UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE

ANA PAULA MENDES EMYGDIO

Identificação de bioaerossóis de origem fúngica na cidade de São Paulo

São Paulo

2016

ANA PAULA MENDES EMYGDIO

Identificação de bioaerossóis de origem fúngica na cidade de São Paulo

Versão Corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade

Versão corrigida contendo as alterações solicitadas pela comissão julgadora em 11 de abril de 2016. A versão original encontra-se em acervo reservado na Biblioteca da EACH/USP e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP (BDTD), de acordo com a Resolução CoPGr 6018, de 13 de outubro de 2011.

Área de Concentração:

Ciência, Tecnologia e Gestão para a Sustentabilidade

Orientadora:

Profa. Dra. Maria de Fátima Andrade

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Emygdio, Ana Paula Mendes
Identificação de bioaerossóis de origem fúngica na cidade de São Paulo / Ana Paula Mendes Emygdio ; orientadora, Maria de Fátima Andrade. – São Paulo, 2016
164 f. : il

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo
Versão corrigida

1. Poluição atmosférica - São Paulo (SP). 2. Material particulado. 3. Aerosol. 4. Fungos. I. Andrade, Maria de Fátima, orient. II. Título

CDD 22.ed. – 363.7392098161

Nome: EMYGDIO, Ana Paula Mendes

Título: Identificação de bioaerossóis de origem fúngica na cidade de São Paulo

Dissertação apresentada à Escola de Artes,
Ciências e Humanidades da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de Mestre em
Ciências pelo Programa de Pós-graduação em
Sustentabilidade

Área de Concentração:

Ciência, Tecnologia e Gestão para a
Sustentabilidade

Aprovado em: 11/04/2016

Banca Examinadora

Jorge Alberto Martins

Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Londrina

Fábio Luiz Teixeira Gonçalves

Universidade de São Paulo. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas

Paulo Eduardo Artaxo Netto

Universidade de São Paulo. Instituto de Física

*Aos meus pais, familiares, e ao meu noivo que
me incentivaram e me apoiaram permitindo a
realização desse trabalho*

Agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus pais que sempre me apoiaram e me incentivaram a conquistar aquilo que eu almejava e sempre torceram e celebraram as minhas vitórias.

À minha família que sempre foi um pilar de sustentação e constância na minha vida.

Ao meu noivo que me deu a força necessária, não me deixando fraquejar e desanimar, e principalmente, me reerguendo após momentos de desespero.

À minha orientadora, fonte de inspiração para todos, com seu positivismo, constante bom humor e paciência. Por sempre estar presente quando precisei, e por sempre me ajudar mesmo em assuntos referentes a área de Biológicas. Agradeço também todo o seu incentivo e aconselhamento.

Agradeço a FAPESP pelo auxílio financeiro, o qual permitiu a realização desse trabalho, assim como graças ao apoio da EACH - USP e IAG - USP.

Por fim, agradeço também aos meus professores, que compartilharam seus conhecimentos e me proporcionaram um crescimento acadêmico imensurável.

“Para mim, é muito melhor compreender o Universo como ele realmente é do que persistir no engano, por mais satisfatório e tranquilizador que possa ser.”

(SAGAN, 2009, 27)

RESUMO

EMYGDIO, A. P. M. **Identificação de bioaerossóis de origem fúngica na cidade de São Paulo**. 2016. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Versão corrigida

Há poucos estudos relacionados com a caracterização dos componentes biológicos presentes no material particulado atmosférico, chamados bioaerossóis. Esses componentes biológicos podem assumir uma relação direta com a deflagração de doenças e também estão relacionados com os processos climáticos, em especial como núcleos de formação de gelo. Dentre os bioaerossóis, foram estudados, neste trabalho, os fungos anemófilos, sendo os principais os Basidiomycota, Ascomycota e os Fungos mitospóricos. O objetivo desse trabalho foi estimar a contribuição dos aerossóis fúngicos para a composição biogênica do material particulado atmosférico da Região Metropolitana de São Paulo. Foram realizadas medidas em dois sítios: na Cidade Universitária e no Pico do Jaguará. Para isso, foram caracterizados os tipos fúngicos utilizando-se um microscópio ótico e estimada a massa dos aerossóis de origem fúngica utilizando-se biomarcadores. Foram realizadas coletas durante 2013, 2014 e 2015 com o amostrador “Burkard 7-day Recording Sampler”, sendo que em 2015 também foram realizadas coletas com filtros de quartzo com o amostrador “Airmetrics MiniVol portable Sampler”. Foram identificados e obtida a concentração dos tipos fúngicos observados na atmosfera da RMSP, sendo encontrados 39 grupos principais de fungos, sendo os principais os Basidiomycotas. A concentração média total foi de 5736 ($\pm$ 2459) esporos/m³ por dia. Os Ascomycota, Basidiomycota e os fungos mitospóricos se correlacionaram com as variáveis meteorológicas de forma diferente. Observou-se variação da concentração de esporos durante os diferentes períodos do dia, sendo que a maior concentração de esporos ocorreu na madrugada, possivelmente devido às condições meteorológicas (elevada umidade e temperaturas mais amenas), contudo a concentração dos fungos mitospóricos foi maior durante o período da tarde, principalmente devido aos mecanismos de liberação de esporos. No verão e na primavera foram obtidas as maiores concentrações de Ascósporos e Basidiósporos e no inverno e outono foram obtidas as maiores concentrações dos fungos mitospóricos. Além disso, observou-se uma correlação positiva e significativa entre a concentração de esporos totais e o material particulado inalável (MP₁₀), indicando que ambos são influenciados da mesma forma pelas variáveis meteorológicas e/ou tem uma fonte em comum, como por

exemplo a ressuspensão da poeira do solo. O Arabinol, Manitol, Treitol e os esporos de fungos são positivamente correlacionados, indicando que os três açúcares podem ser traçadores de esporos de fungos na atmosfera. Utilizando-se um fator de conversão proposto na literatura foi possível estimar que 2% da concentração do MP₁₀ e 8% da concentração do OC estão associados aos esporos de fungos, indicando a importância dos esporos fúngicos. Com o uso de modelos receptores foram observadas 6 fontes para o MP₁₀: queima de biomassa resultante de processos industriais; queima de biomassa resultante da queima da vegetação; aerossóis fúngicos; formação de aerossol secundário; ressuspensão do solo e emissão veicular. Esses resultados constituem um avanço para a pesquisa em bioaerossóis no Brasil, já que muitas dessas análises ainda não haviam sido realizadas em áreas urbanas no Brasil.

Palavras chave: Bioaerossóis. Esporos de fungos. Material particulado.

Biomarcadores

ABSTRACT

EMYGDIO, A. P. M. **Fungal origin bioaerosols identification in the city of São Paulo**. 2016. 142 f. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2016. Corrected version.

Although the biogenic components of Particulate Matter (PM) can have a direct relationship with the outbreak of respiratory diseases and can be linked to changes in climate processes there are very few studies related to its characterization in the atmospheric aerosols. Among the bioaerosols, the airborne fungi were studied, and the Basidiomycota, Ascomycota and Mitosporic fungi were the main characterized. The goal of this work was to estimate the contribution of the fungal aerosol to the RMSP atmosphere, with samplings in two sites: Cidade universitária (USP) and Pico do Jaraguá (PJ). For that, the fungi types were characterized using an optical microscope and it was estimated the mass of the fungal aerosol using biomarkers. Sampling was carried out during 2013, 2014 and 2015 with the "Burkard 7-day Recording Sampler", and in 2015, filters were sampled with the "Airmetrics MiniVol portable Sampler". It was identified and determined the concentration of the fungi types observed in the RMSP atmosphere, and were found 39 main groups of fungi. The main group was the Basidiomycota. The mean concentration of the total fungi was 5736 ($\pm$ 2459) spores/m³ per day. The Ascomycota, Basidiomycota and the mitosporic fungi correlated in different ways with the meteorological variables. A variation of the spores concentration during different times of the day was observed, with the occurrence of the highest concentration of spores at dawn, possibly due to weather conditions (high humidity and cooler temperatures), but the concentration of the mitosporic fungi was higher during the afternoon, mainly due to the spores release mechanisms. In the summer and spring were observed higher concentrations of Ascospores and Basidiospores and in the autumn and winter were obtained higher concentration of Mitospores. Besides that, it was also observed a positive and significant correlation between the fungal spore with the particulate matter, indicating that both are influenced in the same way by weather variables and/or has a common source such as soil resuspension. Arabitol, Mannitol, Threitol and the fungi spores are positive correlated, indicating that these three sugar alcohols can be a tracer for fungi spores in the atmosphere. Using the conversion factor proposed in the literature was possible to estimate that 2% of the PM₁₀ concentration and 8% of the OC concentration it is due to fungi spores, indicating its importance. Using receptor modeling it was

identified six sources for PM₁₀, the biomass burning resulting from industrial processes, the biomass burning resulting from vegetation burning, the fungal aerosol, the secondary formation aerosol, the soil resuspension and vehicular emission. These results are a breakthrough for research on bioaerosols in Brazil, since many of this analyzes had never been performed in urban areas in Brazil.

Keywords: Bioaerosols. Fungal spore. Particulate matter. Biomarkers

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa indicando o local de coleta (USP) e os principais pontos de referência.	35
Figura 2. Mapa indicando o local de coleta no Pico do Jaraguá.	36
Figura 3. Média diária das variáveis meteorológicas - Umidade relativa (%), Velocidade média do vento (km/h), Temperatura (°C), Pressão Atmosférica (hPa) e Precipitação (mm) do período de 2013, 2014 e 2015.	56
Figura 4. Valores médios anual das variáveis meteorológicas no período de 2013, 2014 e 2015.	58
Figura 5. Rosa dos ventos referente ao período coletado em 2013(A), 2014(B) e 2015(C).	59
Figura 6. Prancha com os principais esporos analisados. A: <i>Pithomyces</i> sp.; B: <i>Venturia</i> sp.; C: <i>Torula</i> sp.; D: Basidiósporo colorido indeterminado; E: <i>Spegazzinia</i> sp.; F: <i>Myxomycota</i> ; G: <i>Gliomastix</i> sp.; H: Ascósporo de 4 células com cor; I: <i>Ganoderma</i> sp.; J: <i>Epicoccum</i> sp.; K: Diatrypaceae Grande; L: Ascósporo de 2 células sem cor; M: <i>Paraphaeosphaeria</i> sp.; N: Basidiósporos hialino grande; O: Indeterminado; P: <i>Cladosporium</i> sp. sp.; Q: Ascósporo de 4 células sem cor R: <i>Drechslera</i> -like. S: Xylariaceae T: <i>Periconia</i> sp.	60
Figura 7. Gêneros/Grupos de esporos encontrados e concentrações médias diárias.	62
Figura 8. Concentração média total mensal de esporos analisados em 2013 e 2014 (Teste de Kruskal Wallis, $p < 0,05$).	67
Figura 9. Prevalência dos grandes grupos de esporos em 2013 e 2014.	67
Figura 10. Distribuição da concentração média diária dos grandes grupos por mês analisado (Teste de Kruskal Wallis, $p < 0,05$).	68
Figura 11. Porcentagem média diária dos grandes grupos em diferentes estações do ano (Teste de Kruskal Wallis, $p < 0,05$).	69
Figura 12. Concentração média total (esporos/m ³) nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h). Teste de Kruskal-Wallis, $p < 0,05$.	70
Figura 13. Porcentagem da concentração média (esporos/m ³) de cada gênero e indeterminado dentro do grande grupo dos Mitósporos, nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).	71
Figura 14. Porcentagem da concentração média (esporos/m ³) de cada gênero e indeterminado dentro do grande grupo dos Ascósporos, nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).	72
Figura 15. Porcentagem da concentração média (esporos/m ³) de cada gênero e indeterminado dentro do grande grupo dos Basidiósporos, nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).	73
Figura 16. Porcentagem da concentração média (esporos/m ³) de cada gênero e indeterminado dentro do grande grupo dos Diversos, nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).	74
Figura 17. Comportamento dos grandes grupos de esporos (A – Mitósporos e Ascósporos; B – Diversos, Basidiósporos e Total) nos períodos do dia e nos meses de setembro de 2013 à setembro de 2014.	75
Figura 18. Concentração média das variáveis meteorológicas, temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (km/h) e precipitação acumulada (mm), em relação ao período do dia analisado, manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).	76

Figura 19. Concentração média das variáveis $MP_{2,5}$ ($\mu g/m^3$), MP_{10} ($\mu g/m^3$) em relação ao período do dia analisado, manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).....	76
Figura 20. Coeficiente de correlação de Spearman indicando as correlações significativas entre os esporos totais, os poluentes e as variáveis meteorológicas.	79
Figura 21. Rosa dos ventos com os dados da concentração de esporos.....	81
Figura 22. Relação entre a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/ m^3 - média por período), dos esporos totais (Total) e as diferentes velocidades do vento (separadas em 4 grupos). Teste de Kruskal-Wallis (Total: $p=0,000$; Mitósporo: $p=0,056$; Ascósporo: $p=0,7629$; Basidiósporo: $p=0,000$; Diversos: $p=0,0010$).	83
Figura 23. Relação entre a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/ m^3 - média por período) dos esporos totais (Total) e os diferentes intervalos de valores da umidade relativa do ar (separados 4 grupos). Teste de Kruskal-Wallis (Total: $p=0,039$; Mitósporo: $p=0,000$; Ascósporo: $p=0,000$; Basidiósporo: $p=0,740$; Diversos: $p=0,144$).	84
Figura 24. Relação entre a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/ m^3 - média por período), dos esporos totais (Total) e as diferentes precipitações (separadas em 4 grupos). Teste de Kruskal-Wallis (Total: $p=0,022$; Mitósporo: $p=0,1382$; Ascósporo: $p=0,000$; Basidiósporo: $p=0,735$; Diversos: $p=0,151$).	85
Figura 25. Relação entre a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/ m^3 - média por período), dos esporos totais (Total) e as diferentes temperaturas (separados em 4 grupos). Teste de Kruskal-Wallis (Total: $p=0,206$; Mitósporo: $p=0,009$; Ascósporo: $p=0,981$; Basidiósporo: $p=0,430$; Diversos: $p=0,166$).	86
Figura 26. Análise de Cluster, realizada utilizando método de Ward para agrupamento e a técnica de 1-Pearson r como medida da distância.....	90
Figura 27. Variação da concentração dos esporos do Pico do Jaraguá (PJ) e na Cidade Universitária (USP).....	91
Figura 28. Box Plot dos dados do Pico do Jaraguá (PJ) e da Cidade universitária (USP).	92
Figura 29. Porcentagem referente a concentração de cada grande grupo de esporo em cada período do dia, considerando as coletas feitas no Pico do Jaraguá.....	94
Figura 30. Porcentagem referente a concentração de cada grande grupo de esporo em cada período do dia, considerando as coletas feitas na Cidade Universitária (USP).....	94
Figura 31. Variáveis meteorológicas médias obtidas no IAG e no INMET considerando os diferentes períodos do dia.	95
Figura 32. Variação temporal (diária) da concentração de esporos na PJ.	96
Figura 33. Variação temporal (diária) da concentração de esporos na USP.	96
Figura 34. Variação temporal (diária) das variáveis meteorológicas.	99
Figura 35. Rosa dos ventos considerando a velocidade do vento e a direção do vento obtidas no INMET (A) e no IAG (B).....	100
Figura 36. Concentração de Arabitol e variáveis meteorológicas.	103
Figura 37. Concentração de Manitol e variáveis meteorológicas.	103
Figura 38. Correlação entre Manitol e Arabitol ($r^2 = 0,79$).....	109
Figura 39. Correlação entre Levoglucosan, Galactosan ($r^2 = 0,90$) e Mannosan ($r^2 = 0,98$).	110
Figura A 1. Visão panorâmica observado do local de coleta na Cidade Universitária (USP).....	134
Figura A 2. Visão geral observada do local de coleta no Pico do Jaraguá.....	134
Figura A 3. “Burkard 7-day Recording Sampler” (Burkard Manufacturing Co., Ltd., Rickmansworth, United Kingdom).	135

Figura A 4. Visão geral de uma lâmina (magnificação 400X). Amostrador de ar Burkard, atmosfera de São Paulo, SP.....	135
Figura A 5. Airmetrics MiniVol portable Sampler.....	136
Figura A 6. Filtro de quartzo coletado (47mm).....	136
Figura A 7. Filtros de polycarbonato (47mm).....	137
Figura A 8. HPAEC-PAD (Dionex).	137
Figura A 9. Analisador “Model 1010 Total Organic Carbon (TOC)” (OI analytical company, USA).	138
Figura A 10. “DRI Model 2001A OC/EC Carbon Analyzer” (Atmoslytic Inc., Calabasas, CA, USA).	138
Figura A 11. Fluorescência de Raios X- Shimadzu EDX-700 instalado no LAPAt (Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos, IAG-USP).	139
Figura A 12. Porcentagem dos grupos de esporos que apresentam as maiores contribuições para a concentração total de esporos (USP).	139
Figura A 13. Porcentagem dos grandes grupos em relação ao total de esporos encontrados (USP).....	140
Figura D 1. Correlação entre a concentração de MP ₁₀ obtidas pela CETESB e as concentrações obtidas com o MiniVol ($y = 0,44x - 0,97$; $R^2 = 0,76$).	144
Figura E 1. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 10 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).	145
Figura E 2. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 11 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).	146
Figura E 3. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 12 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).	146
Figura E 4. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 13 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).	147
Figura E 5. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 14 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de	

chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente). 147

Figura E 6. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 15 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente). 148

Figura E 7. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 16 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente). 148

Figura E 8. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 17 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente). 149

Figura E 9. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 18 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente). 149

Figura E 10. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 19 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente). 150

Figura E 11. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 20 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente). 150

Figura E 12. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 21 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA

HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).	151
Figura E 13. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 22 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA	
HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).	151
Figura E 14. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 23 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA	
HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).	152
Figura E 15. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 24 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA	
HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).	152
Figura F 1. Variação mensal da concentração de esporos em 2013, 2014 e 2015.	157
Figura F 2. Prevalência de esporos em 2013, 2014 e 2015.	158
Figura AA 1. Filogenia e classificação do Fungi (Fungi basais e Dikarya). O comprimento das ramificações não é proporcional à distância genética.	159
Figura AA 2. Filogenia e classificação do <i>Fungi (Ascomycota)</i> . As linhas tracejadas indicam táxon que são de colocação incerta.	160
Figura AA 3. Filogenia e classificação do <i>Fungi (Basidiomycota)</i> . As linhas tracejadas indicam táxon que são de colocação incerta.	161
Figura AA 4. Tipos de formas dos esporos (1)	162
Figura AA 5. Tipos de formas dos esporos (2)	163
Figura AA 6. Tipos de superfícies dos esporos	164

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Detalhes sobre o período de coleta e número de amostras coletadas.	36
Tabela 2. Número de dias em que houve coletas com o amostrador “Burkard 7-day Recording” na USP referente a cada mês (2013, 2014 e 2015).	37
Tabela 3. Resumo da amostragem	40
Tabela 4. Valores mensais das variáveis meteorológicas (Temperatura média, Umidade relativa do ar média, Velocidade do vento média, Precipitação acumulada, Pressão atmosférica média) no período de 2013, 2014 e 2015.	57
Tabela 5. Grupos de esporos encontrados, concentração média diária em cada mês de 2013 analisado. Concentração média total e desvio padrão total, considerando concentração diária de 2013 e 2014.....	63
Tabela 6. Grupos de esporos encontrados, concentração média diária para cada mês de 2014 analisado.	64
Tabela 7. Correlação de Spearman entre esporos, poluentes (MP ₁₀ e MP _{2,5}), precipitação (Prec.), pressão atmosférica (Pa), velocidade do vento (Vv) umidade relativa do ar (UR) e temperatura (Temp.).....	78
Tabela 8. Teste de Kruskal-Wallis relacionando a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m ³ - média por período) e dos poluentes MP _{2,5} e MP ₁₀ (µg/m ³) com as diferentes velocidades do vento (8 grupos).....	82
Tabela 9. Teste de Kruskal-Wallis relacionando a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m ³ - média por período) e dos poluentes MP _{2,5} e MP ₁₀ (µg/m ³) com as diferentes umidades relativas do ar (8 grupos).	84
Tabela 10. Teste de Kruskal-Wallis relacionando a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m ³ - média por período) e dos poluentes MP _{2,5} e MP ₁₀ (µg/m ³) com as diferentes precipitações acumuladas (8 grupos).	85
Tabela 11. Teste de Kruskal-Wallis relacionando a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m ³ - média por período) e dos poluentes MP _{2,5} e MP ₁₀ (µg/m ³) com os diferentes intervalos de temperaturas.	86
Tabela 12. Análise de Fatores indicando os sete fatores e a comunalidade (Vp). Os Fatores juntos perfazem uma porcentagem cumulativa de 73% da variância dos dados, e possuem autovalores maiores que 1.	88
Tabela 13. Correlação entre as concentrações diárias das variáveis meteorológicas, temperatura (Temp.), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V. Vento), precipitação acumulada (Precip.) das duas estações meteorológicas (IAG e INMET). ..	93
Tabela 14. Correlação de Pearson entre as concentrações dos poluentes MP ₁₀ e MP _{2,5} (µg/m ³) e as concentrações de esporos diárias (esporos/m ³) observadas no Pico do Jaraguá (PJ) e na Cidade Universitária (USP).	97
Tabela 15. Correlação de Pearson entre as variáveis meteorológicas temperatura, umidade relativa do ar (UR), precipitação acumulada (Precip. Acum.) e velocidade do vento (V. vento) obtidas na estação do INMET com os poluentes MP ₁₀ e MP _{2,5} e as concentrações diárias dos grupos de fungo coletados no Pico do Jaraguá e na Cidade Universitária. ..	97
Tabela 16. Correlação de Pearson entre as variáveis meteorológicas temperatura (Temp.), umidade relativa do ar (UR), precipitação acumulada (Precip.) e velocidade do vento (V. vento) obtidas na estação do IAG com os poluentes MP ₁₀ e MP _{2,5} e as concentrações diárias dos grupos de fungo coletados no Pico do Jaraguá e na Cidade Universitária. ..	98
Tabela 17. Variação temporal da concentração de esporos considerando os dois locais de coleta (PJ e USP) e da direção predominante do vento considerando as duas estações meteorológicas (IAG e INMET).....	100

Tabela 18. Concentração média, máxima e mínima dos carboidratos, íons (ng/m ³), WSOC, OC e EC (µg/m ³) e porcentagem média da contribuição de cada carboidrato, Íon, WSOC, OC e EC para a massa do MP ₁₀	101
Tabela 19. Correlação de Pearson entre os carboidratos, WSOC, OC e EC.....	108
Tabela 20. Contribuição média (%) de cada carboidrato, todos os carboidratos e o WSOC para a concentração em massa do OC.....	111
Tabela 21. Correlação entre os álcoois de açúcar, anidroaçúcar, WSOC, OC, EC e os íons (Ca ⁺ , Mg ⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , Cl ⁻ , F ⁻).	112
Tabela 22. Correlação entre os álcoois de açúcar, anidroaçúcar, WSOC, OC, EC e os íons (NO ₃ ⁻ ; C ₂ O ₄ ²⁻ ; PO ₄ ³⁻ ; SO ₄ ²⁻ ; MP ₁₀).....	112
Tabela 23. Correlação entre o total de esporos, Arabitol, Manitol, Treitol e Potássio.	113
Tabela 24. Correlação entre os grupos de esporos e o Arabitol, Manitol, Treitol e Potássio.	113
Tabela 25. Participação em massa de esporos no MP ₁₀ e OC.....	115
Tabela 26. Fator de conversão (FC) utilizando dados desse trabalho	116
Tabela 27. Participação em massa de esporos no MP ₁₀ considerando a contagem de esporos feita nesse trabalho e o FC.....	116
Tabela 28. Concentração média dos elementos-traço constituintes do MP ₁₀	117
Tabela 29. Análise de Fatores. Na tabela está indicado os “Factor Loading”, o autovalor, porcentagem cumulativa da variância total e a comunalidade (Vp).	118
Tabela 30. Contribuição de cada fator para o MP ₁₀	119
Tabela B 1. Correlação de Spearman entre esporos totais e grandes grupos com a concentração em massa de MP ₁₀ e MP _{2,5} e os elementos do MP ₁₀	141
Tabela C 1. Calibração para os carboidratos	143
Tabela C 2. Calibração para os ânions	143
Tabela C 3. Calibração para os cátions	143
Tabela D 1. Concentrações médias, máximas e mínimas do MP _{2,5} e do MP ₁₀ e a contribuição em porcentagem do MP _{2,5} no MP ₁₀	144
Tabela E 1. Direção do vento predominante em relação a USP considerando 5 horários diferentes e as 3 linhas que indicam a altitude da massa de ar. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. O horário indicado se inicia em 00h do dia anterior à data de chegada da massa de ar e termina as 24h do dia de chegada.	153
Tabela E 2. Altitudes de saída da massa de ar referente ao dia anterior à data de chegada da massa de ar, considerando as 3 altitudes de chegadas definida na configuração do modelo.....	154
Tabela E 3. Média observada para cada grupo de esporos considerando as diferentes direções do vento observadas no período analisado e nos dois locais de coleta (PJ e USP); Direção do vento que apresentou a maior média, a menor média, a 2ª maior média e a 2ª menor média de cada grupo de esporos. A frequência de dia indica a quantidade de dias que apresentaram a direção do vento correspondente.....	155
Tabela F 1. Correlação entre 2013, 2014 e 2015	157

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1. Região metropolitana de São Paulo.....	20
1.2. Aerossóis e Material particulado.....	21
1.3. Importância dos bioaerossóis	24
1.4. Bioaerossóis de origem fúngica	26
1.5. Métodos de amostragem de bioaerossóis de origem fúngica.	30
2. OBJETIVO.....	32
3. JUSTIFICATIVA	33
4. METODOLOGIA.....	34
4.1 Locais de coleta	34
4.1.1. Cidade Universitária	34
4.1.2. Pico do Jaraguá.....	35
4.2 Período de Coleta	36
4.3 Amostradores de ar.....	37
4.3.1. Burkard 7-day Recording Sampler	37
4.3.2. Airmetrics MiniVol portable sampler	38
4.3.2.1. <i>Análise do material particulado coletado com Filtros de quartzo....</i>	<i>39</i>
4.3.2.2. <i>Filtro de polycarbonato.....</i>	<i>39</i>
4.4 Análises laboratoriais	39
4.4.1. Identificação e concentração dos esporos	40
4.4.2. Preparação do filtro de quartzo.....	42
4.4.3. HPAEC-PAD.....	42
4.4.3.1. <i>Análise de carboidratos</i>	<i>43</i>
4.4.3.2. <i>Análise de íons solúveis em água</i>	<i>44</i>
4.4.4. Determinação de WSOC	44
4.4.5. Análise de OC/EC.....	44
4.4.6. ED-XRF	45
4.5 Análises estatísticas	46
4.5.1. Análise de componentes principais (PCA)	46
4.5.2. Análise de Componentes Principais absoluta.....	48
4.5.3. Regressão Linear Múltipla	48
4.5.4. Análise hierárquica de Cluster	49
4.5.5. Coeficiente de correlação de Spearman	50
4.5.6. Teste de Kruskal-Wallis	51
4.5.7. Análise de Mann Whitney.....	51
4.5.8. Softwares utilizados	53
4.6 Concentração do material particulado e dados meteorológicos.....	53
4.7 Análise das condições meteorológicas	53

5. RESULTADOS	56
5.1. Meteorologia	56
5.2. Variação da concentração de esporos	60
5.3. Variação mensal e sazonal da concentração de esporos	66
5.4. Variação diária da concentração de esporos.....	70
5.5. Associação entre esporos, variáveis meteorológicas, MP _{2,5} e MP ₁₀ ¹	77
5.6. Associação entre Cidade Universitária e Pico do Jaraguá	91
5.7. Análise dos Carboidratos, Íons, WSCO, OC e EC ²	101
5.8. Associação entre carboidratos, íons, MP ₁₀ , WSOC, OC e EC.....	107
5.9. Biomarcadores de fungos.....	113
5.10. Fontes do MP ₁₀	116
6. CONCLUSÃO.....	120
REFERÊNCIAS ³	122
APÊNDICE A - FIGURAS	134
APÊNDICE B – DICOTOMICO-PARTISOL.....	141
APÊNDICE C – CALIBRAÇÕES	143
APÊNDICE D – MATERIAL PARTICULADO (CETESB X MINIVOL).....	144
APÊNDICE E – MODELO NOAA HYSPLIT	145
APÊNDICE F – ANÁLISE DA VARIABILIDADE DE 2013, 2014 E 2015.....	157
ANEXO A – CLADOGRAMAS	159

1. Introdução

Dentre os poluentes que mais impactam a qualidade do ar na Região Metropolitana de São Paulo, o Material Particulado tem sido muito estudado pela sua importância pelo impacto à saúde humana e papel relevante ao clima. Sua composição tem sido muito estudada em São Paulo, com a identificação dos compostos inorgânicos e total de carbono orgânico e elementar (YNOUE et al., 2004, MIRANDA et al., 2002; ANDRADE et al., 2010; CASTANHO e ARTAXO, 2001). A fração orgânica explica a maior parte da massa do material particulado fino ($MP_{2,5}$) e fração significativa do material particulado inalável (MP_{10}). É conhecido que a principal fonte do material carbonáceo é a queima de combustíveis fósseis e não fósseis, mas há ainda uma grande lacuna no papel dos bioaerossóis para a composição orgânica do MP_{10} . Dessa forma este trabalho tem como tema a determinação da contribuição dos bioaerossóis para a composição e concentração do MP_{10} .

1.1. Região metropolitana de São Paulo

Fundada em 1554, a cidade São Paulo é atualmente uma das maiores metrópoles do mundo, sendo estimada uma população de 11,9 milhões de habitantes, e sua região metropolitana, já atingiu 20,9 milhões de habitantes (10,3% da população total do país) (IBGE, 2014). A região metropolitana de São Paulo (RMSP) apresenta um polo industrial extremamente diversificado e uma das maiores frotas de carros do Brasil (DENATRAN, 2011), conferindo uma frota circulante total de 7,1 milhões, isto é, 48% de toda a frota do estado (CETESB, 2014). A atmosfera da região apresenta uma grande diversidade de aerossóis que são primordialmente emitidos pela indústria e veículos automotores. As fontes móveis são responsáveis por 97% das emissões de CO, 82% de HC, 78% de NO_x, 43% de SO_x e 40% de MP (CETESB, 2014), sendo que diversos estudos mostram que a principal origem das partículas finas é a emissão veicular. Há uma diferença entre a emissão de poluentes por veículos pesados e veículos leves, sendo que os primeiros são as principais fontes de Black Carbon (BC) e os segundos emitem grande parte dos compostos orgânicos voláteis (COV), que posteriormente são convertidos em compostos orgânicos secundários (CETESB, 2012; SÁNCHEZ-CCOYLLO et al., 2007). Dentre todos os veículos, os automóveis compõem 72% de toda a frota da RMSP, sendo que 30%

são devido a automóveis movidos a gasolina c, 2%, são devido a automóveis movidos a etanol hidratado e 39% são automóveis tipo flex.

Os veículos comerciais leves correspondem a 13%, os caminhões correspondem a 2%, os ônibus correspondem a 1% e as motocicletas correspondem a 12% da frota da RMSP (CETESB, 2014).

1.2. Aerossóis e Material particulado

Os materiais particulados (MP) são partículas sólidas e líquidas que se mantêm suspensas na atmosfera. Estes podem ter uma origem antropogênica ou natural (GODISH, 2004), serem sólidos ou líquidos, além de serem diferentes em tamanho, morfologia, massa, composição química, densidade, propriedades químicas e físicas (ESMANHOTO, 2010). O tempo de permanência da partícula na atmosfera depende principalmente da sua densidade, massa e diâmetro, entre outros fatores. O material particulado que atua nos processos atmosféricos pode variar de tamanho (SEINFELD e PANDIS, 1998), sendo que as partículas maiores que 10 μm apresentam um tempo de residência menor na atmosfera. As partículas com diâmetro aerodinâmico entre 2,5 e 10 μm são chamadas partículas grossas ($\text{MP}_{2,5-10}$), que somadas com as partículas finas ($\text{MP}_{2,5}$), constituem as partículas inaláveis (MP_{10}). Já as partículas maiores que 100 μm são definidas como MP depositável (GODISH, 2004). As partículas finas ($\text{MP}_{2,5}$) apresentam um tempo de residência maior na atmosfera, podendo ser transportadas a longas distâncias e têm propriedades importantes do ponto de vista da saúde humana, pois podem adentrar o aparelho respiratório inferior. Por isso, o material particulado fino é um dos aerossóis mais preocupantes quando se considera a saúde humana, sendo que em São Paulo pode-se afirmar que 14% está associado ao carbono elementar e 26% ao material particulado orgânico (SOUZA, 2014).

O material carbonáceo é usualmente classificado como carbono orgânico (OC) e carbono elementar (EC) e ambos são importantes pela sua influência no balanço radioativo na atmosfera. O OC é caracterizado por espalhar a radiação incidente, contribuindo com o esfriamento da superfície da Terra; por outro lado, o EC absorve fortemente a radiação solar contribuindo significativamente para o efeito estufa e o consequente aquecimento da superfície da Terra (NOVAKOV et al., 2005; RENGARAJAN et al., 2011). Em consequência dessas características esses materiais carbonáceos influenciam indiretamente na formação e no tempo de vida das nuvens

(GILARDONI et al., 2011). O EC tem uma estrutura similar a um grafite impuro, sendo um poluente primário emitido por fontes antropogênicas (PACHAURI et al., 2013), já que é resultado da combustão incompleta dos materiais carbonáceos (NA et al., 2004), como no caso da combustão incompleta de combustíveis para veículos automóveis e da biomassa e outros combustíveis usados em residências (RENGARAJAN et al., 2011). Pelo fato do EC ser resultado da combustão, este pode ser usado como um traçador de carbono orgânico primário (TURPIN e HUNTZICKER, 1995).

O OC apresenta uma composição complexa, sendo uma mistura de hidrocarbonetos e compostos oxigenados (NA et al., 2004). Este pode ser um carbono orgânico primário (POC), formado pelas mesmas fontes do EC ou derivado de fontes biogênicas, e também pode ser um carbono orgânico secundário (SOC) formado por reações químicas na atmosfera (RENGARAJAN et al., 2011; CASTRO et al., 1999). O carbono orgânico primário refere-se à partículas que são emitidas diretamente na atmosfera, que podem ser originadas da combustão, ou podem ser emitidas por fontes biogênicas, constituindo as partículas grossas. O carbono orgânico secundário refere-se às partículas formadas na atmosfera através do processo de conversão gás-partícula de compostos orgânicos voláteis (COV) (TURPIN e HUNTZICKER, 1995; CASTRO et al., 1999). Condições meteorológicas podem ser um fator de aumento ou diminuição da concentração de SOC. Estações como o verão, que favorecem a ocorrência de atividade fotoquímica (alta insolação de UV solar) tem uma concentração mais alta de SOC (CASTRO et al., 1999).

Os aerossóis atmosféricos (AA) exercem um importante papel no balanço climático, tanto de forma direta quanto indireta (KALTENEGGER et al., 2008; GEORGAKOPOULOS et al., 2009). O efeito radiativo direto se deve ao espalhamento (por exemplo, os compostos orgânicos e os sulfatos) e a absorção (por exemplo o Black Carbon) de radiação. Esse efeito resulta em uma alteração no balanço radiativo entre atmosfera-terra (MARTINS, 2006; FORSTER et al., 2007), e modifica a estabilidade e o fluxo de umidade para a formação de nuvens. O efeito indireto dos aerossóis é o mecanismo no qual estes modificam a microfísica da nuvem, influenciando nas propriedades radioativas, quantidade e duração das nuvens (FORSTER et al., 2007). A capacidade dos aerossóis de constituírem os núcleos de condensação de nuvens, influenciando na formação de gotículas e consequentemente influenciando as propriedades da nuvem, depende de alguns fatores como o seu tamanho, composição química e o ambiente. Os aerossóis podem modificar as propriedades das nuvens

resultando em uma força radiativa negativa, isto é, no resfriamento da Terra (FORSTER et al., 2007). Ao mesmo tempo a queima de biomassa, a poluição antropogênica do ar, a fumaça e a poeira são fontes de grandes concentrações de núcleos de condensação de nuvens. Segundo alguns autores, isso pode culminar em uma elevada concentração de gotas de nuvem pequenas, o que resulta em uma coalescência e formação de gelo ineficiente, aumentando o albedo e suprimindo a precipitação (ROSENFELD, 2000; ROSENFELD et al., 2001). A composição química e as propriedades dos aerossóis têm forte influência nessas alterações (SEINFELD e PANDIS, 1998; LIOU, 2002).

A parte do material particulado composto por carbono orgânico, pode ser derivada das emissões antropogênicas (principalmente pela combustão de combustível fóssil) ou pode ser derivada de fontes biogênicas. Os compostos orgânicos secundários (resultantes dos COVs), compõem de 20% a 80% de todo o material particulado orgânico em áreas rurais e urbanas (TURPIN et al., 1995; SCHAUER et al., 1996; CASTRO et al., 1999). Em relação aos compostos orgânicos derivados de fontes biogênicas, não se sabe qual é a contribuição real para a região metropolitana de São Paulo, já que a maioria dos estudos relacionados à poluição, que foram realizados em São Paulo envolvem compostos inorgânicos, em especial os emitidos por veículos (MIRANDA et al., 2002; ANDRADE et al., 2010).

Considerando o panorama mundial, estudos relacionados à composição biológica de material particulado também são escassos (MATTHIAS-MASER et al., 1995; MATTHIAS-MASER et al., 1998; ADHIKARI et al., 2006; DOUWES et al., 2003). Entretanto, existem estudos que apontam a importância das partículas de origem biológica, como o de Matthias-Maser et al. (1998), onde foi estimado que cerca de 22% a 30% do total do material particulado é de origem biológica. Em consequência desses estudos pioneiros, atualmente há uma atenção maior voltada ao assunto considerando que é necessário o conhecimento do total de sua participação para o material particulado.

O material biológico, quando transportado como material particulado, tem suas dimensões aerodinâmicas modificadas, o que pode ser prejudicial se for considerado que estas modificações podem ocasionar a penetração deste material biológico em regiões alternativas do pulmão. Além disso, o material biológico apresenta características antigênicas, isto é, ao entrar em um organismo é capaz de iniciar uma resposta imune (GLIKSON et al., 1995; KNOX et al., 1997; D' AMATO, 2002).

Os poluentes, em especial os componentes biológicos presentes na atmosfera, são de elevada importância, mostrando relação com deflagração de doenças respiratórias e

interferindo em processos climáticos. Braga et al. (2001) afirma que os estudos até então realizados, mostram que a exposição prolongada à poluição pode gerar alterações inflamatórias das vias aéreas, danos do DNA (mutações) e, podem ocorrer aumentos na morbidade (doenças) e mortalidade por eventos respiratórios e cardiovasculares. Em São Paulo há muitos estudos que relacionam a concentração de material particulado com efeitos deletérios à saúde, mas a sua composição em termos de bioaerossóis, foi muito pouco descrita.

Além de estarem relacionados dentro do âmbito epidemiológico, os compostos biológicos do material particulado também chamados de bioaerossóis, podem atuar nos processos meteorológicos e climáticos, como no caso da formação de núcleos de gelo (*ice nuclei*) (MORRIS et al., 2013). A influência dos bioaerossóis nos processos físico-químicos da atmosfera varia quando se considera as condições ambientais, já que a variedade temporal e espacial dos microrganismos é dependente dessas condições (MORRIS, 2008). Tendo isso em vista, faz-se necessário obter um melhor entendimento das partículas biogênicas que contribuem para a massa de material particulado e, portanto, para a poluição atmosférica.

1.3. Importância dos bioaerossóis

Os microrganismos como bactérias e fungos são de elevada importância para o ecossistema, sendo decompositores, alergênicos, causadores de efeitos adversos a saúde, como doenças respiratórias e infecciosas e doenças crônicas como asma, bronquite e rinite (HAINES et al., 2000; BURGE, 1986; INAL et al., 2010; RICCI, 1995; TARIQ et al., 1996; DAVIS et al., 1988; HORNER, 1989; 1993; ATAYGUL et al., 2007; DOUWES et al., 2003; BURGE e ROGERS, 2000), além disso alguns compostos como os glucanos presentes na parede celular dos fungos, podem resultar em respostas inflamatórias (DOUWES et al., 2003). Inal et al. (2010) demonstraram uma relação entre concentração de fungos e o aumento de crises de asma e rinite em indivíduos sensíveis. Os microrganismos também podem ser utilizados na fabricação de alimentos (cerveja, queijos, vinhos e refrigerantes), remédios e cosméticos (RAW, 2001), utilizados na agricultura para o controle de pragas e parasitas, na medicina, na biotecnologia (ALEXOPOULOS et al. 1996). Além dos microrganismos, o aumento na concentração de pólen atmosférico mostrou uma relação com uma maior quantidade de crises e internações por asma (KNOX et al., 1997; DARROW et al., 2012). Dentre as reações

alérgicas causadas por pólen, a maior parte é causada pelos tipos polínicos mais frequentes, dentre eles estão: a *Ambrosia sp.* (D' AMATO et al., 1998), e representantes da família Poaceae e Ciperaceae (DARROW et al., 2012). Dentre os fungos mais comuns associados a crises de asma estão os gêneros *Alternaria spp* e *Cladosporium spp* (fungos mitospóricos) (TARIQ et al., 1996) e *Coprinus spp* e *Ganoderma spp* (Basidiomycota), sendo recentemente associados como mais comuns nas crises alérgicas (DAVIS et al., 1988; HORNER, 1989; 1993).

Os núcleos de gelo (*Ice nuclei*) são conjuntos de populações heterogêneas de aerossóis, que são insolúveis em água e apresentam ligação química e estrutura cristalográfica similar à do gelo (HOOSE et al., 2010). Hoose et al., (2010) apontam que esses núcleos são responsáveis pela formação de gelo nas nuvens e podem induzir a precipitação em temperaturas entre -2°C e -38°C, interferindo assim no balanço energético e no ciclo hidrológico da Terra (DEMOTT, et al., 2010). Dentre os aerossóis que são responsáveis pela formação de *ice nuclei*, as partículas carbonáceas, principalmente os de origem biológica, como as bactérias, fungos e grãos de pólen, são as principais substâncias que conseguem formar *ice nuclei* e consequentemente ocasionar a precipitação, em temperaturas mais quentes que -10°C (MORRIS et al., 2013). Os outros aerossóis (como por exemplo, poeira mineral), em sua maioria perdem a sua eficiência como *ice nuclei* em temperaturas mais quentes que -15°C (DEMOTT, et al., 2010). Os núcleos de condensação de nuvem (CCN) são partículas com potencial de nuclear as gotas de nuvens líquidas, isto é formar gotas de água nas nuvens. Elas podem ser partículas insolúveis em água ou pequenas partículas solúveis que condensam água em uma supersaturação de alguns décimos de um por cento (HOBBS, 1993). Elas podem ser, poeira, bioaerossóis, sal marinho, óxido de enxofre e fósforo provenientes das chaminés industriais (OLIVEIRA, 2008; HASSET et al., 2015). Para uma partícula ser ou não um núcleo de condensação de nuvem depende de vários fatores, incluindo a sua composição. Alguns esporos fúngicos, pertencentes ao filo dos Basidiomycota podem agir como gigantes núcleos de condensação de nuvens (GCCN). Estudos (HASSET et al., 2015; WEBSTER & WEBER 2007; FISCHER et al, 2010) apontam que alguns Basidiomycotas apresentam um mecanismo de liberação de esporo, chamado de *ballistospore*, nesse mecanismo o esporo é liberado com uma gota de água na sua superfície, que evapora quando na atmosfera. HASSET et al. (2015) demonstrou que a gota de água é refeita quando o esporo entra em contato com o ar úmido, indicando que alguns basidiósporos podem ser eficientes GCCN, estimando a formação de gotas ativas.

1.4. Bioaerossóis de origem fúngica

No início da classificação dos organismos, os fungos estavam tanto dentro do grupo dos vegetais como no grupo dos protistas. Isso porque esses organismos apresentam características semelhantes às bactérias, semelhante aos eucariontes, tanto animais quanto vegetais e também apresentam características únicas, não sendo semelhantes a nenhum outro organismo. Como qualquer outro ser vivo, existem os fungos mais derivados e os menos derivados, dependendo do seu aparecimento na escala evolutiva, sendo considerados mais derivados aqueles que tem uma origem mais recentes na escala evolutiva. Os organismos menos derivados apresentam uma dependência maior da água, já os organismos mais derivados são menos dependentes da água.

O Reino Fungi (Anexo A – Figura AA 1) engloba organismos eucariontes, haploides, unicelulares ou multicelulares, sendo que apresentam componentes celulares como mitocôndria, lissossomos, vacúolos, membrana plasmática, retículo endoplasmático e em alguns casos aparelho de Golgi. Apresentam uma parede celular rígida composta por quitina e glucanos e em alguns casos apresentam flagelos. Não possuem clorofila, o que os difere dos vegetais, nem plastídios o que os difere das bactérias. Suas células são maiores do que 1µm, sendo que a divisão ocorre por mitose. Em relação ao seu metabolismo, os fungos são aeróbicos, e apresentam nutrição heterotrófica por absorção e armazenamento de glicogênio, diferente dos vegetais que armazenam amido (LACAZ et al. 2002).

A característica exclusiva dos fungos é que estes não apresentam tecido verdadeiro como os animais e vegetais, mas sim, possuem hifas. As hifas são uma longa cadeia de células agregadas, que podem apresentar septos totais ou perfurados e que formam o micélio. Este pode ser unicelular ou um agregado de células, formando uma estrutura semelhante a um tapete de células, que pode apresentar septos (apocíticas) ou não (cenocítico) (MORAES et al., 2009). O micélio pode ser reprodutivo quando apresenta um aparelho de frutificação, ou vegetativo quando o aparelho está ausente. Também pode ser holocárpico quando todo o micélio se transforma em elemento de reprodução, ou eucárpico quando apenas parte deste se transforma. O aparelho de frutificação pode ser derivado de um processo sexuado (telemorfo ou perfeito) ou assexuado (imperfeito ou anamorfo) (LACAZ et al. 2002). Os fungos são classificados pelo método de reprodução, sendo que em ambos os casos ocorre a liberação de esporos

ou conídios, que quando em local propício germinam e formam micélios vegetativos e férteis. Os esporos mais frequentes apresentam um tamanho de 2-10µm (BAUER et al., 2002b; DESPRÉS et al., 2011), contudo pode ser observado esporos com 1µm até 50µm (DESPRÉS et al., 2011), a sua concentração em número varia de 10^3 a 10^4 esporos/m³ de ar e uma concentração em massa de 0,1-1 µg/m³ (DESPRÉS et al., 2011).

Segundo o Dictionary of Fungi, o Reino Fungi é composto por aproximadamente 100 mil espécies (KIRK et al., 2008), que podem ser encontradas em quase todos os tipos de ecossistema. Dentro deste reino, os fungos que possuem seus esporos ou conídios dispersados pelo ar são denominados de anemófilos (HAINES et al., 2000). Estes esporos e conídios são muito resistentes a ambientes extremos (TANG, 2009). Os principais grupos de fungos anemófilos (latu sensu), que serão estudados são os filos Ascomycota (Anexo A – Figura AA 2) e Basidiomycota (Anexo A – Figura AA 3), os Fungos Mitospóricos, anamórficos ou imperfeitos (HAWKSWORTH et al. 1995) e o filo Myxomycota, que em classificações anteriores pertencia ao reino Fungi, contudo atualmente pertence aos protistas (ALEXOPOULOS et al., 1996; KIRK et al., 2001).

O filo Ascomycota apresenta organismos que produzem esporos aerolisáveis no interior dos ascos. Os ascos estão contidos no interior dos ascomas e sua reprodução sexuada ocorre através de uma meiose e uma mitose, resultando geralmente em ascos contendo oito Ascósporos (SAMSON et al., 2008). Além de serem muito importantes para o ecossistema, no processo de decomposição, algumas evidências apontam que os Ascomicetos podem ser relevantes no estudo de alergias (HAINES et al., 2000; BURGE, 1986). A principal característica que diferem os Ascósporos dos outros esporos é a presença destes em grupos de oito, ademais não apresentam cicatriz, conexões ou ramificações já que a sua produção é individual e em ascos. São geralmente longos e podem ser septados (HAINES et al., 2000).

O Filo Basidiomycota inclui os cogumelos, *puffballs*, *smuts* e *rusts* (ferrugens). Sua reprodução sexuada ocorre através da formação de Basidiósporos, produzidos nas lamelas que ficam expostas ao meio externo (HAINES et al., 2000). Devido ao mecanismo de liberação de esporos de alguns Basidiomycota (WEBSTER & WEBER 2007; FISCHER et al, 2010) a liberação de Basidiósporos está ligada a presença de umidade, em especial quando o vapor d'água do ar condensa nos corpos de frutificação (BURGE et al., 2006; LANCEY, 1996). Além da importância no âmbito ecológico, os Basidiomicetos são importantes para a população humana, já que são muito utilizados na agricultura para o controle de pragas e parasitas, na medicina, na biotecnologia e também

na alimentação (ALEXOPOULOS et al. 1996). A principal característica que diferencia um Basidiósporo é a sua assimetria, gerada por um apículo descentralizado resultante da conexão do esporo ao basídio. Diferente dos Ascósporos, os Basidiósporos raramente apresentam septos e nunca apresentam ramificações (HAINES et al., 2000). Os gêneros frequentemente relacionados a alergias e ataques asmáticos são *Coprinus* sp. (DAVIS et al., 1988), *Ganoderma* sp. (HORNER et al., 1993) e *Calvatia* sp. (HORNER et al., 2002).

Os organismos do filo Myxomycota apresentam plasmódios verdadeiros ou pseudoplasmodios com fase ameboide e células flageladas. São encontrados em locais com depósito de matéria orgânica em decomposição e são conhecidos como gelatinosos, já que apresentam uma característica ameboide. A principal característica do filo é assumir duas formas nas fases do seu ciclo de vida: a assimilativa e a reprodutiva. O filo Myxomycota é importante no âmbito agrícola, já que esse filo está muito presente na cana-de-açúcar resultando tanto em doenças nos trabalhadores, quanto em perdas na produção (CHIAPPETA et al., 2003). Além disso, os organismos desse filo são conhecidos causadores de asma e rinite, sendo relevantes para estudos alergênicos (GIANNINI et al., 1975).

Os fungos Mitospóricos (anamórficos ou imperfeitos) não são um grupo monofilético, isto é, não apresentam um ancestral comum. Por comparação de sequências gênicas, foi possível verificar que esse grupo está relacionado a gêneros do filo Ascomycota e Basidiomycota (MORAES et al., 2009). Compreendem um grupo onde o ciclo de vida inclui apenas a fase assexuada, com a produção de conídios. Os conídios são provenientes de uma hifa especializada, chamada conidióforo, que os produz através da mitose. Os propágulos provindos desses fungos, que nesse caso seriam os conídios, serão chamados de Mitósporos. Quando os Mitósporos são liberados dos conidióforos surge uma cicatriz simétrica nas extremidades. Essa cicatriz é o principal fator que distingue um Mitósporo dos esporos dos outros grupos. Os fungos Mitospóricos são os únicos que apresentam esporos ligados em cadeia, sendo que quando um Mitósporo é encontrado com duas cicatrizes, uma em cada extremidade, denota que este esteve em cadeia antes de ser liberado (HAINES et al., 2000). São encontrados com maior frequência na literatura os gêneros *Cladosporium* sp. sp., *Alternaria* sp., *Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp. (BUSH et al., 2001), sendo que muitos dos produtos de uso humano são derivados desse grupo, em especial do *Penicillium* sp. e do *Aspergillus* sp.

Os Ascomycota, Basidiomycota e Myxomycota apenas recentemente têm sido relacionados com a ocorrência de crises alérgicas. Já os fungos mitospóricos são bem

conhecidos pela sua característica alergênica, sendo que a maioria dos fungos responsáveis por essa sensibilidade pertencem a esse grupo (RICCI, 1995).

Em São Paulo, os gêneros de fungos mais predominantes na atmosfera são *Aspergillus* sp., *Candida* sp., *Cephalosporium* sp., *Cladosporium* sp. sp., *Fusarium* sp., *Hormiscium* sp., *Monilia sitophila* (*Crysonilia* sp.), *Penicillium* sp., *Rhizopus* sp., *Rhodotorula* sp. (ALMEIDA, 1951), *Alternaria* sp., *Epicoccum* sp., *Aureobasidium* sp., *Trichoderma* sp. e *Phoma* sp. (GAMBALE et al., 1977), sendo os fungos *Trichoderma* sp. e *Fusarium* sp. eficientes núcleos de gelo (POULEUR, 1992).

As principais fontes de esporos são o solo, a vegetação, a atividade humana (construções, parques, jardins e próprio corpo humano) e superfícies com água (BAUER et al., 2002; BURCH e LEVETIN, 2002; BURGE et al., 2000; YANG, 2012; TANG, 2009). No geral, a ocorrência e distribuição dos fungos, bem como a liberação ou inativação dos esporos estão relacionadas à presença de água (precipitação, nevoeiro e orvalho), entretanto isso varia quando se analisa os diferentes grupos de fungos. Outros fatores podem influenciar a liberação de esporos, como a poluição, radiação solar, velocidade dos ventos, umidade relativa do ar, temperatura e a pressão atmosférica (HORNER et al., 1995; TANG, 2009; RICCI, 1995; MORRIS et al., 2008). Ademais, devido às mudanças climáticas globais e ao aumento de CO₂, há uma tendência de aumento na concentração de bioaerossóis no geral (WAYNE et al., 2002; MORRIS et al., 2008). Os esporos quando estão atmosfera podem ser depositados por diversos fatores, como a chuva e os mecanismos inerciais, já que estes apresentam um tamanho relativamente grande (micron) (LACEY, 1996).

A liberação de esporos para algumas espécies apresenta-se restrita em certa época do ano, por exemplo, *Venturia* sp. libera seus esporos na primavera; outros gêneros como *Cladosporium* sp. sp. têm sua liberação ocorrendo o ano todo, porém com maior predominância em períodos secos (GAMBALE et al., 1983). Alguns organismos pertencentes aos Myxomycota também são liberados durante o ano todo, porém, mais acentuadamente após a ocorrência de chuvas (CHIAPPETA et al., 2003). Por outro lado, alguns representantes do grupo dos fungos anamórficos como *Alternaria* sp., *Helminthosporium/Drechslera* sp., possuem uma maior liberação durante o tempo seco, com maior ocorrência durante ventos fortes (BUSH et al., 2001). Sendo assim, entende-se que a liberação de esporos não assume um padrão de ocorrência universal determinado (GAMBALE et al., 1977). Locais como São Paulo, com um clima subtropical, onde há elevada umidade e temperatura e uma elevada concentração de pessoas, o crescimento

dos fungos é favorecido tornando-se um grande problema para a saúde pública (LAU et al., 2006).

1.5. Métodos de amostragem de bioaerossóis de origem fúngica.

Para a detecção de microrganismos em aerossóis podem ser utilizados três métodos principais: a medição de partículas viáveis, contagem e identificação de esporos viáveis e inviáveis (utilizando um microscópio) e medição de marcadores (biomarcadores). Cada método apresenta as suas limitações e vantagens, sendo que para a contabilização da biomassa total de fungos não há uma metodologia eficiente para todas as situações, sendo necessária uma combinação de métodos específicos para cada situação (LEVETIN, 2004; DEGOBBI, 2009).

Para contagem e identificação de gênero, o método de medição e avaliação de partículas viáveis utiliza meios de cultura, que é muito eficiente para o estabelecimento da relação gênero/patogenia. Porém ao se aplicar esta metodologia podem ocorrer algumas implicações como o fato que condições de estresse podem levar a dessecação, oxidações, ataques por radicais livres e danos por radiação, o que interfere no estabelecimento de bactérias e fungos, que permanecem viáveis, porém não cultiváveis em meio (BEGGS, 2003). Apesar dos fungos apresentarem mais resistência ao estresse, vários fatores interferem no seu desenvolvimento em meio de cultura, como as condições de incubação, meio utilizado e densidade de colônias nas placas (SARAF et al., 1997). Em relação à identificação, apenas 0,1 a 10% dos microrganismos viáveis são cultiváveis (WHITE, 1983), e os esporos fragmentados e os fragmentos de hifas, que são importantes alérgenos, além dos Basidiósporos, não são cultiváveis e assim não são identificados quando utilizada a metodologia de meios de cultura (BURGE et al., 2000; SARAF et al., 1997).

Quando se considera a metodologia que identifica esporos viáveis e inviáveis, não há essas limitações. Além disso é possível identificar uma diversidade de fungos o que não é possível utilizando-se a metodologia de cultura, bem como identificar uma maior quantidade de organismos no geral, incluindo os esporos inviáveis que são a grande maioria de esporos presentes na atmosfera. Apesar disso, a contagem de esporos utilizando essa metodologia apresentam limitações e erros já que a contagem é feita manualmente, além disso a identificação pode apresentar variações. Com as duas

metodologias, é possível obter a concentração em número de esporos e identificar as espécies de fungos, entretanto ambas metodologias requerem muito tempo para o preparo e para a análise.

Com a utilização de biomarcadores, é possível saber a ocorrência de esporos de fungos no material particulado, determinar a biomassa total, bem como quantificar e identificar a contribuição fúngica no aerossol. Além disso, o uso de biomarcadores tem sido sugerido para avaliar o impacto de fungos na saúde pública (BURSHTEIN et al., 2011). Os biomarcadores mais utilizados para fungos são o ergosterol, manitol e arabitol. O ergosterol é um esterol da membrana celular praticamente exclusivo dos fungos, enquanto o manitol e arabitol são álcoois de açúcar (polióis) utilizados como substâncias de reserva em fungos e também em plantas (BURSHTEIN et al., 2011). Essa metodologia simplifica o procedimento de amostragem, já que com apenas uma amostra de material particulado coletado em um filtro é possível se estimar a concentração de esporos de fungos na atmosfera (BAUER et al., 2008a).

Muitos estudos têm sido feitos para determinar a contribuição dos fungos para a massa de material particulado. Bauer et al. (2008b) estimou que os esporos de fungos contribuíam com aproximadamente 60% da massa do carbono orgânico grosso na atmosfera e 40% da massa do material particulado grosso. Através de medidas de fosfolipídios (biomarcador) foi estimado que os pólenes e fungos contribuem de 4 a 11% para a massa de $MP_{2,5}$ e de 12 a 22% da massa de carbono orgânico (WOMILOJU et al., 2003). Além disso, estudos realizados na China indicam que 85% da massa de arabitol e 88% da massa do manitol estão presentes no material particulado grosso (de $2,5\mu m$ a $10\mu m$), o que indica que a maior parte dos esporos de fungos presentes na atmosfera contribui para a massa do MP_{10} (ZHANG et al., 2015). Esses estudos indicam a importância desse tipo de metodologia e as informações que são possíveis de serem obtidas com essa análise. Indicando a necessidade de compreender a contribuição desses fungos para o material particulado presente na atmosfera para que medidas de saúde pública sejam tomadas.

2. Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo principal a caracterização dos bioaerossóis de origem fúngica na atmosfera da Região metropolitana de São Paulo.

Como objetivos específicos pode-se enumerar:

- Identificar os tipos fúngicos e as suas concentrações na atmosfera;
- Descrever como os diversos grupos de esporos fúngicos se correlacionam em termos de comportamento e concentração em número;
- Verificar como os esporos fúngicos variam temporalmente (ao longo do dia e sazonalmente) e espacialmente (Cidade Universitária e Pico do Jaraguá);
- Verificar a influência dos aspectos meteorológicos, bem como dos poluentes, na quantidade, variedade e distribuição dos esporos fúngicos na atmosfera;
- Estimar a contribuição dos bioaerossóis de origem fúngica, para a concentração em massa e composição do $MP_{2,5}$ e MP_{10} ;
- Estimar a biomassa total de estruturas fúngicas na atmosfera da RMSP e a sua contribuição para a concentração em massa do MP_{10} ;
- Avaliar o transporte das massas de ar durante as amostragens nos dois locais: Cidade Universitária e Pico do Jaraguá;
- Incluir os bioaerossóis no balanço de massa de fontes de MP_{10} na região metropolitana de São Paulo.

3. Justificativa

A importância deste trabalho se deve especialmente pela caracterização dos fungos anemófilos e sua relação com a massa do material particulado. Isso é relevante porque há uma lacuna no conhecimento do papel da emissão biogênica para a concentração de material orgânico no material particulado. Ademais, estudos indicam que os esporos de fungos são um dos principais compostos de origem biológica presente na atmosfera. Além disso, sabe-se que os componentes biológicos presentes na atmosfera assumem extrema relação com deflagração de doenças respiratórias e interferem em diversos processos climáticos. Faz-se necessário, portanto, compreender melhor as espécies e a concentração destas na atmosfera.

A metodologia relacionada à contagem de esporos viáveis e não viáveis no microscópio foi utilizada em apenas três trabalhos no Brasil (MEZZARI et al., 2002; DE ANTONI ZOPPAS et al., 2006; DEGOBBI et al., 2011), sendo amplamente aceita no âmbito internacional. Essa técnica permite uma amostragem em um período de 24h, sete dias na semana, sendo que a troca manual ocorre apenas 1 vez por semana, o que difere da metodologia de cultura. Com essa metodologia é possível verificar a variação por área, por sazonalidade e por período do dia, além de permitir identificar espécies que dificilmente seriam caracterizadas em cultura, como o filo Basidiomycota e grande parte do filo Ascomycota. A técnica também possui baixo custo para implantação, e suas lâminas apresentam fixação permanente.

Este trabalho é original por se propor a avaliação da variabilidade anual e diária dos fungos (esporos totais) na atmosfera, juntamente com a análise da trajetória de massas de ar da região mais central (Campus da USP) até uma região mais na borda oeste da área metropolitana (Pico do Jaraguá), além de estimar a biomassa de fungos presentes no material particulado utilizando a metodologia de biomarcadores, o que nunca foi feito em São Paulo. Ademais, sabendo-se as diferenças na concentração de esporos na atmosfera por dia e por período do ano é possível propor medidas de controle para fins de saúde e controle mais intensivo dos esporos patogênicos nas plantações. Atualmente sabe-se muito pouco sobre a influência das variáveis meteorológicas e do comportamento dos esporos na atmosfera, em especial em países tropicais, o que intensifica a importância desse estudo, uma vez que irá complementar os estudos relacionados a meteorologia, já que os esporos influenciam em vários processos climáticos, e também ajudará a compreender mais do comportamento dos organismos presentes nesse reino.

4. Metodologia

4.1 Locais de coleta

4.1.1. Cidade Universitária

A principal plataforma de coleta está localizada no terraço do prédio principal de quatro andares (~12m), do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), da Universidade de São Paulo, no campus Cidade Universitária. A Cidade Universitária está situada na região oeste da cidade de São Paulo, que está localizada na Rua do Matão, 1226, na coordenada 23°33'33.77"S de latitude e 46°44'0.21"O de longitude (Apêndice A– Figura A 1), em uma altitude de ca. de 750 m.

O que se conhece hoje como Cidade Universitária foi até 1935, uma fazenda (Butantan) destinada à criação de cavalos para a produção de soro para o antigo Instituto Butantan (DISLICH, 1996). Atualmente, porém esta região apresenta uma área de terreno total de 3.648.944,4m² e 860.628,08m² de área construída (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2013). A Cidade Universitária está inserida no planalto atlântico (DISLICH, 1998), mais especificamente na Bacia sedimentar de São Paulo e é uma região caracterizada por depósito quaternário e terciário (JOLLY, 1950). A região é delimitada por grandes avenidas e marginais, que são áreas com elevada circulação de veículos, como por exemplo, a av. Escola Politécnica, a av. Corifeu de Azevedo Marques, a av. Engenheiro Billings e a av. das Nações Unidas, ambas pertencentes a Via Professor Simão Faiguenboim, conhecida como Marginal Pinheiros (Figura 1). Em contrapartida, a região também apresenta uma das poucas áreas com cobertura vegetal da cidade de São Paulo, estando o local de coleta há aproximadamente 450m da Reserva Florestal “Armando Salles de Oliveira”, uma área de preservação permanente (DISLICH, 2002). Essa reserva constitui uma mata secundária (CERSÓSIMO, 1993), apresentando um mosaico de áreas em diversos estágios de degradação e regeneração (ROSSI, 1994). O solo da região apresenta baixa concentração de nutrientes, baixa porosidade e alta capacidade de retenção de água, é ácido, argiloso e apresenta elevada concentração de alumínio (VARANDA, 1977).

Esse local de coleta foi escolhido primeiramente pela facilidade de acesso. Contudo, além disso o local é um ponto estratégico, rodeado de grandes avenidas onde trafegam muitos veículos que constituem fontes de poluição, ao mesmo tempo em que

está inserida em uma das poucas regiões florestadas de São Paulo. Somando-se a isso outras análises são feitas na região, que podem servir de comparativo para os dados coletados nesse trabalho.

Figura 1. Mapa indicando o local de coleta (USP) e os principais pontos de referência.

Fonte: Google Earth (2014)

4.1.2. Pico do Jaraguá

A segunda plataforma de coleta está estabelecida em uma das áreas mais altas do Pico do Jaraguá, situada na região noroeste da cidade de São Paulo (Figura 2) localizada na Rua Antônio Cardoso Nogueira, 539 (Vila Chica Luisa), na coordenada $23^{\circ} 27' 33''$ S de latitude e $46^{\circ} 46' 2''$ O de longitude (Apêndice A – Figura A 2), com uma altitude de 1.135 metros.

O pico do Jaraguá é o ponto mais alto da região metropolitana de São Paulo, com aproximadamente cinco mil hectares de área de parques e florestas, sendo atualmente um dos últimos remanescentes de vegetação de mata atlântica em área urbana. Em 1961 foi criado o Parque Pico do Jaraguá com o objetivo de conservar a área (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2004). Esse local de coleta foi escolhido por ser o ponto mais alto da RMSP, e devido a isso permitir o estudo do transporte da massa de ar.

Figura 2. Mapa indicando o local de coleta no Pico do Jaraguá.
Fonte: Google Earth (2015)

4.2 Período de Coleta

Foram realizadas coletas de 24h nos dois locais. Na USP, as coletas ocorreram do dia 11 de setembro de 2013 ao dia 18 de dezembro de 2013; do dia 25 de janeiro de 2014 ao dia 2 de outubro de 2014; do dia 16 de maio de 2015 ao dia 9 de julho de 2015, com um total de 360 amostras. No Pico do Jaraguá (PJ) foram realizadas coletas do dia 12 de setembro de 2014 ao dia 24 de setembro de 2014, somando 14 dias coletados (Tabela 1). Em alguns dias, houve problemas na coleta, na preparação do material e/ou no local de coleta, sendo assim esses dias foram desconsiderados da análise (Tabela 2).

Tabela 1. Detalhes sobre o período de coleta e número de amostras coletadas.

Ano	2013 (dias)	2014 (dias)	2015 (dias)	Total
Data de coleta	11/09-18/12	25/01-02/10	12/09-24/09	16/05-09/07
Local de coleta	USP	USP	PJ	USP
Total de dias coletados	89	217	14	54
				374

Tabela 2. Número de dias em que houve coletas com o amostrador “Burkard 7-day Recording” na USP referente a cada mês (2013, 2014 e 2015).

	Meses	Dias coletados
2013	Setembro	19
	Outubro	27
	Novembro	26
	Dezembro	17
	Janeiro	7
	Fevereiro	13
	Março	15
2014	Abril	30
	Maio	29
	Junho	29
	Julho	31
	Agosto	31
	Setembro	30
	Maio	9
2015	Junho	15
	Julho	3

4.3 Amostradores de ar

Foram coletadas amostras com o “Burkard 7-day Recording Sampler” e com o “Airmetrics MiniVol portable Sampler”.

4.3.1. Burkard 7-day Recording Sampler

O “Burkard 7-day Recording Sampler” (Apêndice A - Figura A 3) é um impactador do “tipo Hirst (1952)”, que contém uma fenda estreita (2 mm x 14 mm) para entrada de ar (partículas de 1 a 10 μ m) por onde são aspiradas as partículas presentes no ar, em um fluxo de 10 litros por minuto. No interior do aparelho, logo após a fenda, há um cilindro (Drum) coberto por uma fita opticamente transparente, que é revestida por uma substância adesiva (a base de petróleo). Quando as partículas entram através da fenda elas são impregnadas nesse cilindro, que se move no sentido anti-horário em uma taxa de 2mm por hora, o que em uma coleta de 24 horas, resulta em um traço contínuo de partículas que apresenta 48mm.

As partículas impregnadas na fita formam um traço, que apresenta 14mm de largura e 336mm de comprimento quando há a coleta de 7 dias. Após a coleta, a fita com as partículas impregnadas foi retirada do cilindro e dividida em partes de 48mm, o que corresponde a coleta de 24 horas. As fitas foram aderidas, utilizando o álcool polivinílico,

em uma lâmina. Após o período de secagem, foram adicionadas algumas gotas de geleia de glicerina e a lamínula, permitindo a fixação da lâmina. A maioria das lâminas, que correspondem a um período de 24h, foram divididas em quatro períodos, manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h). Com isso foi possível obter uma concentração de esporos diária e uma concentração por período do dia.

As lâminas fixadas foram analisadas ao microscópio óptico, em um aumento de 1000X (100X da objetiva e 10X da ocular), utilizando a metodologia de traço longitudinal (Apêndice A – Figura A 4). A coleta das partículas, montagem da lâmina e contagem dos esporos foram realizadas de acordo com Rogers et al. (2001). Essa metodologia apresenta um tempo de leitura, de cada lâmina, de aproximadamente 3 horas. O total de horas dedicado a essa análise foi de 1122 horas da autora desta dissertação.

Esse equipamento foi utilizado em todo o período amostral (2013, 2014 e 2015) e nos dois locais de coleta (USP e Pico do Jaraguá), obtendo um total de 347 amostras (dias) analisadas.

4.3.2. Airmetrics MiniVol portable sampler

Para amostragem do material particulado foi utilizado o amostrador “Airmetrics MiniVol portable sampler” (Apêndice A - Figura A 5) em um fluxo contínuo de 5 L/min. Um amostrador utilizando filtros de quartzo foi empregado simultaneamente com um amostrador utilizando filtros de polycarbonato e ambos filtros foram trocados diariamente aproximadamente às 18 horas. As amostras foram coletadas durante um período de 24 horas, com algumas variações devido ao tempo despendido na troca de filtro. As amostras coletadas são referentes ao MP₁₀.

Filtros brancos foram armazenados uma vez por semana (em um total de oito) para considerar as potenciais contaminações ou artefatos resultantes do manuseio das amostras. Esses filtros consistem em amostras que passam por todo o procedimento de montagem e análise, mas sem serem utilizadas na coleta. O mesmo procedimento usado para coletar as amostras foi usado com as amostras brancas. Esse procedimento é padrão na coleta e estimativa de massa de partículas (OYAMA, 2015).

Com esse equipamento foram obtidas 54 amostras de cada filtro (total de 108 amostras) coletadas em 2015 na USP.

4.3.2.1. Análise do material particulado coletado com Filtros de quartzo

Filtros de quartzo (Apêndice A - Figura A 6) com 47mm de diâmetro foram queimados a uma temperatura de 800°C durante 12 horas e embalados em folhas de alumínio queimadas previamente à 500°C por 4 horas. Os filtros foram armazenados em uma temperatura abaixo de -18°C até o seu uso e também após a amostragem. O manuseio dos filtros foi realizado com a esterilização apropriada dos materiais. Todas essas etapas de preparo do filtro e armazenamento são feitas para garantir que os filtros não estejam contaminados antes da coleta. Esse procedimento é padrão na coleta e estimativa de massa de partículas (OYAMA, 2015).

Os filtros de quartzo foram utilizados para a análise de carboidratos, de carbono orgânico solúvel em água (WSOC), de carbono orgânico, carbono elementar e íons.

4.3.2.2. Filtro de polycarbonato

Filtros de polycarbonato (Apêndice A – Figura A 7) com 47 mm foram utilizados simultaneamente aos filtros de quartzo. Esses filtros foram submetidos a uma análise gravimétrica (pesados antes e após a coleta) para se obter a massa de MP₁₀, e a uma análise de Fluorescência de Raio X para se obter os elementos-traço constituintes do material particulado. Detalhes da metodologia podem ser obtidos em Hetem (2014).

4.4 Análises laboratoriais

O material coletado foi submetido à diversas análises para se obter as concentrações referentes aos esporos fúngicos, carboidratos, íons, WSOC, OC/EC, concentração em massa e elementos-traço constituintes do material particulado. Na tabela 3 apresenta-se um resumo dos equipamentos e períodos de coleta, dos substratos utilizados, dos parâmetros medidos, dos equipamentos de análise e do local de análise.

Tabela 3. Resumo da amostragem

Equipamento de coleta	Tipo de substrato	Parâmetros medidos	Equipamento de análise	Local de análise
Burkard 2013, 2014 e 2015	Fita “Melinex”	Esporos	Microscópio óptico (Zeiss)	IAG (USP)
	Filtro de policarbonato	Massa de MP ₁₀	Balança analítica	IAG (USP)
		Elementos- traço do MP ₁₀	ED-XRF (Shimadzu EDX-700)	IAG (USP)
		Carboidratos	HPAEC-PAD (Dionex)	Hsinchu (Taiwan)
MiniVol 2015	Filtro de quartzo	Íons	HPAEC-PAD (Dionex)	Hsinchu (Taiwan)
		WSOC	Model 1010 TOC analyzer	Hsinchu (Taiwan)
		OC/EC	DRI Model 2001A OC/EC Carbon Analyzer	Tainan (Taiwan)

* As análises realizadas em Hsinchu foram feitas pela autora na Tsing Hua University e as análises realizadas em Tainan foram feitas na National Cheng Kung University.

4.4.1. Identificação e concentração dos esporos

A identificação dos esporos foi realizada segundo Haines et al. (2000), e outras referências na área (SMITH, 1990 BURGE et al., 2006). Muitos fungos não podem ser identificados à gênero e espécie apenas com o esporo, contudo para alguns grupos é possível quando se considera a morfologia do esporo. Os esporos fúngicos são diferentes um dos outros quando se considera a espécie, gênero, família e grupo, etc. sendo assim, deve-se considerar essas diferenças para identificar o grupo fúngico do respectivo esporo. As principais características que devem ser consideradas são a forma (Anexo A – Figura AA 4, Figura AA 5), tamanho, superfície (Anexo A – Figura AA 6), septos e coloração.

Os esporos foram inicialmente classificados em grandes grupos, Ascósporos, Basidiósporos, Mitósporos e Diversos. Em seguida, quando possível, os esporos foram identificados em nível de gênero, ou foram separados em grupos com características semelhantes. Os Mitósporos identificados incluem os gêneros/grupos pertencentes ao filo Ascomycota, que apresentam uma reprodução assexuada, e são (Anexo A – Figura AA 2): [Ordem Pleosporales: Família Pleosporaceae: Gêneros: *Alternaria* sp., *Drechslera*-like, *Stemphylium* sp., *Curvularia* sp.; Família Didymellaceae: Gênero: *Epicoccum* sp.; Família Didymellaceae: Gênero: *Pithomyces* sp.; Família Tetraplosphaeriaceae: Gênero: *Tetraploa* sp.], [Ordem Capnodiales: Família Cladosporiaceae: Gênero: *Cladosporium*

sp.; Família Mycosphaerellaceae: Gêneros: *Cercospora* sp.; *Torula* sp.], [Ordem Helotiales: Família Sclerotiniaceae: Gênero: *Botrytis* sp.], [Ordem Eurotiales: Família Trichocomaceae: Gênero: *Penicillium/Aspergillus*-like], [Ordem Xylariales: Família Apiosporaceae: Gêneros: *Arthrinium* sp., *Spegazzinia* sp.], [Ordem Hypocreales: Gênero: *Gliomastix* sp.] e Mitósporos Indeterminados. Os Ascósporos incluem os gêneros/grupos (Anexo A – Figura AA 2): [Ordem Pleosporales: Família Leptosphaeriaceae: Gênero: *Leptosphaeria*-like; Família Montagnulaceae: Gênero: *Paraphaeosphaeria* sp.; Família Pleosporaceae: Gênero: *Pleospora*-like; Família Sporormiaceae: Gênero: *Sporormiella* sp.], [Ordem Venturiales: Família Venturiaceae: Gênero: *Venturia* sp.], [Ordem Xylariales: Famílias: Xylariaceae; Diatrypaceae-grande, Diatrypaceae-pequeno], Ascósporos de 2 células com cor, Ascósporos de 2 células sem cor, Ascósporos de 4 células com cor, Ascósporos de 4 células sem cor e Ascósporos Indeterminados. Os Basidiósporos incluem os gêneros/grupos (Anexo A – Figura AA 3): [Ordem Agaricales: Família Strophariaceae: Gênero: *Agrocybe*-like; Família Agaricaceae: Gênero: *Coprinus*-like; Família Inocybaceae: Gênero: *Inocybe*-type; Família incerta: Gênero: *Panaeolus* sp.], [Ordem Polyporales: Família Ganodermataceae: Gênero: *Ganoderma* sp.], Basidiósporo hialino pequeno, Basidiósporo hialino grande e Basidiósporos Indeterminados. Foram também identificados os Teliósporos (*Smuts*), os *Rust* e os Myxomycota, que juntos com os indeterminados, que são os esporos que não se encaixavam nas categorias acima, foram categorizados como “Diversos”.

Após a contagem e identificação dos esporos, foram realizados cálculos para determinação da concentração de esporos por metro cúbico como na equação abaixo:

$$\frac{\text{Esporos}}{m^3} = \frac{n}{\frac{d_{cv} \times n_v}{l_t} \times t_a \times f} \quad (1)$$

onde, n é o número de esporos, d_{cv} corresponde ao diâmetro do campo de visão, n_v corresponde ao número de varreduras, l_t é a largura do traço analisado, t_a é o tempo de amostragem e f é a taxa do fluxo.

Para os anos de 2013 e 2014 todos os dias coletados foram analisados e foram obtidas médias diárias e por período para todos os dias. Para o ano de 2015, foram analisados 27 dias sendo obtida apenas a média diária (18h-18h).

4.4.2. Preparação do filtro de quartzo

Os filtros de quartzo utilizados nas amostragens com o MiniVol foram analisados após as coletas de 24 horas para a quantificação dos Carboidratos, Íons, WSOC e Carbono Orgânico e Carbono Elementar.

Na preparação dos filtros, seguiu-se a metodologia proposta por Zhang et al. (2013 e 2015) e o protocolo usado para a análise das espécies carbonáceas foi baseado em Lin et al. (2014). Para os carboidratos e para a análise de íons solúveis em água, metade de cada filtro (a área coletada do filtro de quartzo tinha o diâmetro de 38 cm) foi colocado com 3ml de água ultrapura deionizada (resistividade $> 18.2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$) em um frasco de 4ml, sob uma agitação ultrassônica por 60 minutos. A solução aquosa foi então filtrada através de um filtro e uma seringa (filtro de 25mm com membrana PTFE de $0.45\mu\text{m}$, Pall Corporation, East Hills, NY, EUA) para remover o material insolúvel. A solução foi armazenada em uma temperatura de 4°C para prevenir degradação durante as análises.

Os brancos foram submetidos ao mesmo protocolo que os filtros coletados, e os dados resultantes foram usados para corrigir todas as medidas através da subtração dos valores do branco dos valores das amostras.

4.4.3. HPAEC-PAD

O HPAEC-PAD (Dionex) é um cromatógrafo de troca aniônica de alta performance com detecção por pulso amperométrico, que permite a separação dos carboidratos (Apêndice A - Figura A 8).

Os carboidratos são fracamente ácidos e apresentam terminações em OH. O HPAEC-PAD aproveita da natureza fracamente ácida dos carboidratos para fazer uma separação seletiva destes usando um pH elevado e uma fase estacionária de forte troca aniônica. Em um pH elevado os carboidratos são parcialmente ionizados permitindo uma separação através do mecanismo de troca aniônica. O carboidrato quando em contato com o eletrodo irá oxidar e essa oxidação liberará uma corrente elétrica que será detectada pelo PAD (VERMA, 2013).

Alguns tipos de carboidratos, como os álcoois de açúcar são ainda mais fracamente ácidos e, portanto, não serão um íon forte, tornando difícil a ligação destes na coluna. A coluna Dionex CarboPac MA1 retém e separa os compostos que apresentam

um teor mais fraco de acidez. Essa coluna usa uma resina polimérica com macroporos, que permite que os ânions fracos se liguem fortemente na coluna, sendo então possível quantificar os álcoois de açúcar. Essa coluna requer o uso de uma alta concentração de hidróxido de sódio (NaOH) como eluente, que resulta na ionização dos álcoois de açúcar. Outras cromatografias, como a cromatografia líquida requer uma preparação e limpeza mais elaborada da amostra que resulta em um tempo de preparação mais longo e um maior risco de contaminação devido à manipulação da amostra. O HPAEC usando o PAD requer uma preparação mínima da amostra e consegue quantificar os carboidratos não derivados em níveis de concentração mais baixos que picomol (ROHRER, 2000). As análises utilizando esse equipamento foram realizadas pela autora no “Department of Biomedical Engineering and Environmental Sciences” da “National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan”, sob a supervisão do Dr. Guenter Engling.

4.4.3.1. Análise de carboidratos

Os carboidratos foram analisados usando o HPAEC-PAD em um Sistema Dionex ICS-3000 (cromatografia aniônica, que apresenta uma bomba, um desgaseificador, um compartimento para a coluna e um módulo de detecção eletroquímico), usando uma coluna de guarda Dionex CarboPac MA1 e a coluna analítica Dionex CarboPac MA1 (4×250mm). Uma solução de hidróxido de sódio (400 mM, 0.4 mm/min) foi usada como eluente (ENGLING et al., 2006). Uma solução padrão com níveis de concentração de 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 1, 2, 5, 10 µg/mm, contendo 14 diferentes carboidratos, foi preparada e analisada em cada ensaio analítico.

Com o HPAEC-PAD é possível obter diferentes carboidratos, incluindo mono-, di-, tri-, oligo- e polissacarídeos, álcoois de açúcar e amidos de açúcar, usando diferentes colunas. Nesse trabalho foram obtidos oito carboidratos que incluem os álcoois de açúcar – Manitol, Arabitol, Threitol, Methyl-Threitol e Meyhyl-erythritol - e anidroaçúcares - Levoglucan (1,6-anhydro-β-D-glucopyranose), Mannosan (1,6-anhydro-β-D-mannopyranose) e Galactosan (1-6-anhydro-β-D-galactopyranose).

Essa metodologia é bem estabelecida na literatura para a análise de compostos orgânicos poli-hidróxi.

4.4.3.2. Análise de íons solúveis em água

Parte da solução extraída foi analisada em uma cromatografia iônica usando um sistema Dionex ICS-3000 para determinar as espécies aniônicas (Cl^- , F^- , NO_3^- , NO_2^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) e as catiônicas (NH_4^+ , Ca^+ , Mg^+ , K^+ , Na^+). Os aníons foram separados com uma coluna Dionex AS22 (4X250mm), uma coluna de guarda Dionex CarboPac AS22 (4×50mm), uma solução eluente de 4.5mM Na_2CO_3 /1.4mM NaHCO_3 e uma taxa de fluxo de 1.2 mm/min. Os cátions foram separados com uma coluna CS12A (4×250mm), uma coluna guarda dionex CarboPac CS12A (4×50mm), uma solução eluente de 20mM de ácido metanossulfônico e uma taxa de fluxo de 1.0 mm/min (ZHANG et al., 2013).

4.4.4. Determinação de WSOC

Para a determinação dos carbonos orgânicos solúveis em água (WSOC) foi diluído 1 mm da amostra extraída em 7ml de água ultrapura deionizada, sendo em seguida quantificado com o analisador “Model 1010 Total Organic Carbon (TOC)” (OI analytical company, USA) (Apêndice A – Figura A 9). Estas análises foram realizadas pela autora no “Department of Biomedical Engineering and Environmental Sciences” da “National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan”, sob a supervisão do Dr. Guenter Engling.

4.4.5. Análise de OC/EC

Os carbonos orgânicos e elementares foram analisados com o “DRI Model 2001A OC/EC Carbon analyzer” (Atmoslytic Inc., Calabasas, CA, USA), que usa uma reflexão óptica térmica (Apêndice A - Figura A 10). Para isso os filtros amostrados foram cortados em pequenos círculos de 0.5cm² e foram armazenados em 4°C até o seu uso. Para analisar as amostras em relação ao OC/EC foi utilizado o protocolo de evolução térmica, IMPROVE (The Interagency Monitoring of Protected Visual Environments) (CHOW et al., 1993), que tem sido utilizado para a determinação a concentração de aerossol carbonáceo em diversas amostras (CHOW et al., 2001).

O analisador de carbono OC/EC converte os compostos orgânicos em CO_2 através do oxidante MnO_2 , em uma temperatura de 912°C. O CO_2 é reduzido a metano (CH_4) por um metanador e quantificado por um detector de ionização de chama (FID). O carbono

é dividido em oito frações dependendo da temperatura, oxidação da atmosfera e da luz laser He-Ne. As frações de 120°C (OC1), 250°C (OC2), 450°C (OC3) e 550°C (OC4) são separadas em uma atmosfera de hélio não oxidante, e as frações de 550°C (EC1), 700°C (EC2) e 850°C (EC3) em uma atmosfera oxidante. A separação do OC e EC é relacionada a absorção ou não de luz, sendo que quando há a absorção são denominados carbono elementar (EC) e quando não há a absorção são denominados carbono orgânico (OC). EC é definido como a soma de EC1, EC2 e EC3-pirólise. A soma de todos os componentes é o carbono total (TC) (CHOW et al., 2001).

Das 54 amostras coletadas, foram analisadas 25 amostras. Estas análises foram realizadas no “Department of Environmental Engineering” da “National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan”, sob a supervisão do Dr. Yee-Lin Wu.

4.4.6. ED-XRF

A fluorescência de raio x por dispersão de energia (ED-XRF, Energy dispersive X-ray fluorescence) é um método quali-quantitativo que permite a identificação e a determinação da concentração dos elementos em uma amostra. O sistema é constituído por um tubo que emite raio X. Esse raio X irá excitar os elementos de uma amostra induzindo esses elementos a liberarem um elétron do interior dos níveis dos átomos, o que resultara no preenchimento da vacância por elétrons dos níveis mais afastados. Esse salto quântico realizado pelo elétron culmina em uma perda de energia, que será emitida na forma de um fóton de raio X. O raio X será selecionado através de pulsos eletrônicos produzidos por um detector semiconductor, sendo esses pulsos diretamente proporcionais às energias dos raios X. A energia liberada pelo elétron formará uma linha espectral conhecida e diferente para cada elemento, permitindo a sua identificação, e a intensidade dessa energia (número de raios X detectados por unidade de tempo) está relacionada com a concentração do elemento na amostra (NASCIMENTO FILHO e SIMABUCO, 1996).

Para a determinação e quantificação (concentração) dos elementos que constituem o material particulado, os filtros de policarbonatos coletados em 2015, durante 24h diárias foram submetidos ao equipamento Shimadzu EDX-700 (fluorescência de raio X por dispersão de energia) localizado no Laboratório de Análise dos Processos Atmosférico (LAPAT - IAG - USP), utilizando um detector semiconductor de Si (Li) e com um faixa de medição de 11(Na)~92(U) (Apêndice A - Figura A 11).

4.5 Análises estatísticas

Foram realizadas diversas análises para compreender a propagação, distribuição e comportamento dos esporos na atmosfera, bem como para compreender a relação entre o material particulado, os carboidratos, os íons, o carbono orgânico, o carbono elementar, os elementos presentes no material particulado, os esporos fúngicos e as variáveis meteorológicas. Entre essas análises, foram utilizados testes paramétricos, não paramétricos e multivariados de acordo com a análise de normalidade dos resíduos referentes aos compostos analisados.

As análises estatísticas, aplicadas aos dados de bioaerossóis coletados em 2013 e 2014, foram realizadas usando-se principalmente métodos não-paramétricos (Correlação de Spearman, Teste de Kruskal-Wallis e Mann Whitney), devido ao fato da distribuição dos dados não ser normal nem simétrica (VIEIRA, 2004). Quando a estatística paramétrica (Regressão múltipla) foi utilizada, os dados foram normalizados previamente antes da aplicação da análise multivariada (Análise de Componentes Principais e Análise de Cluster).

Os dados referentes as coletas de filtros (quartzo) foram processados para se obter porcentagens em relação a massa do MP_{10} dos carboidratos, íons, WSOC, OC e EC. A contribuição das partículas fúngicas para a massa do MP_{10} e do OC foi estimada baseada nas medidas dos biomarcadores usando fatores de conversão presentes na literatura (BAUER et al., 2008b e 2002). Para a análise dos dados de carboidratos, íons, WSOC, OC, EC e de esporos referentes ao ano de 2015 foram utilizados métodos paramétricos, como a correlação de Pearson, análises de componentes principais (PCA) e regressões.

4.5.1. Análise de componentes principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais é um método estatístico multivariado cujo objetivo é construir fatores que expliquem as correlações encontradas entre um conjunto de variáveis. Essa análise irá reduzir a base de dados original mantendo o máximo de informações possíveis. Para isso, essa análise parte de uma matriz de correlação, que permitirá a determinação do quanto da variabilidade da variável pode ser explicada pelo fator em relação às outras variáveis. Com essa análise é possível reduzir a complexidade dos dados e identificar fontes para as variáveis, quando não se tem um perfil da fonte já delimitado.

Para a análise de componentes principais, considerando X o número de amostras (dias coletados) e N o número de variáveis ($X_1, X_2, \dots, X_n$), p o número de fatores e F_j a matriz de correlação, temos que:

$$X_i - \mu_i = l_{i1}F_1 + l_{i2}F_2 + \dots + l_{ip}F_p + \varepsilon_i \quad (2)$$

sendo que, X_i indica cada observação com N componentes, μ_i , representa a média das amostragens, F é a nova base ortogonal e p são as coordenadas; ε é o resíduo, l_{ij} é o peso da variável i no fator j .

Em uma ACP é mais comum utilizar a variável normalizada (Z_i) que é dada por:

$$Z_i = \frac{X_i - \mu_i}{\sqrt{\sigma_{ii}^2}} \quad (3)$$

sendo, σ_{ii}^2 o desvio padrão das concentrações. Com a normalização, o desvio padrão dos dados é um e a média é zero.

A comunalidade é a parcela da variância da variável X_i associada aos fatores F_j e quanto maior a comunalidade de cada variável melhor a determinação dessas variáveis em cada fator. Considerando V_p , a variância explicada de uma variável temos que a comunalidade pode ser escrita como:

$$V_p = (l_{i1}^2 + l_{i2}^2 + \dots + l_{ip}^2) \quad (4)$$

O número mínimo de amostras necessárias para se obter resultados válidos deve corresponder a equação abaixo (HENRY et al., 1984):

$$K > 30 + \left(\frac{N+3}{2} \right) \quad (5)$$

onde, K é o número de amostragens e N é o número de variáveis.

Para que o fator explique no mínimo a variância de uma variável, é necessário que o autovalor seja igual a um, isto é, os fatores retidos na matriz final devem ter um autovalor maior ou igual a um.

Após se obter uma matriz de correlação se faz necessário realinhar os fatores principais em direções onde será obtida a máxima variância dos dados. Isso pode ser feito através da rotação Varimax, que irá maximizar a variância, concentrando pesos altos e baixos em cada fator e ao normalizar os vetores, obtém-se a Varimax normalizada (ARAUJO, 2009).

Para os dados coletados em lâminas (fungos) uma análise foi elaborada para explicar as correlações encontradas entre os grupos de esporos. Essa análise foi feita considerando que os esporos apresentam uma frequência diversificada na atmosfera, sendo que muitos esporos não estavam presentes em todos os dias de amostragem. Para a análise de fator, não foi possível considerar todos os grupos de esporos encontrados, já que alguns deles apresentam uma concentração muito baixa. Sendo assim, foram selecionados alguns grupos de esporos para compor o conjunto de variáveis. Essa escolha foi feita considerando os grupos que estavam presentes em pelo menos 100 dias, considerando um total de 306 dias.

Para os dados coletados com os filtros, a análise de componentes principais foi feita, para determinar as fontes do material particulado.

4.5.2. Análise de Componentes Principais absoluta

Com a análise de componentes principais é possível obter o “Factor Score Absoluto”, que irá recuperar a massa do material particulado. Estudos anteriores foram realizados com dados coletados em São Paulo (HETEM, 2014; ANDRADE et al., 2010). O “Factor Score Absoluto” é determinado pela equação:

$$G = (B' \times B)^{-1} \times B' \times Z' \quad (6)$$

onde, G é a matriz dos “Factor Scores Absoluto”, B é a matriz do “Factor loading” e Z é a matriz de dados originais divididos pelo desvio padrão.

4.5.3. Regressão Linear Múltipla

A regressão Múltipla permite explicar a variância de uma variável dependente, através de diversas variáveis explicativas (independentes). A equação que representa essa análise é:

$$Y = \alpha + b_1X_1 + b_2X_2 + b_kX_k \quad (7)$$

onde, α indica o intercepto do eixo y, e $b_1, b_2, \dots, b_k$ indicam os parâmetros ou coeficiente angular intrínseco ao $X, X_1, X_2, \dots, X_k$, que são as variáveis independentes, k é o número de variáveis independentes e Y é a variável dependente (VIEIRA, 2004).

Utilizando-se a regressão múltipla é possível determinar a contribuição de cada fator para a massa total do material particulado.

4.5.4. Análise hierárquica de Cluster

A análise de Cluster consiste em agrupar um conjunto de variáveis em classes de variáveis similares. Com essa análise se obtém conjuntos, em que as variáveis apresentam maior homogeneidade dentro desses grupos e maior heterogeneidade entre os grupos distintos. O processo de aglomeração pode ser hierárquico ou não hierárquico, entretanto o método mais utilizado é o hierárquico. No método hierárquico a matriz inicial de dados é modificada para se obter uma matriz simétrica de similaridades para que se possa detectar os pares de casos, considerando o coeficiente de similaridade escolhido. Entre os diversos métodos de aglomeração deve-se escolher um método em que o agrupamento, considerando os níveis hierárquicos de similaridade, obedeça a uma ordem sucessiva resultando em uma similaridade decrescente (VICINI, 2005). Há diversas medidas de similaridade, que irão determinar a distância entre as variáveis, sendo que as mais comuns são o coeficiente de similaridade considerando a correlação (coeficiente de Pearson), e o coeficiente de dissimilaridade considerando a distância (Distância Euclidiana). O Coeficiente de similaridade (Pearson) foi utilizado nesse trabalho e pode ser calculado pela equação:

$$r = \frac{\sum(x_1 - \bar{x})(y_1 - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_1 - \bar{x})^2 \sum(y_1 - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

onde, x e y são as variáveis.

As distâncias quando utilizado o coeficiente de Pearson, indicam quanto correlacionados estão os grupos.

Existem diferentes métodos para o agrupamento das variáveis, entretanto o método utilizado nesse trabalho foi o método de Ward, onde é considerada a variabilidade dos dados, sendo que são realizados agrupamentos ótimos que minimizam a variação intra-grupos e maximizam a variação entre-grupos.

Esta análise foi utilizada para agrupar os esporos considerando a similaridade com base na correlação entre os grupos.

4.5.5. Coeficiente de correlação de Spearman

A correlação de Spearman é uma análise não paramétrica, semelhante a correlação de Pearson, entretanto não requer a suposição de que a relação entre as variáveis é linear, que os dados observados são variáveis ordinais, nem que as variáveis apresentam uma distribuição normal. Essa correlação utiliza postos para representar os valores das variáveis. Estes postos indicam a posição que o número ocupa, quando todos os dados são classificados em ordem crescente. Para calcular o coeficiente de correlação de Spearman utiliza-se a expressão:

$$r_s = 1 - \left[\frac{6 \sum D^2}{n(n^2 - 1)} \right] \quad (9)$$

onde, r_s representa o coeficiente de correlação de Spearman, D é a diferença entre os postos de um mesmo indivíduo e n é o número de pares de indivíduos da amostra.

Esse teste, irá aceitar ou rejeitar uma hipótese de nulidade, que neste caso indica que na população, as variáveis não estão correlacionadas. Quando o valor crítico é menor do que o valor absoluto de r_s a hipótese de nulidade é rejeitada, isto é, as variáveis estão correlacionadas, apresentando $p < 0,05$ (VIEIRA, 2004). Essa análise foi utilizada para correlacionar os dados da concentração de esporos com dados meteorológicos e de concentração em massa de material particulado, permitindo-se entender a contribuição dos bioaerossóis de origem fúngica, no $MP_{2,5}$ e no MP_{10} e a influência dos parâmetros

meteorológicos, na quantidade, variedade e distribuição dos esporos fúngicos na atmosfera.

4.5.6. Teste de Kruskal-Wallis

O Teste de Kruskal-Wallis foi utilizado para verificar se várias populações têm a mesma distribuição, isto é, se os conjuntos de amostras provêm de uma mesma distribuição. Para utilizar esse teste, é necessário que as variáveis sejam medidas em escala ordinal ou numérica. Ademais, esse teste é utilizado quando a amostra é pequena ou se as pressuposições necessárias para realizar um teste paramétrico como a Análise de Variância não foram atendidas. A hipótese de nulidade que será aceita ou rejeitada, afirma que os diferentes grupos de populações analisados têm a mesma distribuição. Da mesma forma que na correlação de Spearman, o teste de Kruskal-Wallis utiliza postos para representar os valores das variáveis. Para calcular o teste de Kruskal-Wallis utiliza-se a fórmula:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(n+1) \quad (10)$$

onde, n é o número de amostras; n_j é o número de elementos da amostra “j”; R_j é a soma de elementos na amostra “j” e $\sum n_j$ é o número total de elementos em todas as amostras combinadas.

Quando o valor crítico é menor do que o de H a hipótese de nulidade é rejeitada, isto é, as populações não têm a mesma distribuição, apresentando $p < 0,05$ (VIEIRA, 2004). No caso, esse teste foi utilizado para verificar se os diferentes grupos de esporos apresentavam a mesma distribuição quando se considera diferentes velocidades do vento, umidades relativas do ar, temperaturas e precipitações possibilitando compreender a variação dos esporos fúngicos na atmosfera.

4.5.7. Análise de Mann Whitney

O Teste de Mann Whitney compara tendências centrais de duas amostras independentes de tamanhos diferentes. Esse teste foi utilizado para verificar se ambas

amostras pertencem ou não a uma mesma população. Ao contrário do Teste t (teste paramétrico), que testa a igualdade da média, o teste de Mann Whitney testa a igualdade da mediana.

Para utilizar esse teste, é necessário que as variáveis sejam medidas em escala ordinal ou numérica. Esse teste é utilizado quando a amostra é pequena, a variável numérica não apresenta uma variação normal, não há homogeneidade das variâncias e/ou as pressuposições necessárias para realizar um teste paramétrico, como o Teste t, não foram atendidas. A hipótese de nulidade que será aceita ou rejeitada afirma, que considerando os grupos comparados, a distribuição de ambas as variáveis é a mesma. Da mesma forma que na correlação de Spearman e no teste de Kruskal-Wallis, o teste de Mann Whitney utiliza postos para representar os valores das variáveis. Quanto maior a diferença das somas das ordenações (postos), maior a diferença entre os grupos (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Para calcular o teste de Mann Whitney utilizam-se as expressões:

$$U_n = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \quad (11)$$

$$U_n = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2+1)}{2} - R_2 \quad (12)$$

sendo, U_n a estatística W; R_1 é a soma dos postos do grupo 1, n_1 o número de casos do grupo 1; R_2 a soma dos postos do grupo 2, n_2 o número de casos do grupo 2.

O valor do U correspondente ao grupo que tiver o menor n deve ser escolhido, para determinar se a hipótese nula é rejeitada ou não. Para isso se fixa um número de significância ($\alpha=0,05$) e compara-se os valores críticos da distribuição normal padrão com o valor obtido com a formula abaixo:

$$z = U - \left(\frac{\frac{(n_1 n_2)}{2}}{\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \right) \quad (13)$$

Quando o valor de Z indicar um $p < 0,05$, a hipótese de nulidade é rejeitada. No caso, esse teste foi utilizado para verificar se a distribuição de esporos no Pico do Jaraguá é a mesma distribuição encontrada na Cidade universitária (USP).

4.5.8. Softwares utilizados

Para a elaboração da rosa dos ventos e rosa da precipitação, foi utilizada o WRPLOT View, da Lake environmental. Para as análises estatísticas foi utilizado o software “Statistica 10”. Para a manipulação dos dados e elaboração das planilhas foi utilizado o Excel 2013.

4.6 Concentração do material particulado e dados meteorológicos

Os dados de velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, temperatura e precipitação, referentes a 2013, 2014 e 2015 foram obtidos na “Estação Climatológica do IAG” localizada no Parque Cientec-USP na Água Funda.

As concentrações horárias de $MP_{2,5}$ e MP_{10} foram obtidas de Estações de Qualidade do Ar da Rede Telemétrica da “Companhia Ambiental do Estado de São Paulo” (CETESB), sendo os dados provenientes de amostradores com método de medição por radiação Beta (CETESB, 2016). Para o ano de 2013 os dados de concentração de MP_{10} foram obtidos na estação da CETESB localizada no Parque do Ibirapuera. Para os anos de 2014 e 2015 os dados de MP_{10} foram obtidos na estação da CETESB localizada em Pinheiros. Os dados de concentração de $MP_{2,5}$ foram obtidos na estação da CETESB localizada na Cidade Universitária-USP-Ipen. Para o ano de 2015, os filtros de policarbonato, que foram submetidos a uma análise gravimétrica, para se obter a massa de MP_{10} , foram desconsiderados devido a problemas com a pesagem. A relação entre a concentração em massa do MP_{10} obtidos de maneira manual com o amostrador MiniVol e obtidos de maneira automática com o amostrador da CETESB podem ser encontradas no Apêndice D.

4.7 Análise das condições meteorológicas

As análises climatológicas foram retiradas do Boletim climatológico anual e mensal da estação meteorológica do IAG/USP referente aos anos 2013, 2014 e 2015

(BOLETIM CLIMATOLÓGICO ANUAL DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG/USP, 2013; 2014; 2015).

Durante os meses amostrados em 2013 foram observadas temperaturas médias mensais maiores que a Normal de 1933-1960, a Normal de 1961-1990 e a Média histórica de 1933-2013. Considerando todo o ano de 2013, verifica-se que a temperatura média (19,3°C) ficou 0,7°C acima da temperatura média climatológica (18,6°C), 1,5°C acima da Normal 1933-1960 (17,8°C) e 0,6°C acima da temperatura da Normal 1961-1990 (18,7°C). O mês de dezembro se destaca por apresentar uma temperatura média (22,3°C) 1,7°C% acima da média climatológica (20,6°C). Em 2014 foram observadas temperaturas médias mensais maiores que a Normal de 1933-1960, a Normal de 1961-1990 e a Média histórica de 1933-2013. Considerando todo o ano de 2014, verifica-se que a temperatura média (20,1°C) ficou 1,5°C acima da temperatura média climatológica (18,6°C). Os meses com maiores temperaturas foram janeiro (31,7°C), fevereiro (31,6°C), dezembro (29,1°C), março (28,7°C) e outubro (28,5°C), respectivamente. Em 2014 foi observada a maior temperatura média anual (20,1°C) e a maior temperatura média máxima anual (26,9°C) desde 1933 (Normal 1933-1960, 24,2°C). Foi observada em todos os meses de 2014 médias máximas mensais maiores que os respectivos meses de 2013. Durante os meses amostrados em 2015 foram observadas temperaturas médias mensais maiores que a média climatológica (0,9°C maior em maio [17,9°C – 17°C]; 1,3°C maior em junho [17,1°C – 15,8°C]; e 1,9°C maior em julho [17,1°C – 15,2°C]). Considerando os meses analisados de 2015, o mês de julho teve a maior temperatura máxima mensal, de 30,1°C no dia 14 de julho.

Em relação ao acumulado pluviométrico, o ano de 2013 obteve uma média (1501,5mm) 6% acima da média do período 1933-2013 (1419,3mm). Dentre os meses amostrados em 2013, setembro e novembro foram considerados os meses chuvosos; os meses que obtiveram um acumulado pluviométrico abaixo da média climatológica foram os meses de agosto (10,1mm, 73% abaixo da média climatológica) e dezembro (72,1mm, 61% abaixo da média climatológica). Vale ressaltar que entre os meses de julho a agosto de 2013 foi obtida a maior sequência de dias (17 dias) sem chuva do ano. Considerando o ano de 2014, foi observada uma média (1216,8mm) 13,3% abaixo da média climatológica (1402,8mm), sendo o ano mais seco desde 2003. Dentre os meses amostrados de 2014, os meses de Janeiro (199,3mm, 14,1% abaixo da média climatológica), Fevereiro (81,1mm, 61,8% abaixo da média climatológica), Junho (27,4mm, 47,9% abaixo da média climatológica), Julho (36,7mm, 17,7% abaixo da média

climatológica) e Setembro (63,8mm, 18,9% abaixo da média climatológica) obtiveram chuvas abaixo da média climatológica do respectivo mês, já os meses de março (224,2mm, 38,1% acima da média climatológica), abril (91,7mm, 9,6% acima da média climatológica), maio (64,6mm, 2,9% acima da média climatológica) e agosto (37,8mm, 0,8% acima da média climatológica) obtiveram chuvas acima da média climatológica do respectivo mês. Os meses amostrados em 2015, maio, junho e julho, apresentaram um total mensal de 57,9mm, 32mm, 119,1mm, respectivamente, sendo que os meses de maio e junho estiveram abaixo da média climatológica (~8% e ~39% respectivamente) e julho esteve quase 3 vezes acima da média climatológica (40mm).

Durante os meses de setembro a dezembro de 2013, a umidade relativa esteve abaixo da Normal 1961-1990 e da Média climatológica 1958-2013, sendo que setembro e outubro apresentaram valores médios acima da média de 2012 e novembro e dezembro apresentaram uma média abaixo da média de 2012. Dentre os meses amostrados, Janeiro, Fevereiro, Março, Abril, Maio, Junho, Agosto e Setembro de 2014, obtiveram uma umidade relativa média abaixo da Normal 1961-1990. O mês de julho de 2014 teve média mínima muito próxima da média climatológica. Para 2015, os meses amostrados, maio, junho e julho, apresentaram uma umidade relativa média de 83,7%, 81% e 80,8% respectivamente, sendo que maio e julho estiveram ligeiramente acima da média climatológica (1,3% e 1,6% acima, respectivamente) e junho teve uma umidade relativa média muito próxima da média climatológica (79,3%).

A média climatológica mensal (1957-2013) da velocidade média do vento foi mais alta em 2013 nos meses de setembro a dezembro. A direção predominante do vento na EM no ano de 2013 e 2014 foi de SE e SSE. Em relação a velocidade do vento em 2014, não foi registrado nenhum dia com rajada superior a 15 m/s (54km/h). Dos meses amostrados em 2015, a maior rajada horária foi de 14m/s na direção SW, em 18 de Junho de 2015.

5. Resultados

5.1. Meteorologia

Os dados da estação climatológica do IAG referente ao período coletado indicam que a temperatura média durante todo o período (2013, 2014 e 2015) foi de 18,9°C, sendo que a temperatura média mais alta ocorreu no mês de fevereiro de 2014 com 27,0°C e a temperatura mais baixa ocorreu no mês de julho de 2015 com 16°C. A velocidade do vento média foi de 5,4km/h tendo como máxima 6,7km/h em julho de 2015. Umidade relativa média foi de 78,6% e a precipitação acumulada foi de 901,6mm, tendo no mês de novembro de 2013 o máximo de 165,8mm de chuva (Figura 3).

As médias diárias das variáveis meteorológicas considerando o período amostrado, estão apresentados na tabela 4.

Figura 3. Média diária das variáveis meteorológicas - Umidade relativa (%), Velocidade média do vento (km/h), Temperatura (°C), Pressão Atmosférica (hPa) e Precipitação (mm) do período de 2013, 2014 e 2015.

Tabela 4. Valores mensais das variáveis meteorológicas (Temperatura média, Umidade relativa do ar média, Velocidade do vento média, Precipitação acumulada, Pressão atmosférica média) no período de 2013, 2014 e 2015.

	Meses/ Variáveis	Temp. (°C)	UR (%)	V. Vento (km/h)	Precip. Acum. (mm)	Pressão Atm.(hPa)
2013	Set.	18,0 ± 3,3	77,7 ± 14,9	5,5 ± 2,0	100,8 ± 10,9	926,4 ± 2,5
	Out.	19,1 ± 3,0	78,7 ± 8,8	6,1 ± 1,2	84,0 ± 5,9	926,5 ± 2,8
	Nov.	21,1 ± 3,0	78,2 ± 11,0	5,9 ± 1,8	165,8 ± 13,0	924,2 ± 2,9
	Dez.	21,8 ± 2,2	78,9 ± 5,5	6,1 ± 0,8	39,8 ± 4,6	922,1 ± 1,0
	Jan.	25,2 ± 0,7	69,2 ± 7,5	4,3 ± 0,5	0,1 ± 0,0	926,0 ± 1,3
	Fev.	26,0 ± 0,8	65,9 ± 4,8	4,4 ± 0,4	31 ± 7,4	924,4 ± 1,2
2014	Mar.	21,9 ± 2,0	80,0 ± 4,9	5,8 ± 1,5	42,1 ± 5,5	926,1 ± 2,5
	Abr.	20,0 ± 2,3	82,0 ± 7,4	4,9 ± 1,4	91,7 ± 9,8	926,7 ± 1,8
	Mai.	17,8 ± 2,0	81,2 ± 7,8	4,6 ± 2,1	64,5 ± 5,0	927,1 ± 1,9
	Jun.	17,4 ± 2,2	80,7 ± 8,3	4,9 ± 1,8	27,3 ± 3,9	928,6 ± 3,6
	Jul.	16,1 ± 2,1	79,0 ± 10,7	5,2 ± 1,9	36,7 ± 3,0	930,9 ± 2,7
	Ago.	16,9 ± 2,6	74,2 ± 13,0	5,3 ± 1,6	37,8 ± 3,2	929,4 ± 3,1
2015	Set.	19,0 ± 2,2	76,3 ± 11,8	6,2 ± 1,5	63,8 ± 4,8	926,8 ± 2,3
	Mai.	18,6 ± 1,7	83,1 ± 5,6	5,1 ± 1,3	19,3 ± 1,9	928,4 ± 3,0
	Jun.	17,0 ± 2,0	80,8 ± 6,8	5,4 ± 2,0	30,6 ± 2,6	930,4 ± 3,9
	Jul.	16,0 ± 2,1	83,7 ± 7,8	6,7 ± 1,6	64,4 ± 19,1	928,3 ± 1,7
	Méd. Tot.	18,9 ± 3,3	78,6 ± 10,0	5,4 ± 1,7	899,7 ± 7,1	927,4 ± 3,5

As variáveis meteorológicas apresentaram comportamentos esperados em relação a sazonalidade. Observou-se que no verão a temperatura é maior em relação aos outros meses e a umidade relativa do ar e a velocidade do vento são menores em relação as outras estações; na primavera a precipitação e a velocidade do vento são maiores em relação as outras estações; no outono a umidade relativa do ar é maior em relação as outras estações; e no inverno a temperatura e a precipitação são menores em relação as outras estações. Considerando a variação anual, observa-se que o ano de 2013 teve a maior temperatura, velocidade do vento e precipitação média e o ano de 2015 teve a maior umidade relativa do ar média. Deve-se considerar que a quantidade de meses coletados em cada ano foi diferente, podendo influenciar as médias. Além disso o ano de 2014 foi um ano atípico, com uma umidade e precipitação muito abaixo do normal (Figura 4).

Figura 4. Valores médios anual das variáveis meteorológicas no período de 2013, 2014 e 2015.

Figura 5. Rosa dos ventos referente ao período coletado em 2013(A), 2014(B) e 2015(C).

A rosa dos ventos ilustra qual é a direção predominante do vento no período amostrado ponderada pela velocidade do vento (Figura 5). Para os dias coletados em 2013 e 2014 a direção predominante do vento é de Sudeste e para 2015 observa-se que em média, a direção predominante é de Nordeste. Em todos os anos, os ventos com maiores velocidades geralmente são originários da região noroeste, em geral em situações pré-frontais.

5.2. Variação da concentração de esporos

Foram coletadas 306 dias de amostras (2013 e 2014 – USP) e o número total de dados válidos foi de 1177, já que foram considerados os quatro períodos do dia. Nos períodos coletados foram identificados 45 grupos de fungos, entre gêneros, espécies, grandes grupos e indeterminados (Figura 6). Foi obtida uma concentração total de 1755483 esporos/m³, e uma concentração média de 5736 ± 2459 esporos/m³ por dia, sendo que o valor máximo dos esporos totais foi de 23780 esporos/m³ no dia 26 de maio de 2014 no período da noite.

Figura 6. Prancha com os principais esporos analisados. A: *Pithomyces* sp.; B: *Venturia* sp.; C: *Torula* sp.; D: Basidiósporo colorido indeterminado; E: *Spegazzinia* sp.; F: Myxomycota; G: *Gliomastix* sp.; H: Ascósporo de 4 células com cor; I: *Ganoderma* sp.; J: *Epicoccum* sp.; K: Diatrypaceae Grande; L: Ascósporo de 2 células sem cor; M: *Paraphaeosphaeria* sp.; N: Basidiósporos hialino grande; O: Indeterminado; P: *Cladosporium* sp.; Q: Ascósporo de 4 células sem cor R: *Drechslera*-like. S: Xylariaceae T: *Periconia* sp.

A concentração encontrada de esporos, no geral é menor do que a observada no trabalho de Degobbi et al (2009), único trabalho que utilizou uma metodologia semelhante no Estado de São Paulo. As concentrações encontradas por Degobbi (2009) foram de 19322 esporos/m³ no outono e 22306 esporos/m³ no inverno. Essa diferença pode ser explicada parcialmente pela forma de coleta, já que no trabalho de Degobbi, foi feita com filtro MCE e nesse trabalho as coletas foram feitas com o “Burkard 7-day Recording Sampler”. Ainda deve ser considerado, que devido a metodologia utilizada nos dois trabalhos necessitar de uma análise manual, pode-se ter diferenças nas interpretações da identificação e contagem de esporos.

Comparando com outros trabalhos feitos em outros países, que utilizaram o mesmo tipo de aparelho de coleta (Burkard), as concentrações encontradas nesse trabalho são superiores (HERRERO et al., 2006; CAMACHO, 2007). Como foi o caso do trabalho de Herrero et al. (2006), onde foi encontrada uma concentração média de 609,2 esporos/m³ por dia em Madri - Espanha e o trabalho de Camacho (2007), que encontrou uma concentração média anual de 4075 esporos/m³ na cidade de Funchal, Portugal. O principal fator que influencia nas diferenças de concentração é a biogeografia, já que o Brasil, sendo um país próximo o trópico, apresenta uma riqueza de fungos maior do que países que estão mais longe dos trópicos (TEDERSOO et al., 2014). Outro fator que pode influenciar nas diferenças de concentração é que neste trabalho foram considerados na análise os Basidiósporos hialinos (também considerados em DEGOBBI, 2009), que na maioria dos estudos não são considerados, e que apresentam uma concentração muito significativa.

As concentrações encontradas nos dias analisados indicam que há uma variedade de esporos muito grande na atmosfera, sendo que em alguns dias há uma concentração muito elevada de alguns esporos, enquanto em outros dias há uma concentração mais baixa destes (Figura 7). Além disso, há uma diferença entre a quantidade de dias em que o esporo aparece, e a sua concentração. Alguns esporos aparecem em poucos dias, mas em grande quantidade, em compensação outros esporos aparecem em mais dias, mas em menor quantidade, podendo apresentar uma concentração média menor. Ao mesmo tempo, muitos grupos de fungos não são encontrados em todos os dias coletados, isto é, as suas frequências na atmosfera não são constantes em todos os dias e em todos os períodos do dia. Em compensação, alguns esporos como *Cladosporium* sp. sp., Basidiósporos hialino e *Coprinus* sp., são encontrados em praticamente todos os dias analisados (Tabela 5 e 6). Devido a esse comportamento, quando se considera os valores

máximos encontrados para a maioria dos esporos, observa-se que estes estão muito acima da média, e em muitos casos o desvio padrão é maior do que a média aritmética. Esse tipo de comportamento é comum para esse tipo de análise, sendo encontrado em muitos trabalhos (LIN e LI, 2010; JONES e COOKSON, 1982; GIORGIO et al., 1996; DEGOBBI et al., 2011).

Figura 7. Gêneros/Grupos de esporos encontrados e concentrações médias diárias.

De todos os grupos apenas o Basidiósporo hialino pequeno foi encontrado em todos os períodos analisados. O grupo com menor número de valores válidos foi o *Sporormiella* sp. As concentrações médias de cada grupo de esporo variaram entre 0,2 esporos/m³ por dia até 2216 esporos/m³ por dia, sendo que a maior média foi do Basidiósporo hialino pequeno e a menor foi de *Stemphylium* sp. A segunda maior concentração foi encontrada no grupo dos Basidiósporos hialinos grandes, com uma concentração de 1203 esporos/m³ por dia.

Os Basidiomycota não estão inclusos nas análises em grande parte dos estudos envolvendo esporos “outdoor”. Isso ocorre, porque este grupo em sua maioria, não se desenvolve em meio de cultura, e a maior parte dos estudos com esporos no Brasil utiliza-se da metodologia de cultivo (DEGOBBI, 2009). Sendo assim, apenas alguns trabalhos analisaram a frequência de basidiósporos na atmosfera, e nesses trabalhos, foi observado que ele é o grupo dominante. Isso é observado no trabalho de Hirst (1953), Fröhlich-Nowoisky et al. (2012) e Degobbi et al. (2011).

Fröhlich-Nowoisky et al. (2012) coletaram esporos em diferentes partes do globo para compreender a propagação e diversidade de alguns grupos de esporos. Eles observaram que na região continental de todo o globo, incluindo Rondônia no Brasil, há maior concentração de esporos pertencentes ao filo dos Basidiomycota. Sendo assim, era esperado que ao analisar amostras de São Paulo fosse encontrada uma maior diversidade de esporos originários do filo Basidiomycota, incluindo os Basidiósporos hialinos.

Tabela 5. Grupos de esporos encontrados, concentração média diária em cada mês de 2013 analisado. Concentração média total e desvio padrão total, considerando concentração diária de 2013 e 2014.

(continua)

Meses/ Esporos/m ³	Set. 2013	Out. 2013	Nov. 2013	Dez. 2013	Conc. Tot 2013 e 2014
<i>Alternaria</i> sp.	1	4	4	1	3 (±5)
<i>Botrytis</i> sp.	1	11	1	0	11 (±34)
<i>Cercospora</i> sp.	3	4	4	0	2 (±6)
<i>Cladosporium</i> sp. sp.	740	751	602	264	674 (±959)
<i>Curvularia</i> sp.	1	0	2	0	1 (±3)
<i>Drechslera</i> -like	3	5	4	2	3 (±5)
<i>Epicoccum</i> sp.	6	7	4	1	4 (±10)
<i>Penicillium/Aspergillus</i> -like	2	15	20	42	60 (±86)
<i>Periconia</i> sp.	14	23	21	43	24 (±36)
<i>Pithomyces</i> sp.	0	0	3	0	1 (±5)
<i>Spegazzinia</i> sp.	0	0	1	0	1 (±2)
<i>Stemphylium</i> sp.	0	1	0	0	0 (±1)
<i>Tetraploa</i> sp.	0	1	1	0	0 (±1)
<i>Torula</i> sp.	4	10	5	5	5 (±8)
<i>Gliomastix</i> sp	4	7	6	2	6 (±9)
Mitósporos Indeterminados	136	169	122	104	171 (±151)
Diatrypaceae Grande	23	2	38	46	17 (±73)
Diatrypaceae pequeno	182	170	88	415	143 (±402)
<i>Paraphaeosphaeria</i> sp.	1	3	3	3	2 (±4)
<i>Pleospora</i> -like	2	2	2	1	1 (±2)
<i>Sporormiella</i> sp.	0	0	0	0	0 (±1)
<i>Venturia</i> sp.	5	15	15	11	9 (±15)
Xylariaceae	14	63	72	80	57 (±65)
Ascósporos 2 células com cor	19	17	27	59	24 (±37)
Ascósporos 2 células sem cor	84	112	106	124	80 (±94)
Ascósporos 4 células com cor	38	67	57	77	50 (±62)
Ascósporos 4 células sem cor	11	31	29	32	17 (±22)
Ascósporos Indeterminados	122	235	250	245	156 (±165)
<i>Coprinus</i> -like	56	409	221	194	136 (±194)
<i>Panaeolus</i> sp.	1	3	1	0	1 (±3)
<i>Inocybe</i> -type	3	0	3	10	4 (±7)
<i>Ganoderma</i> sp.	14	40	53	47	43 (±40)
Basidiósporo hialino pequeno	1533	2308	2095	2283	2216 (±826)

Tabela 5. (continuação). Grupos de esporos encontrados, concentração média diária para cada mês de 2013 analisado. Concentração média total e desvio padrão total, considerando concentração diária de 2013 e 2014.

Meses/ Esporos/m ³						(conclusão)
	Set. 2013	Out. 2013	Nov. 2013	Dez. 2013	Conc. Tot 2013 e 2014	
Basidiósporo hialino grande	960	1603	1726	1770	1203 (± 695)	
Basidiósporos Indeterminados	99	228	235	225	134 (± 171)	
Teliospores (<i>Smuts</i>)	10	34	12	10	14 (± 26)	
<i>Rust</i>	0	0	1	0	0 (± 1)	
Myxomycota	22	18	16	23	10 (± 21)	
Indeterminados	311	443	541	514	454 (± 225)	
Concentração total	4429	6813	6392	6633	5737 (± 2460)	
Mitósporos	920	1014	806	467	968 (± 1092)	
Ascósporos	501	720	687	1093	556 (± 721)	
Basidiósporos	2667	4591	4334	4528	3736 (± 1473)	
Diversos	343	495	571	546	478 (± 233)	

Tabela 6. Grupos de esporos encontrados, concentração média diária para cada mês de 2014 analisado.

Meses/ Esporos/m ³										(continua)
	Jan. 2014	Fev. 2014	Mar. 2014	Abr. 2014	Mai. 2014	Jun. 2014	Jul. 2014	Ago. 2014	Set. 2014	
<i>Alternaria</i> sp.	2	3	2	2	2	4	2	2	2	
<i>Botrytis</i> sp.	10	7	0	4	13	6	13	40	14	
<i>Cercospora</i> sp.	0	0	0	3	3	2	0	0	0	
<i>Cladosporium</i> sp.	296	490	381	398	1273	1118	679	768	365	
<i>Curvularia</i> sp.	3	3	2	3	3	1	1	1	1	
<i>Drechslera</i> -like	3	2	4	3	3	4	1	4	2	
<i>Epicoccum</i> sp.	1	2	2	3	7	6	2	6	4	
<i>Pen./Asp.</i> -like*	39	51	29	110	120	22	114	69	73	
<i>Periconia</i> sp.	14	20	16	12	46	34	22	25	16	
<i>Pithomyces</i> sp.	1	1	1	2	1	2	2	2	0	
<i>Spegazzinia</i> sp.	0	1	0	0	1	0	1	2	0	
<i>Stemphylium</i> sp.	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Tetraploa</i> sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Torula</i> sp.	4	2	3	3	5	6	3	8	3	
<i>Gliomastix</i> sp.	2	3	5	4	7	13	6	8	3	
Mitósporos Ind.*	134	125	99	93	184	289	192	284	157	
Diatrypaceae Gra.*	0	13	13	8	33	1	20	15	10	
Diatrypaceae peq.*	31	55	460	93	38	83	139	99	85	
<i>Paraphaeosphaeria</i> sp.	4	2	2	0	2	2	2	1	1	
<i>Pleospora</i> -like	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
<i>Sporormiella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
<i>Venturia</i> sp.	4	5	30	13	8	7	6	4	4	
Xylariaceae	50	23	69	163	73	57	29	18	13	

Tabela 6. (continuação). Grupos de esporos encontrados, concentração média diária para cada mês de 2014 analisado.

Meses/ Esporos/m ³	(conclusão)								
	Jan. 2014	Fev. 2014	Mar. 2014	Abr. 2014	Mai. 2014	Jun. 2014	Jul. 2014	Ago. 2014	Set. 2014
Asc. 2cél. com cor*	16	12	56	39	22	18	22	10	12
Asc. 2cél. sem cor*	116	42	96	102	51	69	69	36	65
Asc. 4cél. com cor*	32	31	88	64	52	42	44	24	38
Asc. 4cél. sem cor*	22	14	21	25	10	13	11	4	8
Ascósporos Ind.*	139	85	199	205	131	92	117	89	115
<i>Coprinus</i> -like	326	34	284	199	52	89	38	31	34
<i>Panaeolus</i> sp.	1	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Inocybe</i> -type	3	0	7	10	2	6	3	2	2
<i>Ganoderma</i> sp.	101	114	48	85	42	31	16	19	25
Basidiósporo hialino pequeno	2717	2422	2175	1918	2362	1429	2160	2932	2652
Basidiósporo hialino grande	1585	1372	1632	1336	831	631	945	982	1068
Basidiósporos Ind.*	183	37	360	176	101	93	48	48	41
Teliospores (<i>Smuts</i>)	0	14	11	10	10	11	11	30	9
<i>Rust</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Myxomycota	4	6	18	12	9	5	2	2	2
Indeterminados	738	594	596	444	344	415	395	382	517
Concentração total	6581	5586	6709	5547	5846	4602	5116	5949	5340
Mitósporos	509	710	543	641	1670	1507	1037	1220	640
Ascósporos	415	281	1034	714	421	385	460	301	351
Basidiósporos	4915	3980	4507	3726	3392	2279	3211	4014	3821
Diversos	742	614	625	466	363	431	408	414	528

* *Pen./Asp.*-like (*Penicillium/Aspergillus*-like); ind (Indeterminados); Asc (ascósporos), cél (célula)

O *Cladosporium* sp. apresentou a terceira maior concentração com 674,3 esporos/m³ por dia. Este esporo está no grupo dos Fungos Mitospóricos (HAWKSWORTH et al. 1995) e é amplamente encontrado como o grupo de esporos mais frequente quando não são considerados os Basidiósporos hialinos (BURCH e LEVETIN, 2002). No geral, o *Cladosporium* sp. é um gênero que apresenta uma alta concentração na maioria das análises, sendo por isso muito estudado (O'CONNOR et al., 2014; GRINN-GOFRÓN e RAPIEJKO, 2009; KURKELA, 1997).

Os principais grupos de esporos encontrados foram Basidiósporo hialino pequeno com 39%, Basidiósporo hialino grande com 21%, *Cladosporium* sp. contribuindo com 12%, Indeterminado com 8%, Ascósporos indeterminados com 3%, Mitósporos indeterminados com 3% (Apêndice A - Figura A 12). Essas porcentagens indicam, que além dos principais grupos de esporos encontrados na atmosfera serem os Basidiósporos

hialinos e o *Cladosporium* sp., há uma variedade de esporos muito grande e apesar de terem sido encontrados 45 grupos de esporos, apenas 14 grupos (*Cladosporium* sp., *Penicillium/Aspergillus*-like, Mitósporos Indeterminados, Diatrypaceae pequeno, Xylariaceae, Ascósporos 2 células sem cor, Ascósporos 4 células com cor, Ascósporos Indeterminados, *Coprinus*-like, *Ganoderma* sp., Basidiósporo hialino pequeno, Basidiósporo hialino grande, Basidiósporos Indeterminados e Indeterminados) contribuem significativamente para a concentração de esporos na atmosfera.

Existem muitos motivos para haver essa diferença na concentração de esporos na atmosfera. Uma das causas para esse comportamento pode ser devido ao ciclo de crescimento, que pode ser mais lento ou mais rápido dependendo da espécie. Outro motivo pode ser a menor frequência de alguns fungos no ambiente. Ademais, alguns fungos apresentam um ciclo de liberação de esporos muito limitado, e necessitam de condições climáticas e ambientais muito específicas, as quais não ocorrem com frequência (LIN e LI, 2010; LI, 2011; BURCH e LEVETIN, 2002). Em alguns casos, os esporos são muito grandes, o que pode facilitar a sua rápida deposição (HUSSEIN et al., 2013; LI e KENDRICK, 1995) diminuindo seu tempo de vida na atmosfera. Outro fator contribuinte pode ser a metodologia de análise dos dados, já que alguns esporos apresentam um grau de dificuldade maior para serem identificados. O fato dessa análise ser realizada em área urbana, também contribui para a variação de esporos, já que o padrão de esporos na atmosfera pode ser alterado por fatores como tráfego de veículos, fluxo turbulento do ar, quantidade de poeira suspensa e densidade de pessoas carregando os esporos de fungos (GIORGIO et al., 1996; LIN e LI, 2010).

5.3. Variação mensal e sazonal da concentração de esporos

O mês que apresentou maior concentração média total foi outubro de 2013 (6813 esporos/m³), seguido de março de 2014 (6709 esporos/m³), e o mês onde foi encontrada a menor concentração média total foi setembro de 2013 (4429 esporos/m³) seguido de junho de 2014 (4602 esporos/m³). Quando considerado o desvio padrão, as concentrações dos esporos totais foram similares, contudo quando se faz o teste de Kruskal Wallis [Teste de Kruskal Wallis: $H(12, N=304) = 33,63, p=0,001$] é possível observar que a concentração de esporos totais apresenta uma variação significativa no decorrer dos meses (Figura 8).

Figura 8. Concentração média total mensal de esporos analisados em 2013 e 2014 (Teste de Kruskal Wallis, $p < 0,05$).

Quando se analisa as concentrações dos esporos em 2013 e 2014, considerando cada grande grupo de esporos (Mitósporos, Basidiósporos, Ascósporos e Diversos) é possível observar que os Basidiósporos compõem 65% da concentração total, os Mitósporos compõem 17%, os Ascósporos contribuem com 10% e os Diversos contribuem para 8% da concentração total (Apêndice A - Figura A 13).

Figura 9. Prevalência dos grandes grupos de esporos em 2013 e 2014.

Foi observada uma maior concentração de Esporos totais, Ascósporos e Basidiósporos em 2013 do que em 2014. Ao contrário dos outros grupos os Mitósporos apresentaram uma maior concentração em 2014 do que em 2013 (Figura 9).

Analisando-se os dados mensais foram encontradas concentrações diferentes, estatisticamente significativas, dependendo do grande grupo. Os Mitósporos [Teste de Kruskal Wallis: $H(12, N=304) = 47,50, p=0,000$] foram encontrados com maior concentração média em maio e junho de 2014 comparando-se com os outros meses com 1670 esporos/m³ e 1507 esporos/m³ respectivamente, já os Ascósporos [Teste de Kruskal Wallis: $H(12, N=304) = 72,14, p=0,000$] apresentaram maior concentração média em dezembro de 2013 e março de 2014 com 1093 esporos/m³ e 1034 esporos/m³, respectivamente. Os Basidiósporos [Teste de Kruskal Wallis: $H(12, N=304) = 84,12, p=0,000$] e os Diversos [Teste de Kruskal Wallis: $H(12, N=304) = 59,78, p=0,000$] foram encontrados com maior concentração média em janeiro com 4915 esporos/m³ e 742 esporos/m³, respectivamente (Figura 10).

Figura 10. Distribuição da concentração média diária dos grandes grupos por mês analisado (Teste de Kruskal Wallis, $p < 0,05$).

Com isso pode-se observar que a concentração de Ascósporos [Teste de Kruskal Wallis: $H(3, N=304) = 46,65, p=0,000$] e Basidiósporo [Teste de Kruskal Wallis: $H(3,$

$N=304$) =18,91, $p=0,000$] é maior no verão (março e janeiro de 2014) e primavera (outubro de 2013). Já os Mitósporos [Teste de Kruskal Wallis: $H(3, N=304)=8,123$, $p=0,043$] apresentaram uma maior concentração no final do outono (maio e junho de 2014) e inverno (agosto de 2014).

Figura 11. Porcentagem média diária dos grandes grupos em diferentes estações do ano (Teste de Kruskal Wallis, $p < 0,05$).

Considerando os grandes grupos, é possível verificar que há um comportamento semelhante entre os Basidiósporos, Ascósporos e diversos e diferente entre esses e os Mitósporos (Figura 11). Esse comportamento é semelhante ao publicado por Mezzari et al. (2002) na região sul do Brasil, onde observaram uma concentração maior de Ascósporos e Basidiósporos no verão (março) e maior concentração de Mitósporos (*Cladosporium* sp.) no inverno (agosto).

O principal fator que contribui para a diferença sazonal na concentração dos esporos são as variações meteorológicas, como umidade, precipitação e temperatura. A precipitação é maior na primavera (44%) em relação as outras estações, o que torna o ambiente propício para a presença de Ascósporos e Basidiósporos. No inverno a precipitação é menor, o que torna o ambiente propício para a presença de Mitósporos. Apesar de outros fatores, como a temperatura e a umidade relativa do ar serem mais importantes para o desenvolvimento dos fungos e liberação dos esporos (LI e KENDRICK, 1995), o principal fator atmosférico que interfere nas diferenças sazonais observadas entre os grandes grupos, aqui estudados, é a precipitação.

5.4. Variação diária da concentração de esporos

Também foi analisada a variabilidade de cada gênero e grupo nos quatro períodos do dia (manhã, tarde, noite e madrugada). Analisando-se a variabilidade diurna da concentração total de esporos, observa-se que há uma diferença estatisticamente significativa [Teste de Kruskal-Wallis, $H(3, N=1173) = 10,00$, $p=0,019$], sendo que da mesma forma que indicado em outros estudos (LACEY, 1996; BURCH E LEVETIN, 2002; LIN e LI, 2010), há uma tendência da concentração de esporos totais ser maior no período da madrugada com 27% (6254 esporos/m³), seguida pelo período da manhã com 25% (5821 esporos/m³), noite com 24% (5613 esporos/m³) e tarde com 24% (5492 esporos/m³) respectivamente (Figura 12).

Figura 12. Concentração média total (esporos/m³) nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h). Teste de Kruskal-Wallis, $p<0,05$.

A concentração dos esporos considerando os gêneros e grupos varia muito durante os diferentes períodos do dia, entretanto observa-se um padrão semelhante quando se considera os grandes grupos (Mitósporos, Ascósporos, Basidiósporos e Diversos). As concentrações médias observadas para os Mitósporos [Teste de Kruskal Wallis: $H(3, N=1173) = 26,04$, $p=0,000$], os Ascósporos [Teste de Kruskal Wallis: $H(3, N=1173) = 55,96$, $p=0,000$], os Basidiósporo [Teste de Kruskal Wallis: $H(3, N=1173) = 17,05$, $p=0,001$] e os Diversos [Teste de Kruskal Wallis: $H(3, N=1173) = 9,33$, $p=0,025$], apresentaram uma diferença significativa em relação os diferentes períodos do dia, isto é,

as populações (grandes grupos) não apresentam o mesmo comportamento (concentração) nos diferentes períodos do dia.

A concentração média referente ao período da tarde na maioria dos gêneros e grupos pertencentes ao grande grupo dos Mitósporos é maior do que a concentração média em outros períodos. A noite é o período que apresenta a segunda maior concentração média na maioria dos gêneros e grupos, seguida pela madrugada e manhã respectivamente. Consequentemente quando se considera a concentração média total dos Mitósporos observa-se que o período da tarde apresenta a maior concentração, (32% - 1217 esporos/m³), seguido pela noite (25% - 926 esporos/m³), manhã (22% - 845 esporos/m³) e madrugada (21% - 784 esporos/m³) (Figura 13).

Esse comportamento é bem diferente do observado quando se analisa os esporos totais, quando o período da tarde é o que apresenta a menor concentração de esporos e a madrugada a maior concentração. Isso mostra que uma análise considerando apenas o total de esporos não representa a singularidade de cada gênero, em contrapartida, quando se analisa os esporos considerando os grandes grupos e a variabilidade diurna, observa-se que a análise é mais precisa.

Figura 13. Porcentagem da concentração média (esporos/m³) de cada gênero e indeterminado dentro do grande grupo dos Mitósporos, nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).

A concentração média referente ao período da madrugada na maioria dos gêneros e grupos pertencentes ao grande grupo dos Ascósporos é maior do que a concentração média em outros períodos. A manhã é o período que apresenta a segunda maior concentração média na maioria dos gêneros e grupos, seguida pela noite e tarde, respectivamente.

Considerando a concentração média total dos Ascósporos observa-se que o período da Madrugada apresenta a maior concentração, (36% - 811 esporos/m³), seguido pela manhã (25% - 558 esporos/m³), noite (22% - 487 esporos/m³) e tarde (18% - 397 esporos/m³) (Figura 14).

Figura 14. Porcentagem da concentração média (esporos/m³) de cada gênero e indeterminado dentro do grande grupo dos Ascósporos, nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).

A concentração média referente ao período da madrugada na maioria dos gêneros e grupos pertencentes ao grande grupo dos Basidiósporos é maior do que a concentração média em outros períodos. A manhã é o período que apresenta a segunda maior concentração média na maioria dos gêneros e grupos, seguida pela noite e tarde respectivamente.

Considerando a concentração média total dos Basidiósporos observa-se que o período da madrugada apresenta a maior concentração (27% - 4124 esporos/m³), seguido pela manhã (26% - 3944 esporos/m³), noite (25% - 3714 esporos/m³) e tarde (22% - 3431 esporos/m³) (Figura 15).

Figura 15. Porcentagem da concentração média (esporos/m³) de cada gênero e indeterminado dentro do grande grupo dos Basidiósporos, nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).

No grupo dos Diversos, o *Smuts*, *Rust* e os indeterminados estão mais presentes no período da madrugada, isto é, a concentração média referente ao período da madrugada é maior do que a concentração média em outros períodos, similar ao padrão observado na maior parte dos esporos. Já os *Myxomycota* estão mais presentes no período da tarde, semelhante aos Mitósporos. Considerando a concentração média total do grupo dos Diversos observa-se que o período da madrugada apresenta a maior concentração (28% - 535 esporos/m³), seguida pela noite (25% - 487 esporos/m³), manhã (24% - 476 esporos/m³) e tarde (23% - 449 esporos/m³), respectivamente (Figura 16).

Figura 16. Porcentagem da concentração média (esporos/m³) de cada gênero e indeterminado dentro do grande grupo dos Diversos, nos períodos manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).

Considerando uma análise progressiva no decorrer dos meses coletados, observa-se que a concentração de esporos tem um comportamento semelhante em todos os meses, quando se considera os períodos do dia (Figura 17). Além disso, é possível notar um comportamento característico para cada um dos grandes grupos. No caso, os Ascósporos, Basidiósporos, Diversos e o Total apresentam um comportamento semelhante, onde a concentração na manhã é elevada, há um decaimento no período da tarde e um aumento progressivo da concentração na noite atingindo seu pico na madrugada. Os Mitósporos por sua vez, apresentam uma concentração mais baixa pela manhã, há um aumento no período da tarde atingindo seu pico e em seguida há uma diminuição progressiva na noite e madrugada. Ademais, em todos os períodos do dia, em todos os meses analisados as maiores concentrações, considerando os grandes grupos, são sempre dos Basidiósporos.

Figura 17. Comportamento dos grandes grupos de esporos (A – Mitósporos e Ascósporos; B – Diversos, Basidiósporos e Total) nos períodos do dia e nos meses de setembro de 2013 à setembro de 2014.

Essas concentrações encontradas de esporos na atmosfera, nos respectivos períodos do dia concorda com estudos anteriores, que indicam que dependendo do gênero, a concentração dos esporos varia na atmosfera, sendo que no geral Ascósporos encontrado na madrugada (LACEY, 1996; BURCH E LEVETIN, 2002), Mitósporos no período da tarde (LACEY, 1996; LIN e LI, 2010; HIRST, 1953) e Basidiósporos no período da manhã e madrugada (LIN e LI, 2010; HIRST, 1953).

As variáveis meteorológicas apresentam comportamentos variados em relação ao período do dia (Figura 18). Contudo, observa-se que a tarde, há uma maior temperatura, velocidade do vento e precipitação enquanto tem uma menor umidade relativa do ar em relação aos outros períodos. Já a madrugada tem a menor temperatura, precipitação e

velocidade do vento, ao mesmo tempo em que tem a maior umidade relativa do ar. O $MP_{2,5}$ apresenta uma concentração média total maior pela manhã e o MP_{10} apresