da amostragem os filtros foram pesados e acondicionados em um dessecador com umidade relativa entre 30-40% e transportados sob as mesmas condições para o local de amostragem.

Durante a campanha de monitoramento o impactador foi limpo e lubrificado segundo recomendações do fabricante (AIRMETRICS, 2011). Teve-se o cuidado também de antes e depois do monitoramento o impactador ser guardado em sacolas plásticas seladas assim como no seu transporte até o campo, a fim de evitar a contaminação (TOVALIN-AHUMADA; WHITEHEAD; BLANCO, 2007).

Os equipamentos de amostragem foram alternadamente posicionados dentro de cada ambiente por um período de 24 h. Exceção do monitoramento da sala de estar e do externo imediato onde foram realizadas simultaneamente as coletas por sete dias consecutivos, a fim de avaliar a influência do meio externo da EACF na qualidade do ar interno. Foi coletado um total em 43 amostras e dez brancos, sendo cinco brancos de campo e cinco brancos de laboratório. As

coletas de MP_{2,5} realizadas, os locais da medição, datas e horários de início e fim dos monitoramentos podem ser vistos na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 – Monitoramento de material particulado com *Minivol*. Local de medição, data e hora de início e fim da coleta, dia da semana, duração dos experimentos e fluxo de ar constante utilizado.

Filtro	Local	Início (data e hora)	Dia da semana	Duração (h)	Equipamento	Fluxo (L/min)
FT55	Sala de estar	13/01/2012 11:40	sexta-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT62	Sala de estar	14/01/2012 12:10	sábado	24h	Minivol 5553	4,77
FT64	Sala de estar	15/01/2012 12:15	domingo	24h	Minivol 5553	4,77
FT08	Sala de estar	16/01/2012 12:20	segunda-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT19	Sala de estar	17/01/2012 12:25	terça-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT09	Sala de estar	18/01/2012 12:30	quarta-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT28	Sala de estar	19/01/2012 12:35	quinta-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT29	Sala de estar	20/01/2012 12:37	sexta-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT61	Externo Imediato I	13/01/2012 10:30	sexta-feira	24h	Minivol 5554	4,99
FT65	Externo Imediato I	14/01/2012 13:20	sábado	24h	Minivol 5554	4,99
FT66	Externo Imediato I	15/01/2012 13:25	domingo	24h	Minivol 5554	4,99
FT20	Externo Imediato I	16/01/2012 13:30	segunda-feira	24h	Minivol 5554	4,99
FT18	Externo Imediato I	17/01/2012 13:35	terça-feira	24h	Minivol 5554	4,99
FT10	Externo Imediato I	18/01/2012 13:40	quarta-feira	24h	Minivol 5554	4,99
FT60	Externo Imediato I	19/01/2012 13:43	quinta-feira	24h	Minivol 5554	4,99
FT53	Externo Imediato I	20/01/2012 13:50	sexta-feira	24h	Minivol 5554	4,99
FT59	Camarote 10	21/01/2012 13:35	sábado	24h	Minivol 5553	4,77
FT58	Camarote 21	21/01/2012 13:55	sábado	24h	Minivol 5554	4,81
FT49	Camarote 10	22/01/2012 13:37	domingo	24h	Minivol 5553	4,77
FT48	Camarote 21	22/01/2012 14:00	domingo	24h	Minivol 5554	4,81
FT56	Camarote 10	23/01/2012 13:40	segunda-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT63	Camarote 21	23/01/2012 14:03	segunda-feira	24h	Minivol 5554	4,81
FT17	DGA	24/01/2012 13:15	terça-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT30	Biblioteca	24/01/2012 14:23	terça-feira	24h	Minivol 5554	4,81
FT47	Biblioteca	25/01/2012 17:00	quarta-feira	24h	Minivol 5554	4,81
FT36	Cozinha	25/01/2012 17:02	quarta-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT07	Cozinha	26/01/2012 17:08	quinta-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT16	Cozinha	27/01/2012 17:10	sexta-feira	24h	Minivol 5553	4,77
FT27	Academia	26/01/2012 17:15	quinta-feira	24h	Minivol 5554	4,81
FT26	Academia	27/01/2012 17:18	sexta-feira	24h	Minivol 5554	4,81
FT51	Academia	28/01/2012 17:50	sábado	24h	Minivol 5554	4,81
FT06	Incinerador	28/01/2012 17:36	sábado	24h	Minivol 5553	4,88
FT15	Incinerador	29/01/2012 17:40	domingo	24h	Minivol 5553	4,88
FT05	Incinerador	30/01/2012 17:55	segunda-feira	24h	Minivol 5553	4,88
FT24	Incinerador	31/01/2012 18:40	terça-feira	24h	Minivol 5553	4,88
FT25	AT	29/01/2012 18:20	domingo	24h	Minivol 5554	4,92
FT35	AT	30/01/2012 18:35	segunda-feira	24h	Minivol 5554	4,92
FT34	Oficina	01/02/2012 19:53	quarta-feira	24h	Minivol 5553	4,88
FT44	Oficina	02/02/2012 19:58	quinta-feira	24h	Minivol 5553	4,88
FT39	Oficina	03/02/2012 20:00	sexta-feira	24h	Minivol 5553	4,88
FT40	Garagem	03/02/2012 19:02	sexta-feira	24h	Minivol 5554	4,92
FT04	Externo II	31/01/2012 11:35	terça-feira	24h	Minivol 5554	4,99
FT14	Refúgio II	01/02/2012 15:28	quarta-feira	24h	Minivol 5554	4,99

Branco de campo são filtros que foram levados dentro do impactador até o local de amostragem e depois acondicionados em placas petri sem terem sido expostos ao monitoramento. Branco de laboratório foram levados durante toda a viagem acondicionados em placas petri sem terem sido abertos até o momento da análise.

Os equipamentos foram expostos à altura padrão de 1,5m, e sempre que possível centralizado ao ambiente (Figura 4-10).

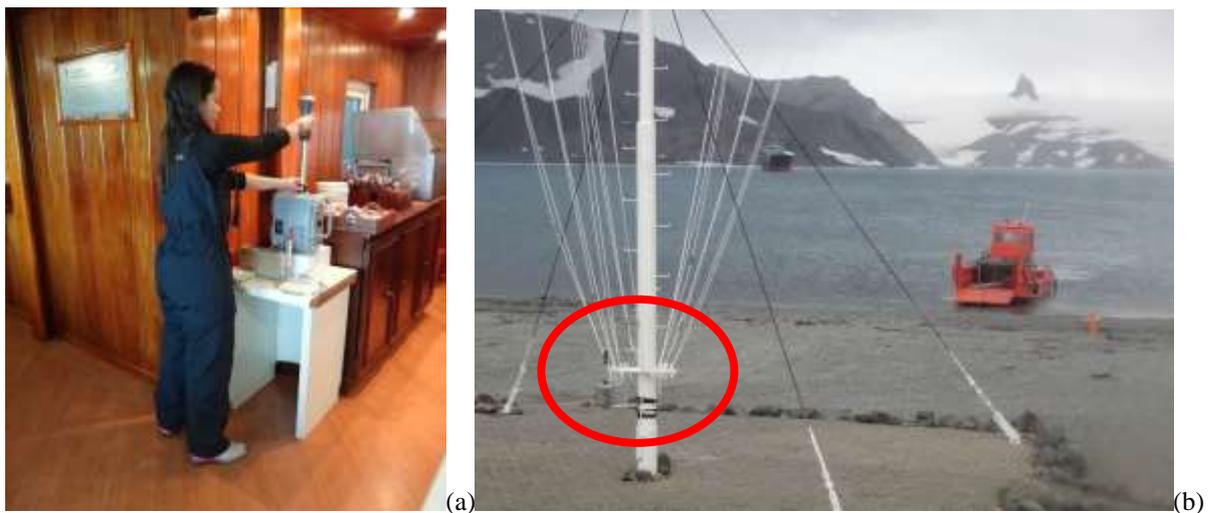


Figura 4-10 – Monitoramento de material particulado fino com Minivol a uma altura padrão de 1,5m na (a) Sala de estar e no (b) Externo Imediato a EACF.

Após a amostragem todos os filtros foram acondicionados em placas petri esterilizadas de 49 mm de diâmetro, identificados e guardados em um refrigerador a 4°C na Estação até serem transportados sob as mesmas condições ao Brasil aguardando a análise química e morfológica.

4.2.3.2.2 Caracterização da composição química elementar e de *Black Carbon*

Foi feita a determinação da composição química elementar do material particulado através de uma análise qualitativa e quantitativa através da técnica de energia dispersiva de fluorescência de raios-X, que vem sendo utilizada principalmente para amostras sólidas, permitindo a determinação simultânea de vários elementos, sem a destruição dos mesmos, ou seja, não necessitando de nenhum tratamento químico prévio (MAIOLI, 2011).

Uma fonte radioativa emite raios-X que ao atingir a amostra, faz com que os elementos que a constituem fiquem excitados. Quando um elemento da amostra é excitado, este tende a ejetar os elétrons do interior dos níveis dos átomos, e como consequência, elétrons dos níveis mais afastados realizam um salto quântico para preencher a vacância. Cada transição eletrônica

constitui uma perda de energia para o elétron, e esta energia é emitida na forma de um fóton de raios-X com característica bem definida para cada elemento. Essa dispersão dos raios-X característicos emitidos é detectado na forma de linhas espectrais e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração do elemento na amostra (FILHO, 1999).

A determinação da composição elementar do material particulado coletado em filtros requer a análise de um filtro branco, não exposto, cujo resultado é utilizado para se obter os valores dos elementos constituintes do filtro. Os valores dos brancos são descontados dos valores encontrados nas amostras. Os resultados da análise de fluorescência de raios-X são representados através da média do percentual de cada elemento em relação à área total varrida para o filtro analisado (FILHO, 1999).

O equipamento utilizado foi o EDX 700 HS - *Energy dispersive X-ray Spectrometer*, fabricação da Shimadzu localizado no Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo - IAG/USP, que permite detectar e quantificar os elementos de número atômico de 11 a 82 - do Na ao Pb, da tabela periódica (Figura 4-11).

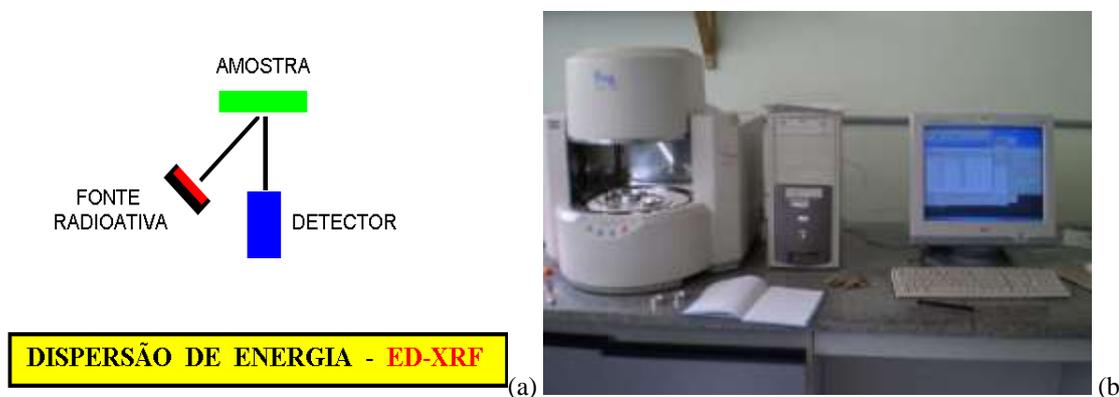


Figura 4-11 - (a) Representação esquemática da fluorescência de raios X por dispersão de energia (FILHO, 1999). (b) Equipamento EDX 700 localizado no Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos do IAG/USP. Fonte: MAIOLI, 2011.

Ao todo foram analisadas quimicamente 43 amostras de MP_{2,5} coletas em diversos ambientes internos da EACF, no externo imediato e no externo mais afastado da Estação, próximo ao Refúgio II. Os resultados obtidos dessa análise foram convertidos às concentrações de cada elemento identificado pelo programa *WinQXAS - Windows Quantitative X-Ray Analysis System*, por meio de ajuste de linhas espectrais assim como os resultados das incertezas das medidas. O cálculo da concentração C de cada elemento no ar em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ foi calculado segundo a expressão abaixo também utilizada por Maioli, 2011:

$$C = \frac{M}{Q \times t} \times 1000 \quad (4-8)$$

Em que M é a massa do elemento identificado na amostra, Q é a vazão de amostragem em L/min calibrada no equipamento *Minivol* e t é o tempo de exposição em minutos.

Para medir a concentração de *Black Carbon* (BC) presente nas amostras, o método empregado foi análise por refletância. A técnica de refletância consiste na incidência da luz de uma lâmpada de tungstênio no filtro amostrado, o qual reflete uma intensidade inversamente proporcional à quantidade de BC presente, uma vez que as partículas de carbono elementar são boas absorvedoras de luz. Ou seja, quanto maior a concentração no filtro, menor a intensidade de luz refletida pelo filtro e, conseqüentemente, menor a detectada pelo fotosensor (MAIOLI, 2011).

O equipamento utilizado foi o Refletômetro, da marca *Diffusion Systems Ltda.*, modelo *Smoke Stain Reflectometer-Model 43*, localizado no Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo - IAG/USP, ilustrado na Figura 4-12.



Figura 4-12 – Refletômetro usado para quantificação de BC localizado no Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos do IAG/USP. Fonte: MAIOLI, 2011.

A curva de calibração da luz refletida pela quantidade de BC adsorvida empiricamente para o equipamento (LOREIRO *et al.*, 1994) e utilizada por Albuquerque; Andrade; Ynoue (2012) segundo equação abaixo indica como, a partir da refletância medida, é possível determinar a concentração de BC presente na amostra:

$$BC = \{81,953 - [71,832 \log(R) + 15,43 \log^2(R)]\} \frac{A}{V} \quad (4-9)$$

Onde BC é a concentração de *Black Carbon* ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), R é a refletância (%), A é a área do filtro (cm^2) e V é o volume de ar amostrado (m^3).

4.2.3.2.3 Caracterização morfológica

A morfologia do aerossol é importante para uma avaliação dos efeitos potenciais do material particulado a saúde humana e ao meio ambiente, assim como para a determinação de prováveis fontes de sua emissão (CONTI, 2013).

Após análise química os filtros foram submetidos à análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura acoplada a fluorescência de raio-X, técnica já utilizada em alguns estudos de material particulado em interiores (CONNER *et al.*, 2001; ORMSTAD; GAARDER; JOHANSEN, 1997; SRIVASTAVA; JAIN, 2007).

A técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV – permite que um feixe de elétrons focalizado seja varrido em toda a amostra. A interação do feixe de elétrons com a amostra produz vários efeitos que podem ser monitorados com detectores apropriados. Os sinais resultantes que incluem, entre outros, secundários e de elétrons retroespalhados juntamente com os raios-X característicos, podem ser coletados em sincronização com a posição do feixe fornecendo informações altamente detalhadas da morfologia e composição química (CASUCCIO *et al.*, 2004).

O sinal de elétrons secundários produz uma imagem com uma perspectiva tridimensional. Os sinais de elétrons retroespalhados geram uma imagem contendo informações da composição química, pois este é dependente do número atômico da partícula a ser examinada. Elementos de maior número atômico geram mais elétrons retroespalhados que elementos de menor número atômico. Isto resulta em variações de intensidade em que elementos de maior número atômico aparecem mais brilhantes do que os elementos de baixo número atômico (CASUCCIO *et al.*, 2004).

Antes da análise aproximadamente 1cm² de cada filtro amostrado foi recortado, colocado no porta amostra e submetido a uma fina camada de ouro a uma espessura de aproximadamente 20nm em um metalizador de plasma de Argônio da marca Quorum, modelo Q150R ES, a fim de se evitar falhas na digitalização da imagem devido a cargas eletrostáticas (CONTI, 2013).

Posteriormente as análises foram feitas no Microscópio Eletrônico de Varredura acoplado ao Espectrômetro de Energia Dispersiva de Raio-X–MEV/EDX, pertencente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais – PROPEMM do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES, da marca ZEISS, modelo

EVOMA10, a uma corrente de saturação de 2,5A (Figura 4-13). O *software* utilizado na identificação das partículas foi o *AZtecEnergy* (Oxford Instruments).

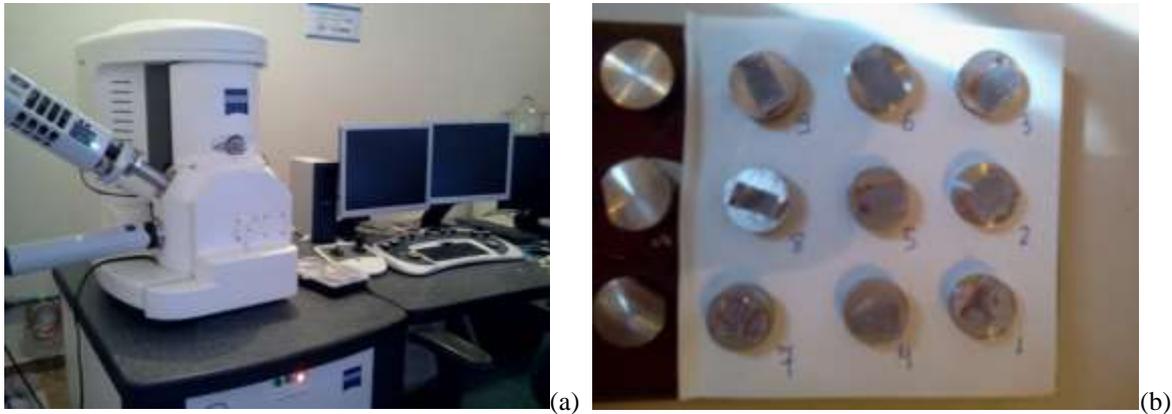


Figura 4-13 – (a) MEV/EDX utilizado na análise morfológica das partículas de MP2,5 localizado no PROPEMM do IFES (b) filtros recortados e colocados no porta amostra.

4.2.3.3 Microbiológicos: Fungos

Para as coletas de fungos foi utilizado um amostrador CF-6 Kit Impactador Tipo Andersen de um estágio para avaliações de fungos e microorganismos de 0,6 a 22 micrômetros suspensos no ar ambiente (CRIFFER Instrumentos de Medição Ltda). Esse Impactador tipo Anderson consiste em um compartimento para placa Petri, através do qual o ar é aspirado por uma bomba à vácuo com fluxo constante. Ao retirar a tampa do bico coletor, o ar passa por uma placa contendo orifícios de diâmetro definido e impacta na placa Petri contendo o meio de cultura adequado como mostrado na Figura 4-14 (DIAS, 2005).

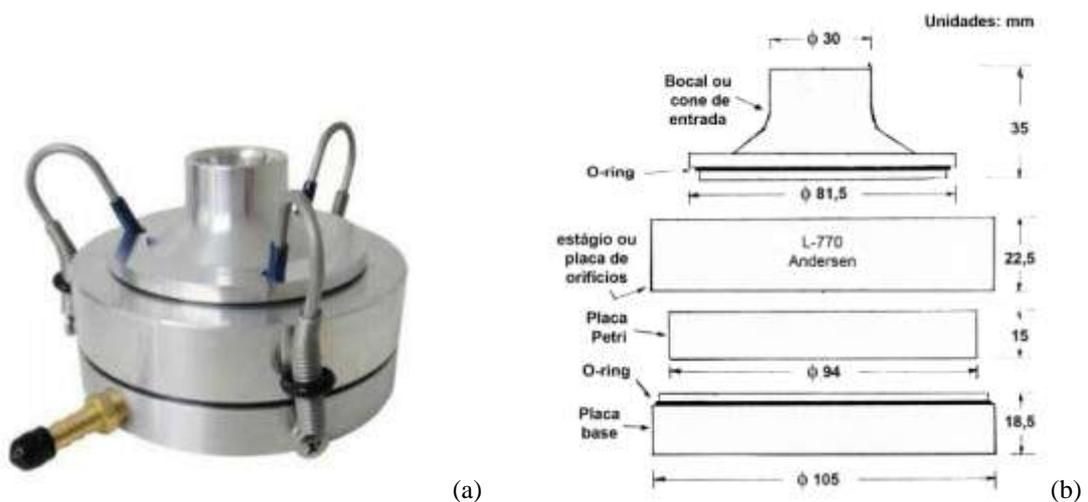


Figura 4-14 – Impactador de um estágio tipo Andersen (a) fechado e (b) aberto. Fonte: DIAS, 2005.

As placas Petri utilizadas foram de plástico, lisas, descartáveis, com 90 mm de diâmetro interno e 15 mm de altura, esterilizadas e fornecidas em embalagens seladas. O meio de cultura usado foi o Agar Dextrose de Sabouraud, recomendado para o cultivo, isolamento e

identificação de fungos patogênicos e leveduras preparado durante a campanha no dia 25/01/2012 no Módulo de Química localizado aproximadamente 500 m da Estação Antártica Comandante Ferraz.

O meio de cultura foi confeccionado durante a campanha experimental com Peptona bacteriológica 10,0 g, Dextrose 20,0 g e Agar 15,0 g para 1000 mL de água destilada (LACAZ; MARTINS; COSTA, 2002). Os compostos foram cuidadosamente pesados em uma balança de precisão, misturados até formar um meio homogêneo e colocados em uma autoclave a 121°C por 15 minutos. Posteriormente as placas foram preenchidas uma a uma com 16 mL cada e PH $5,6 \pm 0,2$ em uma câmara de fluxo laminar.

O equipamento foi previamente calibrado a um fluxo de 28,3 L/min e posicionado centralizado ao ambiente a uma altura padrão de 1,5 m, simulando a zona de respiração humana. Para coleta da amostra destampou-se a placa, posicionou-se a mesma no centro da base do amostrador, que posteriormente foi tampado, selado com auxílio de três ganchos e ligado à bomba de vácuo conforme Figura 4-15.



Figura 4-15 – (a) Equipamento de amostragem posicionado a 1,5 m de altura no ambiente da Sala de estar. (b) Impactador aberto e sendo limpo após cada amostragem.

A coleta durou 5 minutos em cada ambiente, sendo esse um dos protocolos mais comuns na literatura, uma vez que, tempos superiores há 6 minutos demonstraram redução significativa na quantidade recuperada de esporos viáveis, e tempos inferiores há 5 minutos mostraram maior variabilidade entre as amostras e menor a sua representatividade em termos de microbiota do ambiente analisado (BOECHAT, 2009).

Após a amostragem, a placa foi removida do amostrador, fechada imediatamente, selada com Parafilm® M (fabricação *American National Can*), identificada e guardada em sacos plásticos esteireis com zíper em um refrigerador a 4°C na Estação até serem transportados sob as

mesmas condições ao Brasil (DUNCAN *et al.*, 2010). Entre cada coleta houve higienização das mãos e das superfícies do impactador com uma gaze untada com álcool isopropílico 70%. Todo o procedimento de coleta atende a Norma Técnica 001, “Método de Amostragem e Análise de Bioaerossóis em Ambientes Interiores”, contida na Resolução nº 9, estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003b).

Foram realizadas três coletas de fungos nos dias 27/01/2012, 29/01/2012 e 01/02/2012 nos ambientes internos selecionados, Externo imediato I e próximo ao Refúgio II totalizando 36 amostras. O horário da amostragem, o número de ocupantes e as atividades no momento da coleta foram registrados no Diário de campo.

Ao chegarem ao Brasil no dia 13/02/2012, as placas foram imediatamente levadas para análise em parceria com o Laboratório de Micologia da Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, onde foram deixadas em observação à temperatura ambiente por 48-72 horas. Havendo crescimento as colônias foram contadas e os fungos isolados foram repicados em tubos com Agar de Sabouraud fabricação *Plast Labor Microbiologia*, também mantidos à temperatura ambiente. As placas foram mantidas por 30 dias para observação da possível ocorrência de novas colônias com macroscopia diferente.

Os resultados quantitativos são apresentados em Unidades Formadoras de Colônias por metro cúbico (UFC/m³) calculados de acordo com a expressão:

$$UFC / m^3 = \frac{n}{v} \quad (4-10)$$

Onde n é o número de colônias contadas na placa e v é o volume de ar amostrado (m³).

Após o período de 7-10 dias a partir da contagem foram confeccionadas lâminas a partir das culturas em tubo. Todo o material foi então enviado para Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ no Rio de Janeiro, onde foi feita a identificação fenotípica por métodos de macro e micromorfologia (KLICH, 2002). O exame macroscópico da colônia, descreve o tamanho, textura, pigmentação, superfície, bordas, topografia, cor da colônia, aspecto, pigmentação e tempo de crescimento. O exame microscópico consiste na observação do micélio e tipos de esporos. Os líquidos utilizados foram Lactofenol de Aman para fungos demácios e Lactofenol azul de algodão para os hialinos (LACAZ; MARTINS; COSTA, 2002). A leitura das lâminas foi realizada em microscópio *Olympus* modelo BX41.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse Capítulo apresenta os resultados e discussões obtidos por essa pesquisa na forma de três artigos. O primeiro é o principal produto da tese e os outros dois são complementares, uma vez que lidam com temas específicos dentro do objetivo geral do estudo. A seção 5.2 apresenta o primeiro artigo intitulado “*Indoor air quality as an architectural design parameter for new constructions in Antarctica*”. A seção 5.3 mostra o segundo artigo “*Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic Research Station*” e por fim a seção 5.1 apresenta o terceiro artigo intitulado “*Impact of human activities on the concentration of indoor air particles in a Research Station in the Antarctic*”.

5.1 Artigo 1: “*Indoor air quality as na architectural design parameter for new constructions in Antarctica*”

O artigo “*Indoor air quality as na architectural design parameter for new constructions in Antarctica*”, a ser submetido à revista *Building and Environment* visou estabelecer parâmetros de controle da QAI para futuras construções no continente antártico. A pesquisa teve-se os seguintes objetivos: *i*) investigar a qualidade do ar interno a partir das medições realizadas na Estação Antártica Comandante Ferraz antes do incêndio, caracterizando e avaliando a concentração de três grupos de contaminantes: aldeídos, material particulado e fungos; *ii*) correlacionar os resultados com possíveis fontes de emissão de poluentes no meio interno (materiais construtivos e atividades humanas) e *iii*) traçar métodos de controle da QAI direcionados às atuais e futuras edificações antárticas.

Indoor air quality as architectural design parameter for new constructions in Antarctica

Érica Coelho Pagel^{a,b,*}, Neyval Costa Reis Jr.^a, Cristina Engel de Alvarez^b, Sandra Paule Beghi^a, José Laerte Boechat^c, Marília Martins Nishikawa^d, Paulo Wagner Pereira Antunes^a, Sérgio Túlio Cassini^a

^a Department of Environmental Engineering, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari 514, 29.060-910 Vitória, ES, Brazil

^b Department of Architecture and Urbanism, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari 514, 29.060-910 Vitória, ES, Brazil

^c Department of Clinical Immunology, Fluminense Federal University, Rio de Janeiro, Brazil

^d Department of Microbiology, Oswaldo Cruz Foundation, Rio de Janeiro, Brazil

* Corresponding author. Fax.: + 55 (27) 3335-2177.

E-mail address: erica.pagel@gmail.com (E.C. Pagel)

Abstract

*Antarctic buildings are enclosed structures where users remain for long periods, making them a potential research object for indoor air quality (IAQ). This study measured the concentration of aldehydes, particulate matter and fungi in the indoor air of the Comandante Ferraz Antarctic Station (Estação Antártica Comandante Ferraz - EACF) to establish IAQ control parameters for future construction on the continent. The average recorded indoor concentration of total aldehydes was above the concentration found in urban areas, unlike the average concentrations of particles and fungi, which were below urban levels. Furniture and plywood coverings may have contributed to the high concentration of formaldehyde (130.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cooking activity resulted in high averages of acrolein (43.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in most of the monitored environments. Similarly, cooking was responsible for increasing the 24 h average concentration of fine particles in the living room environment (19.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Other activities such as cleaning, use of personal and cosmetic products, waste incineration, building maintenance and movement of people and vehicles increased the concentration of particles in the indoor environments. Dominance of the species *Aspergillus versicolor* and *Penicillium* sp shows potential means of fungal proliferation inside the station. Considering that the aspects observed in the EACF are similar to the architecture of other Antarctic buildings, the elimination or reduction of the main sources of air pollution through the compartmentalization of spaces; the use of materials, products and equipment with low or zero emissivity; and the adoption of an efficient air renewal system are fundamental measures in the design of Antarctic buildings.*

Keywords: Indoor air quality; Building materials; Human activities; Antarctic architecture.

1. Introduction

Antarctica is known as the continent of peace and science. Many governments maintain permanent research stations on the continent, which provide shelter and logistic support to researchers and personnel responsible for building operation and maintenance. These support

buildings, both inland and in the coastal areas, have similar complexity considering the logistical difficulty of installation and operation, usually associated with severe weather. Few countries invest resources to develop specific technologies for Antarctic conditions, and up until the last century, construction solutions similar to those used in other locations on the planet were typically adopted even though the Antarctic environment is completely different due to its distance from urban centres and its inhospitable environment [1]. However, after the time of heroic expeditions to the continent and the phase characterized by the construction of safe buildings for human permanence in the region, aspects related to housing and minimal environmental impact assumed greater importance; studies related to the interior air quality are inherent to both aspects.

The concentration of studies in a typical condition - in this case, the Comandante Ferraz Antarctic Station (Estação Antártica Comandante Ferraz – EACF) - allows the identification of a cause-and-effect relationship for subsequent extrapolation to similar situations. Regardless of the country of origin, the needs and uses of these buildings are similar. In addition to the natural logistical difficulties, the buildings are characteristically confined and currently constructed with industrial materials and special concern for environmental impact because Antarctica is a place where preservation of its natural state is inextricably linked to science.

Brazil inaugurated the EACF in 1984. After successive expansion and improvements projects, on February 25, 2012, a major fire destroyed the buildings that made up its main body [2]. Considering the need to reconstruct the destroyed buildings and the possibility of using evaluation results from the useful life of the station in various areas of knowledge, the Brazilian Antarctic Program promoted an international contest to select the design and subsequent construction of new buildings at the EACF. The criteria established to guide the candidates and select winners highlighted the concept of sustainability, including parameters of indoor air quality (IAQ) [3].

Air quality within buildings is associated with numerous symptoms such as coughing, headaches, eye, nose and throat irritation, lethargy, and especially exacerbation of respiratory diseases such as asthma and rhinitis [4]. Thus, IAQ is an important parameter for studies on indoor environmental quality (IEQ), where solutions implemented in the design phase can improve the performance of future buildings [5].

The construction characteristics of a building directly influence the IAQ [6]. Factors such as the building age, internal partitioning, location and size of the apertures and ventilation type play important roles in the concentration and dispersion of indoor pollutants

[7]. Furthermore, construction materials may be responsible for the emission of up to 40% of pollutants in the building, remaining in the environment for only a short period or manifesting for a long time [8]. Similarly, human activities in the environment strongly impact the final concentration of indoor pollutants. These activities include cooking, smoking, sweeping, cleaning furniture, use of cosmetics, toiletries and cleaning supplies, driving and parking vehicles, and the very presence of humans [9–15].

Volatile organic compounds (VOCs) are the main pollutants emitted from building materials, coatings, decor and furniture, mainly those with plywood [12]. Other internal sources such as the use of cleaning products and personal products also emit these pollutants [16]. Among VOCs, formaldehyde is a major research target for IAQ due to its major impact on human health, as it is a proven carcinogen [17]. The World Health Organisation (WHO) recommends an average exposure limit of up to 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for a maximum period of 30 minutes [18]. However, higher values have been reported by several studies. Tao et al. [19] found an average formaldehyde concentration of 131 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in nine underground malls in China via monitoring carried out between May and July of 2014.

Human activities are a major source of particulate matter (PM) inside buildings. Fine particles with diameters of less than 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$) show high levels of toxicity and greater ease of penetrating the human respiratory tract [20]. In indoor environments, the majority of fine particles originate from activities of combustion, heating, cooking or tobacco smoke [21]. A strong relationship exists between particles in this range and the presence of external sources, mainly vehicles, because they more easily infiltrate through cracks in the building even when the windows are closed [22]. The coarse fraction, characterized by particulate material with a diameter above than 2.5 μm , generally results from human presence and movement associated with a low air exchange in the environment [23]. Geller et al. (2002) presented a 50-80% ratio for the contribution of particles in the 2-10 μm range indoors resulting from day-to-day activities such as using a vacuum cleaner, sweeping, dusting furniture and washing carpets. In this diameter range, the same study indicated that the contribution of particles from the external environment ranged from 10-40%. The WHO established the average concentration limits for 24 h at 25 and 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} , respectively [18].

Building typology and activities performed in the building are also directly related to indoor pollutants of microbiological origin; other factors include the amount of available substrate, meteorological and geographical conditions and the seasons [24]. Fungi are

considered biomarkers of air quality, although there are controversies over the acceptable quantities in buildings because these microorganisms present wide spatial and temporal variations in the environment. The WHO established a recommended limit of 500 CFU/m³ [25]. However, the ratio of the spore count should not be the only consideration. Cabral [26] reported an ideal ratio of fungal species growing indoors, including *Cladosporium*, a predominantly universal fungus, followed by *Penicillium*, *Aspergillus* and others. Thus, any change in the quantitative order of these groups, without the predominance of *Cladosporium* over others, is considered a parameter of sick buildings, indicating the predominance of a significant number of internal fungal sources [27].

When considering buildings in Antarctica, little importance is given to the inherent aspects of IAQ because focus is given to building energy efficiency, primarily energy consumption and thermal comfort. Evaluation studies of indoor air in buildings subjected to the Antarctic climate are nearly non-existent [28]. Moreover, a growing number of studies highlight IAQ as an important parameter in environmental comfort and sustainability in studies of indoor environmental quality [29].

Thus, the objectives of this study were *i*) to investigate the indoor air quality based on measurements obtained at the Comandante Ferraz Antarctic Station before the fire, characterizing and evaluating the concentration of three groups of contaminants: aldehydes, particulate matter and fungi; *ii*) to correlate the results with possible pollutant emission sources in the internal environment (construction materials and human activities) and *iii*) design IAQ control methods for current and future Antarctic buildings.

2. Materials and methods

2.1 The Antarctic research station

The Brazilian Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF) is located in Admiralty Bay on King George Island at 62°05' N, 58°24' W; EACF is populated by approximately 65 people, consisting of both civilians and military personnel, who are permitted to stay in the station for periods ranging from one month to one year. The EACF was founded in 1984 with eight metal containers measuring 150 m² to accommodate up to 12 people. The station later underwent extensive renovation, and by 2012, its surface area was approximately 2500 m² (Figure 1). In some compartments with air heating systems, windows were normally used to refresh the recycled indoor air (subject to weather conditions).

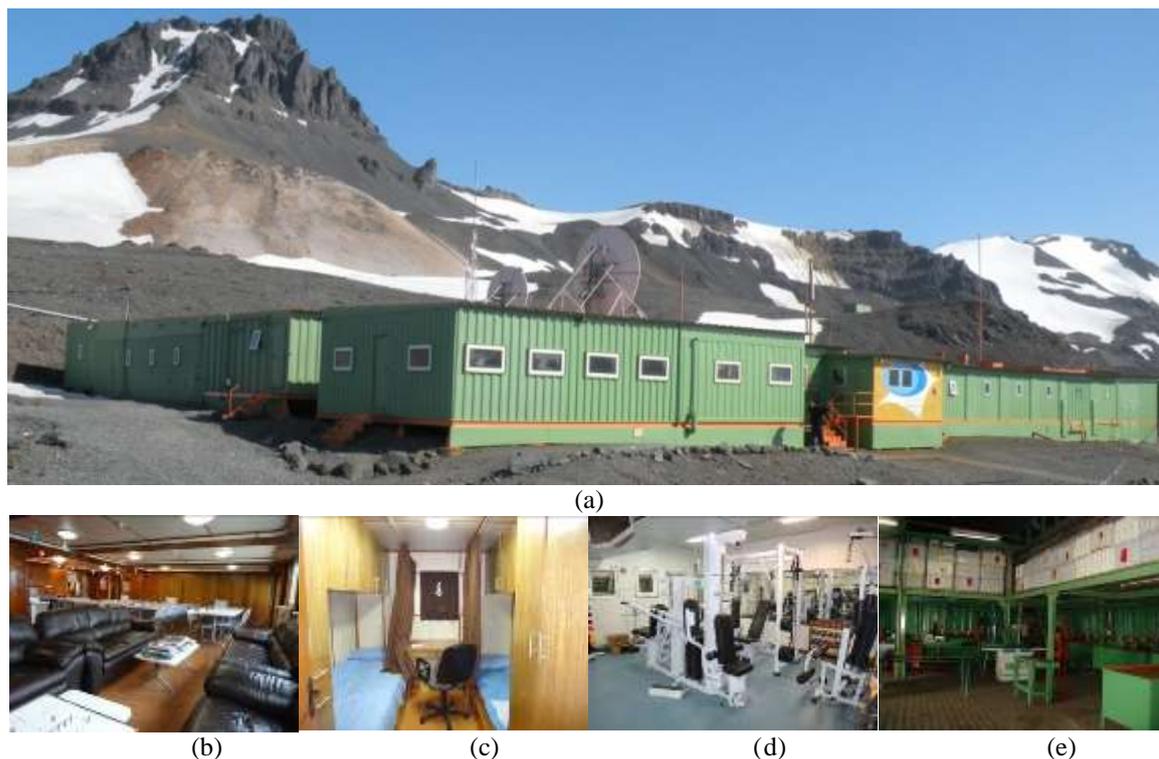


Figure 1. (a) Outdoor, (b) living room, (c) cabin 21, (d) gym and (e) workshop of EACF in February 2012.

Field experiments were conducted between January 13 and February 3, 2012 during the Antarctic summer and maximum station occupancy. The concentrations of aldehydes, particles and fungi were evaluated in indoor environments that were selected to represent areas that were occupied for longer periods of time and contained potential sources of air pollution (Figure 2). The station is divided in two large environments consisting of (i) conditioned compartments and (ii) unconditioned compartments. The conditioned compartments are the station personnel living quarters, encompassing the dormitories, gym, library, living room, kitchen and bathrooms. The unconditioned compartments are the service and utilities areas, which include the station maintenance workshop, energy generation, incinerator, garage, storage and a transition area (TA) between the operating sectors. While the conditioned areas have heating, the unconditioned areas have only basic protection from the outside weather (no temperature control). This arrangement is very common in Antarctic stations because the severity of the weather restricts movement between buildings, especially during winter. Thus, service areas are usually linked by a protected covered environment (TA), while living quarters and laboratories are conditioned environments. Antarctic stations also focus on the energy efficiency of the edifice, mainly regarding energy consumption and thermal comfort. Indoor air quality is not a matter of significant concern, especially for the older stations, such as the EACF.

The environments that were occupied for longer periods of time and contained potential sources of air pollution were selected for measurements (Figure 1). The sampling sites were grouped as follows: (i) conditioned compartments, consisting of two spaces used by all of the occupants (living room and library) and spaces for private use (Arsenal Group Dormitory - AGD, cabins 10 and 21); (ii) unconditioned compartments consisting of four service areas (workshop, incinerator area, garage and transition area between the operating sectors - TA) and (iii) outdoor sites, consisting of three monitoring points known as “outstation I” (13.5 m from the front east side of the station), “outstation II” (6.0 m from the rear west side of the station) and “refuge II” (5 km away from the EACF).

In addition to the measurements, a field log book was made available to residents in each site to register their daily activities. Furthermore, residents completed a questionnaire based on EN ISO 16000-1/2006 for indoor air quality assessment [30].



Figure 2. Schematic floor plan of the EACF indicating the sampling sites.

2.2 Sampling and analyses techniques

2.2.1 Aldehydes

Aldehydes were sampled inside the Station using Radiello Aldehyde Samplers (Fondazione Salvatore Maugeri, Padova, Italy). This high-uptake-rate radial diffusive sampler consists of an inner cartridge of silica impregnated with 2,4-DNPH (dinitrophenylhydrazine) contained within a porous, cylindrical outer body. Sampling campaigns lasted seven days for all of the environments except for the kitchen, which lasted three days. In some environments, more than one campaign was performed, totalling 16 samples and four controls. The elution of the formed 2,4-dinitrophenylhydrazones was performed with 2 mL of acetonitrile. Sample analyses were performed on HPLC (High Performance/Pressure Liquid Chromatography) equipment (Shimadzu, CBM-20A) using a UV detector operating at a wavelength of 365 nm. Hydrazone separation was carried out on a Zorbax ODS C18 column (250 x 4.6 mm, 5 μ m) (Agilent Technologies) connected to a pre-column of the same composition. Chromatographic separations were performed with a combination of two mobile phases (A and B). Mobile phase A was composed of milli Q water, while mobile phase B was 100% acetonitrile. The flow rate used was 2.0 mL/min, with a constant temperature of 37 °C. For all of the analyses, the injection volume was 10 μ L and an elution gradient was used to separate the different compounds (0 min: 40-60%; 7 min: 40-60%; 20 min: 0-100%; 21 min: 40-60%; and 30 min: 40-60%). Qualification and quantification of the aldehydes were performed by comparisons to the TO11/IP-6A standard (code 47285-U - Supelco, Bellefonte, PA, USA). The limits of detection (LOD) and limits of quantification (LOQ) were determined by constructing three analytical curves using standard solutions at concentrations of 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 and 0.50 μ g/mL [31].

2.2.2 Particles

Indoor and outdoor particles were analysed using an Optical Laser Aerosol Spectrometer (LAS) (Dust Monitor 1.109, Grimm Technologies, Germany) that measures 31 particle sizes ranging from 0.25 μ m to >32 μ m at a 1 min frequency. This spectrometer works at a constant air flow rate controlled by a pump previously calibrated at 1.2 L/min \pm 5% and gives the mass and number concentration of the particles distributed by diameter. The temperature, humidity and air velocity were also measured. For the indoor areas, the measurements were conducted during no less than 24 hours in all of the compartments. For the outdoor areas, the monitoring periods depended on the weather conditions; particles were monitored in outstation I for 7 hours and in Refuge II for 2 hours. The measurements were not conducted simultaneously in the outside and inside sampling sites.

2.2.3 Fungi

The fungi were collected by a sampler of one stage CF-6 Andersen Impactor (Criffer, Brazil) with an air flow of 28.3 L/min for approximately 5 minutes. To collect the samples, petri dishes with Sabouraud Dextrose Agar culture were used. After sampling, the plate was removed from the sampler, immediately closed, sealed with Parafilm® M, identified and kept in sterile plastic bags with zippers in a refrigerator at 4 °C in the Station until it was transported under the same conditions to Brazil for analysis. After arriving in Brazil, the plates were left under observation at room temperature for 48-72 hours, and with growth, the colonies were counted and the fungi were isolated in tubes with culture medium. The quantitative results were calculated in Colony Forming Units (CFU/m³), and the samples were identified by macro and micromorphology using an Olympus BX41 microscope. Three collections of fungi were performed on three days inside and outside the Station, resulting in 36 samples.

3. Results and discussion

The pollutant monitoring results for aldehydes, particulate material and fungi were related to the possible pollutant emission sources from the construction materials and human activities recorded in the field log book. From the results, guidelines were outlined related specifically to IAQ for Antarctic buildings in the phases of design, construction and operation.

3.1 Aldehydes

The average concentration of total aldehydes found in the EACF was 176.91 µg/m³, well above the concentration recorded by other studies in urban areas [32]. Weng et al. (2009) identified an average concentration of 146.5 µg/m³ of total aldehydes in indoor shopping centres, supermarkets, department stores, cinemas and bus and subway stations in China.

The highest average concentration recorded in measurements at the EACF was of acrolein, followed by acetaldehyde, formaldehyde, hexanaldehyde, butyraldehyde, isopentanaldehyde, pentanaldehyde, propionaldehyde and benzaldehyde with average concentrations of 43.79 µg/m³, 37.12 µg/m³, 32.75 µg/m³, 27.26 µg/m³, 18.10 µg/m³, 8.45 µg/m³, 6.50 µg/m³, 6.41 µg/m³ and 2.00 µg/m³, respectively. Acrolein, acetaldehyde, formaldehyde and hexanaldehyde represented 24.8%, 21%, 18.5% and 15.4% of the total aldehydes in the station air, respectively. In general, the average concentrations of these

compounds were similar to or higher than those found by other authors monitoring internal environments [33][34].

Figure 3 shows the mean aldehyde concentration over three days of measurements in the kitchen and seven days in the other environments. The locations with the highest mean acrolein concentrations after seven days were cabin 10 ($68.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$), cabin 21 ($63.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$), the library ($59.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and AGD ($58.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$). These areas presented concentrations even higher than the three-day average concentration of the kitchen ($47.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and the seven-day average concentration of the living room ($42.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The abundant quantity of acrolein found in the Antarctica station in nearly all of the environments may be explained by the constant cooking activity in the building with the doors and windows closed most of the time. In addition, the station's air exchange system was deficient. Seaman et al. [35] found high acrolein concentrations in the range of 26.4 to $64.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ inside the small one-room apartments, even with the door closed, during cooking with vegetable oils in the USA. According to this author, acrolein has a long life span of 14.4 ± 2.6 hours, indicating that the internal concentrations of this substance may persist for a considerable time after cooking in poorly ventilated buildings.

The acetaldehyde concentrations found in the Brazilian station for the three-day average concentration in the kitchen ($86.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and seven-day average concentration in the living room ($64.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) are higher than those found by Weng et al. [32] in two supermarkets in China ($29.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $56.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), values that are already considered high. Antarctic stations commonly have an area for meeting, socializing and eating for the inhabitants. These environments are cleaned constantly because of their heavy use. In the EACF, the living room and the kitchen play this role; therefore, they are cleaned with bleach, alcohol and other cleaning products approximately four times a day, every day of the week, unlike other environments that were cleaned once a week. Domestic cleaning products are potential sources of acetaldehyde and other VOCs. A smaller part of this concentration can also be the result of wood products such as doors, wall linings and the wooden flooring laminate found in the living room of the station as well as perfumes and polyester resins [36].

With regard to formaldehyde, the environments presenting the highest seven-day average concentrations were cabin 10 ($100.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$) and cabin 21 ($130.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cabin 21 showed the highest concentration of formaldehyde, most likely because it was part of the recently built wing at the station, which was first occupied in 2012. These cabins had laminated wood floorings and industrial furniture made of plywood; both of these materials have been identified as major indoor emission sources of formaldehyde [8]. Cabin 21 also

showed the highest seven-day mean concentration of total aldehydes (334.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) among the monitored sites. The presence of plywood in the lining and furniture is common within Antarctic stations due to its thermal insulation and ease of installation.

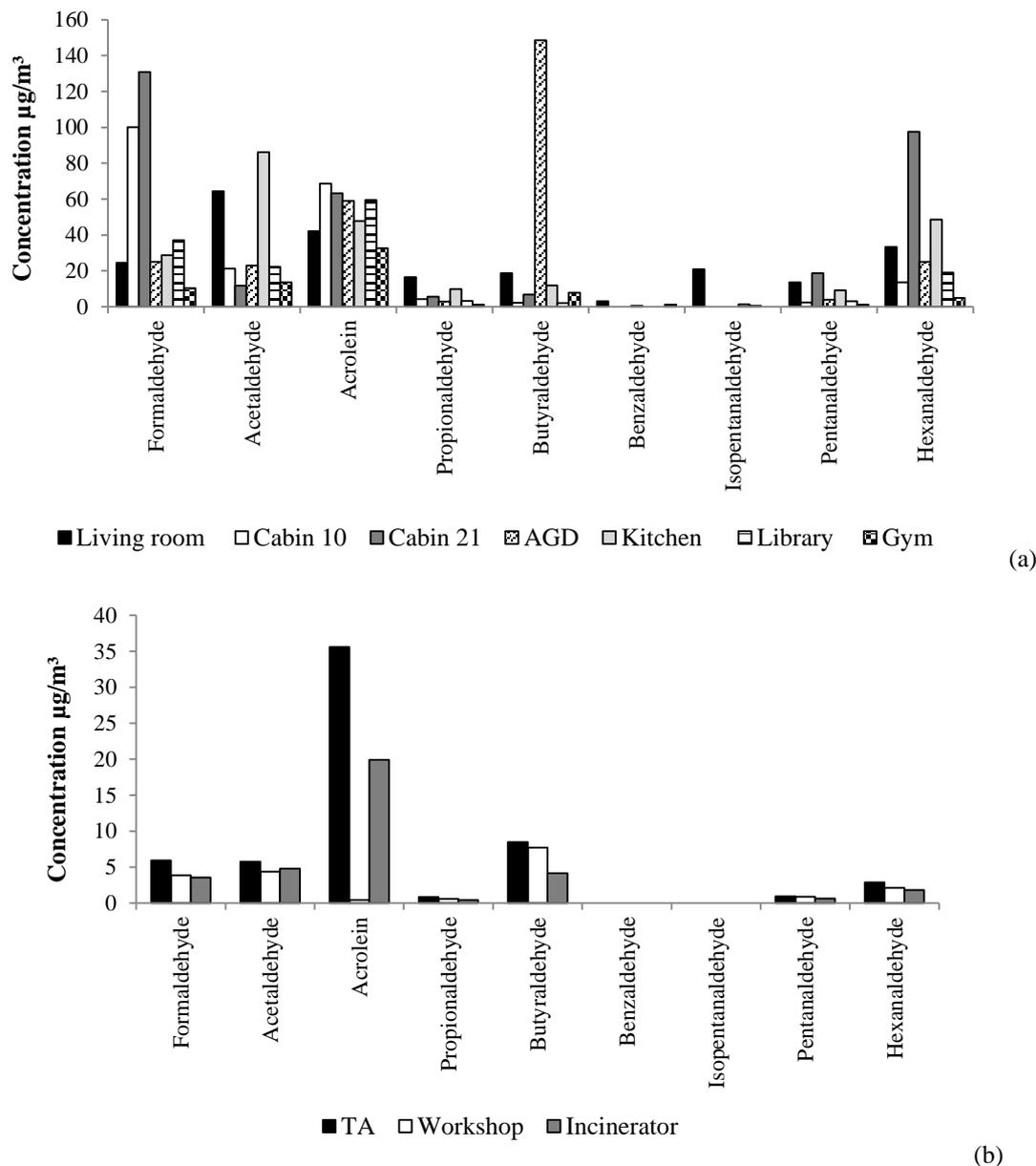


Figure 3. Mean concentrations of aldehydes found in the (a) conditioned and (b) unconditioned compartments.

The library showed significant levels of formaldehyde (37.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) and acetaldehyde (22.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). A variety of volatile organic compounds are emitted from the degradation of paper and other cellulose-based materials, including aldehydes such as formaldehyde and acetaldehyde [37]. Typical library furniture, composed of laminated tables and workstations, is a major source of formaldehyde in these spaces [38].

The highest seven-day average concentration of hexanaldehyde was observed in cabin 21 ($97.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$) but not cabin 10 ($13.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$), which contains the same construction materials. The recently installed laminated wood lining is likely the largest source of hexanaldehyde. This compound was observed in abundance in new spaces less than two years old that possessed this material [39].

The AGD presented the maximum aldehyde concentration found throughout the EACF, represented by butyraldehyde ($148.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$). This environment has an attached drying room where the working overalls of the construction and maintenance personnel were kept. Butyraldehyde may be detected in emissions from diesel engines [40] and may therefore be emitted by working clothes in this attached environment.

Minor concentrations of isopentanaldehyde, pentanaldehyde, propionaldehyde and benzaldehyde were found, equivalent to concentrations found indoors by Clarisse et al. [41]. The average concentrations of aldehydes were lower in unconditioned compartments than in the conditioned compartments, most likely because the unconditioned areas are large spaces with frequent natural ventilation via the access door to the workshop.

Figure 4 shows the three-day (kitchen) and seven-day average concentrations (other environments) of acrolein and formaldehyde compared to the maximum limits as stated by the WHO.

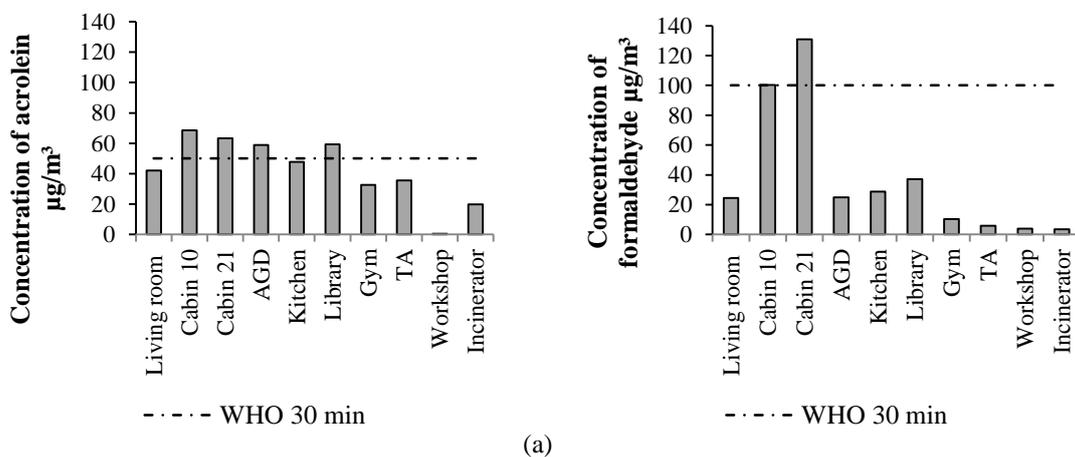


Figure 4. Three-day (kitchen) and seven-day (other environments) average concentrations of (a) acrolein and (b) formaldehyde in relation to the WHO maximum limits.

The maximum limit of acrolein exposure recommended by the World Health Organization for an average of 30 minutes is $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. This limit was surpassed by the environments of cabin 10, cabin 21, AGD and the library. Similarly, the maximum formaldehyde exposure recommended by the WHO for an average time of 30 minutes was exceeded by cabins 10 and 21. The average of this study was in relation to three days in the

kitchen and seven days for the other environments; therefore, exceeding the WHO limit recommended for an average of 30 minutes of exposure to these contaminants is worrying for the health of inhabitants in an Antarctic Station.

3.2 Particulate matter and environmental conditions

Table 1 shows the average numeric and mass concentrations over 24 h as well as the environmental conditions in each monitored location. Monitoring conducted in the kitchen was not used in evaluations because there was a social gathering in the room on this day in which a fog machine was used, thereby delivering measurements of particle numbers and masses that conflicted with those of the monitoring results.

The highest 24 h average numerical concentrations in the Station were found in conditioned compartments (199.67, 201.94, 202.32 and 202.33 particles/cm³), followed by unconditioned compartments (185.20, 187.54, 187.87 and 187.88 particles/cm³) and the outside (35.20, 35.61, 35.65 and 35.65 particles/cm³ for PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and TSP, respectively). These values are much lower than those of other studies found in the literature, such as Fromme et al. [42] who found an average concentration of 5660 particles/cm³ from 36 measurements of classrooms in Munich, Germany during the spring and summer, highlighting the importance of preserving the atmosphere of Antarctica.

In relation to the 24 h average mass concentrations, the highest values were also recorded in conditioned compartments (12.01, 22.00 and 52.36 µg/m³), followed by unconditioned compartments (9.70, 11.20 and 46.54 µg/m³ for PM₁, PM_{2.5} and PM₁₀, respectively), except for the TSP, whose highest mean value was found in unconditioned compartments (91.54 µg/m³) rather than the conditioned compartments (77.25 µg/m³). These values are also lower than the 24 h average mass concentrations typically found indoors in urban areas [43]; however, the average PM₁₀ found in the conditioned compartments exceeded the WHO minimum limit, showing the existence of pollution sources with health risks in the EACF environments.

Among the conditioned compartments, the gym environment showed the highest 24 h average numerical concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ (769.61 and 769.68 particles/cm³, respectively) as well as the highest mass concentration of PM_{2.5} (44.52 µg/m³), exceeding the WHO limit. In descending order, cabin 21, the living room, cabin 10, the AGD and the library recorded 39.35, 19.56, 14.22, 7.66 and 6.71 µg/m³ of PM_{2.5}, respectively. However, the greatest 24 hour mass concentrations of PM₁₀ were found in cabin 21 and the living room,

followed by the gym, AGD, cabin 10 and the library (109.45, 58.92, 49.34, 46.99, 29.67 and 19.78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectively); the first two environments exceeded the limits set by the WHO.

Sampling sites	Sampling time	Number of particles/cm ³ (st.d.)				Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (st.d.)				Environmental conditions		
		PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	T (°C)	RH(%)	Air Velocity (m/s)
Conditioned environments												
Living room	01/17/2012 Tuesday (00:00 - 23:59)	194.44 (306.35)	196.58 (307.23)	197.05 (307.36)	197.06 (17.66)	10.86 (17.66)	19.56 (23.05)	58.92 (97.75)	88.64 (134.54)	24.23 (0.99)	29.84 (4.18)	0.0028 (0)
Cabin 10	01/21/2012 Saturday (16:00 -15:59)	72.21 (121.97)	74.11 (125.36)	74.26 (125.54)	74.31 (125.52)	6.33 (10.47)	14.22 (24.82)	29.67 (38.16)	46.40 (54.03)	28.70 (0.56)	27.82 (2.02)	0 (0)
Cabin 21	01/23/2012 Monday (15:00 -14:59)	108.34 (203.68)	114.38 (217.84)	115.35 (220.01)	115.37 (220.01)	10.44 (21.24)	39.35 (90.89)	109.45 (227.06)	152.04 (245.18)	24.33 (0.48)	31.39 (7.01)	0 (0)
AGD	01/24/2012 Tuesday (15:00-14:59)	21.85 (16.39)	23.00 (17.29)	23.42 (17.73)	23.44 (17.74)	1.92 (1.31)	7.66 (7.25)	46.99 (56.54)	91.95 (91.55)	26.03 (1.18)	28.20 (3.13)	0 (0)
Library	01/25/2012 Wednesday (17:00-16:59)	33.16 (57.18)	33.99 (58.23)	34.13 (58.26)	34.13 (58.26)	3.67 (7.51)	6.71 (10.10)	19.78 (32.79)	33.41 (64.00)	24.98 (1.88)	25.46 (1.53)	0 (0)
Gym	01/28/2012 Saturday (18:00-17:59)	768.02 (1540.51)	769.61 (1543.58)	769.68 (1543.66)	769.64 (1543.65)	38.82 (84.89)	44.52 (94.66)	49.34 (99.17)	51.04 (99.71)	27.11 (0.87)	18.9 (2.55)	0 (0)
Mean		199.67	201.94	202.32	202.33	12.01	22.00	52.36	77.25	25.90	26.93	0
Min		21.85	23.00	23.42	23.44	1.92	6.71	19.78	33.42	24.23	18.88	0
Max		768.02	769.61	769.61	769.64	38.82	44.52	109.45	152.04	28.70	31.39	0
SD		260.44	260.29	260.29	260.16	12.42	14.79	28.62	39.79	1.60	4.03	0
Unconditioned environments												
TA	01/29/2012 Sunday (19:00-18:59)	70.13 (45.39)	71.30 (46.06)	71.50 (46.13)	71.50 (46.13)	4.67 (5.03)	9.65 (7.58)	27.06 (18.60)	42.40 (35.04)	8.98 (1.40)	45.72 (4.01)	0.0047 (0.01)
Incinerator	30/01/2012 Monday (01:00-00:59)	190.33 (220.69)	192.60 (222.43)	192.83 (222.50)	192.84 (222.50)	11.21 (13.92)	19.47 (21.11)	42.53 (49.69)	77.75 (144.27)	9.81 (1.83)	44.53 (4.87)	0.17 (0.21)
Workshop	02/02/2012 Thursday (14:00-13:59)	374.65 (594.65)	377.92 (594.91)	378.46 (595.17)	378.49 (595.20)	17.64 (26.77)	33.25 (29.80)	79.18 (89.84)	197.52 (374.24)	8.61 (0.68)	61.04 (2.70)	0.4425 (0.27)
Garage	02/03/2012 Friday (21:00-20:59)	105.69 (72.55)	108.32 (72.20)	108.68 (72.16)	108.68 (72.15)	5.28 (2.01)	18.04 (3.97)	37.37 (8.52)	48.47 (22.13)	7.09 (1.04)	64.03 (7.32)	0.6939 (0.63)
Mean		185.20	187.54	187.87	187.88	9.70	20.11	46.54	91.54	8.63	53.83	0.32
Min		70.13	71.30	71.50	71.50	4.68	9.66	27.07	42.40	7.10	44.53	0.00
Max		374.65	377.93	378.47	378.49	17.64	33.25	79.19	197.52	9.81	64.03	0.69
SD		117.77	118.38	118.49	118.50	5.25	8.47	19.65	62.63	0.98	8.78	0.26
Outdoor areas												
Outstation	13/01/2012 Friday (11:10-17:59)	52.21 (27.88)	52.65 (27.93)	52.88 (27.94)	52.88 (27.94)	1.96 (0.85)	3.76 (2.20)	6.12 (3.09)	13.87 (10.45)	10.80 (1.88)	50.08 (6.26)	1.4008 (0.28)
Refuge II	01/02/2012 Wednesday (16:10-17:29)	18.18 (0.84)	18.56 (0.86)	18.60 (0.87)	18.60 (0.87)	0.73 (0.03)	2.63 (0.20)	4.31 (0.55)	6.74 (2.96)	4.89 (0.54)	57.47 (2.57)	2.3987 (0.22)
Mean		35.20	35.61	35.65	35.65	1.35	3.20	5.22	10.31	7.85	53.77	1.90
Min		18.19	18.57	18.61	18.61	0.73	2.64	4.31	6.75	4.89	50.08	1.40
Max		52.21	52.66	52.69	52.69	1.96	3.77	6.13	13.88	10.81	57.47	2.39
SD		17.01	17.05	17.04	17.04	0.61	0.57	0.91	3.57	2.96	3.69	0.49

During the monitoring of the gym, a barbecue was made in the TA environment, which explains the large number and mass of fine particles shown in this area [44]. In cabins 10 and 21, the use of personal products was recorded; in the latter, the use intensity of spray products was higher than in the first, which probably caused the increase in the average mass concentration of both coarse and fine particles in this environment [9]. In relation to the living room, a significant mass concentration of fine particles may be associated with cooking activities carried out in the integrated kitchen environment [45].

Barbecue activity in a Brazilian station is associated with cultural practice and may not represent similar situations in stations of other nationalities. However, even if sporadically held, barbecues must be taken into consideration because this activity significantly influences the average level of particles in the indoor air. Cooking activity and the use of personal products within the cabin environments that do not have integrated bathrooms are probably common in Antarctic stations, representing a worrisome situation for human health.

The existence of a living room or lounge with an environment for meetings, social gatherings and meals is common in Antarctic scientific stations. This location is characterized by constant people traffic and intense use, which explains the 24 h average concentration of coarse particles found in this environment [46]. Moreover, on the day of monitoring, the living room was influenced by cleaning activities. Cleaning activities, such as sweeping the floor and cleaning the furniture, contribute to the suspension of fine and coarse particles that have settled on the floor and furniture, thus increasing the particle number and mass concentration [47]. Similarly, the activities of people and clothing movement resuspend dust from furniture and the soil, which strongly influences the coarse particles in the AGD.

Because the library is a less utilized environment and is located in a more private area of the station, it presented the lowest 24 h average mass concentration of fine and coarse particles.

Analysing the 24 h average mass concentration of the unconditioned compartments, the highest values were found in the workshop, incinerator area, garage and TA for PM₁₀ (79.18, 42.53, 37.37 and 27.06 µg/m³, respectively) and PM_{2.5} (33.25, 19.47, 4.18 and 9.65 µg/m³, respectively). The workshop represents the operational area of the station's maintenance services and is located near the EACF machinery sector, which houses the power generation system, which runs on diesel. This configuration, along with the movement of people and the resuspension and infiltration of dust from the external soil by the natural ventilation through the access doors contributed to exceeding the 24 h average limit of the WHO for PM₁₀.

Due to the harsh climate, Antarctic buildings usually have protected environments that are not necessarily conditioned, designed especially for parking vehicles and supply storage. The arrangement of these environments and other areas of service, storage and loading and unloading significantly influence the vehicle flow in the station, considering the constant need for material transport. For the EACF, the traffic of light vehicles in the TA associated with the different emission sources present in the workshop environment may have increased the concentration of fine particulate material.

The construction of the EACF with metal containers suffers an intense corrosion process [48], which requires constant periodic maintenance of the building. The periodic maintenance requirements of this building material increased the particulate matter concentration in the air, especially in the unheated areas whose metal walls had no inner lining as well as in the living room, which has a direct access door to these areas.

The Madrid Protocol [49], linked to the Antarctic Treaty, provides strict regulations seeking to preserve the Antarctic environment as well as access control and transportation on the continent. In this sense, the incineration of organic waste is permitted and is commonly adopted in most Antarctic buildings, encouraging the return of only non-degradable materials to their countries of origin. However, even when using certified equipment with appropriate filters at the gas outlet, fugitive particulate material were reported in the EACF, causing this environment to exceed the 24 h average limit for $PM_{2.5}$ recommended by the WHO. Increased concentration of particulate matter due to waste incineration activities has already been verified by other studies in urban environments [50,51].

Finally, as expected, the lowest average mass concentration values were found outside with 1.35, 3.20, 5.22 and 10.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} and TSP, respectively. The external point of Refuge II, 5 km away from the EACF, presented the lowest average 10 minute mass concentrations (0.73, 2.63, 4.31 and 6.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} and TSP, respectively) compared to the outstation (13.87, 1.96, 3.76 and 6.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for TSP, PM_1 , $PM_{2.5}$ and PM_{10} , respectively). This result may be due to the influence of the station and its proximities on the particle concentration in the surrounding area. Some studies monitoring the external Antarctic environment reported a decrease in the pollutant concentration when moving away from scientific stations [52]; however, confirmation of this hypothesis depends on expanding the measurements.

The 24 h average temperature and air velocity recorded in the conditioned and unconditioned areas was 25.90 °C and 8.63 °C and 0.00 and 0.32 m/s, respectively. As expected, the 24 h average relative humidity was lower in the conditioned areas (26.94%)

than in the unconditioned areas (53.83%). Outdoors, the 24 h average temperature, relative humidity and air velocity were 10.80 and 4.89 °C, 50.08 and 57.47%, 1.40 and 2.39 m/s for the outstation and Refuge II, respectively.

3.3 Fungi

The average concentrations of fungi in the conditioned environments were 113, 106 and 28 CFU/m³ and in the unconditioned environments were 7, 247 and 2 CFU/m³ for the collections on days 27/01/2012, 29/01/2012 and 01/02/2012, respectively. These values are much lower when compared to studies of buildings in subtropical and tropical climates, but this trend is similar to the results of studies conducted during the winter season or in subarctic areas [53][54]. Figure 5 shows the fungal concentrations in the air for three collection days in the internal and external points of the EACF compared to the maximum limit defined by the WHO.

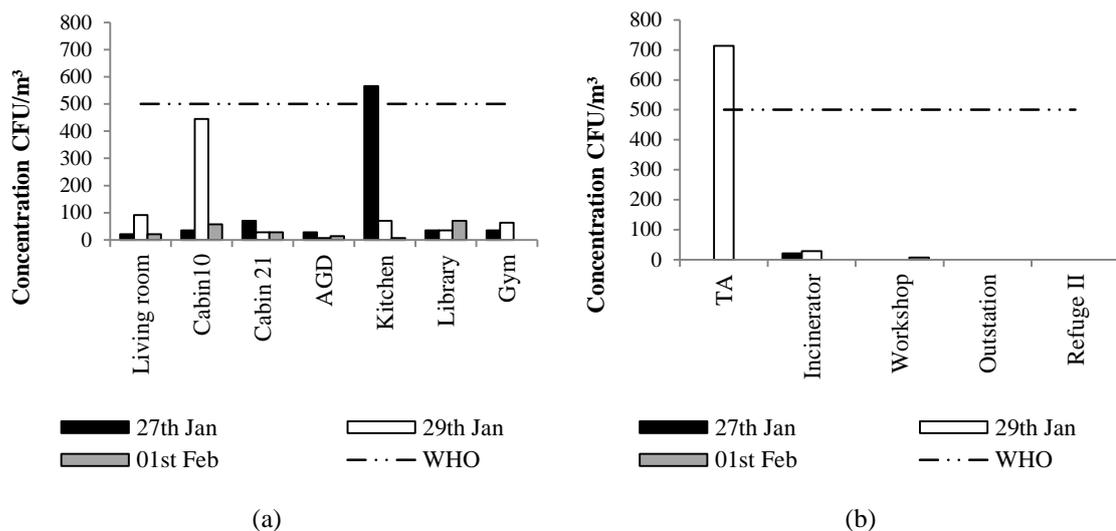


Figure 5. Average concentration of fungi in (a) conditioned and (b) unconditioned compartments and outdoor areas compared to the WHO maximum limit.

The largest fungal concentrations in the conditioned compartments were found on January 27 in the kitchen, cabin 21, cabin 10, library, gym, AGD and living room (565, 71, 35, 35, 35, 28 and 21 CFU/m³, respectively); the kitchen exceeded the limit determined by the WHO. The collection in the kitchen on this day was performed during dinner preparation, characterizing the latter condition as a common activity, with large movements of people in the environment. Human presence and its activities are known to increase the amount of fungi in the environment [55][56].

On January 29, the largest fungal concentrations were found in cabin 10, the living room, kitchen, gym, library, cabin 21 and AGD (445, 92, 71, 64, 35, 28 and 7 CFU/m³,

respectively). On this day, three people were talking in cabin 10 with the window and door closed during collection. On February 1, the largest fungal concentrations were found in the library, cabin 10, cabin 21, living room, AGD, kitchen and gym (75, 57, 28, 21, 14, 7 and 0 CFU/m³, respectively). Six people were studying in the library during collection.

On the three days of collection, the fungal concentration was higher in the conditioned areas than in the unconditioned areas. This result may be associated with the presence of a greater number of people and the enclosed spaces; the unconditioned compartments have natural ventilation via the access doors to the workshop to disperse contaminants.

The collection on January 29 in the transition area (TA) showed a concentration of 714 CFU/m³, exceeding the limit recommended by the WHO. This may be explained by the get-together barbecue and the visit of a group of researchers from the Henryk Arctowski Station, belonging to Poland. Thus, the high number of people within the location and the presence of organic matter certainly interfered with the measurement result.

Zero concentrations of fungi were found externally in locations near and far from the station, similar to the results reported by Duncan et al. [28], who monitored fungi in the indoor air of three historic huts built on Ross Island in Antarctica and at points close to them.

Some works relate the average internal concentration of fungi in buildings with external fungal concentrations [24]. When the presence of spores in the indoor environment results from regular exchange with the external environment and the quantity of spores are similar to or lower than that found externally, this is not a problem by itself [57]. Due to Antarctica's environment with adverse weather conditions for the proliferation of fungi and the presence of organic matter in specific locations, the fungal concentration in the external environment does not influence the concentration inside the buildings.

Therefore, the presence of fungi in the EACF is originally associated with their transport by the inhabitants on their clothes and utensils, with subsequent development when encountering ideal conditions for survival inside the station. Transport of fungal spores on clothes to the interior of the buildings was also reported by Lehtonen and Reponen [55].

A total of 29 colonies were selected based on similar macroscopic aspects and microscopic analysis of the original colony for phenotypic identification of fungi. *Aspergillus versicolor* was identified in ten colonies, the genus *Penicillium* sp was identified in seven colonies, and the genus *Cladosporium* sp was found in only one isolated colony in cabin 21 during the collection on January 29. Among the selected colonies, 11 showed no growth on the culture media due to death of the microorganism, despite collecting the raw growth material several times or acquisition from the first plate on which growth was observed,

making their identification impossible. Table 2 shows the number of colonies encountered and identified in each environment.

Table 2. Identification of fungi found on three days of collection inside the EACF.

Genus/Species	27 Jan - Friday		29 Jan - Sunday		01 Feb - Wednesday	
	Sites	no. of colonies	Sites	no. of colonies	Sites	n of colonies
<i>Penicillium</i> sp	Living room	2	Gym	7	Living room	2
	Cabin 21	3	TA	100	AGD	2
	AGD	4	Incinerator	1		
<i>Aspergillus versicolor</i>	Living room	1	Living room	13	Cabin 21	2
	Cabin 10	5	Cabin 10	63	Library	1
	Cabin 21	7	AGD	1	Workshop	1
	Library	5	Kitchen	10		
	Gym	3	Library	5		
	Incinerator	3	TA	1		
<i>Cladosporium</i> sp			Cabin 21	1		

Penicillium and *Aspergillus* are widespread fungal genera found in indoor environments; these are generally considered of ample origin in internal media [58][59], as less than 4% of their spores are formed in the outside air, unlike the *Cladosporium* fungus, which is predominantly universal [26]. These two genera, *Penicillium* and *Aspergillus*, are those most frequently encountered in internal sources of cold regions because their spores are more resistant and can survive for long periods, even years, while other species may have a rapidly declining lifespan [60]. Wood is highly vulnerable to attack by fungi of the genus *Penicillium*, and furniture and industrialized plywood products are sensitive to attack by *Penicillium* and *Aspergillus* [56]. Porous materials that allow absorption and accumulation of dust are generally excellent substrates for the growth of *Aspergillus versicolor* [61]. The species *Aspergillus versicolor* is one of the most aggressive to health, with known allergenic and pathogenic characteristics [25]. Furthermore, both *Penicillium* and *Aspergillus* possess species that produce mycotoxins (microbial volatile organic compounds) that may be responsible for some of the symptoms of sick building syndrome [26].

3.4 IAQ control strategies proposed for Antarctic buildings

Scientific stations in Antarctica can be compared to the operation of a small city, including possible sources of air contamination. For proper station operation, sites for housing, preparation and consumption of food, health care and recreation are constructed, as are specific workplaces with administrative areas and laboratories. Large-scale buildings commonly include constructed areas with industrial uses, such as the treatment of sewage and waste, water supply, power generation, material storage areas, workshops and others. Although low, vehicle traffic also exists, whether on demarcated pathways or not. Buildings

constructed in coastal areas have a greater diversity of vehicles, because the rocks are exposed in summer, while during the winter, they are often covered with snow and ice. In inland regions of the continent, vehicles are usually for use on snow or are aircrafts.

However, although the scenario is like a mini city, the extreme weather conditions associated with outdoor air quality – although with minimal pollution – makes the indoor air quality of Antarctic buildings rely solely on building materials and activities of air renewal indoors. Given these assumptions, the IAQ control strategies for Antarctic buildings involve three aspects: *i*) the use of materials, products and equipment with low or zero emissivity, *ii*) the elimination or reduction of potential sources through compartmentalization of the spaces and *iii*) the adoption of an efficient air renewal system (Chart 1).

Chart 1. IAQ control methods for Antarctic buildings.

STAGE	CONTROL METHODS
Project	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compartmentalization of environments according to their function, especially physical separation between the residential, work and industrial locations. 2. Preference for the design of single and double cabins equipped with bathrooms instead of collective dormitories and shared bathrooms. 3. The building layout should be designed to minimize vehicle traffic inside the station. 4. Selection of materials with low or zero emissivity, especially chlorine, bromine, volatile organic compounds (VOCs), fibres, particulate materials and other gases proven to be harmful to human health. Preferably, specify the materials that have this classification through emissions testing and certification assessment programmes. 5. Avoid or minimize the specification of coatings – floor, walls and ceiling – and furniture that have glues, adhesives or resins for fixing and can emit VOCs into the environment throughout their life. 6. Avoid specifying fibrous materials or those that emit small particles harmful or not to human health such as glass wool, rock wool, asbestos and mineral fibres. 7. Avoid oil paints and synthetic enamels as well as paints and varnishes containing metals, prioritizing the use of paints, solvents, lacquer and varnish that are water-based or ecologic and emit lower levels of pollutants into the air, especially VOCs. 8. Give preference to material specifications with good durability and that require less maintenance and/or cleaning. 9. Specify materials that minimize the growth of fungi, bacteria and moisture accumulation and avoid highly porous materials such as velvet and carpets for lining and furniture upholstery. 10. Provide ventilation systems and efficient air exchange to meet the minimum exchange rate recommended by the ASHRAE Standard 62/2001, establishing the acceptable ventilation rate for IAQ, including a climate control system that ensures filtering and cleaning of ambient air if necessary. 11. In the kitchen, metal hoods with appropriate geometry or similar systems should be installed above the cooking area. 12. Adopt an air curtain system at the external openings of the service areas, which can be opened most of the time to avoid the entry of dust from outside.
Construction	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consider construction as a sequence of the project, respecting the installation of certified materials with low pollutant emissions and avoiding the use of adhesives, glues and toxic sealants to minimize the accumulation of contaminants during construction. 2. External sealing of the building to minimize the infiltration of air and water to the interior.
Operation	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establish a periodic maintenance and regular cleaning plan for the filters and air-conditioning systems. 2. Adopt clean cooking methods such as roasting and grilling instead of frying with oil. 3. Adopt non-toxic cleaning supplies and those with proven low emissivity. 4. Recommend that inhabitants use toiletries and cosmetics free of aerosols and recommend that use of these products be limited to places where people spend little time, such as bathrooms and changing rooms. 5. Prohibit smoking inside the building. 6. Minimize the use of internal combustion engines in vehicles, machinery and equipment near the station, replacing them wherever possible with cleaner technologies with renewable energy sources. If the use of diesel is necessary, use fuel with low sulfur content. 7. Establish an on-going IAQ monitoring plan.

4. Conclusions

Investigating the IAQ in the Comandante Ferraz Antarctic Station provided both specific results for the environments studied and an understanding of the interrelationship of these parameters in the multifunctional building station.

With the exception of the aldehyde group, the average particulate matter and fungal concentrations in the station environments were below the values commonly found in urban areas. Similarly, the concentrations of particles and fungi present outside presented the lowest values in relation to all of the monitored points, indicating that the influence of the outside atmosphere is still preserved at the site.

The monitored sites represent environments present in most Antarctic stations, and the results may serve as a basis for adopting criteria for new projects both on the continent and in similar areas (including conditioned environments, type of use and containment situation) in which the external environment does not affect the indoor air quality.

Day-to-day activities such as cooking, cleaning, use of personal products in confined environments, vehicle traffic in protected areas, garbage incineration and building maintenance are common actions in virtually all Antarctic buildings, independent of their location (peninsular or continental), construction period (ancient or contemporary) and construction technique (concentrated in a single building or in individual modules). These activities were all shown to contribute to the concentration of aldehydes, particulate matter and fungi in the indoor air.

Because activities related to food are significant sources of pollutants presenting risk to human health, these are of greater importance in an inhospitable environment such as Antarctica compared to traditional urban environments. Therefore, measures such as the design or effective use of the building must be adopted to ensure good indoor air quality without the need to modify cultural habits related to the food consumption of its members.

Construction materials with polluting potential, such as the use of plywood in coverings and interior furnishings as well as construction using metal containers, which requires constant building maintenance, indicate that care must be taken with the materials, either during the construction stage or later in their use. For Antarctic buildings, materials that do not allow the accumulation of dust are extremely important, reducing maintenance and therefore the substrate necessary for the growth and accumulation of fungal species.

The reduction or abolition of internal contamination sources through materials, products and equipment with zero or low emissivity, functional compartmentalization of spaces and an

efficient air exchange system are key projective strategies for designing an Antarctic station for improved indoor air quality. Thus, in view of the results obtained in this study, the IAQ parameter was included for the first time as an architectural design guideline for a Brazilian Antarctic Building, as part of the Terms of Reference (TR) for international competitive bidding in the form of a design competition for reconstruction of the EACF areas destroyed by fire in February 2012.

Acknowledgements

The authors wish to thank the FAPES/CNPQ PRONEX, CAPES, INCT-APA and PROANTAR, for financial or equipment support, and the Brazilian Navy and Air Force for their logistical support. We would like to dedicate this work to the memory of Sargent Roberto Lopes dos Santos and Soldier Carlos Alberto Vieira Figueiredo, who both died in their heroic attempts to control the fire at the Comandante Ferraz Antarctic Station in February 2012.

References

- [1] Alvarez CE de. Edificações na Antártica. *Antártica 2048 Mudanças Climáticas e Equilíbrio Glob.* 1 ed, São Paulo: MarinaBooks; 2014, p. 98–113.
- [2] Guerra MBB, Neto EL, Prianti MTA, Pereira-Filho ER, Schaefer CEGR. Post-fire study of the Brazilian Scientific Antarctic Station: Toxic element contamination and potential mobility on the surrounding environment. *Microchem J* 2013;110:21–7. doi:10.1016/j.microc.2013.01.007.
- [3] Brasil I de A do. Termo de referência Estação antártica Comandante Ferraz. 2013.
- [4] Rios JLDM, Boechat JL, Gioda A, Santos CY Dos, Aquino Neto FR De, Lapa e Silva JR. Symptoms prevalence among office workers of a sealed versus a non-sealed building: Associations to indoor air quality. *Environ Int* 2009;35:1136–41. doi:10.1016/j.envint.2009.07.005.
- [5] Catalina T, Iordache V. IEQ assessment on schools in the design stage. *Build Environ* 2012;49:129–40. doi:10.1016/j.buildenv.2011.09.014.
- [6] Langer S, Bekö G. Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics. *Build Environ* 2013;69:44–54. doi:10.1016/j.buildenv.2013.07.013.
- [7] Santos JM, Mavroidis I, Reis NC, Pagel EC. Experimental investigation of outdoor and indoor mean concentrations and concentration fluctuations of pollutants. *Atmos Environ* 2011;45:6534–45. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.08.049.

- [8] Missia D a., Demetriou E, Michael N, Tolis EI, Bartzis JG. Indoor exposure from building materials: A field study. *Atmos Environ* 2010;44:4388–95. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.07.049.
- [9] Géhin E, Ramalho O, Kirchner S. Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities. *Atmos Environ* 2008;42:8341–52. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.07.021.
- [10] Kim KH, Pandey SK, Kabir E, Susaya J, Brown RJC. The modern paradox of unregulated cooking activities and indoor air quality. *J Hazard Mater* 2011;195:1–10. doi:10.1016/j.jhazmat.2011.08.037.
- [11] Böhlndt A, Schierl R, Diemer J, Koch C, Bolte G, Kiranoglu M, et al. High concentrations of cadmium, cerium and lanthanum in indoor air due to environmental tobacco smoke. *Sci Total Environ* 2012;414:738–41. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.11.017.
- [12] Blondel A, Plaisance H. Screening of formaldehyde indoor sources and quantification of their emission using a passive sampler. *Build Environ* 2011;46:1284–91. doi:10.1016/j.buildenv.2010.12.011.
- [13] Wensing M, Uhde E, Salthammer T. Plastics additives in the indoor environment - Flame retardants and plasticizers. *Sci Total Environ* 2005;339:19–40. doi:10.1016/j.scitotenv.2004.10.028.
- [14] Uhde E, Schulz N, Delius W, Markewitz D. Impact of air fresheners on indoor air quality. *Atmos Environ* 2015;106:492–502. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.11.020.
- [15] Buonanno G, Stabile L, Morawska L. Personal exposure to ultrafine particles: The influence of time-activity patterns. *Sci Total Environ* 2014;468-469:903–7. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.09.016.
- [16] Lefebvre MA, Meuling WJ a, Engel R, Coroama MC, Renner G, Pape W, et al. Consumer inhalation exposure to formaldehyde from the use of personal care products/cosmetics. *Regul Toxicol Pharmacol* 2012;63:171–6. doi:10.1016/j.yrtph.2012.02.011.
- [17] IARC - International Agency for Research on Cancer. Agents Classified by the IARC Monographs , Volumes 1 – 104 2012;7:1–25.
- [18] WHO Regional Office for Europe. WHO guidelines for indoor air quality. *Nutr J* 2010;9:454. doi:10.1186/2041-1480-2-S2-I1.
- [19] Tao H, Fan Y, Li X, Zhang Z, Hou W. Investigation of formaldehyde and TVOC in underground malls in Xi'an, China: Concentrations, sources, and affecting factors. *Build Environ* 2015;85:85–93. doi:10.1016/j.buildenv.2014.11.017.
- [20] Godish T. Air Quality. 4th editio. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers; 2003.

- [21] Braniš M, Řezáčová P, Domasová M. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ in a classroom. *Environ Res* 2005;99:143–9. doi:10.1016/j.envres.2004.12.001.
- [22] Viana M, Díez S, Reche C. Indoor and outdoor sources and infiltration processes of PM₁ and black carbon in an urban environment. *Atmos Environ* 2011;45:6359–67. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.08.044.
- [23] Geller MD, Chang M, Sioutas C, Ostro BD, Lipsett MJ. Indoor/outdoor relationship and chemical composition of fine and coarse particles in the southern California deserts. *Atmos Environ* 2002;36:1099–110. doi:10.1016/S1352-2310(01)00340-5.
- [24] Basílico MDLLZ, Chiericatti C, Aringoli EE, Althaus RL, Basílico JC. Influence of environmental factors on airborne fungi in houses of Santa Fe City, Argentina. *Sci Total Environ* 2007;376:143–50. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.01.001.
- [25] WHO Regional Office for Europe. WHO guidelines for indoor air quality : dampness and mold. 2007. doi:10.3920/978-90-8686-722-6.
- [26] Cabral JPS. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. *Sci Total Environ* 2010;408:4285–95. doi:10.1016/j.scitotenv.2010.07.005.
- [27] Haas D, Habib J, Luxner J, Galler H, Zarfel G, Schlacher R, et al. Comparison of background levels of culturable fungal spore concentrations in indoor and outdoor air in southeastern Austria. *Atmos Environ* 2014;98:640–7. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.09.039.
- [28] Duncan SM, Farrell RL, Jordan N, Jurgens J a., Blanchette R a. Monitoring and identification of airborne fungi at historic locations on Ross Island, Antarctica. *Polar Sci* 2010;4:275–83. doi:10.1016/j.polar.2010.03.008.
- [29] Mickaël D, Bruno B, Valérie C, Murielle L, Cécile P, Jacques R, et al. Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. *Build Environ* 2014;72:173–87. doi:10.1016/j.buildenv.2013.10.017.
- [30] The European Standard. EN ISO 16000-1: indoor air – general aspects of sampling strategy. vol. 3. 2006.
- [31] ANVISA Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RESOLUÇÃO-RE N899, de 29 de MAIO de 2003 - ANVISA - Guia de validação de métodos analíticos. Brasil: 2003.
- [32] Weng M, Zhu L, Yang K, Chen S. Levels and health risks of carbonyl compounds in selected public places in Hangzhou, China. *J Hazard Mater* 2009;164:700–6. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.08.094.
- [33] Cavalcante RM, Campelo CS, Barbosa MJ, Silveira ER, Carvalho T V., Nascimento RF. Determination of carbonyl compounds in air and cancer risk assessment in an academic institute in Fortaleza, Brazil. *Atmos Environ* 2006;40:5701–11. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.04.056.

- [34] Takigawa T, Saijo Y, Morimoto K, Nakayama K, Shibata E, Tanaka M, et al. A longitudinal study of aldehydes and volatile organic compounds associated with subjective symptoms related to sick building syndrome in new dwellings in Japan. *Sci Total Environ* 2012;417-418:61–7. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.12.060.
- [35] Seaman VY, Bennett DH, Cahill TM. Indoor acrolein emission and decay rates resulting from domestic cooking events. *Atmos Environ* 2009;43:6199–204. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.08.043.
- [36] Bari MA, Kindzierski WB, Wheeler AJ, Héroux M-È, Wallace L a. Source apportionment of indoor and outdoor volatile organic compounds at homes in Edmonton, Canada. *Build Environ* 2015;90:114–24. doi:10.1016/j.buildenv.2015.03.023.
- [37] Fenech A, Strlič M, Kralj Cigić I, Levart A, Gibson LT, de Bruin G, et al. Volatile aldehydes in libraries and archives. *Atmos Environ* 2010;44:2067–73. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.03.021.
- [38] Kim J, Kim S, Lee K, Yoon D, Lee J, Ju D. Indoor aldehydes concentration and emission rate of formaldehyde in libraries and private reading rooms. *Atmos Environ* 2013;71:1–6. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.01.059.
- [39] Marchand C, Bulliot B, Le Calvé S, Mirabel P. Aldehyde measurements in indoor environments in Strasbourg (France). *Atmos Environ* 2006;40:1336–45. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.10.027.
- [40] Torres C, Rosas I, Baez A, Padilla H. Carbonyl levels in indoor and outdoor air in Mexico City and 2003;302:211–26.
- [41] Clarisse B, Laurent a. M, Seta N, Le Moullec Y, El Hasnaoui a., Momas I. Indoor aldehydes: Measurement of contamination levels and identification of their determinants in Paris dwellings. *Environ Res* 2003;92:245–53. doi:10.1016/S0013-9351(03)00039-2.
- [42] Fromme H, Twardella D, Dietrich S, Heitmann D, Schierl R, Liebl B, et al. Particulate matter in the indoor air of classrooms-exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmos Environ* 2007;41:854–66. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.08.053.
- [43] Chithra VS, Shiva Nagendra SM. Chemical and morphological characteristics of indoor and outdoor particulate matter in an urban environment. *Atmos Environ* 2013;77:579–87. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.05.044.
- [44] Taner S, Pekey B, Pekey H. Fine particulate matter in the indoor air of barbeque restaurants: Elemental compositions, sources and health risks. *Sci Total Environ* 2013;454-455:79–87. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.03.018.
- [45] Wan MP, Wu CL, Sze To GN, Chan TC, Chao CYH. Ultrafine particles, and PM_{2.5} generated from cooking in homes. *Atmos Environ* 2011;45:6141–8. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.08.036.

- [46] Tran DT, Alleman LY, Coddeville P, Galloo JC. Indoor-outdoor behavior and sources of size-resolved airborne particles in French classrooms. *Build Environ* 2014;81:183–91. doi:10.1016/j.buildenv.2014.06.023.
- [47] Wallace L, Williams R, Rea A, Croghan C. Continuous weeklong measurements of personal exposures and indoor concentrations of fine particles for 37 health-impaired North Carolina residents for up to four seasons. *Atmos Environ* 2006;40:399–414. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.08.042.
- [48] Alvarez CE De, Casagrande B, Soares GR. Resultados alcançados com a implementação do plano diretor da Estação Antártica Comandante Ferraz. IV Encontro Nac. e II Encontro Latino-americano sobre Edif. e Comunidades Sustentáveis, Mato Grosso Do Sul, Brasil: UFMS; 2007, p. 1297–306.
- [49] Brasil Divisão de Atos Internacionais. Decreto nº 2.742 de 20 de agosto de 1998. BRASIL: 1998.
- [50] Venturini E, Vassura I, Ferroni L, Raffo S, Passarini F, Beddows DCS, et al. Bulk deposition close to a municipal solid waste incinerator: One source among many. *Sci Total Environ* 2013;456-457:392–403. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.03.097.
- [51] Buonanno G, Morawska L. Ultrafine particle emission of waste incinerators and comparison to the exposure of urban citizens. *Waste Manag* 2014. doi:10.1016/j.wasman.2014.03.008.
- [52] Mazzer DM, Lowenthal DH, Chow JC, Watson JG, Grubišić V. PM10 measurements at McMurdo Station, Antarctica. *Atmos Environ* 2001;35:1891–902. doi:10.1016/S1352-2310(00)00409-X.
- [53] Salonen H, Duchaine C, Mazaheri M, Clifford S, Morawska L. Airborne culturable fungi in naturally ventilated primary school environments in a subtropical climate. *Atmos Environ* 2014;106:412–8. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.07.052.
- [54] Salonen H, Duchaine C, Mazaheri M, Clifford S, Lappalainen S, Reijula K, et al. Airborne viable fungi in school environments in different climatic regions – A review. *Atmos Environ* 2015;104:186–94. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.01.012.
- [55] Lehtonen M, Reponen T, Nevalainen A. Everyday activities and variation of fungal spore concentrations in indoor air. *Int Biodeterior Biodegradation* 1993;31:25–39. doi:10.1016/0964-8305(93)90012-Q.
- [56] Kalogerakis N, Paschali D, Lekaditis V, Pantidou a., Eleftheriadis K, Lazaridis M. Indoor air quality - Bioaerosol measurements in domestic and office premises. *J Aerosol Sci* 2005;36:751–61. doi:10.1016/j.jaerosci.2005.02.004.
- [57] Boechat JL. Presença de endotoxinas, fungos e ácaros em prédios de escritórios no Rio de Janeiro e sua influência na prevalência dos sintomas de asma, rinite, atopia e síndrome do edifício doente. Tese de doutorado. Faculdade de Medicina. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

- [58] Bardana EJ. Indoor air quality and health does fungal contamination play a significant role? *Immunol Allergy Clin North Am* 2003;23:291–309. doi:10.1016/S0889-8561(02)00081-4.
- [59] Kawasaki T, Kyotani T, Ushioji T, Izumi Y, Lee H, Hayakawa T. Distribution and identification of airborne fungi in railway stations in Tokyo, Japan. *J Occup Health* 2010;52:186–93. doi:10.1539/joh.O9022.
- [60] Flannigan B. Air sampling for fungi in indoor environments. *J Aerosol Sci* 1997;28:381–92. doi:10.1016/S0021-8502(96)00441-7.
- [61] Shi C, Belisle D, Miller JD. Quantification of the *Aspergillus versicolor* allergen in house dust. *J Immunol Methods* 2011;372:89–94. doi:10.1016/j.jim.2011.06.034.

5.2 Artigo 2: “*Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic Research Station*”

Submetido a revista *Environmental Monitoring and Assessment* o artigo “*Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic Research Station*” investiga o material particulado coletado no ar interno a EACF e identifica suas principais fontes. Os principais objetivos deste artigo foram: (i) investigar a distribuição granulométrica de partículas de interiores em uma estação de pesquisa na Antártida, (ii) examinar o número e concentração em massa das partículas no interior da edificação, (iii) comparar as concentrações encontradas com os limites máximos de exposição estabelecidos pelas leis brasileiras e internacionais; (iv) fazer a análise química (composição elementar e *Black Carbon* - BC) e morfológica do PM_{2.5} (v) para identificar as possíveis fontes de PM.

Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic Research Station

Érica Coelho Pagel^{a,b,*}, Neyval Costa Reis Jr.^a, Cristina Engel de Alvarez^b, Jane Méri Santos^a, Melina Moreira Conti^c, Ricardo Salvador Boldrini^c, Américo Sansigolo Kerr^d

^a Department of Environmental Engineering, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari 514, 29.060-910 Vitória, ES, Brazil

^b Department of Architecture and Urbanism, Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari 514, 29.060-910 Vitória, ES, Brazil

^c Instituto Federal do Espírito Santo, IFES, Av. Vitória 1729, 29.040-780 Vitória, ES, Brazil

^d Institute of Physics, Universidade de São Paulo, P O Box 66318, 05314-970 São Paulo, SP, Brazil

* Corresponding author. Fax.: + 55 27 33352177.

e-mail address: erica.pagel@gmail.com (E.C. Pagel)

Abstract

Many studies have been carried out on the environmental impact of the research stations on the Antarctic continent. However, the assessment of indoor air quality in these confined environments has been neglected. The main objectives of this study are to investigate the granulometric distribution of the indoor particles in the different compartments of the Brazilian Antarctic Station; to examine the number and mass concentration of the indoor particles; to conduct chemical and morphological analyses of the indoor PM_{2.5}; and to identify the possible sources of the PM. The results showed that Na, K, Cl, Fe, Zn, S and Si were the main elements detected. High levels of black carbon were recorded in the workshop, which may be associated to the use of diesel vehicles. To identify the human activities related to the indoor particle emission in the station, the size distribution of the particles in the living room was monitored for seven consecutive days, during normal station operation. It was possible to identify the influence of individual processes, such as incineration, cooking and the movement of people, upon the particle size number concentration. The I/O ratio for the TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ measured were significantly larger than those reported for urban buildings. In general, the I/O ratio distribution for all the compartments shows peak values between 2.5 μm and 10 μm, which is often related to human activity, such as cleaning, personnel circulation or clothing surfaces. The maximum I/O ratio at this range varied from 12 to 60. In addition, the compartments affected by combustion processes tend to present a significant number of submicron particles.

Keywords: *Particulate matter; indoor particles; indoor air quality; Antarctic station*

1. Introduction

The Antarctic hosts the world's largest protected area. Its distance from potential sources of pollution raises scientific interest in quantifying the impact of anthropogenic activities away from the competitive influences found in large urban centres. A number of governments maintain permanent research stations in Antarctica. The extreme climate in this continent has led to the development of architectural designs of enclosed structures that provide both shelter and logistical support to the researchers. However, the potential sources of air pollution originating from the functioning of the buildings and human activities can influence the composition of the local atmosphere in the long term (Mishra et al. 2004).

A number of studies have analysed the mass concentration and chemical composition of outdoor particles in the Antarctic (Pereira et al. 1992; Mishra et al. 2004; Pant et al. 2011; Teinilä et al. 2014). For instance, Mazzera et al. (2001) measured the black carbon concentration downstream from the North-American station during the summer and found concentrations twice as high as the measurements carried out in remote coastal areas in Antarctica. In spite of the importance of the indoor air quality in Antarctic buildings, indoor particles have not yet been a focus of attention.

The presence of particulate matter (PM) is associated with short-term health effects, such as irritation of the eyes, nose, and throat; headaches; dizziness; and fatigue, contributing to various respiratory and cardiovascular problems (Annesi-Maesano et al. 2007) and symptoms of the Sick Building Syndrome, which are particularly important for Antarctic buildings, since people may spend long periods indoors due to extreme weather conditions. Generally, fine particles inflict high levels of toxicity mainly due to the interaction of these particles with lung cells (Godish 2003), which indicates the importance of identifying the granulometric distribution of airborne particles, as well as the chemical composition of fine particles (Calvo et al. 2013).

Indoor particle concentration is a combination of outdoor particle infiltration and particle generation by internal sources (Santos et al. 2011). A number of human activities, such as cooking and cleaning, cigarette smoking, conducting and parking vehicles, using cosmetics, toiletries, candles and heating systems have been found to contribute to an increase in the concentrations of indoor particles (Buonanno et al. 2013; Géhin et al. 2008; Gupta et al. 2008; Uhde et al. 2015). At urban environments, naturally-ventilated buildings present

indoor/outdoor concentration ratios (I/O) for PM₁₀ and PM_{2.5} (particulate matter smaller than 10 µm and 2.5 µm, respectively) ranging from 0.5 to 0.98 and 0.54 to 1.08, respectively, in the absence of indoor sources (Morawska and Salthammer 2003). When indoor sources are present, I/O ratios for PM₁₀ and PM_{2.5} range from 1.14 to 3.91 and 1 to 2.4, respectively (Morawska et al. 2013). These ratios may be considerably larger for Antarctic stations because a general characteristic of these edifices is the focus on energy efficiency, mainly regarding energy consumption and thermal comfort. Indoor air quality is not a matter of significant concern during building planning, especially for the older stations.

The present study is the first to investigate particulate matter within an Antarctic research station and the air quality level due to this pollutant. The main objectives of this study are (i) to investigate the granulometric distribution of indoor particles in a research station in the Antarctic, (ii) to examine the number and mass concentration of the indoor particles, (iii) to compare the concentrations found with the maximum exposure limits established by Brazilian and international laws, (iv) to conduct analysis of the chemical (elemental composition and black carbon – BC content) and morphological analysis of the indoor PM_{2.5} and (v) to identify the possible sources of the PM.

2. Methods

2.1 The research station in the Antarctic

The Brazilian Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF) is located in Admiralty Bay on King George Island at 62°05' N; 58°24' W and is populated by a group of approximately 65 people, consisting of both civilians and military personnel, who are permitted to stay in the station for periods ranging from one month to one year. The EACF was founded in 1984 and consisted of eight metal containers measuring 150 m² to accommodate up to 12 people. It underwent extensive renovation, and by 2012, the surface area was approximately 2500 m². In some compartments, which benefited from air heating systems, where windows exist, they normally were used to refresh the recycled indoor air (subjected to weather conditions). A fire destroyed a large part of the station in February 2012, and a new building will be constructed. Therefore, this study also intends to supply information to support the design of the new buildings to help reduce the sources of indoor air pollution and improve indoor air quality.

Figure 1 shows a schematic representation of the station, indicating the sampling points for the field experiment. The station is divided in two large environments consisting of (i)

conditioned compartments and (ii) unconditioned compartments. The conditioned compartments are the living quarters of the station personnel, encompassing the dormitories, gym, library, living room, kitchen, and bathrooms. The unconditioned compartments are the service and utilities areas, which include the station maintenance workshop, energy generation, incinerator, garage, storage and a transition area between the operating sectors (TA). While the conditioned areas have heating, the unconditioned areas have only basic protection from the outside weather (no temperature control). This arrangement is very common in Antarctic stations in general because the severity of the weather, especially during winter, restricts the movement between buildings. Thus, service areas are usually linked by a protected covered environment (TA), while living quarters and laboratories are conditioned environments. Another general characteristic of the Antarctic stations is the focus on the energy efficiency of the edifice, mainly regarding energy consumption and thermal comfort. Indoor air quality is not a matter of significant concern, especially for the older stations, such as the EACF.

Field experiments were conducted between 13 January and 3 February 2012, during the Antarctic summer when there is maximum station occupancy. Particles were measured in three outdoor sites and at nine compartments, which were occupied for longer periods of time and contained potential sources of air pollution (Figure 1). The sampling sites were grouped as follows: (i) conditioned compartments, consisting of two spaces used by all occupants (living room and library), spaces for private use (arsenal group dormitory - AGD, bedrooms 10 and 21); (ii) unconditioned compartments consisting of four service areas (workshop, incinerator area, garage and transition area between the operating sectors - TA) and (iii) outdoor sites, consisting of three monitoring points known as 'outstation I' (13.5 m from the front east side of the station), 'outstation II' (6.0 m from the rear west side of the station) and 'refuge II' (5 km away from the EACF).

In addition to particle measurements, a field log book was made available to residents in each site to register their daily activities. Furthermore, residents completed a questionnaire based on EN ISO 16000-1/2006 for indoor air quality assessment (The European Standard 2006).



Figure 1. Schematic floor plan of the EACF indicating the sampling sites

2.2 Sampling techniques

Indoor and outdoor particles were analysed using an Optical Laser Aerosol Spectrometer (LAS - Dust Monitor 1.109, Grimm Technologies, Germany) that measures 31 particle sizes ranging from $0.25 \mu\text{m}$ to $>32 \mu\text{m}$ at a 1 min frequency. This spectrometer works at a constant air flow rate controlled by a pump previously calibrated at $1.2 \text{ L/min} \pm 5\%$ and gives the mass and number concentration of the particles distributed by diameter. The temperature, humidity and air velocity were also measured. For the indoor areas, the measurements were carried out during 24 hours in all compartments, except in the living room where particles were monitored for seven consecutive days, as it was the most frequently used area within the station. For the outdoor areas, the monitoring periods depended on the weather conditions; particles were monitored in outstation I during 7 hours and 2 hours in Refuge II. The measurements were not conducted simultaneously in all outside and inside sampling sites.

In addition, $\text{PM}_{2.5}$ sampling for the chemical and morphological analyses was carried out using two MiniVol portable particulate samplers (Minivol, Airmetrics, USA) using Teflon filters (Whatman International Limited, USA). These samplers were placed 1.5 m high and operated for a period of 24 hours, except in the living room and outstation I where samplings were performed simultaneously for seven consecutive days. Wherever possible, for indoor

areas, the samplers were located at the centre of the compartments (The European Standard 2006). A total of 43 samples and five field-control samples, as well as five laboratory-control samples were collected.

2.3 Chemical and morphological analyses

The chemical composition of the PM_{2.5} was determined by an energy dispersive X-ray spectrometer (EDX 700 HS, Shimadzu), which detects and quantifies elements with atomic numbers from 11 to 82. The concentration was measured using a smoke stain reflectometer (Diffusion Systems Ltd., Model 43), which relates the amount of light reflected by the filters with its BC contents (the calibration curve was defined empirically as recommended by Loreiro et al. (1994) and was also used by Albuquerque et al. (2012)).

The morphological analyses were performed using a low-vacuum scanning electron microscope with individual-particle X-ray analysis – SEM/EDX (ZEISS, EVOMA10) at a saturation current of 2.5 A. The particles were identified using AZtecEnergy software (Oxford Instruments). The filters were cut to approximately 1 cm², placed in a sample holder, and coated in a thin gold layer to a thickness of approximately 20 nm using an Argon plasma sputter (Quorum Q150R ES) to avoid impairment due to electrostatic charges during image scanning.

3. Results and discussion

The results presented in this paper are divided in three main sections. Section 3.1 presents chemical and morphological characterization of the particles found, discussing a probable origin of each type of particle. Section 3.2 presents the size distribution, number and mass concentration of the particles (TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁) at each compartment, and relates the values measured to the occupation, activities and/or building materials of the station. Finally, Section 3.3 presents the concentration time series of a commonly-used compartment (living room), discussing the daily evolution of the particles concentration and size distribution based on the compartment use.

3.1 Chemical and morphological characterization of fine particles

Figure 2 shows a few images SEM/EDX of the more frequent types of particles found in the samples. Figures 3 and 4 present the concentration of each element and the BC found in the PM_{2.5} samples collected. The results show that elements such as Na, Si, S, Cl, K, Ca, and Fe are the main elements found in PM_{2.5} inside and outside the station. Na and Cl are most

likely from the sea, while the other elements are commonly associated with the re-suspension of particles from soil of geological origin, building materials or combustion processes.

The dominant Na and Cl concentrations shown in Figure 3 were found in most of the samples and indicate a strong influence of the station's proximity to the sea. The SEM/EDX of the filters show several salt particles in the collected samples (Fig. 2e).

There is also a significant presence of Fe in the particles inside and outside the station (Figure 2c). The living room and the workshop presented the highest mean concentrations of Fe. In the Antarctic region, Fe may be originated by soil erosion and, especially, by intense corrosive process of the metal containers in the station (Alvarez et al. 2007). These values of the Fe concentrations are half of those found by Chithra and Shiva Nagendra (2013), for instance, in indoor areas located in large urban region (approximately 4.68 million residents). In Outstation II, the concentrations of Fe ($0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were higher than in the other two external points, and this could be related to the maintenance work carried out at the back of the station during the monitoring campaign. No Fe concentration was detected 5 km away from the EACF (Refuge II), indicating the impact of the station upon the local Fe concentration.

As suggested by Weinstein et al. (2010), S is likely related to emissions from burning fuel oil in vehicles and the exhaust of diesel machines; therefore, it can be considered as a good marker for particles emitted outdoors and infiltrated in buildings in urban areas. A similar trend was observed at EACF, where S was found in all compartments. In EACF, all heating and electricity depends on diesel power generators and boilers. In fact, the highest mean concentration of S ($0.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$) was found in the workshop, probably related to the proximity with the diesel power generators and the diesel vehicle traffic in this area. Outside the EACF, the S concentrations in the close vicinity of the Station (outstation I and II) were nearly two times higher than the value found in Refuge II.

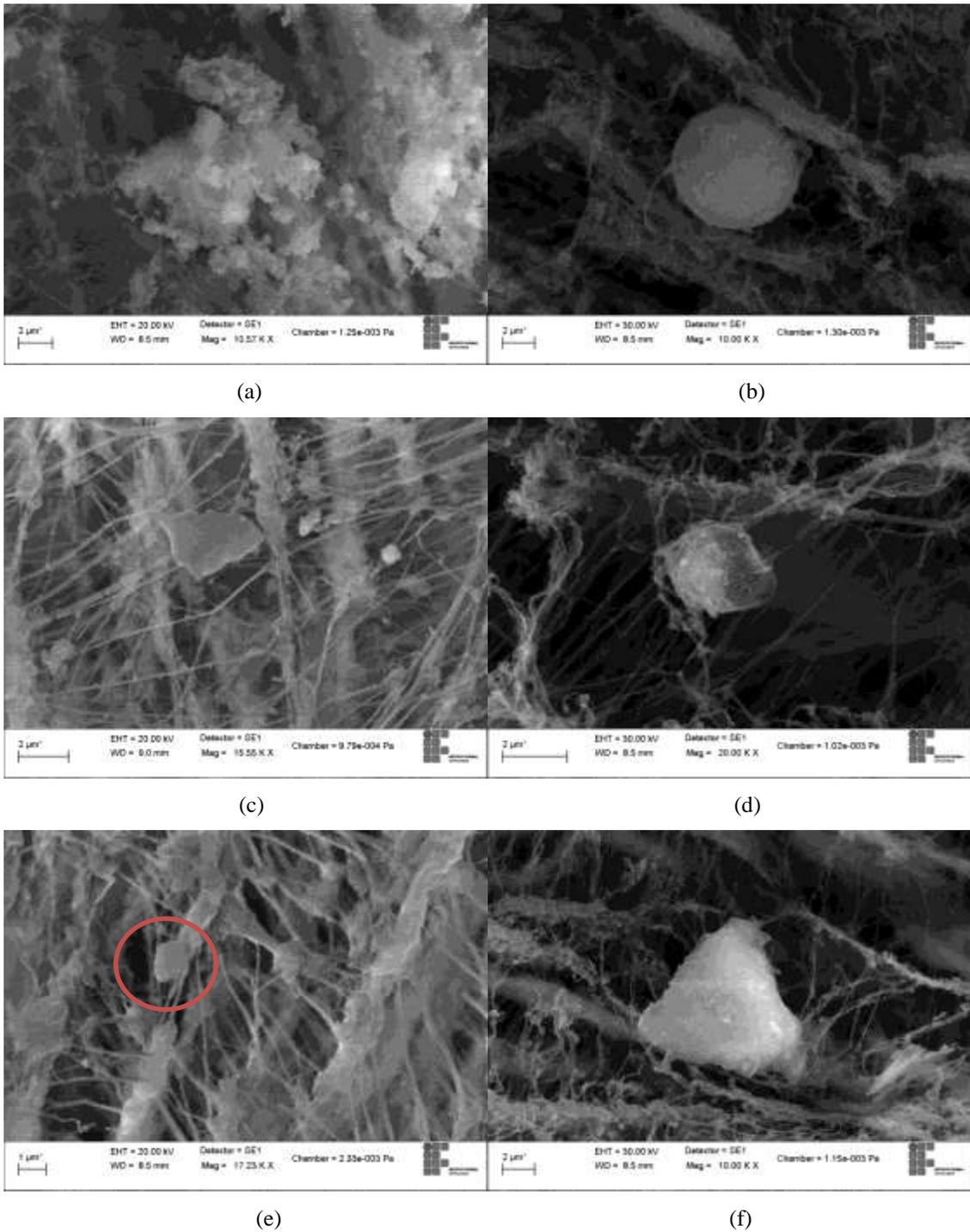


Figure 2. SEM/EDX images of indoor PM_{2.5} that show (a) agglomerates and (b) spherical particles and other morphologies of particles containing: (c) iron, (d) zinc, (e) sea salt and (f) silicates

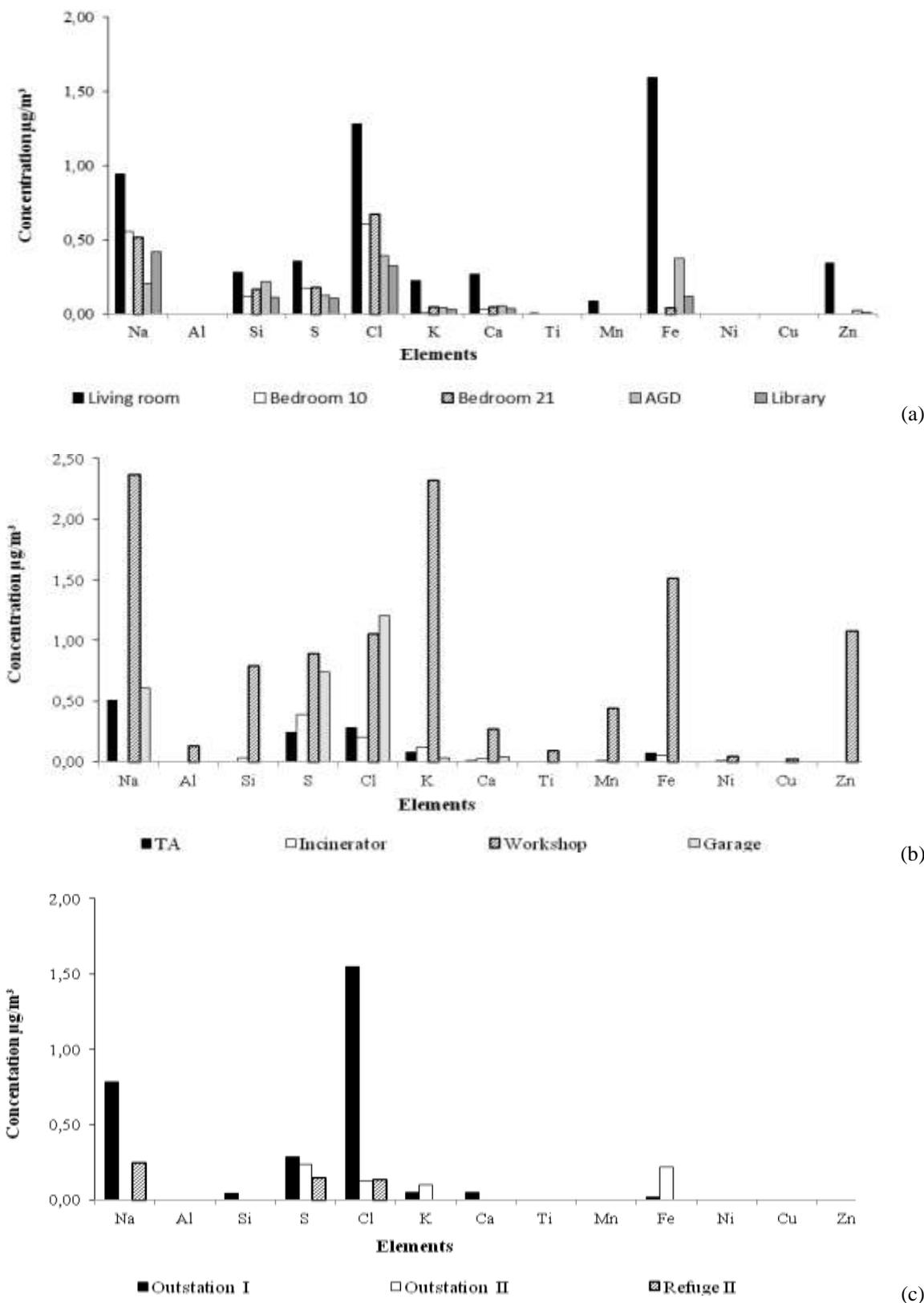


Figure 3. Mean concentrations of major chemical elements found in the (a) conditioned and (b) unconditioned compartments and (c) external sites

A significant concentration of fine Zn particles (Figure 2d) was found in several building compartments. Zn is mainly found in the particles smaller than 0.5 µm (Seinfeld and

Pandis 2006) and can originate from cigarette smoke (Viana et al. 2011) and waste incineration (Li 1994). In addition, dust from paint is another likely source of Zn (Huang et al. 2010), which may represent a significant contribution because the external and internal metal walls of the Station had been recently painted with a solvent-based paint. The highest concentrations of this element were found in the workshop and in the living room (1.07 and 0.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively).

BC is an important marker of vehicular and combustion sources. A significant presence of BC was found in only 19 of the 43 samples analysed (Figure 4). The highest concentrations were detected in the unconditioned compartments, which are mainly related to service areas (garage, workshop, the incinerator area and the transition area between the operating sectors - TA). The highest concentrations of BC were found in the garage and in the workshop (7.61 and 4.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively), showing the influence of the vehicles and the proximity of the diesel power generators on the particle concentration. Significant concentrations were also found in the incinerator area and in the TA, which is characterized by the intense circulation of personnel and light vehicles. No significant presence of BC was found in the conditioned compartments, except the living room. This fact may be related to infiltration from the TA.

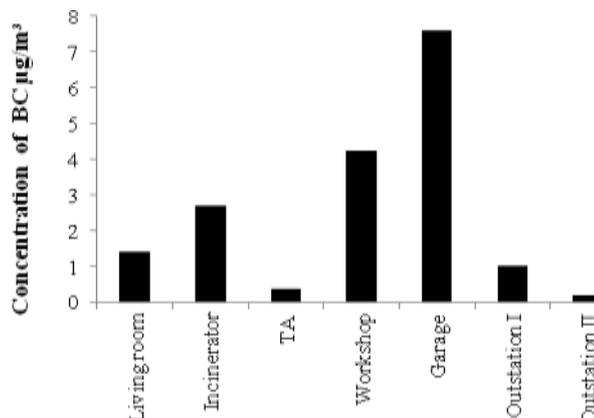


Figure 4. 24 h-mean mass concentrations of BC in different monitoring sites

The BC concentrations in the close vicinity of the station was significantly lower than the values found in the service areas of the station (unconditioned compartments), which indicates the need for more appropriate ventilation in these areas. The BC concentration at the point located 5 km away from the EACF (Refuge II) was not detectable.

3.2. Size distribution, number and mass concentration of particles

Figure 5 shows the 24 h-mean number concentration, temperature and humidity inside and outside the EACF. The number concentrations shown in Figure 5 were not taken

simultaneously because the measurements were performed on different days in each compartment. Nonetheless, all the compartments were monitored during the normal operation conditions of the Station. The 24 h-mean temperature recorded in the conditioned and unconditioned areas was 25.9°C and 8.6°C, respectively. As expected, the 24 h-mean relative humidity was lower in the conditioned areas (26.9%) than in the unconditioned ones (53.8%).

In general, the conditioned compartments present a smaller number of particles than the unconditioned compartments. In addition, the number of particles indoors is significantly greater than the number of particles outdoors, indicating that the generation of particles indoors from various processes is likely more important than the infiltration of particles from the outside. Likewise, the number of particles in the close vicinity of the station (Outstation I = 52.7 particles/cm³) is considerably larger than the number of particles found 5 km away from the EACF (Refuge II = 18.6 particles/cm³), demonstrating the local impact of the station.

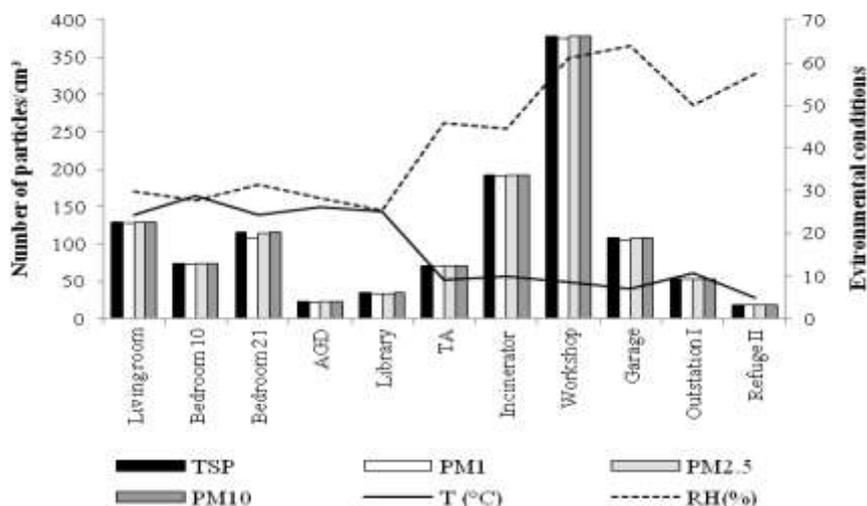


Figure 5. 24 h-mean number concentration of particles in various areas inside and outside the EACF and indoor environmental conditions

Among the unconditioned compartments, the Workshop and Incinerator present the largest number of particles. Workshop-related activities, such as welding, painting, sawing and the transit of vehicles and people, contribute to an increase in the number of particles in this area. The large number of particles in the area of the incinerator may indicate that, although the incinerator is equipped with a gas treatment device for the exhaustion of gasses, fugitive emissions are still significant.

The number of particles in the TA is smaller than in the other unconditioned areas. In spite of the emissions in the other service areas and the circulation of personnel and light vehicles, the gates were kept open during the daytime in the summer, which contributes to the

infiltration of clear air from outdoors, and also tends to reduce particle number concentration in the garage.

Among the conditioned compartments, the living room presented the largest concentration number, which is likely related to the more intense activities of the station personnel in this area, including recreation, dining and socialization. In addition, the living room is integrated with the kitchen, which is one of the most important sources of particles, because cooking is often one of the main sources of indoor particles, especially submicron particles (He et al. 2004; Wan et al. 2011). On the other hand, the library presented the smallest concentration number among the conditioned compartments, which can be attributed to the type of usage of the compartment.

Although the function of the personnel accommodations, Bedroom 10, Bedroom 21 and AGD, is similar, the 3 compartments exhibit a very different concentration number of particles; the profile of the occupants significantly changes the particles emission in the compartment. While Bedroom 10 and Bedroom 21 house only two people, AGD houses twelve people. The accommodation areas are used during non-working hours and are therefore unoccupied throughout most of the day. The high concentration of PM in bedroom 21 is likely related to the specific activities of hygiene and personal care, including the intensive use of spray products (as recorded in the field log book). Isaxon et al. (2015) indicate the use of spray products as one of the most intense sources of submicron particles.

The differences between compartments can be better understood by examining Figure 6, which presents the size distribution of the I/O ratio, i.e., the number of particles found at each size range for a given compartment divided by the average number of particles found at each size range outdoors (in the close vicinity of the station – Outstation I). The I/O ratio is greater than one for almost all of the size groupings (Figure 6a). For all three compartments, there is a peak of the I/O ratio for particles between 2.5 μm and 10 μm , indicating an intense emission of particles at these size ranges. Earlier studies have reported that resuspended material observed indoors during human activity are characterized by a predominant emission of particles greater than 1 μm , such as indoor work, cleaning (Abt et al. 2000) and clothing surfaces (McDonagh and Byrne 2014). These findings are fairly consistent with the distribution presented in Figure 6a.

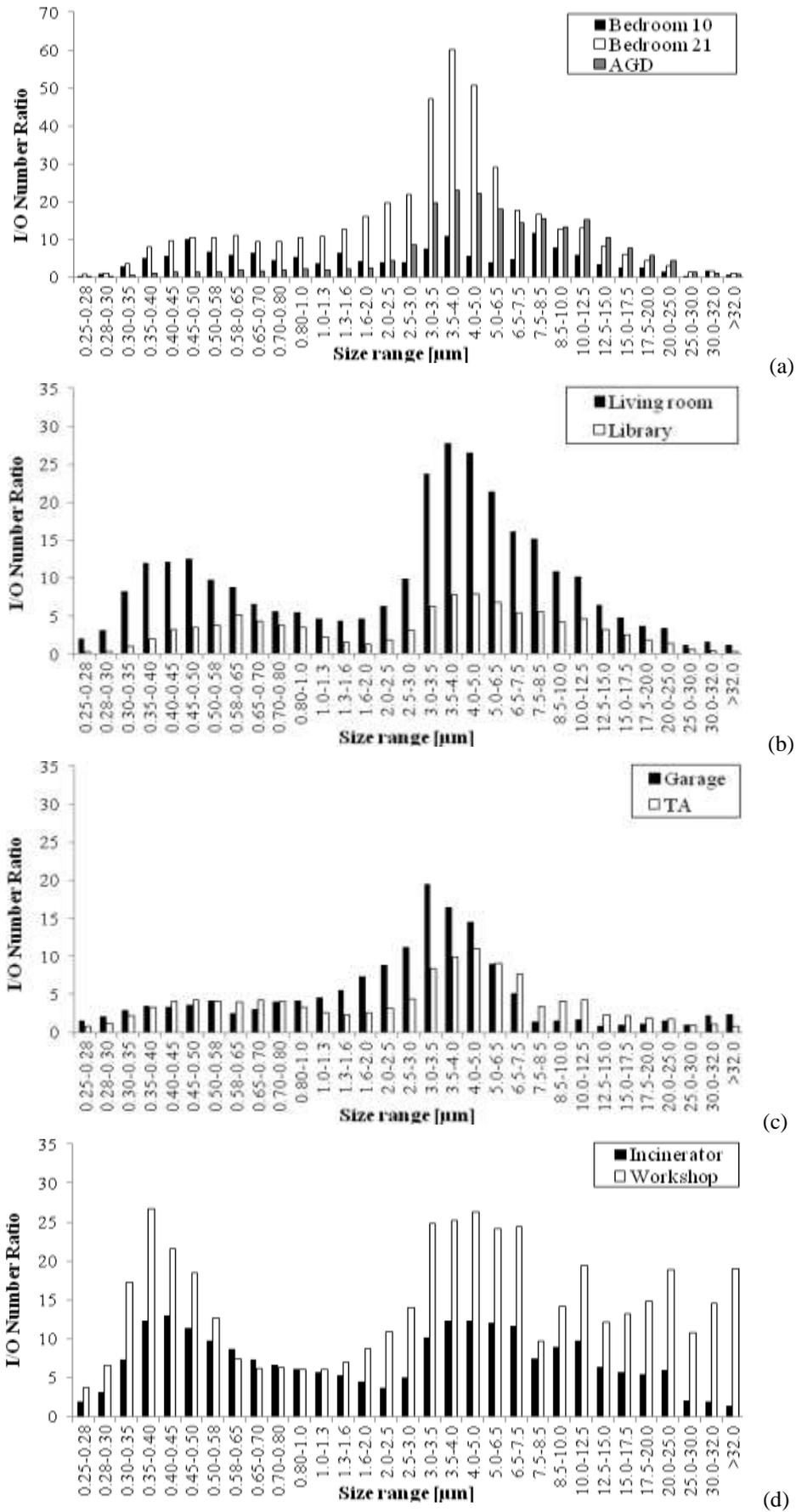


Figure 6. Size distribution of the I/O number ratio of particles: (a) Bedroom 10, Bedroom 21 and AGD, (b) living room and library, (c) garage and TA and (d) incinerator and workshop

The I/O ratio distribution for the other conditioned compartments (living room and library), shown in Fig. 6b, is very different from the pattern for Bedroom 10, Bedroom 21 and AGD. Although particle resuspension is important in the living room, which is indicated by an I/O ratio peak between 2.5 μm and 10 μm , there is also a considerable particle emission in the submicron range. The living room is adjacent to the kitchen, which is one of the most important sources of particles on the submicron particles (He et al. 2004; Wan et al. 2011).

For the unconditioned compartments, the I/O ratio distribution is also dependent on the type of activity. The TA and Garage present distributions characterized by a single peak between 2.5 μm and 10 μm (Fig 6c), likely related to particle resuspension due to people and vehicle activity. There is a slight increase of submicron particles centred approximately at 0.5 μm , which is probably related to the internal combustion engines of the vehicles.

At the workshop and incinerator area, the I/O ratio peaks for the larger particles (peak between 2.5 μm and 10 μm) are as important as the I/O ratio peaks for the submicron particles. For both compartments, the submicron particle generation is very important. At the incinerator area, the emission is due to solid waste manipulation (larger particles) and the fugitive emission from combustion (submicron particles). The manufacturing and maintenance processes performed at the workshop generate a wide distribution of particles, ranging from submicron to very large particles ($> 10 \mu\text{m}$). The former emissions are related to welding and the combustion of oxyacetylene torches, and the latter is likely related to mechanical processes, such as metal cutting and carpentry.

Figure 7 shows the mass concentration distribution for particle sizes for each compartment. For the conditioned compartments most of the particle mass is in the range between 1 μm and 25 μm . Although Bedroom 10, Bedroom 21 and AGD (Fig 7a) present a similar trend, Bedroom 21 presents a distribution more biased to the smaller particles, while AGD presents a distribution more biased to the larger particles; these trends are probably related to the reported use of spray products and the circulation of the larger number of occupants, respectively.

The unconditioned compartments present distributions with the significant presence of even larger particles in relation to the conditioned compartments. These compartments are characterized as services areas, where the emission pattern is less related to human household activity and more linked to the nature of the services performed. For instance, the garage and TA show a significant presence of particles larger than 10 μm due to vehicle traffic.

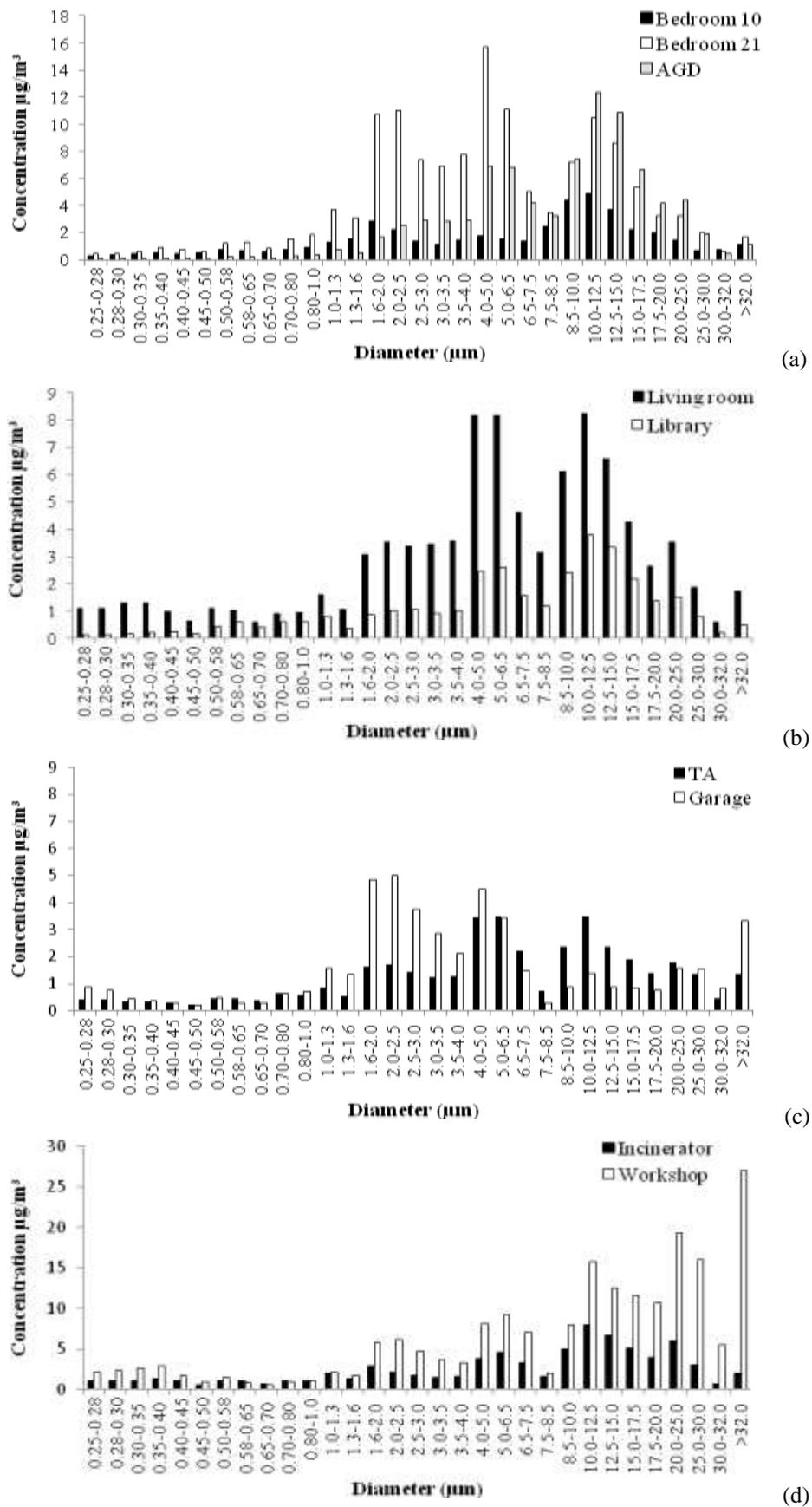


Figure 7. Mass concentration distribution for particle sizes: (a) Bedroom 10, Bedroom 21 and AGD, (b) living room and library, (c) garage and TA and (d) incinerator and workshop

Figure 8 presents the mass concentration of TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ for each compartment. The I/O ratio for TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ ranges from 2.4 to 14.2, 3.2 to 17.9, 1.8 to 10.4, and 0.98 to 8.9, respectively. These values are significantly larger than those reported for urban buildings (Morawska and Salthammer 2003; Morawska et al. 2013).

The mean mass concentrations found were compared with the maximum indoor exposure limits for PM as established by national (Brazilian) and international legislation (Figure 8). The Brazilian air quality standard establishes a limit of 80 µg/m³ for the 24 h-mean concentration of TSP (ANVISA 2003), which was exceeded in the living room, bedroom 21, AGD and workshop. Regarding WHO guidelines (WHO 2010), the limit for PM₁₀ was exceeded in the living room, bedroom 21 and workshop. However, in comparison with the limits established by the standards in the USA (NAAQS/EPA 2012) and Portugal (SCE 2009), (both limits are 150 µg/m³ for 24 h-mean concentration), no compartment exceeded the recommended standard.

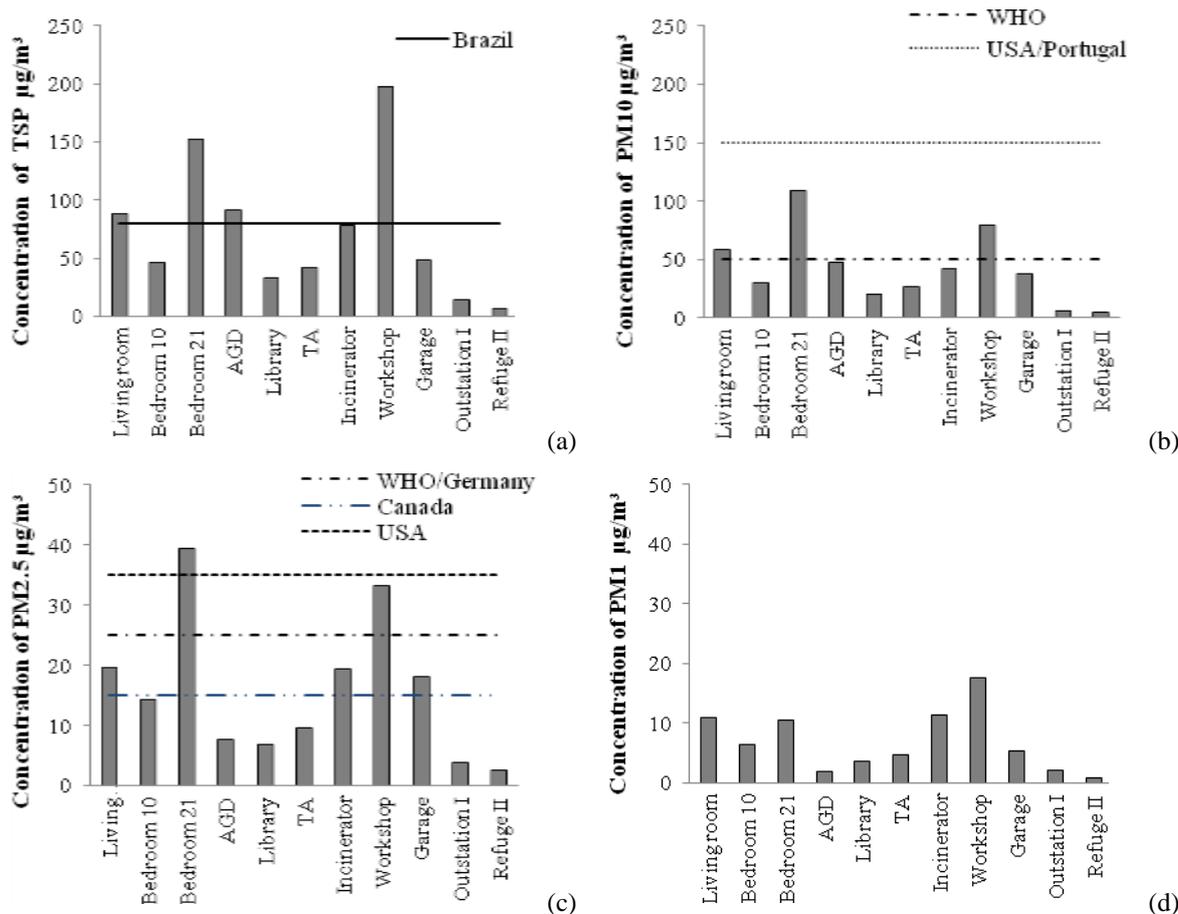


Figure 8. Comparison between the 24 h-mean concentrations of: (a) TSP, (b) PM₁₀, (c) PM_{2.5}, and (d) PM₁ and indoor air quality standards in various countries and WHO guidelines

For PM_{2.5}, certain countries use the 24 h-mean concentrations of PM_{2.5} to address indoor air quality. Canada, for instance, adopts limits of 15 µg/m³ and 35 µg/m³ as indoor air quality

standards for non-smoking and smoking environments, respectively (Health Canada 2014). The USA adopts $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as the limit values, while the German standard and WHO guidelines indicate 24 h-mean concentration of $\text{PM}_{2.5}$ as $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. During the monitoring period, only one compartment exceeded the $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ limit (bedroom 21), two compartments exceeded the $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bedroom 21 and workshop) and five compartments exceeded the $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (living room, bedroom 21, incinerator, workshop and garage).

3.3. Concentration time series of a common use compartment

To identify the human activities related to the indoor particle emission in the station, the size distribution of the particles in the living room was monitored for seven consecutive days, during normal station operation. Table 1 presents a summary of the number and mass concentration of the PM and the environmental conditions in the living room recorded during the experiment. The monitoring conducted on 21 January 2012 was excluded from the evaluation due to the use of a fog machine during a social gathering in the room.

Table 1. Measurement data obtained by LAS in the living room

Sampling time	Number of particles/cm ³ (st.d.)				Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (st.d.)				Environmental conditions (st.d.)		
	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	PM ₁	PM _{2.5}	PM ₁₀	TSP	T (°C)	RH (%)	Air Velocity (m/s)
01/15/2012 Sunday 00:00-23:59	70.58 (90.18)	72.16 (90.32)	72.46 (90.36)	72.47 (90.36)	4.54 (4.53)	11.46 (7.07)	40.43 (21.68)	77.22 (49.18)	24.54 (1.39)	25.59 (3.46)	0.0023 (0.0023)
01/16/2012 Monday 00:00-23:59	92.34 (126.97)	93.67 (127.15)	94.00 (127.21)	94.01 (127.21)	4.41 (4.42)	10.49 (6.73)	39.05 (20.60)	62.87 (35.90)	24.51 (1.55)	25.67 (4.53)	0.0024 (0.0028)
01/17/2012 Tuesday 00:00-23:59	194.44 (306.35)	196.58 (307.23)	197.05 (307.36)	197.06 (307.36)	10.86 (17.66)	19.56 (23.05)	58.92 (97.75)	88.64 (134.54)	24.23 (0.99)	29.84 (4.18)	0.0028 (0.0028)
01/18/2012 Wednesday 00:00- 3:59	226.33 (336.86)	228.54 (336.77)	228.81 (336.79)	228.82 (336.79)	11.57 (12.35)	20.12 (12.53)	42.84 (19.47)	65.80 (32.60)	25.19 (2.17)	28.90 (4.63)	0.0024 (0.0023)
01/19/2012 Thursday 00:00-23:59	93.61 (182.79)	95.24 (183.17)	95.53 (183.18)	95.54 (183.18)	5.71 (8.64)	12.49 (10.55)	37.78 (21.56)	62.13 (37.41)	24.77 (1.43)	27.95 (2.91)	0.0032 (0.0032)
01/20/2012 Friday 00:00-23:59	85.49 (109.95)	86.80 (110.57)	87.11 (110.67)	87.12 (110.67)	4.42 (4.77)	10.27 (9.64)	39.18 (28.33)	65.21 (45.86)	24.73 (1.54)	26.46 (4.57)	0.0024 (0.0031)
01/21/2012 Saturday 00:00-13:59	2617.43 (4931.27)	2842.57 (5400.95)	2847.92 (5411.26)	2847.94 (5411.28)	405.68 (804.14)	1279.69 (2816.6)	1466.41 (3180.7)	1521.63 (3211.8)	23.14 (1.48)	31.53 (3.93)	0.0032 (0.0042)
Mean *	127.13	128.83	129.16	129.17	6.92	14.06	43.03	70.31	24.66	27.40	0.00
Min *	70.57	72.15	72.46	72.47	4.41	10.27	37.78	62.12	24.23	25.59	0.00
Max *	226.32	228.54	228.81	228.81	11.57	20.12	58.92	88.64	25.19	29.84	0.00
SD *	65.78	66.14	66.16	66.16	3.37	4.54	7.97	10.51	0.32	1.76	0.00

* statistical parameters calculated considering 6 days from 00:00 on Sunday to 23:59 on Friday (does not include data from Saturday)

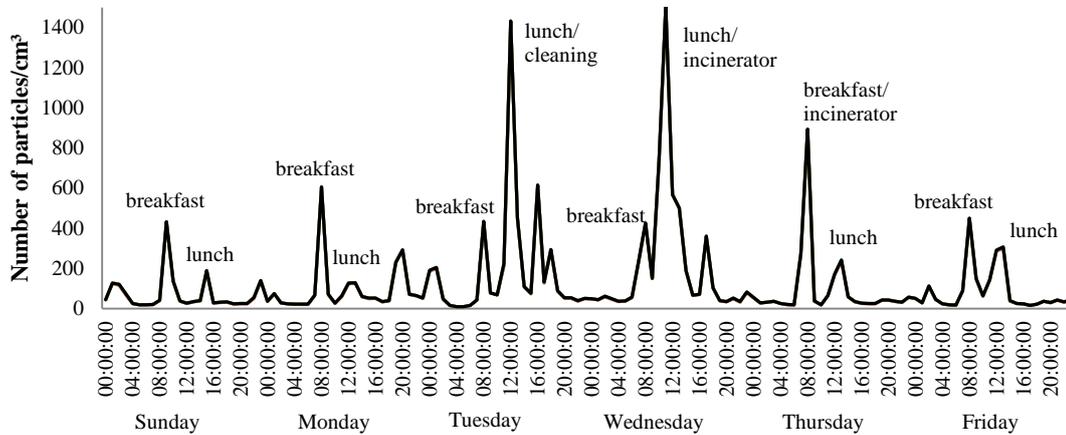
The mean temperature in the living room was 24.66°C and the relative humidity was 27.40%, due to an air heating system. Low relative humidity (between 20% and 30%) can cause allergic and respiratory complications due to the dryness of the mucous membranes, nosebleeds, dry skin and eye irritation, especially when associated with poor air quality (Wolkoff and Kjærgaard 2007).

The highest maximum hourly-mean mass concentration of TSP occurred on Tuesday (685.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) while the living room was being cleaned from 11:00 to 12:30, which likely led to a large amount of dust being released and suspended. This activity is performed in the common areas of the station once a week by all the occupants. Several studies relate PM suspension to occupants' movements and to cleaning activities (Wallace et al. 2006; Qian et al. 2014). The highest maximum number concentration of TSP was recorded on Wednesday, followed by Tuesday and Thursday. On Wednesday and Thursday, the high reading was attributed to use of the waste incinerator for several hours. The incinerator is located at a considerable distance from the living room, but its effect was still noticeable.

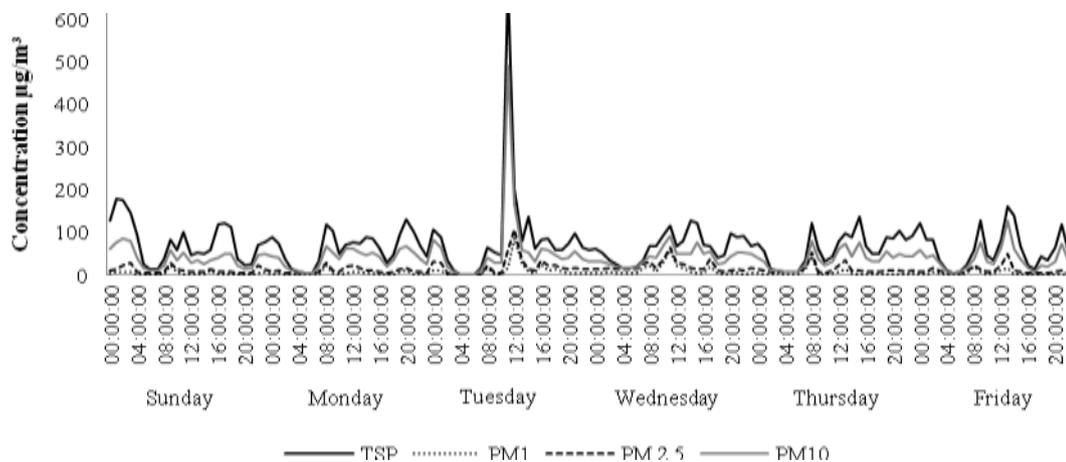
The largest 24 h-mean mass concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_1 were found on Wednesday (20.12 and 11.57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively), followed by Tuesday and Thursday. On the other hand, the highest PM_{10} 24 h-mean mass concentration (58.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) was found on Tuesday, the cleaning day, followed by Wednesday when the incinerator was run for twelve hours. Similarly, the largest 24 h-mean number concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_1 were found on Wednesday (228.54 and 226.33 particles/ cm^3 , respectively), followed by Tuesday and Thursday. However, the highest PM_{10} 24 h-mean number concentration (228.81 particles/ cm^3) was also found on Wednesday followed by Tuesday.

Therefore, it is evident that the fine particles generated by the incineration contributed to the high number concentration of PM in the living room on Wednesday. The fine particles prevail in high numbers, but due to their small sizes they represent only a small percentage of the total mass of PM (Seinfeld and Pandis 2006). In addition, a smaller particle can travel a longer distance and stay suspended for a longer period than a large particle, thereby reaching the living room and infiltrating other compartments. The cleaning activities (sweeping the floor and cleaning the furniture) contribute to the suspension of the fine and coarser particles that have settled on the floor and furniture, thus contributing to an increase in the particle number and mass concentration. This explains the occurrence of the highest mass concentration on Tuesday.

Figure 9 shows the hourly mean number and mass concentrations of the PM recorded from Sunday to Friday in the living room.



(a)



(b)

Figure 9. Hourly mean (a) number and (b) mass concentration of particles in the living room, from Sunday to Friday

Note the peaks of the number and mass concentration during breakfast (usually approximately 08:00) and lunch (usually approximately 12:00), when a large number of people occupy the living room. The amount of time spent cooking, type of oil used for frying, the kitchen layout and the local exhaust ventilation system influence particles concentration, particularly, the fine fractions of PM (Géhin et al. 2008). Evening dining only brings together a small number of people, and food is not usually freshly-prepared. Therefore, a significant peak of concentration is not seen during this activity (approximately 20:00 on most days),

except on Monday, when fried food was prepared for dinner. The minor peaks of concentration were observed on most days approximately 00:00 and were related to people gathering in the room.

Although the measurements carried out on Tuesday showed the maximum mass concentration of TSP and PM₁₀, as well as PM_{2.5} and PM₁, these values are transitory, as the cleaning activity only lasted for a period of 1.5 h. In contrast, the duration of incineration is much longer and contributed to an increase of particles throughout Wednesday.

4. Conclusions

The novelty of this work consists in characterizing the indoor airborne particles and their sources in a Research Station in Antarctica. Chemical analysis of the fine particles revealed that Fe, Cl, Na, S, Zn, Ca, and Si were the main elements found in the living room. Other elements, such as K, Mn and Ni were also found there, or in other conditioned compartments. In the unconditioned compartments, Na, K, Fe, Zn, Cl, S and Si prevailed, while for the outdoor sites Cl and Na were the dominant elements. BC was mainly found in the garage and in the workshop. The chemical analyses indicated that the indoor aerosol is mainly generated by the regular indoor activities (cleaning, cooking, hygiene and personal care, circulation, maintenance, etc.); additionally, there were contributions from the use of diesel vehicles and machines, and also from the sea spray and crustal coming with the external air admitted in the station.

To identify the human activities related to the indoor particle emission in the station, the size distribution of the particles in the living room was monitored for seven consecutive days, during normal station operation. The influence of individual processes, such as incineration, cooking and people circulation, upon the particle size number concentration was identified.

The I/O ratio for the TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ measured were significantly larger than those reported for urban buildings (Morawska and Salthammer 2003; Morawska et al. 2013).

In general, the I/O ratio number distribution for all compartments shows a peak between 2.5 μm and 10 μm , which is often related to human activity, such as cleaning, personnel circulation or clothing surfaces. The maximum I/O ratio at this range varied from 3 to 60. For unconditioned compartments (service areas), the I/O ratio distribution is highly dependent on the type of activity (incineration, welding, painting, carpentry and the transit of vehicles and people). The unconditioned compartments present distributions with the significant presence of even larger particles in relation to the conditioned compartments. In addition, the

compartments affected by combustion processes tend to present a significant number of submicron particles.

Acknowledgements

The authors wish to thank the FAPES/CNPQ PRONEX, CAPES, INCT-APA, PROANTAR and FINEP, for financial or equipment support, and the Brazilian Navy and Air Force for their logistical support. We would like to dedicate this work to the memory of Sargent Roberto Lopes dos Santos and Soldier Carlos Alberto Vieira Figueiredo, who both died in their heroic attempts to control the fire at the Comandante Ferraz Antarctic Station in February 2012.

References

- Abt, E., Suh, H. H., Catalano, P., & Koutrakis, P. (2000). Relative contribution of outdoor and indoor particle sources to indoor concentrations. *Environmental Science and Technology*, 34(17), 3579–3587. doi:10.1021/es990348y
- Albuquerque, T. T. de A., Andrade, M. de F., & Ynoue, R. Y. (2012). Characterization of atmospheric aerosols in the city of São Paulo, Brazil: Comparisons between polluted and unpolluted periods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(2), 969–984. doi:10.1007/s10661-011-2013-y
- Alvarez, C. E. De, Casagrande, B., & Soares, G. R. (2007). Resultados alcançados com a implementação do plano diretor da Estação Antártica Comandante Ferraz. In *IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis* (pp. 1297–1306). Mato Grosso do Sul, Brasil: UFMS.
- Annesi-Maesano, I., Moreau, D., Caillaud, D., Lavaud, F., Le Moullec, Y., Taytard, A., et al. (2007). Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children. *Respiratory Medicine*, 101(8), 1721–1729. doi:10.1016/j.rmed.2007.02.022
- ANVISA Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução - RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003 (2003). Brasil: Diário Oficial da União.
- Buonanno, G., Stabile, L., & Morawska, L. (2014). Personal exposure to ultrafine particles: The influence of time-activity patterns. *Science of the Total Environment*, 468-469, 903–907. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.09.016
- Buonanno, G., Stabile, L., Morawska, L., & Russi, a. (2013). Children exposure assessment to ultrafine particles and black carbon: The role of transport and cooking activities. *Atmospheric Environment*, 79, 53–58. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.06.041

- Calvo, a. I., Alves, C., Castro, a., Pont, V., Vicente, a. M., & Fraile, R. (2013). Research on aerosol sources and chemical composition: Past, current and emerging issues. *Atmospheric Research*, 120-121, 1–28. doi:10.1016/j.atmosres.2012.09.021
- Chithra, V. S., & Shiva Nagendra, S. M. (2013). Chemical and morphological characteristics of indoor and outdoor particulate matter in an urban environment. *Atmospheric Environment*, 77, 579–587. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.05.044
- Géhin, E., Ramalho, O., & Kirchner, S. (2008). Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities. *Atmospheric Environment*, 42(35), 8341–8352. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.07.021
- Godish, T. (2003). *Air Quality* (4th editio.). Chelsea, Michigan: Lewis Publishers.
- Gupta, S., Srivastava, A., & Jain, V. K. (2008). Particle size distribution of aerosols and associated heavy metals in kitchen environments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 142(1-3), 141–148. doi:10.1007/s10661-007-9915-8
- He, C., Morawska, L., Hitchins, J., & Gilbert, D. (2004). Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmospheric Environment*, 38(21), 3405–3415. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.03.027
- Health Canada. Residential Indoor Air Quality Guidelines (2014). Canada. www.hc-sc.gc.ca
- Huang, S. L., Yin, C. Y., & Yap, S. Y. (2010). Particle size and metals concentrations of dust from a paint manufacturing plant. *Journal of Hazardous Materials*, 174(1-3), 839–842. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.09.129
- Isaxon, C., Gudmundsson, A., Nordin, E. Z., Lönnblad, L., Dahl, A., Wieslander, G., et al. (2015). Contribution of indoor-generated particles to residential exposure. *Atmospheric Environment*, 106, 458–466. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.07.053
- Li, C. S. (1994). Elemental composition of residential indoor PM₁₀ in the urban atmosphere of Taipei. *Atmospheric Environment*, 28(19), 3139–3144. doi:10.1016/1352-2310(94)00153-C
- Loreiro, A. L., Ribeiro, A. C., Artaxo, P., & Yamasoe, M. A. (1994). Calibration of reflectometer system to measure black carbon and field intercomparison in the Amazon Basin. In *5th International Conference on Carbonaceous Particles in the Atmosphere*. Berkley, California, USA.
- Mazzera, D. M., Lowenthal, D. H., Chow, J. C., Watson, J. G., & Grubišić, V. (2001). PM₁₀ measurements at McMurdo Station, Antarctica. *Atmospheric Environment*, 35(10), 1891–1902. doi:10.1016/S1352-2310(00)00409-X
- McDonagh, a., & Byrne, M. a. (2014). A study of the size distribution of aerosol particles resuspended from clothing surfaces. *Journal of Aerosol Science*, 75, 94–103. doi:10.1016/j.jaerosci.2014.05.007

- Mishra, V. K., Kim, K. H., Hong, S., & Lee, K. (2004). Aerosol composition and its sources at the King Sejong Station, Antarctic peninsula. *Atmospheric Environment*, 38(24), 4069–4084. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.03.052
- Morawska, L., & Salthammer, T. (2003). *Indoor Environment*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. doi:10.1002/9783527610013
- Morawska, L.; Afshari, A.; Bae, G.N.; Buonanno, G.; Chao, C.Y.H.; Hanninen, O.; Hofmann, W.; Isaxon, C.; Jayaratne, E.R.; Pasanen, P.; Salthammer, T.; Waring, M.; Wierzbicka, A. . (2013). Indoor aerosols: from personal exposure to risk assessment. *Indoor Air*, 23, 467–487.
- NAAQS/EPA. National Ambient Air Quality Standards (2012). USA: U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov>
- Pant, V., Siingh, D., & Kamra, a. K. (2011). Size distribution of atmospheric aerosols at Maitri, Antarctica. *Atmospheric Environment*, 45(29), 5138–5149. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.06.028
- Pereira, E. B., Loureiro, A. L. M., & Vasconcellos, M. B. V. (1992). Reconnaissance of elemental composition in aerosols of the Antarctic Peninsula. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 26(8), 1549–1550. doi:10.1016/0960-1686(92)90139-C
- Qian, J., Peccia, J., & Ferro, A. R. (2014). Walking-induced particle resuspension in indoor environments. *Atmospheric Environment*, 89, 464–481. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.02.035
- Santos, J. M., Mavroidis, I., Reis, N. C., & Pagel, E. C. (2011). Experimental investigation of outdoor and indoor mean concentrations and concentration fluctuations of pollutants. *Atmospheric Environment*, 45(36), 6534–6545. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.08.049
- SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Nota Técnica NT-SCE-02 Metodologia para auditorias periódicas de Qualidade do Ar Interior em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE (2009). Portugal. <http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Destaques/Paginas/Notatecnica2.aspx>
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change* (SECOND EDI.). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Teinilä, K., Frey, a., Hillamo, R., Tülp, H. C., & Weller, R. (2014). A study of the sea-salt chemistry using size-segregated aerosol measurements at coastal Antarctic station Neumayer. *Atmospheric Environment*, 96, 11–19. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.07.025
- The European Standard. EN ISO 16000-1: indoor air – general aspects of sampling strategy (2006).
- Uhde, E., Schulz, N., Delius, W., & Markewitz, D. (2015). Impact of air fresheners on indoor air quality. *Atmospheric Environment*, 106(Figure 1), 492–502. doi:10.1016/j.atmosenv.2014.11.020

- Viana, M., Díez, S., & Reche, C. (2011). Indoor and outdoor sources and infiltration processes of PM1 and black carbon in an urban environment. *Atmospheric Environment*, 45(35), 6359–6367. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.08.044
- Wallace, L., Williams, R., Rea, A., & Croghan, C. (2006). Continuous weeklong measurements of personal exposures and indoor concentrations of fine particles for 37 health-impaired North Carolina residents for up to four seasons. *Atmospheric Environment*, 40(3), 399–414. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.08.042
- Wan, M. P., Wu, C. L., Sze To, G. N., Chan, T. C., & Chao, C. Y. H. (2011). Ultrafine particles, and PM2.5 generated from cooking in homes. *Atmospheric Environment*, 45(34), 6141–6148. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.08.036
- Weinstein, J. P., Hedges, S. R., & Kimbrough, S. (2010). Characterization and aerosol mass balance of PM2.5 and PM10 collected in Conakry, Guinea during the 2004 Harmattan period. *Chemosphere*, 78(8), 980–988. doi:10.1016/j.chemosphere.2009.12.022
- WHO Regional Office for Europe. (2010). WHO guidelines for indoor air quality. *Nutrition journal*, 9, 454. doi:10.1186/2041-1480-2-S2-I1
- Wolkoff, P., & Kjærgaard, S. K. (2007). The dichotomy of relative humidity on indoor air quality. *Environment International*, 33(6), 850–857. doi:10.1016/j.envint.2007.04.004

5.3 Artigo 3: “*Impact of human activities on the concentration of indoor air particles in a Research Station in the Antarctic*”

Considerando que as atividades humanas são uma das principais fontes de poluição do ar em interiores o artigo “*Impact of human activities on the concentration of indoor air particles in a Research Station in the Antarctic*” a ser submetido à revista *Indoor and Built Environmental*, examinou a relação entre as atividades realizadas na Estação Antártica brasileira e as faixas de distribuição de tamanho de diâmetro do Material Particulado (MP) monitorado no ar interior do edifício. Os principais objetivos deste artigo foram: (i) relacionar dados de distribuição de tamanho de partículas em tempo real com um conjunto de informações de tempo-atividade e (ii) calcular a razão de distribuição numérica de tamanho do material particulado, comparando as concentrações de MP durante os períodos com e sem atividades humanas.

Case Study

Impact of human activities on the concentration of indoor air particles in an Antarctic Research Station

Érica Coelho Pagel^{1,2,*}, Neyval Costa Reis Jr¹, Cristina Engel de Alvarez² and Jane Méri Santos¹

¹ Department of Environmental Engineering, Federal University of Espírito Santo, Brazil

² Department of Architecture and Urbanism, Federal University of Espírito Santo, Brazil

Corresponding author:

Erica C Pagel, Department of Environmental Engineering, Federal University of Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari 514, 29.060-910 Vitória, ES, Brazil.

Tel. + 55 27 33352177

Email: erica.pagel@gmail.com

Abstract

Human activity is a major source of indoor air pollution. This study examined the relationship between indoor activities in an Antarctic Research Station and the particle size distribution of particulate matter. Activities such as cooking, use of cosmetics, waste incineration and exhaust light vehicles were responsible for significant deterioration of indoor air quality related to the presence of fine or ultrafine particles. Other human activities related to mechanical abrasion, movement or dust resuspension, such as cleaning, physical exercise and the movement of people, were responsible for the emission of coarse particles, yielding significant mass particle concentration peaks.

Keywords

Particulate matter, indoor air quality, human activities, size distribution, Antarctic Research Station

Introduction

The geographic isolation of Antarctica, which is provided by the Antarctic Ocean as well as its extreme climate, results in complex conditions that require major logistical efforts

to make human presence on this vast continent possible. Thus, the presence of scientific stations is necessary for the maintenance of researchers in Antarctica. In spite of the differences between construction layouts and building materials¹, most of the human activities performed indoors are quite similar, such as a cooking, the use of cosmetics, cleaning, physical exercise, building maintenance and the movement of people. In addition, one of the main characteristics of Antarctic buildings is the fact that most of the design effort is focused on energy efficiency, mainly regarding energy consumption and thermal comfort. Indoor air quality is not a matter of significant concern during building planning, especially for the older stations.

In this context, the presence of particulate matter (PM) is a significant matter of concern, since it is associated with short-term health effects, such as irritation of the eyes, nose, and throat; headaches; dizziness; and fatigue². Thus, it contributes to the symptoms of Sick Building Syndrome, and various respiratory and cardiovascular problems³. In spite of the importance of the indoor air quality in Antarctic buildings, most of the reported studies are focused on the outdoor particles⁴⁻⁷. One of the first reported studies directed to indoor air quality in an Antarctic Research Station⁸, which performed a physicochemical characterization of the indoor particles, indicate present indoor/outdoor concentration ratios (I/O) significantly larger than those found for urban building and a marked importance of sources related to human activities.

Previous studies^{9, 10, 11, 12} indicate that human activities can be the main source of PM in indoor air and can generate particles with a wide variety of diameters. Fine particles with diameters less than 2.5 μm (PM_{2.5}), in non-smoking indoor environments primarily originate from human activities that involve combustion processes¹⁰, such as cooking^{11,12}. Particularly for urban buildings, there is also a strong correlation of these particles with the presence of external sources¹³; since they are small and tend to infiltrate buildings, even when the windows are closed¹⁴. For Antarctic buildings, most of the PM_{2.5} concentration is related to indoor activities. Infiltration may occur only due to local sources related to station activities, such as vehicle operation, waste incineration or energy generation.

The concentration of coarse particles ($>\text{PM}_{2.5}$) in indoor air may be associated with cooking and/or resuspension of particles from cleaning or people's movement¹⁰. Geller et al.¹⁵ points out that activities such as vacuum cleaning, sweeping, dusting furniture and washing carpets account for 50-80% of the particles in a 2-10 μm range in indoor environments. While

contribution of outdoor particles at this size range varies between 10 and 40% and usually decreases as the diameter increases¹⁶.

In this paper, real-time particle size distribution data is used in conjunction with time-activity data to provide information on the concentration and origin of indoor particles¹⁷. Time-series of mass and number concentration for 31 particle sizes ranging from 0.25 μm to $>32 \mu\text{m}$ at a 1-min frequency are used to calculate the size distribution of the activity number ratio, i.e. the mean number of particles found in each size range during the each activity divided by the average number of particles found during a period characterized by the absence of human activities.

Methods

The experiments were performed at the Brazilian Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF), which is located in Admiralty Bay on King George Island at 62°05' N; 58°24' W and is populated by a group of approximately 65 people, consisting of both civilians and military personnel, who are permitted to stay in the station for periods ranging from one month to one year. The EACF was founded in 1984 and consisted of eight metal containers measuring 150 m^2 to accommodate up to 12 people. It underwent extensive renovation, and by 2012, the surface area was approximately 2500 m^2 . In some compartments, which benefited from air heating systems, where windows exist, they normally were used to refresh the recycled indoor air (subjected to weather conditions).

Figure 1 shows a schematic representation of the station, indicating the sampling points for the field experiment. The station is divided in two large environments consisting of (i) conditioned compartments and (ii) unconditioned compartments. The conditioned compartments are the living quarters of the station personnel, encompassing the dormitories, gym, library, living room, kitchen, and bathrooms. The unconditioned compartments are the service and utility areas, which include the station maintenance workshop, energy generation, waste disposal, garage, storage and a transition area between the operating sectors (TA). While the conditioned areas have heating, the unconditioned areas have only basic protection from the outside weather (no temperature control). This arrangement is very common in Antarctic stations in general because the severity of the weather, especially during winter, which restricts the movement between detached buildings. Thus, service areas are usually linked by a protected covered environment (TA), while living quarters and laboratories are conditioned environments.



Figure 1. Aerosol spectrometer monitoring sites in the EACF.

Field experiments were conducted between 13 January and 3 February 2012, during the Antarctic summer when there is maximum station occupancy. Particles were measured at eight compartments, which were occupied for longer periods of time and contained potential sources of air pollution (Figure 1). The sampling sites were grouped as follows: (i) conditioned compartments consisting of three spaces used by all occupants (living room, library and gym), spaces for private use (Arsenal group dormitory - AGD, cabins 10 and 21); (ii) unconditioned compartments consisting of service areas (workshop and incinerator area). In addition to particle measurements, a field log book was made available to residents in each site to register their daily activities. Furthermore, residents completed a questionnaire based on EN ISO 16000-1/2006 for indoor air quality assessment¹⁸.

Indoor particles were analyzed using an Optical Laser Aerosol Spectrometer (LAS - Dust Monitor 1.109, Grimm Technologies, Germany) that measures 31 particle sizes ranging from 0.25 μm to $>32 \mu\text{m}$ at a 1-min frequency. This spectrometer works at a constant air flow rate controlled by a pump previously calibrated at 1.2 L/min \pm 5% and gives the mass and number concentration of the particles distributed by diameter. The temperature, humidity and air velocity were also measured. The measurements were carried out during 24 hours in all compartments.

Results and discussion

The results are divided in three main sections, where each type of room use is analyzed. The first part explores common use areas, such as library, living room and gym, where the nature of the activity is a dominant factor for the characteristics of particle emission. Secondly, the results for three dormitories are presented, focusing on the characterization of the particle emission related to each activity, but accounting for the differences between each room. The third part explores the characteristics of particle emission in relation to the type of activity performed in the service areas of the station (incinerator area and workshop).

Common use areas

There are three main common use areas for the station occupants: living room, library and gym. The living room is an area mainly devoted to social gathering, recreation and meals, and is the most used compartment during non-work hours. In EACF, the living room is attached to the kitchen (connected by an open doorway), and thus directly affected by the cooking emissions. Library and gym are moderately used by station personnel. The library is characterized by moderate use throughout the day (small number of people without a fixed schedule), while the gym is characterized by intense use for a short period of time (significant number of people after working hours).

Figure 2 shows the mean hourly number concentration over a 24 hour monitoring period in the living room, library and gym. The particle number peaks can be all related to human activity inside the room, according to the information in the field diary, with the exception of the second concentration peak found in the gym during the monitored period (Figure 3c). At that time, a barbecue was held at a gathering in the transition area, near the workshop, which likely influenced the results obtained in the gym.

Interestingly, although the barbecue did not occur directly within the monitored environment, it exerted a major influence on the particle concentrations, especially fine fraction. Several studies have reported the effects of burning charcoal during barbecues on increases in the number of fine particles^{19,20}. The barbecue in the EACF is associated with a cultural practice and is probably not present at research stations of other countries. Despite the fact that the activity is very seldom (approximately once a month), it must be taken into consideration for indoor air quality control strategies, since the measured values are significantly higher and the event influences several rooms of the station.

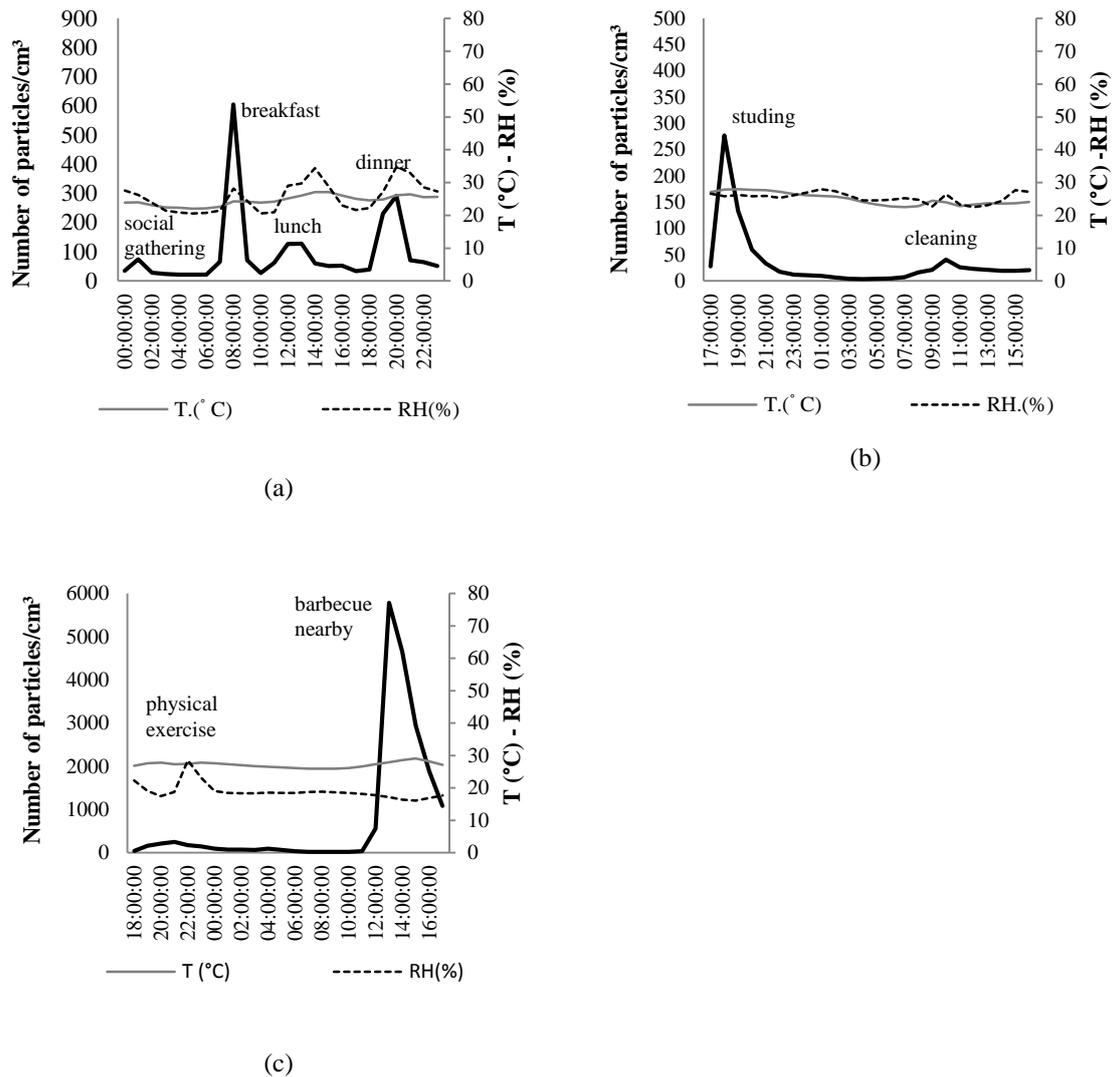


Figure 2. Measurements of numerical concentrations in (a) living room, (b) library and (c) gym.

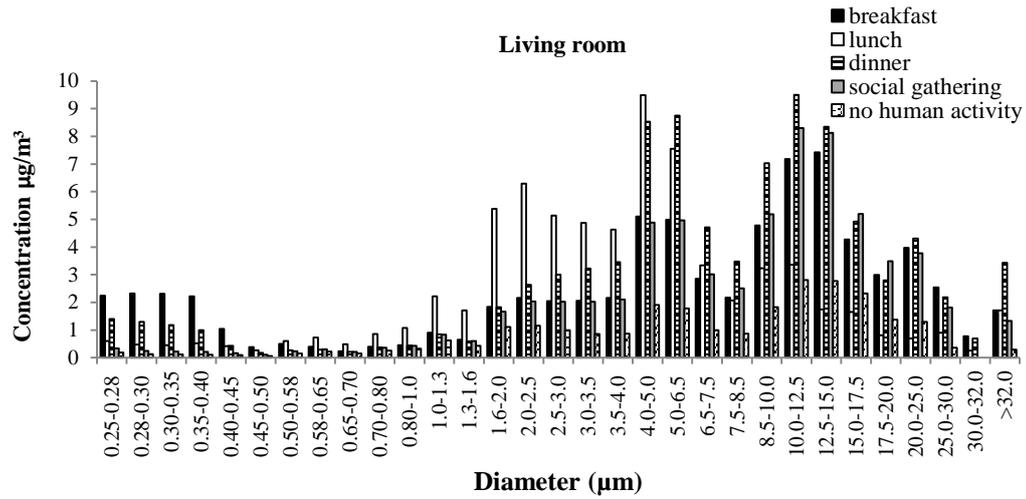
In order to explore the specifics of the emission profile of each activity it is interest to analyze the average size distribution for mass concentration of particles during the activities at each room, which is presented in Figure 3. For all activities, mass concentration peaks tend to be in the range of 2.5 to 10µm. Nonetheless, there are marked differences between emission size distributions for each activity. For instance, the living room presents a marked concentration of submicron particles, since the amount of time spent on cooking, burnt food and different cooking techniques, such as more frying with cooking oil, influences particles concentration, particularly, the fine fractions of PM^{11,21}. This trend is more marked during breakfast, which is characterized by a long period of bread baking. Abt et al.¹⁷ reported that oven cooking and toasting contributed primarily to submicron particles and frying contributed to submicron and supermicron particles.

The coarse fractions of PM tend to be emitted during movement of people²². In this sense, it is possible to note that during social gathering, cleaning and physical exercise use, there is a more pronounced concentration increase of mass concentration of particles around 10 μ m. Figure 4 shows the size distribution of the activity number ratio, i.e., the mean number of particles found at each size range for an interval of three hours with some activities divided by the average number of particles found for an interval of three hours characterized by no human activities. Figure 4a shows that, during the activities involving cooking (breakfast, lunch and dinner), there is a significant increase on the concentration of submicron particles, presenting an activity number ratio up to 20 for certain size ranges. While for other activities (social gathering, cleaning and physical exercise), the activity number ratio peaks around 10 μ m. It is interesting to note that although the activity number ratio peaks around 10 μ m for library use, there is also another peak for submicron particles, which may be related to book handling.

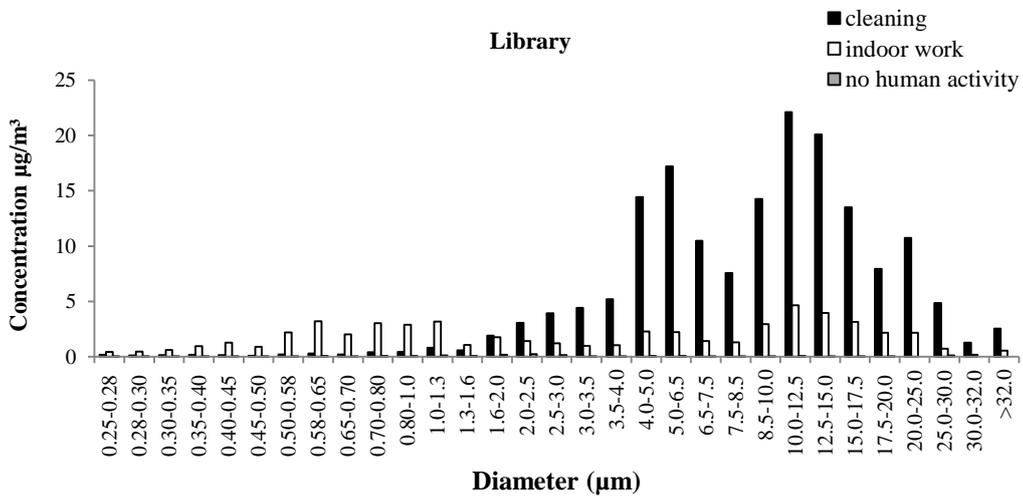
Dormitories

As indicated in Figure 1, there are two types of dormitories in the station: (i) two people accommodations without bathroom and (ii) collective accommodations housing 12 people with an attached bathroom. This section presents the results for three dormitories: two people accommodations (cabins 10 and 21) and collective accommodations AGD. The accommodation areas are used during non-working hours and are therefore unoccupied throughout most of the day.

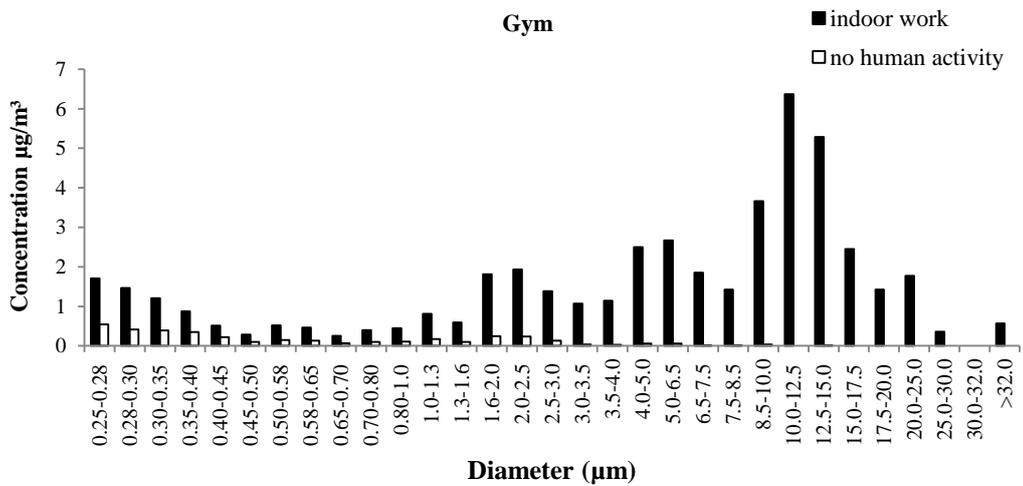
Figure 5 shows the mean hourly number concentration over a 24 hour monitoring period in cabin 10, cabin 21 and AGD. It is possible to note that there are two main peaks in the particle number concentration for cabins 10 and 21 (Figures 5a and 5b). These peaks coincide with the periods that their occupants got up, went to bed and used personal care products, according to the information in the field diary, in which the residents recorded the cosmetic products that were used at each location and their frequency of use along with other activities that were performed.



(a)

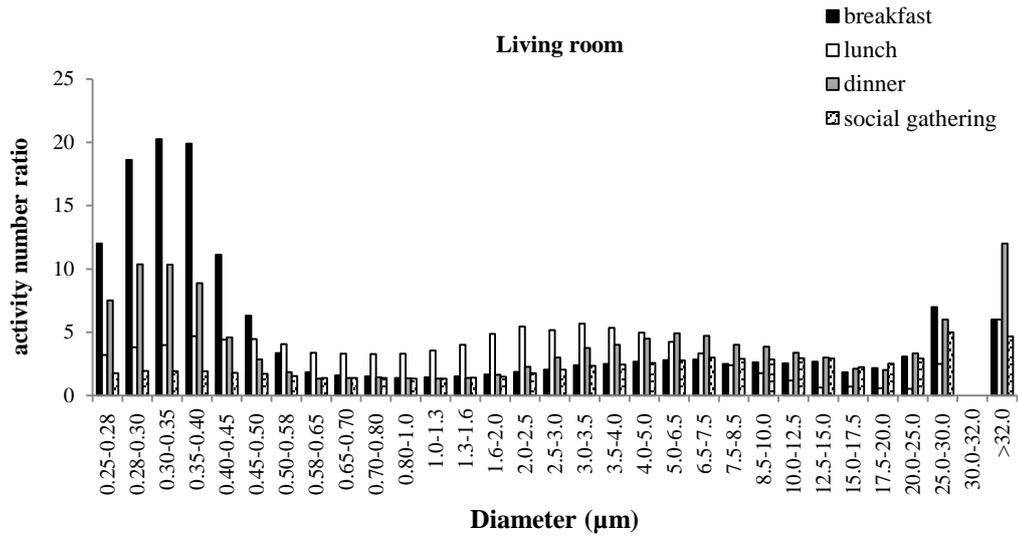


(b)

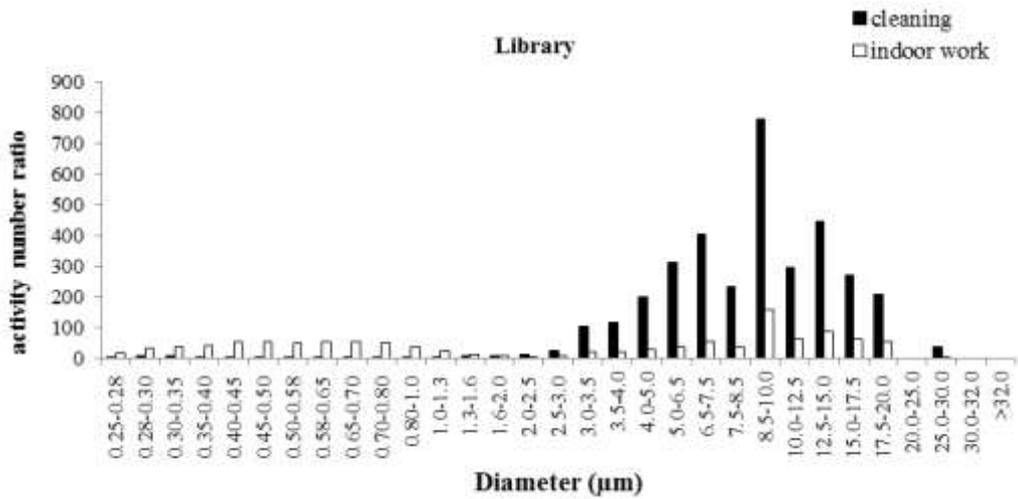


(c)

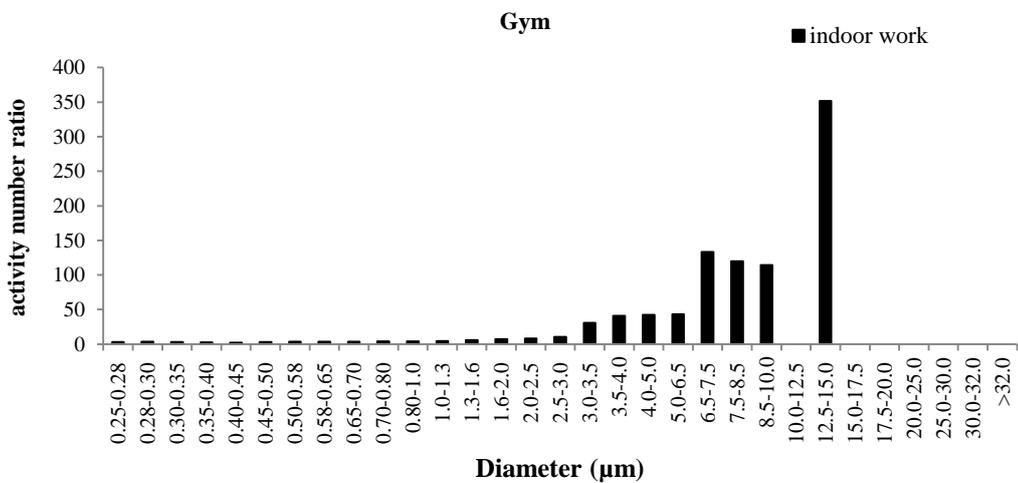
Figure 3. Size distribution of mass concentration for particles in (a) living room, (b) library and (c) gym.



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Size distribution of the activity number ratio in (a) living room, (b) library and (c) gym.

On the other hand, there are four main peaks in the particle number concentration for AGD (Figure 5c). Analogously to cabins 10 and 21, the number concentration peaks for AGD coincide with the periods that their occupants got up, went to bed and used personal care products (23:00-01:00 and 07:00-09:00), nonetheless, there are additional concentration peaks around 13:00 and 18:00. These peaks correspond to lunch time periods and the end of the working periods. In both cases, the occupants tend to use the dormitory and the attached bathroom.

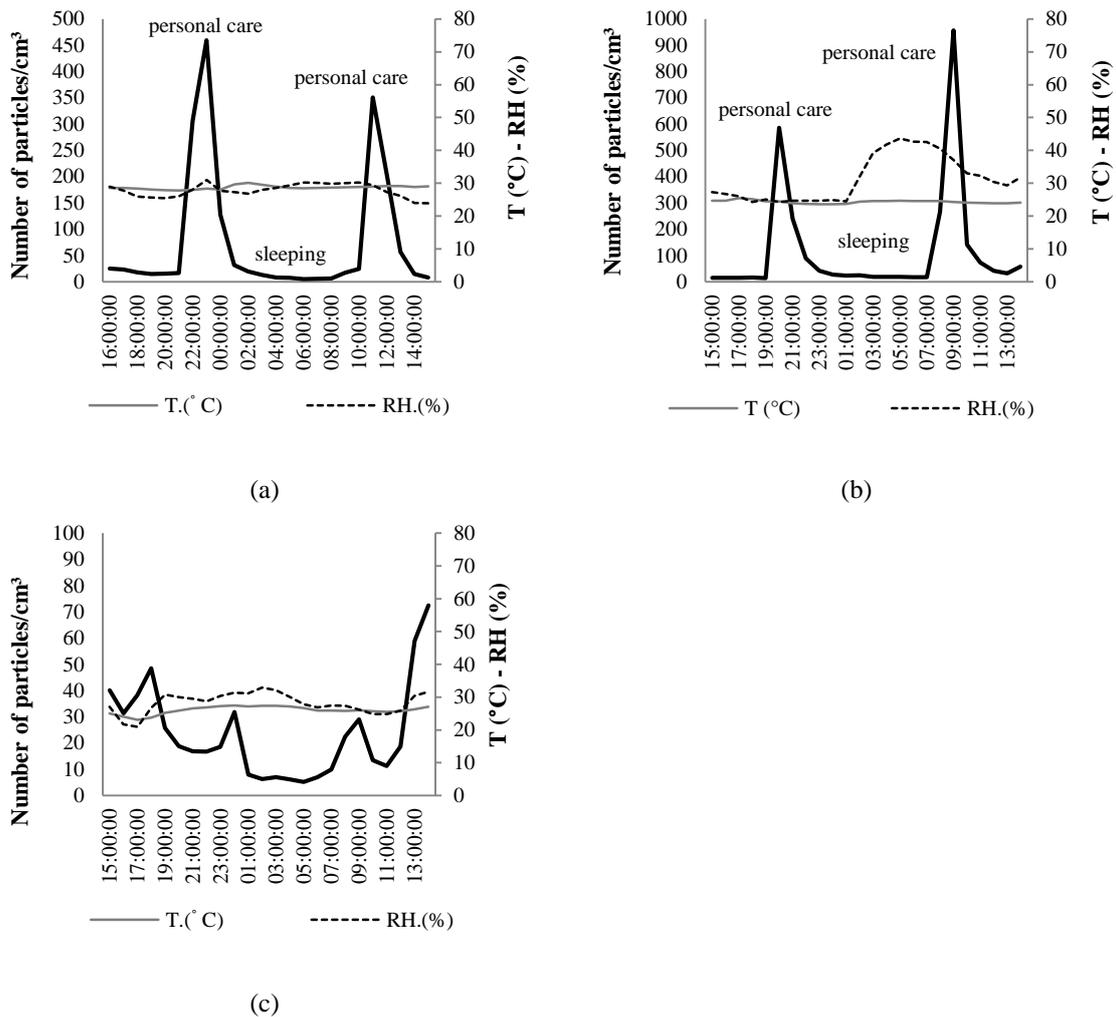


Figure 5. Measurements of numerical concentrations in (a) cabin 10, (b) cabin 21 and (c) AGD.

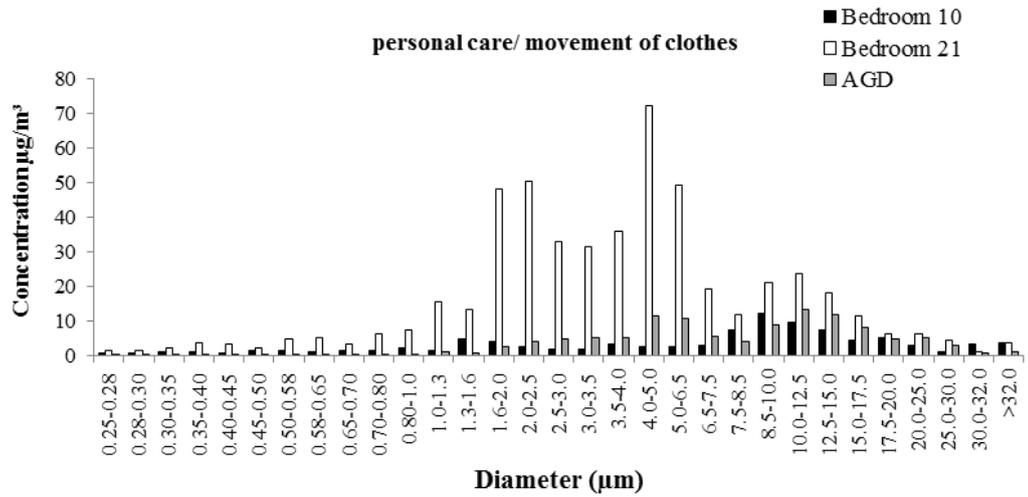
Another significant difference between AGD and cabins 10 and 21 is the maximum values of number concentration, presenting peak values during personal care activities nearly 10 times higher on average. This trend is probably related to the fact that AGD has an attached bathroom and most of the emission related to spray or personal care products is performed inside the bathroom. Occupants of cabins 10 and 21 use a collective bathroom outside the cabin, and perform most of the emission related to spray or personal care products

inside the cabin, according to the field log books. This clearly indicated the importance of the emission during personal care activities, and may suggest that ventilation must be improved in the areas associated with these activities.

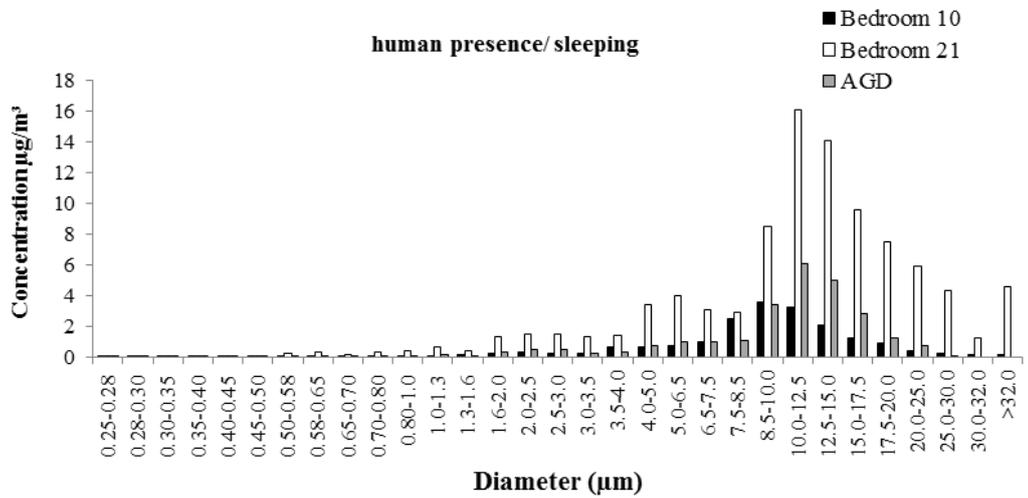
Figure 6 presents the average size distribution for mass concentration of particles during the activities at each room. The mass concentration of particles in the range between 1.0 and 5.0 μm during the personal care and clothes movement activities is significantly larger in cabin 21 than in the other dormitories. The high concentration of PM in cabin 21 is likely related to the specific activities of hygiene and personal care, including the intensive use of spray products (as recorded in the field log book). These products are known to provide high particle concentrations in indoor air over a short period of time, which corresponds to the time that is required for application and use. Increased concentrations of indoor pollutants due to personal care activities with the use of products such as deodorants, perfumes, talc, make-up and cosmetics have been documented in several studies²³⁻²⁵. For cabin 10 and AGD the maximum mass concentration is located around 8.5 to 12.5 μm range, which may suggest that in the absence of spray products, larger particles are more dominant and probably related to movement of people and clothes. This behavior is more clearly noticed when the concentration during the activity (Figure 6a) is compared with the concentration during the period without any human activity in the room (Figure 6c).

The mass ratio (TSP- $\text{PM}_{2.5}$)/ $\text{PM}_{2.5}$ is equal to 11 for AGD, while for dormitories 10 and 21 this ratio is 2.26 and 2.86, respectively, which indicates a substantial change in the size distribution of the emitted particles. Furthermore, cabins 10 and 21 and the AGD, 30%, 28% and 8%, respectively, of the mass fraction monitored over 24 hours corresponds to $\text{PM}_{2.5}$. This result demonstrated that the spatial configuration and the activities related to people and clothes movement, resuspension of dust from the floor and furniture are more significant in AGD.

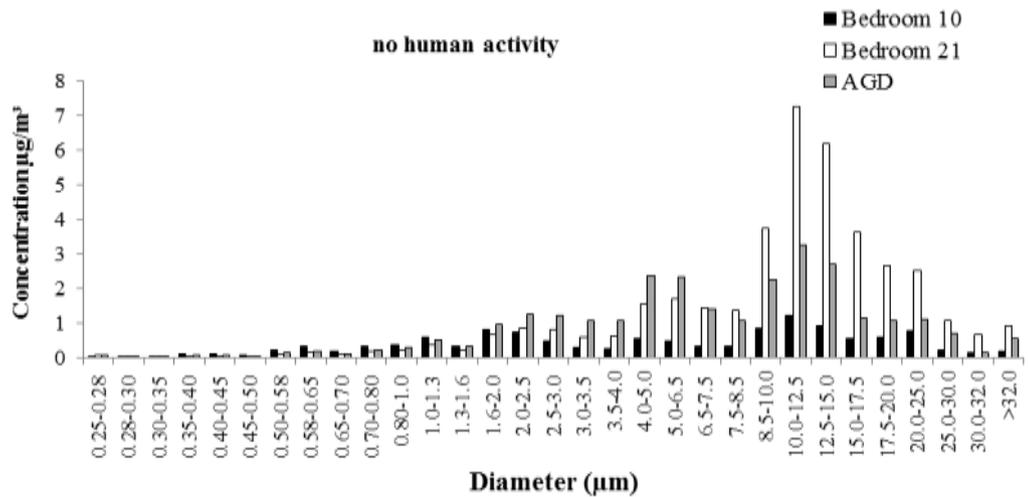
During sleeping time concentration patterns resemble the size distribution during the periods with no human presence, nonetheless the concentration values during these periods are considerably larger (around two times).



(a)



(b)



(c)

Figure 6. Mass concentration distribution for particle sizes for each selected interval (a) personal care/movement of clothes (b) human presence/sleeping (c) no human activity.

Service Areas

As explained previously, the unconditioned compartments are the service and utility areas, which include the station maintenance workshop, energy generation, waste disposal area, garage, storage and a transition area between the operating sectors (TA). Due to the more intense particle emission in the maintenance workshop and waste disposal area, these two were selected for monitoring.

The Madrid Protocol²⁶, linked to the Antarctic Treaty, establish rigid rules regarding environmental preservation of the Antarctic environment, such as controlled access of people and transport in the continent. In this sense, the activity of incineration of organic residue is admitted but controlled, and the return of all non-bio-degradable waste to the country of origin is strictly recommended. Therefore, the waste disposal area is mainly devoted to non-bio-degradable waste storage and incineration. The main particle emission source in the area is the incinerator operation (charging and burning).

The workshop in Antarctic stations is a work area that is mainly used for building maintenance activities. In Brazilian stations, these activities were welding, painting, sawing and also the transit of vehicles and people due to its proximity to the TA.

Figure 7 shows the mean hourly number concentration over a 24 hour monitoring period in the waste disposal area and workshop. The monitoring on the waste disposal area was performed on a typical day of incineration operation, which consists of two steps: (i) waste handling and loading operation and (ii) incinerator firing. The entire operation started approximately at 10 am and the incinerator was fired approximately at 9 am. It is possible to note there is an increase in particle number concentration during the loading operation, but concentration peaks during incineration. In fact, the large number of particles in this area during incinerator operation indicates that, although the incinerator is equipped with a gas treatment device for the exhaustion of gases, fugitive emissions are very significant. A peak mean hourly concentration of TSP of 906.93 particles/cm³ occurred at approximately 8 pm, when the incinerator was turned off.

During loading operation, the emission is characterized by the presence of larger particles, while during incineration the finer particles are dominant²⁷. This trend is clearly noticeable in Figure 8a, which presents the average size distribution for mass concentration of particles during the activities. Although the number of particles during incinerator operation was considerably larger than during the loading operation, the particle mass concentration was

significantly smaller. This is due to the fact that incineration predominantly generates fine particles^{28,29}. In this sense, the larger mass concentration values were measured during loading operation, the peak concentrations of TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ at this time were 704.34, 211.88, 13.29 and 4.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively.

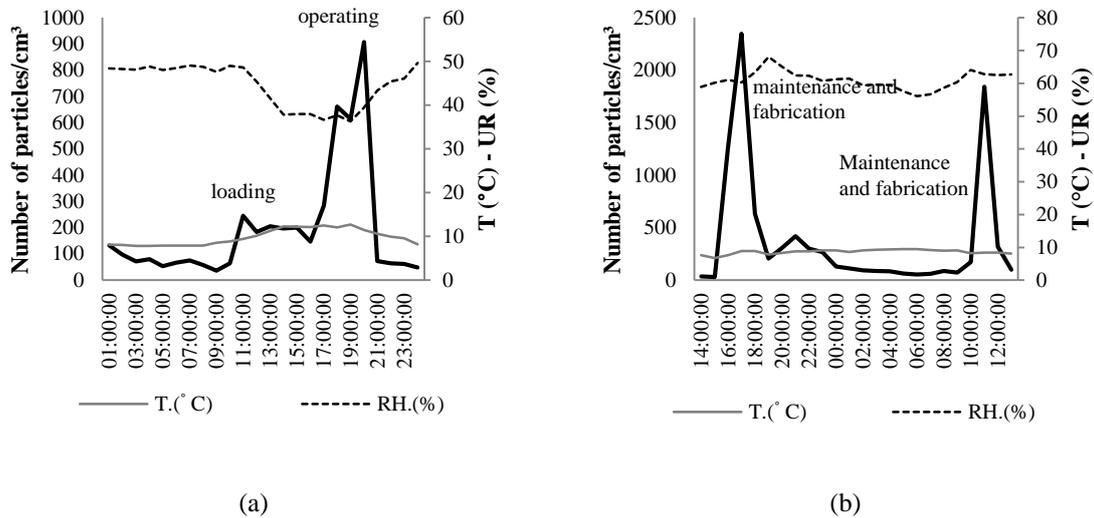


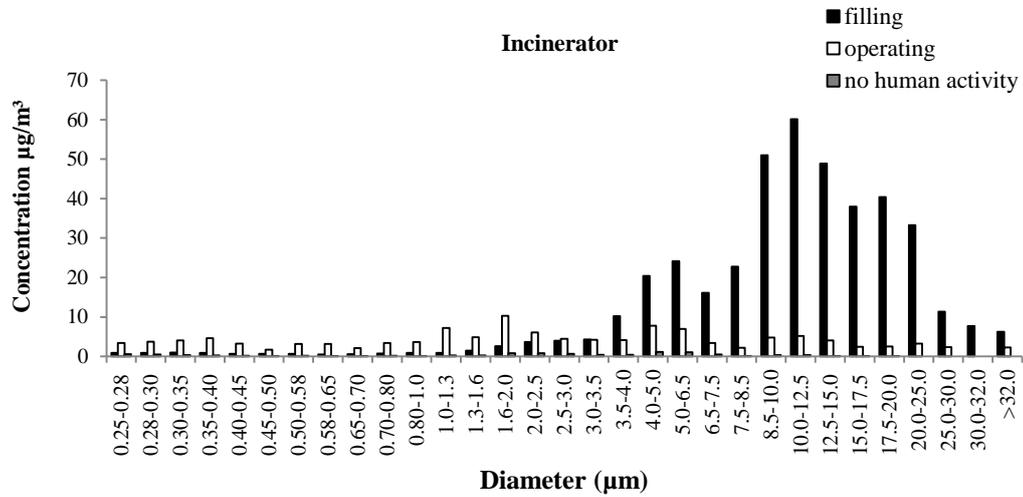
Figure 7. Time evolution of mean hourly number concentration over a 24 hour monitoring period: (a) waste disposal area and (b) workshop.

For the workshop, two number concentration peaks occurred between 2 pm and 6 pm on Thursday, and between 8 am and 12 noon on Friday, which represent the hours of the work day (Figure 7b). The maximum numerical TSP values were 2347.95 particles/cm³ at 5 pm on Thursday and 1742.86 particles/cm³ at 11 am on Friday. During these concentration peaks, measured mass concentration reached a maximum hourly average of 1623.09, 357.01, 68.87 and 54.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, for TSP, PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁, respectively. These values indicate that significant revision of the ventilation of the compartment is required, since concentration values are considerably large for all size ranges.

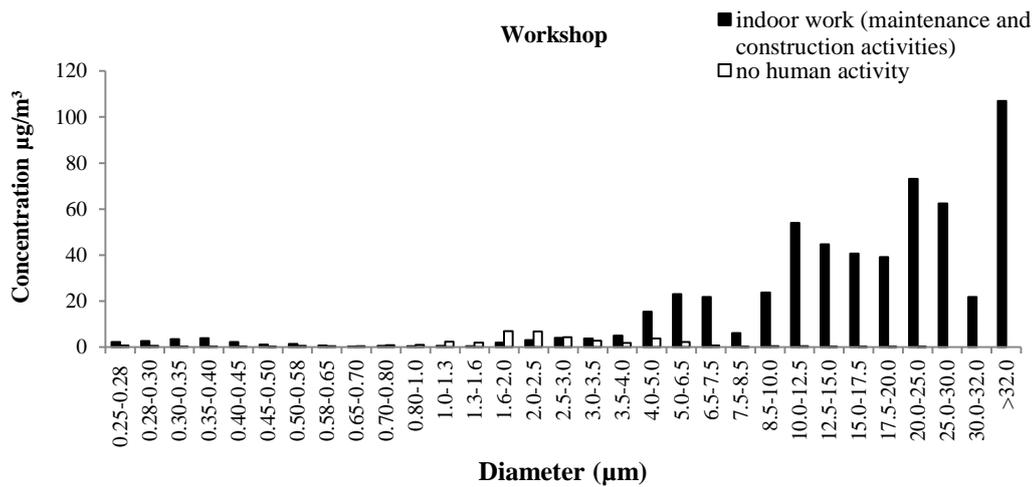
The increase in the number and mass concentrations can be attributed to specific maintenance activities and to the movement of people during the day, which contributed to the suspension of particles that were deposited on the ground as well as to natural ventilation through the large access gate.

It is possible to note in Figure 8b that the majority of the mass emitted is associated to coarse particle, larger than 10 μm . Movement of people, mechanical abrasion and other related activities associated to maintenance and manufacturing tend to emit larger particles. Nonetheless, mass concentrations also increase in the submicron range, which is especially

dangerous to health. Submicron particle emission can be related to welding vapour condensation or traffic of light duty vehicles in the TA area.



(a)



(b)

Figure 8. Average size distribution for mass concentration of particles during the activities: (a) waste disposal area and (b) workshop.

Conclusion

The results of this study show that activities that are performed during the operation of a research station affect the indoor concentration of air pollutants throughout the day. The analysis of the particle size distribution in terms of the number and mass revealed a strong relationship between the diameters of the emitted particles and the type of activity. Waste incineration, cooking, use of personal care products and emission of exhaust from light vehicles increased the range of submicron particles. This observation is of concern in an

Antarctic station, where confinement is common in most locations due to the extreme weather conditions.

Incinerator loading and activities that involved dust resuspension from furniture or the ground, such as cleaning, the movement of people and physical exercise, were responsible for increases in the average particle concentrations, mainly greater than a 10 μm diameter range.

This study reinforces the fact that the presence of humans and human activities in permanent buildings in the Antarctic may be a matter of concern if the population density increases without considering the concomitant effects on air quality.

Acknowledgements

The authors thank the INCT-APA, PROANTAR, FAPES and CAPES for financial support, the Navy of Brazil and FAB for logistical support, and the entire Base Group. We especially honor the memory of 1SG Roberto Lopes dos Santos e SO Carlos Alberto Vieira Figueiredo, who died in a heroic attempt to control a fire at the Comandante Ferraz Antarctic Station in February 2012.

Conflict of interest

The Author(s) declare(s) that there is no conflict of interest.

References

1. Vargas PS de P, Alvarez CE, Fukai FM, et al. As novas Estações Antárticas e a busca pela otimização dos sistemas construtivos e maior eficiência energética. In: *Encontro Latinoamericano de Edificações e comunidades Sustentáveis*. Curitiba, 2013, pp. 1–12.
2. Gioda a., de Aquino Neto FR. Prevalence of Symptoms Associated with Elevated Total Volatile Organic Compounds (TVOCs) Levels in Workers at a Printing Facility. *Indoor Built Environ*; 16: 371–375, <http://ibe.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1420326X06080884> (2007).
3. Annesi-Maesano I, Moreau D, Caillaud D, et al. Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children. *Respir Med* 2007; 101: 1721–1729.
4. Pereira EB, Loureiro ALM, Vasconcellos MBV. Reconnaissance of elemental composition in aerosols of the Antarctic Peninsula. *Atmos Environ Part A Gen Top* 1992; 26: 1549–1550.
5. Mishra VK, Kim KH, Hong S, et al. Aerosol composition and its sources at the King Sejong Station, Antarctic peninsula. *Atmos Environ* 2004; 38: 4069–4084.

6. Pant V, Siingh D, Kamra a. K. Size distribution of atmospheric aerosols at Maitri, Antarctica. *Atmos Environ*; 45: 5138–5149, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.028> (2011).
7. Teinilä K, Frey a., Hillamo R, et al. A study of the sea-salt chemistry using size-segregated aerosol measurements at coastal Antarctic station Neumayer. *Atmos Environ* 2014; 96: 11–19.
8. Pagel ÉC, Jr NCR, Alvarez CE de, et al. Characterization of the indoor particles and their sources in an Antarctic Research Station. *submitted to Environ Monit Assess* 2015.
9. He C, Morawska L, Hitchins J, et al. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmos Environ* 2004; 38: 3405–3415.
10. Braniš M, Řezáčová P, Domasová M. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM10, PM2.5, and PM1 in a classroom. *Environ Res* 2005; 99: 143–149.
11. Tan CCL, Finney KN, Chen Q, et al. Experimental Investigation of Indoor Air Pollutants in Residential Buildings. *Indoor Built Environ*; 22: 471–489, <http://ibe.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/1420326X12441806> (2013).
12. Seaman VY, Bennett DH, Cahill TM. Indoor acrolein emission and decay rates resulting from domestic cooking events. *Atmos Environ*; 43: 6199–6204, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.043> (2009).
13. Viana M, Díez S, Reche C. Indoor and outdoor sources and infiltration processes of PM1 and black carbon in an urban environment. *Atmos Environ*; 45: 6359–6367, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.044> (2011).
14. Santos JM, Mavroidis I, Reis NC, et al. Experimental investigation of outdoor and indoor mean concentrations and concentration fluctuations of pollutants. *Atmos Environ*; 45: 6534–6545, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.049> (2011).
15. Geller MD, Chang M, Sioutas C, et al. Indoor/outdoor relationship and chemical composition of fine and coarse particles in the southern California deserts. *Atmos Environ* 2002; 36: 1099–1110.
16. Tran DT, Alleman LY, Coddeville P, et al. Indoor-outdoor behavior and sources of size-resolved airborne particles in French classrooms. *Build Environ*; 81: 183–191, <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.023> (2014).
17. Abt E, Suh HH, Catalano P, et al. Relative contribution of outdoor and indoor particle sources to indoor concentrations. *Environ Sci Technol* 2000; 34: 3579–3587.
18. The European Standard. EN ISO 16000-1: indoor air – general aspects of sampling strategy. 2006.

19. Lee SC, Li WM, Yin Chan L. Indoor air quality at restaurants with different styles of cooking in metropolitan Hong Kong. *Sci Total Environ* 2001; 279: 181–193.
20. Taner S, Pekey B, Pekey H. Fine particulate matter in the indoor air of barbeque restaurants: Elemental compositions, sources and health risks. *Sci Total Environ*; 454-455: 79–87, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.018> (2013).
21. Géhin E, Ramalho O, Kirchner S. Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities. *Atmos Environ* 2008; 42: 8341–8352.
22. Fromme H, Twardella D, Dietrich S, et al. Particulate matter in the indoor air of classrooms-exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmos Environ* 2007; 41: 854–866.
23. Conner TL, Williams RW. Identification of possible sources of particulate matter in the personal cloud using SEM/EDX. *Atmos Environ* 2004; 38: 5305–5310.
24. Wallace L, Williams R, Rea A, et al. Continuous weeklong measurements of personal exposures and indoor concentrations of fine particles for 37 health-impaired North Carolina residents for up to four seasons. *Atmos Environ* 2006; 40: 399–414.
25. Uhde E, Schulz N, Delius W, et al. Impact of air fresheners on indoor air quality. *Atmos Environ*; 106: 492–502, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.020> (2015).
26. Brasil Divisão de Atos Internacionais. Decreto nº 2.742 de 20 de agosto de 1998. BRASIL, 1998.
27. Buonanno G, Morawska L. Ultrafine particle emission of waste incinerators and comparison to the exposure of urban citizens. *Waste Manag*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.03.008> (2014).
28. Mamane Y. Estimative of municipal refuse incinerator contribution to Philadelphia aerosol using single particle analysis - II. Ambient measurements. 1990; 24: 127–135.
29. Mao IF, Chen CN, Lin YC, et al. Airborne particle PM_{2.5}/PM₁₀ mass distribution and particle-bound PAH concentrations near a medical waste incinerator. *Atmos Environ* 2007; 41: 2467–2475.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A investigação da QAI na Estação Antártica Comandante Ferraz possibilitou tanto a obtenção de resultados específicos para as situações estudadas, como o entendimento adicional das complexas inter-relações estabelecidas em um edifício tão multifuncional como o de uma Estação Científica. Os locais monitorados representam ambientes presentes na maior parte das Estações antárticas, e os resultados obtidos podem servir de base para a adoção de critérios em novos projetos na própria Antártica, como em áreas semelhantes. Entende-se por situações semelhantes aos ambientes confinados ou semi-confinados, condicionados, ocupado por pessoas e nos quais o ambiente exterior não interfere na qualidade do ar interior.

Dentre os principais resultados, foi possível constatar que as atividades do dia a dia de uma Estação Científica na Antártica – tais como, cocção, limpeza, utilização de produtos de uso pessoal em ambientes confinados –, assim como trânsito de veículos em áreas protegidas, incineração de lixo, atividades de manutenção da edificação e a própria presença humana, contribuem na concentração de aldeídos, material particulado e fungos no ar interno. Essas atividades são ações comuns em praticamente todas as edificações antárticas, independente de sua localização (peninsular ou continental); época de construção (antiga ou contemporânea); e técnica construtiva (concentrada em uma única edificação ou em unidades isoladas), podendo ter uma sutil diferenciação em relação ao maior ou menor nível de confinamento. Assim, considerando que os estudos foram realizados em uma situação otimizada, ou seja, na Península Keller com uma condição relativamente amena do ambiente, é possível inferir que quanto mais no interior do continente, piores serão as condições climáticas tendendo às edificações serem caracteristicamente mais seladas.

A determinação e quantificação de aldeídos mostrou que o uso de materiais construtivos com potencial poluente, tais como o uso de madeira compensada em revestimentos e mobiliário internos – comuns em edificações antárticas devido à praticidade de instalação e conforto térmico que proporcionam –, pode ser um fator de risco a saúde de seus ocupantes uma vez que foram encontradas concentrações de formaldeído acima do recomendado pela Organização Mundial da Saúde para ambientes internos.

A atividade cotidiana de cocção também merece atenção, devido aos altos níveis de concentração de acroleína encontrados na maior parte dos ambientes em que a renovação de ar era insuficiente, somado a um provável sistema de exaustão da cozinha insatisfatório. Os

ambientes de cocção são naturalmente posicionados próximos à área de concentração de pessoas – refeitórios ou salas de estar/jantar, permitindo assim a infiltração desse poluente entre os ambientes.

O alto nível de butiraldeído encontrado no DGA, devido à existência em anexo a este ambiente de uma sala de secagem onde ficam os macacões de trabalho, reitera a necessidade de uma setorização adequada entre ambientes de habitação e serviço na concepção desse tipo de edificação. O vestuário dos operários, em função das atividades desenvolvidas e da dificuldade de lavagem constante, fica naturalmente contaminado, principalmente com graxas, óleos e solventes, contribuindo assim para a contaminação do ar nesse local.

Em relação à análise da distribuição do tamanho de partícula em termos de número e de massa, as amostras coletadas revelaram uma forte relação entre os diâmetros das partículas emitidas e o tipo de atividade. Incineração de resíduos, cozinhar, usar produtos de cuidados pessoais e a emissões de gases a partir de veículos leves aumentou a gama de partículas submicrométricas. Sabe-se que partículas com essa característica dimensional, além de penetrarem mais profundamente no trato respiratório humano, tem grande capacidade de absorção em associação com outros poluentes, resultando em um maior nível de toxicidade quando comparadas com as partículas grossas.

Tais resultados reforçam a necessidade de atenção na distribuição dos ambientes de uma edificação antártica, cuja preocupação deve ir além da simples funcionalidade. É importante ressaltar que as atividades de incineração de resíduos, trânsito e guarda de veículos leves - movidos a diesel -, realizadas nas áreas de trabalho da EACF, influenciaram no aumento da concentração do MP fino, mesmo se tratando de ambientes localizados em outras áreas da Estação, além de serem responsáveis pela origem de partículas de grande potencial tóxico tais como S, Zn e *Black Carbon*.

O uso de combustível fóssil ainda é prioritário como fonte energética, tanto em função da garantia de funcionamento de motores como, também, pela facilidade de compra de veículos e equipamentos. Os sistemas à diesel, devido baixo ponto de congelamento desse combustível, são os mais utilizados no funcionamento de geradores e veículos, sendo uma opinião comum verificada nas reuniões de administradores de Programas Antárticos, a necessidade de adoção, mesmo que de forma gradual, de tecnologias mais limpas em substituição a esses sistemas.

Por a EACF ter sido inicialmente construída por contêineres metálicos e posteriormente, com painéis de vedação de aço corrugado, verifica-se a necessidade de manutenção constante, principalmente em função das agressivas condições do meio. Esse fato explica as significativas concentrações de Fe e Zn registradas, alertando para os cuidados a serem adotados em relação aos materiais empregados, seja durante a etapa de construção, seja posteriormente no seu uso. Embora o aço seja um material de incontestável resistência, mesmo em ambiente antártico, é indiscutível que quando próximo ao ambiente marinho deva ser ponderado em relação ao uso, principalmente como sistema de vedação, considerando a grande área de superfície a ser tratada.

As concentrações nulas de fungos encontradas externamente à Estação, permitem inferir que os mesmos são provavelmente carregados até o continente pelas roupas e utensílios dos homens, onde encontrando condições de sobrevivência se instalam e proliferam. Internamente a EACF, o predomínio dos gêneros *Penicillium* e *Aspergillus*, situação característica em edifícios doentes, enfatiza a necessidade de um sistema de renovação de ar eficiente e alerta para a necessidade de busca de soluções para a redução dessas espécies. Dentre tais medidas, sugere-se a adoção de materiais construtivos ou de mobiliários e decoração que não possibilitem o acúmulo de poeira e matéria orgânica, diminuindo a necessidade de manutenção e, conseqüentemente, o substrato necessário para o crescimento e acúmulo dessas espécies fúngicas.

Com exceção do grupo de aldeídos, as médias das concentrações de material particulado e fungos nos ambientes da Estação foram abaixo dos valores comumente encontrados em regiões urbanas, o que é um aspecto positivo que deve ser enfatizado. Da mesma forma, as concentrações de partículas e fungos nos pontos externos apresentaram os menores valores em relação a todos os pontos monitorados internamente, o que pode demonstrar a influência da atmosfera externa, ainda preservada, do local.

Embora a atmosfera antártica esteja preservada, o ar dentro da EACF apresentou, em muitas situações, concentrações que ultrapassaram os níveis mínimos recomendados pela OMS e até mesmo do Padrão Brasileiro de QAI utilizado como referência, reiterando que os parâmetros adotados foram devido à inexistência de uma legislação específica para o local.

O presente trabalho pode ajudar a responder uma lacuna de investigação científica sobre a qualidade do ar em edificações antárticas. No entanto, existem limitações sobre os dados

obtidos, principalmente no que se diz respeito ao tempo de monitoramento, e é evidente a partir desse estudo, que ainda há uma quantidade de trabalho adicional a ser realizada, tanto experimental quanto teórica. Como recomendações para trabalhos futuros sugerem-se:

- A realização da avaliação da qualidade do ar interno em outras estações antárticas e a comparação entre os resultados encontrados;
- Amostragens em períodos maiores explorando a variação estatística dos resultados e contemplando a sazonalidade de forma a identificar as contribuições das fontes e quantificar as concentrações em diferentes épocas do ano;
- O monitoramento contínuo das novas edificações da Estação Antártica Comandante Ferraz, pressupondo que a mesma será construída considerando os aspectos mais relevantes de QAI identificadas nesta pesquisa;
- A investigação da saúde dos habitantes de estações antárticas correlacionando os níveis de contaminantes no ar com a prevalência dos sintomas da Síndrome do Edifício Doente.
- O estudo da QAI voltada para Estações Antárticas visando o estabelecimento de padrões da Qualidade do Ar Interno específicos para construções no continente.

Como um resultado de fundamental importância, deve-se destacar que o parâmetro da QAI foi incluído pela primeira vez como diretriz projetual para uma edificação brasileira na antártica, fazendo parte do Termo de referência – TR, da licitação pública internacional na forma de concurso de projetos para a reconstrução das áreas destruídas pelo incêndio de fevereiro de 2012 na EACF, em função dos resultados obtidos nesse trabalho. A possibilidade de aplicação prática dos conhecimentos adquiridos é, sem dúvida, um grande incentivo à continuidade dos estudos, abrindo assim uma nova gama de oportunidades de aprimoramentos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIRMETRICS INNOVATIVE AIR SAMPLING EQUIPMENT. **MiniVol TAS Tactical Air sampler Operation Manual Rev. 1.2**. Eugene: AIRMETRICS, 2011. Disponível em: <www.airmetrics.com>.

ALBUQUERQUE, Taciana Toledo de Almeida; ANDRADE, Maria de Fátima; YNOUE, Rita Yuri. Characterization of atmospheric aerosols in the city of São Paulo, Brazil: Comparisons between polluted and unpolluted periods. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 2, p. 969–984, 2012.

ALEXANDRA SCHIEWECK; BOCK, Marie-Christin. Emissions from low-VOC and zero-VOC paints – Valuable alternatives to conventional formulations also for use in sensitive environments? **Building and Environment**, v. 85, p. 243–252, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.001>.

ALMEIDA, Ivo Torres. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto**. 1999. 194 f. Dissertação de Mestrado. Engenharia Mineral. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo., 1999.

ALVAREZ, Cristina Engel de. **Metodologia para construção em áreas de difícil acesso e de interesse ambiental: aplicabilidade na Antártica e nas ilhas oceânicas brasileiras**. 2003. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura. Universidade de São Paulo., 2003.

ALVAREZ, Cristina Engel De; CASAGRANDE, Braz; SOARES, Glyvani Rubim. Resultados alcançados com a implementação do plano diretor da Estação Antártica Comandante Ferraz. In: IV ENCONTRO NACIONAL E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2007, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Anais...** Mato Grosso do Sul, Brasil: UFMS, 2007. p. 1297–1306.

ALVAREZ, Cristina Engel de; VARGAS, Paulo sérgio de Paula; VIDIGAL, Emerson José. As novas edificações brasileiras na Antártica: do concurso de projeto ao AS. In: XXIV RENIÓN DE ADMINISTRADORES DE PROGRAMAS ANTÁRTICOS LATINOAMERICANOS, 2013, Rapal. **Anais...** Rapal: [s.n.], 2013. p. 9.

ANDERSEN, I B. Indoor Air Pollution Due To Chipboard. v. 9, 1975.

ANDRADE, Marta Valéria Almeida Santana De *et al.* Compostos carbonílicos atmosféricos: fontes, reatividade, níveis de concentração e efeitos toxicológicos. **Química Nova**, v. 25, n. 6b, p. 1117–1131, 2002.

ANVISA AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Consulta Pública nº 109, de 11 de dezembro de 2003**. . Brasil: [s.n.], 2003a

ANVISA AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução - RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003**. . Brasil: Diário Oficial da União, 2003b

ANVISA AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RESOLUÇÃO-RE N899, de 29 de MAIO de 2003 - ANVISA - Guia de validação de métodos analíticos.** . Brasil: [s.n.], 2003c

APA - THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **History of APA , Plywood , and Engineered Wood.** Disponível em: <<http://www.apawood.org/apas-history>>. Acesso em: 30 jul. 2015.

APTER, Andrea; BRACKER, Anne; HODGSON, Michael. Epidemiology of the sick building syndrome. **Journal of allergy and ...**, p. 277–288, 1994. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0091674954000620>>.

ARTAXO, Paulo; ANDRADE, Fátima; MAENHAUT, Willy. Trace elements and receptor modelling of aerosols in the antarctic peninsula. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, v. 49, n. 1-4, p. 383–387, 1990.

BAEK, Sung Ok; KIM, Yoon Shin; PERRY, Roger. Indoor air quality in homes, offices and restaurants in Korean urban areas - Indoor/outdoor relationships. **Atmospheric Environment**, v. 31, n. 4, p. 529–544, 1997.

BARDANA, Emil J. Indoor air quality and health does fungal contamination play a significant role? **Immunology and Allergy Clinics of North America**, v. 23, n. 2, p. 291–309, 2003.

BARRO, Ruth *et al.* Analysis of industrial contaminants in indoor air: Part 1. Volatile organic compounds, carbonyl compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls. **Journal of Chromatography A**, v. 1216, n. 3, p. 540–566, 2009.

BASILICO, Maria De La Luz Z *et al.* Influence of environmental factors on airborne fungi in houses of Santa Fe City, Argentina. **Science of the Total Environment**, v. 376, n. 1-3, p. 143–150, 2007.

BEGUM, Bilkis a. *et al.* Indoor air pollution from particulate matter emissions in different households in rural areas of Bangladesh. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 898–903, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.005>>.

BEYERSDORF, Andreas J. *et al.* Abundances and variability of tropospheric volatile organic compounds at the South Pole and other Antarctic locations. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 36, p. 4565–4574, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.08.025>>.

BLIEFERT; PERRAUD. **Chimie de l'environnement: air, eau, sols, déchets.** 2 ed. ed.Bruxelles: De Boeck, 2009.

BLONDEL, Alodie; PLAISANCE, Hervé. Screening of formaldehyde indoor sources and quantification of their emission using a passive sampler. **Building and Environment**, v. 46, n. 6, p. 1284–1291, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.011>>.

BOECHAT, Jose Laerte. **Presença de endotoxinas, fungos e ácaros em prédios de escritórios no Rio de Janeiro e sua influência na prevalência dos sintomas de asma, rinite, atopia e síndrome do edifício doente**. 2009. 266 f. Tese de doutorado. Faculdade de Medicina. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

BÖHLANDT, Antje *et al.* High concentrations of cadmium, cerium and lanthanum in indoor air due to environmental tobacco smoke. **Science of the Total Environment**, v. 414, p. 738–741, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.11.017>>.

BÖHM, Martin; SALEM, Mohamed Z M; SRBA, Jaromír. Formaldehyde emission monitoring from a variety of solid wood, plywood, blockboard and flooring products manufactured for building and furnishing materials. **Journal of Hazardous Materials**, v. 221-222, p. 68–79, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.013>>.

BRANCO, P. T B S *et al.* Indoor air quality in urban nurseries at Porto city: Particulate matter assessment. **Atmospheric Environment**, v. 84, p. 133–143, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.11.035>>.

BRANIŠ, Martin; ŘEZÁČOVÁ, Pavla; DOMASOVÁ, Markéta. The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM10, PM2.5, and PM1 in a classroom. **Environmental Research**, v. 99, n. 2, p. 143–149, 2005.

BRASIL, Instituto de Arquitetos do. **Termo de referência Estação antártica Comandante Ferraz**. . [S.l: s.n.], 2013.

BRICKUS, L. S R; AQUINO NETO, Francisco R. de. A qualidade do ar de interiores e a saúde pública. **Revista Brasileira de Toxicologia**, v. 14, n. 1, p. 29–35, 2001.

BUONANNO, G. *et al.* Children exposure assessment to ultrafine particles and black carbon: The role of transport and cooking activities. **Atmospheric Environment**, v. 79, p. 53–58, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.06.041>>.

BUONANNO, G.; STABILE, L.; MORAWSKA, L. Personal exposure to ultrafine particles: The influence of time-activity patterns. **Science of the Total Environment**, v. 468-469, p. 903–907, 2014.

CABRAL, João P S. Can we use indoor fungi as bioindicators of indoor air quality? Historical perspectives and open questions. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 20, p. 4285–4295, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.005>>.

CAMPOS, C I; LAHR, F a R. Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando. v. 9, p. 32–42, 2004.

CARAZO FERNÁNDEZ, Luis *et al.* Indoor Air Contaminants and Their Impact on Respiratory Pathologies. **Archivos de Bronconeumología (English Edition)**, v. 49, n. 1, p. 22–27, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1579212912002108>>.

- CASUCCIO, Gary S. *et al.* Measurement of fine particulate matter using electron microscopy techniques. **Fuel Processing Technology**, v. 85, n. 6-7, p. 763–779, 2004.
- CATALINA, Tiberiu; IORDACHE, Vlad. IEQ assessment on schools in the design stage. **Building and Environment**, v. 49, n. 1, p. 129–140, 2012.
- CHARLES, K. *et al.* **Indoor Air Quality Guidelines and Standards**. . Canada: National Research Council Canada. , 2005
- CLARISSE, B. *et al.* Indoor aldehydes: Measurement of contamination levels and identification of their determinants in Paris dwellings. **Environmental Research**, v. 92, n. 3, p. 245–253, 2003.
- COLLINS, Carol H.; BRAGA, Gilberto L.; BONATO, Pierina S. **Fundamentos de Cromatografia**. 1. ed. São Paulo: Unicamp, 2006.
- CONNELL, L. *et al.* Distribution and abundance of fungi in the soils of Taylor Valley, Antarctica. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 10, p. 3083–3094, 2006.
- CONNER, Teri L. *et al.* Individual particle analysis of indoor, outdoor, and community samples from the 1998 Baltimore particulate matter study. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 23, p. 3935–3946, 2001.
- CONNER, Teri L.; WILLIAMS, Ronald W. Identification of possible sources of particulate matter in the personal cloud using SEM/EDX. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 31, p. 5305–5310, 2004.
- CONTI, Melina Moreira. **Caracterização química e morfológica de partículas sedimentadas na Região Metropolitana da Grande Vitória - ES**. 2013. 1-124 f. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. UFES., 2013.
- COSTA, Danilo Fernandes. **Prevenção da exposição ao benzeno no Brasil**. 2009. 179 f. Tese de doutorado. Faculdade de Medicina. USP. São Paulo., 2009.
- CPTEC/INPE, CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/ INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Antártica – Projeto de meteorologia**. Disponível em: <<http://antartica.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 11 jan. 2013.
- DIAS, José Walderley Coêlho. **Amostrador de bioaerossóis de um estágio/N6 Manual de operação**. 3 ed ed. Rio de Janeiro: Energética Qualidade do AR, 2005.
- DOCKERY, Douglas W. *et al.* Relationships among personal, indoor and outdoor NO₂ measurements. **Environment International**, v. 5, n. 2, p. 101–107, 1981.
- DUNCAN, Shona M. *et al.* Monitoring and identification of airborne fungi at historic locations on Ross Island, Antarctica. **Polar Science**, v. 4, n. 2, p. 275–283, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.polar.2010.03.008>>.
- EUROFINS. **Product testing**. Disponível em: <<http://www.eurofins.com/>>. Acesso em: 1 jan. 2015.

- FENECH, Ann *et al.* Volatile aldehydes in libraries and archives. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 17, p. 2067–2073, 2010.
- FILHO, Virgílio F. Nascimento. **Técnicas Analíticas Nucleares De Fluorescência De Raios X Por Dispersão De Energia (Ed-Xrf) E Por Reflexão Total (Txrf)**. [S.l.: s.n.], 1999.
- FINLAYSON-PITTS, Barbara J.; PITTS JR, James N. **Chemistry of the Upper and lower atmosphere**. Califórnia, USA: Academic Press, 2000.
- FLANNIGAN, Brian. Air sampling for fungi in indoor environments. **Journal of Aerosol Science**, v. 28, n. 3, p. 381–392, 1997.
- FONDAZIONE SALVATORI MAUGERI. **Radiello Manual**. Padova: Centro di Ricerche Ambientali, 2011. Disponível em: <<http://www.radiello.com/>>.
- FRANCK, Ulrich *et al.* Respiratory effects of indoor particles in young children are size dependent. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 9, p. 1621–1631, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.001>>.
- FROMME, H. *et al.* Particulate matter in the indoor air of classrooms-exploratory results from Munich and surrounding area. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 4, p. 854–866, 2007.
- GÉHIN, Evelyne; RAMALHO, Olivier; KIRCHNER, Séverine. Size distribution and emission rate measurement of fine and ultrafine particle from indoor human activities. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 35, p. 8341–8352, 2008.
- GELLER, Michael D. *et al.* Indoor/outdoor relationship and chemical composition of fine and coarse particles in the southern California deserts. **Atmospheric Environment**, v. 36, n. 6, p. 1099–1110, 2002.
- GILBERT, Nicolas L. *et al.* Levels and determinants of formaldehyde, acetaldehyde, and acrolein in residential indoor air in Prince Edward Island, Canada. **Environmental Research**, v. 99, n. 1, p. 11–17, 2005.
- GLOBO. **Estação científica brasileira que pegou fogo na Antártica existia há**. Disponível em: <g1.globo.com>. Acesso em: 25 fev. 2012.
- GODISH, Thad. **Air Quality**. 4th editio ed. Chelsea, Michigan: Lewis Publishers, 2003.
- GOOGLE EARTH. **Antártica**. Disponível em: <www.earth.google.com>. Acesso em: 3 nov. 2012.
- GRIMM AEROSOL TECHNIK. **Portable Laser Aerosolspectrometer and Dust Monitor Model 1.108/1.109 (Manual)**. Ainring, Germany: GRIMM Aerosol Technik GmbH & Co. KG, 2010. Disponível em: <www.grimm-aerosol.com>.
- GUNSCHERA, Jan *et al.* Impact of building materials on indoor formaldehyde levels: Effect of ceiling tiles, mineral fiber insulation and gypsum board. **Building and Environment**, v. 64, p. 138–145, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.03.001>>.

- HAAS, D. *et al.* Comparison of background levels of culturable fungal spore concentrations in indoor and outdoor air in southeastern Austria. **Atmospheric Environment**, v. 98, p. 640–647, 2014. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231014007328>>.
- HARRISON, J *et al.* An investigation of the relationship between microbial and particulate indoor air pollution and the sick building syndrome. **Respiratory medicine**, v. 86, n. 3, p. 225–235, 1992.
- HE, Congrong *et al.* Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 21, p. 3405–3415, 2004.
- HEALTH CANADA. **Residential Indoor Air Quality Guidelines**. . Canada: [s.n.]. Disponível em: <www.hc-sc.gc.ca>, 2014
- HINDS, Willian C. **Aerosol Technology Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles**. Second ed. NY, USA: John Wiley & Sons, 1999.
- HOLLOWELL, C. D. *et al.* Building ventilation and indoor air quality. **Studies in Environmental Science**, v. 8, n. C, p. 387–396, 1980.
- HUANG, Siew Lai; YIN, Chun Yang; YAP, Siaw Yang. Particle size and metals concentrations of dust from a paint manufacturing plant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 174, n. 1-3, p. 839–842, 2010.
- IARC - INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Agents Classified by the IARC Monographs , Volumes 1 – 104. v. 7, n. 000050, p. 1–25, 2012.
- INDOOR AIR QUALITY MANAGEMENT GROUP. **Guidance Notes for the Management of Indoor Air Quality in Offices and Public Places. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region**. Hong Kong: [s.n.] , 2003
- INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Qualidade do Ar em Estabelecimentos de Uso Público e Coletivo**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/qualidadedoAr.asp>>. Acesso em: 7 fev. 2013.
- IRK - FEDERAL ENVIRONMENT AGENCY’S INDOOR AIR HYGIENE COMMISSION. **Guide values for indoor air quality**. . Germany: [s.n.], 2011
- ISELL, Maggie a.; STOLZBERG, Richard J.; DUFFY, Lawrence K. Indoor climate in interior Alaska: Simultaneous measurement of ventilation, benzene and toluene in residential indoor air of two homes. **Science of the Total Environment**, v. 345, n. 1-3, p. 31–40, 2005.
- JACOBSON, Mark Z. **Atmospheric Pollution**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2002.

- JUSSILA, Juha *et al.* Inflammatory potential of the spores of *Penicillium spinulosum* isolated from indoor air of a moisture-damaged building in mouse lungs. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 12, n. 3, p. 137–145, 2002.
- KALOGERAKIS, N. *et al.* Indoor air quality - Bioaerosol measurements in domestic and office premises. **Journal of Aerosol Science**, v. 36, n. 5-6, p. 751–761, 2005.
- KATSOYIANNIS, Athanasios *et al.* Indoor air characterization of various microenvironments in the Arctic. The case of Tromsø, Norway. **Environmental Research**, v. 134, p. 1–7, 2014. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0013935114002072>>.
- KEELER, Marian; BURKE, Bill. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2010.
- KHAN, Haleem; KARUPPAYIL, S. Mohan. Fungal pollution of indoor environments and its management. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 19, n. 4, p. 405–426, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.06.002>>.
- KIM, Ki Hyun *et al.* The modern paradox of unregulated cooking activities and indoor air quality. **Journal of Hazardous Materials**, v. 195, p. 1–10, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.037>>.
- KLICH, Maren A. **Identification of Common Aspergillus Species**. Utrecht: Centraalbureau voor Scimmelcultures, 2002.
- LACAZ, Carlos da Silva; MARTINS, Edward; COSTA, José Eduardo. **Tratado de Micologia Médica Lacaz**. 9 ed ed. São Paulo: Sarvier, 2002.
- LANGER, Sarka; BEKÖ, Gabriel. Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics. **Building and Environment**, v. 69, n. 2, p. 44–54, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.013>>.
- LEE, Shun Cheng; LI, Wai Ming; YIN CHAN, Lo. Indoor air quality at restaurants with different styles of cooking in metropolitan Hong Kong. **Science of the Total Environment**, v. 279, n. 1-3, p. 181–193, 2001.
- LOREIRO, A. L. *et al.* Calibration of reflectometer system to measure black carbon and field intercomparison in the Amazon Basin. In: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CARBONACEOUS PARTICLES IN THE ATMOSPHERE, 1994, Berkley, California, USA. **Anais...** Berkley, California, USA: [s.n.], 1994.
- LPP, Laboratório de Planejamento e Projetos. **Acervo fotográfico**. . Vitória: UFES. , 2009
- MAIOLI, Brígida Gusso. **Quantificação E Caracterização do Material Particulado Fino (Mp 2,5) na Região Metropolitana da Grande Vitória-Es**. 2011. 1-118 f. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Ambiental. UFES, 2011.
- MARCHAND, C. *et al.* Aldehyde measurements in indoor environments in Strasbourg (France). **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 7, p. 1336–1345, 2006.

- MARTINS, Marco Antonio Garcia. **Variação da composição e toxicidade do material particulado ao longo do dia na cidade de São Paulo**. 2010. 50 f. Tese de doutorado. Faculdade de Medicina. Universidade de São Paulo., 2010.
- MASSEY, D. *et al.* Seasonal trends of PM10, PM5.0, PM2.5 & PM1.0 in indoor and outdoor environments of residential homes located in North-Central India. **Building and Environment**, v. 47, n. 1, p. 223–231, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.07.018>>.
- MAZZERA, David M. *et al.* PM10 measurements at McMurdo Station, Antarctica. **Atmospheric Environment**, v. 35, n. 10, p. 1891–1902, 2001.
- MINISTRY OF HEALTH, Labour and Welfare; **Indoor air quality guidelines**. . Japan: [s.n.], 2004
- MISHRA, Vinit K. *et al.* Aerosol composition and its sources at the King Sejong Station, Antarctic peninsula. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 24, p. 4069–4084, 2004.
- MISSIA, Dafni a. *et al.* Indoor exposure from building materials: A field study. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 35, p. 4388–4395, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.049>>.
- MOSCHANDREAS, D.J. Characterization of indoor air pollution. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 21, n. 1, p. 39–49, 1985.
- MTE MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Norma Regulamentadora NR-15: Atividades e Operações Insalubres**. . Brasil: [s.n.], 2011
- MURRAY, Patrick M.; ROSENTHAL, Ken S.; PFALLER, Michael A. **Microbiologia Médica**. 7 ed ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2014.
- NAAQS/EPA. **National Ambient Air Quality Standards**. . USA: U.S. Environmental Protection Agency. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>, 2012
- NASIR, Zaheer Ahmad *et al.* Bioaerosols in residential micro-environments in low income countries: A case study from Pakistan. **Environmental Pollution**, v. 168, p. 15–22, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.047>>.
- NIU, J. L.; BURNETT, J. Setting up the criteria and credit-awarding scheme for building interior material selection to achieve better indoor air quality. **Environment International**, v. 26, n. 7-8, p. 573–580, 2001.
- NUNES, Zilma das Graças. **Estudo da qualidade microbiológica do ar de ambientes internos climatizados**. 2005. 143 f f. Teses de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária. Instituto de Controle da Qualidade em Saude. Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro., 2005.
- ONGWANDEE, Maneerat *et al.* Investigation of volatile organic compounds in office buildings in Bangkok, Thailand: Concentrations, sources, and occupant symptoms. **Building**

and Environment, v. 46, n. 7, p. 1512–1522, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.026>>.

ORMSTAD, Heidi. Suspended particulate matter in indoor air: Adjuvants and allergen carriers. **Toxicology**, v. 152, n. 1-3, p. 53–68, 2000.

ORMSTAD, Heidi; GAARDER, Per Ivar; JOHANSEN, B. V. Quantification and characterisation of suspended particulate matter in indoor air. **Science of the Total Environment**, v. 193, n. 3, p. 185–196, 1997.

PAGEL, Érica Coelho *et al.* Análise da Síndrome do Edifício Doente (SED) na Estação Antártica Brasileira. In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2015, Campinas. **Anais...** Campinas: [s.n.], 2015. p. 1–10.

PANT, Vimlesh; SIINGH, Devendraa; KAMRA, a. K. Size distribution of atmospheric aerosols at Maitri, Antarctica. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 29, p. 5138–5149, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.028>>.

PARUNGO, Farn; BODHAINE, Barry; BORTNIAK, John. Seasonal variation in antarctic aerosol. **Journal of Aerosol Science**, v. 12, n. 6, p. 491–504, 1981.

PASANEN, a. L. *et al.* Fungal microcolonies on indoor surfaces - An explanation for the base-level fungal spore counts in indoor air. **Atmospheric Environment - Part B Urban Atmosphere**, v. 26, n. 1, p. 117–120, 1992.

PEGAS, P. N. *et al.* Indoor and outdoor characterisation of organic and inorganic compounds in city centre and suburban elementary schools of Aveiro, Portugal. **Atmospheric Environment**, v. 55, p. 80–89, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.03.059>>.

PEREIRA, Enio B.; LOUREIRO, Ana L.M.; VASCONSELLOS, Marina B.V. Reconnaissance of elemental composition in aerosols of the Antarctic Peninsula. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v. 26, n. 8, p. 1549–1550, 1992.

PROANTAR. **Tratado Antártico e Protocolo de Madri**. Brasília: SERCIM, 2001.

QUIRCE, S.; BARRANCO, P. Cleaning agents and Asthma. **Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology**, v. 20, n. 7, p. 542–550, 2010.

RAW, G.J. A questionnaire for studies of sick building syndrome. A report to the Royal Society of Health Advisory Group on sick building syndrome. **Fuel and Energy Abstracts**, v. 37, n. 3, p. 227, 1996. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0140-6701\(96\)89211-3](http://dx.doi.org/10.1016/0140-6701(96)89211-3)>.

RIOS, José Luiz De Magalhães *et al.* Symptoms prevalence among office workers of a sealed versus a non-sealed building: Associations to indoor air quality. **Environment International**, v. 35, n. 8, p. 1136–1141, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.005>>.

SALONEN, Heidi *et al.* Fungi and bacteria in mould-damaged and non-damaged office environments in a subarctic climate. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 32, p. 6797–6807, 2007.

SANTOS, J. M. *et al.* Experimental investigation of outdoor and indoor mean concentrations and concentration fluctuations of pollutants. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 36, p. 6534–6545, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.049>>.

SCAR SCIENTIFIC COMMITTEE ON ANTARCTIC RESEARCH. **Stations of SCAR Nations operating in the Antarctic**. Disponível em: <www.scar.org>. Acesso em: 27 out. 2012.

SCE - SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NOS EDIFÍCIOS. **Nota Técnica NT-SCE-02 Metodologia para auditorias periódicas de Qualidade do Ar Interior em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE**. Portugal: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Destaques/Paginas/Notatecnica2.aspx>>, 2009

SEAMAN, Vincent Y.; BENNETT, Deborah H.; CAHILL, Thomas M. Indoor acrolein emission and decay rates resulting from domestic cooking events. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 39, p. 6199–6204, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.043>>.

SEE, Siao Wei; BALASUBRAMANIAN, Rajasekhar. Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 39, p. 8852–8862, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.011>>.

SEIFERT, Bernd *et al.* Seasonal variation of concentrations of volatile organic compounds in selected German homes. **Environment International**, v. 15, n. 1-6, p. 397–408, 1989.

SEINFELD, John H; PANDIS, S N. **Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change**. SECOND EDI ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2006.

SENITKOVA, I. Impact of indoor surface material on perceived air quality. **Materials Science and Engineering C**, v. 36, n. 1, p. 1–6, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2013.11.032>>.

SLEZAKOVA, K. *et al.* Influence of tobacco smoke on carcinogenic PAH composition in indoor PM10 and PM2.5. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 40, p. 6376–6382, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.09.015>>.

SOUZA, José Eduardo Borges de. **Brasil na Antártica: 25 anos de história**. São Carlos: Vento Verde, 2008.

SPAUL, W a. Building-related factors to consider in indoor air quality evaluations. **The Journal of allergy and clinical immunology**, v. 94, n. 2 Pt 2, p. 385–389, 1994.

SRIVASTAVA, Arun; JAIN, V. K. A study to characterize the suspended particulate matter in an indoor environment in Delhi, India. **Building and Environment**, v. 42, n. 5, p. 2046–2052, 2007.

STABILE, L.; FUOCO, F. C.; BUONANNO, G. Characteristics of particles and black carbon emitted by combustion of incenses, candles and anti-mosquito products. **Building and Environment**, v. 56, p. 184–191, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.005>>.

STEINEMANN, Anne C. Fragranced consumer products and undisclosed ingredients. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 29, n. 1, p. 32–38, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2008.05.002>>.

TANER, Simge; PEKEY, Beyhan; PEKEY, Hakan. Fine particulate matter in the indoor air of barbecue restaurants: Elemental compositions, sources and health risks. **Science of the Total Environment**, v. 454-455, p. 79–87, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.018>>.

TEINILÄ, K. *et al.* A study of the sea-salt chemistry using size-segregated aerosol measurements at coastal Antarctic station Neumayer. **Atmospheric Environment**, v. 96, p. 11–19, 2014.

THE EUROPEAN STANDARD. **EN ISO 16000-1: indoor air – general aspects of sampling strategy**. . [S.l: s.n.], 2006

THÖRN, A. The sick building syndrome: a diagnostic dilemma. **Social science & medicine** (1982), v. 47, n. 9, p. 1307–12, 1998. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9783873>>.

TOVALIN-AHUMADA, Horacio; WHITEHEAD, Lawrence; BLANCO, Salvador. Personal exposure to PM_{2.5} and element composition-A comparison between outdoor and indoor workers from two Mexican cities. **Atmospheric Environment**, v. 41, n. 35, p. 7401–7413, 2007.

TRAN, Dinh Trinh *et al.* Indoor-outdoor behavior and sources of size-resolved airborne particles in French classrooms. **Building and Environment**, v. 81, p. 183–191, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.06.023>>.

TURUNEN, Mari *et al.* Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 217, n. 7, p. 733–739, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2014.03.002>>.

UHDE, Erik *et al.* Impact of air fresheners on indoor air quality. **Atmospheric Environment**, v. 106, n. Figure 1, p. 492–502, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.11.020>>.

VARGAS, Paulo Sérgio de Paula *et al.* As novas Estações Antárticas e a busca pela otimização dos sistemas construtivos e maior eficiência energética. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO DE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba: [s.n.], 2013. p. 1–12.

- VIANA, M.; DÍEZ, S.; RECHE, C. Indoor and outdoor sources and infiltration processes of PM1 and black carbon in an urban environment. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 35, p. 6359–6367, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.044>>.
- WAN, Man Pun *et al.* Ultrafine particles, and PM2.5 generated from cooking in homes. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 34, p. 6141–6148, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.036>>.
- WENSING, M.; UHDE, E.; SALTHAMMER, T. Plastics additives in the indoor environment - Flame retardants and plasticizers. **Science of the Total Environment**, v. 339, n. 1-3, p. 19–40, 2005.
- WESCHLER, Charles J. Changes in indoor pollutants since the 1950s. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 1, p. 153–169, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.044>>.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Indoor air pollutants exposure and health effects**. . Regional Office for Europe, Copenhagen: [s.n.], 1983
- WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. WHO guidelines for indoor air quality. **Nutrition journal**, v. 9, p. 454, 2010.
- WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. **WHO guidelines for indoor air quality : dampness and mold**. . [S.l: s.n.], 2007
- XIAO, Qingyang *et al.* Indoor air pollution from burning yak dung as a household fuel in Tibet. **Atmospheric Environment**, v. 102, p. 406–412, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231014009327>>.

Anexo I

Diário de Campo

Ambiente: _____

Identificação	Dia da semana	Data início	Hora início	Data fim	Hora fim	Duração (horas)	Temperatura início (°C)	Temperatura fim (°C)	Umidade início (%)	Umidade fim (%)

LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRAGEM / MONITORAMENTO:

1) Parâmetros externos

Chovendo 1--2--3--4--5-- 6--7 Nevando 1--2--3--4--5-- 6--7

2) Dados do ambiente:

Idade da construção: < 6 meses < 2anos < 10 anos 10-20 anos > 20 anos

Área: _____ m² Pé direito: _____ m

3) Utilização e aquecimento:

a) Cozinha: Fogão operado com: _____

b) Tipo de aquecimento:

Central Radiador Sob o piso

c) Tipo de fonte de energia para aquecimentos:

Óleo Gás Carvão Madeira Elétrica Óleo Radiador

4) Posição do ambiente no edifício:

a) Presença de janelas:

Sim Não

b) Possui _____ paredes para o exterior

c) Paredes externas direcionadas para _____ (Sul, Norte, etc)

d) Janelas direcionadas para _____ (Sul, Norte, etc)

5) Localização do equipamento de amostragem no ambiente.

a) Distância da parede: _____ m

b) Altura do piso: _____ m

CONDIÇÕES DE VENTILAÇÃO ANTES DA AMOSTRAGEM / MONITORAMENTO:

6) Ambiente com ventilação natural: (Sim/Não)

Sim Não

a) Tipo de janela:

Simples De vidro isolados com borracha de vedação Outros: _____

b) Vedação da janela:

Boa Ruim

7) Estado de ventilação antes da medição:

- Completamente ventilado: _____ min
 Janelas e portas fechadas: _____ h
 Ventilação padrão normal usada pelos ocupantes

8) Ambiente com sistema de ventilação e ar condicionado:

Ligado por _____ h Desligado por _____ h

9) Informação sobre o sistema de ventilação e ar condicionado:

- a) Sistema com umidificação:
 vapor Spray
b) Funcionando com _____ % de recirculação
c) Data da última manutenção: ____/____/____
 Global Parcial

CONDICÃO DE VENTILAÇÃO DURANTE A AMOSTRAGEM / MONITORAMENTO:

10) Ambiente com ventilação:

Janelas e portas fechadas Padrão normal de ventilação usado pelos ocupantes (aberto)

11) Sistema de ventilação e ar-condicionado:

Ligado Desligado

MATERIAIS E CONDIÇÕES DO AMBIENTE:

12) Paredes:

Material: _____ Colado? (Sim/não) Idade: ____ anos/mês

13) Piso:

Material: _____ Colado? (Sim/não) Idade: ____ anos/mês

14) Teto:

Material: _____

15) Reformas:

- a) Últimos 3 meses: O que foi reformado? _____
b) Outras mudanças (ambiente/vizinhança) nos últimos 3 meses: _____

16) Mobiliários:

- a) Móveis existentes: _____
b) Novos móveis nos últimos 3 meses: _____
c) Equipamentos existentes: _____

16) Infiltrações:

- Não Sim, Onde? _____
a) Reparado?
 Não Sim, Data ____/____/____

17) Bolor visível?

Não Sim, Descrição: _____

ATIVIDADES DOS USUÁRIOS NO AMBIENTE

18) Número de pessoas:

- a) Ocupação normal: _____ indivíduos
b) Durante a amostragem _____ indivíduos permanecem no ambiente;
c) Animais de estimação (Sim/não)

19) Fumaça de cigarro: (Sim/não)

a) Qtde média de tabaco consumidos no ambiente por dia: _____ cigarros

b) Atividade de fumo ANTES do monitoramento?

- Regular
 Irregular: Qtde: _____, Última ocorrência: _____ h
 Ambiente adjacente

c) Atividade de fumo DURANTE o monitoramento?

- Não Sim, Qtde? _____ cigarros

20) Produtos usados no ambiente:

a) Limpeza do piso:

- Raramente
 Freqüentemente

Nome comercial do produto: _____

b) Cuidados com os móveis:

- Raramente
 Freqüentemente

Nome comercial do produto: _____

c) Limpeza das janelas:

- Raramente
 Freqüentemente

Nome comercial do produto: _____

d) Purificador de ar:

- Raramente
 Freqüentemente

Nome comercial do produto: _____

e) Eliminação de insetos:

- Raramente
 Freqüentemente

Nome comercial do produto: _____

f) Cosméticos:

- Raramente
 Freqüentemente

Nome comercial do produto: _____

g) Hobbies:

- Raramente
 Freqüentemente

Nome comercial do produto: _____

h) Outros:

- Raramente
 Freqüentemente

Nome comercial do produto: _____

OBSEVAÇÕES:
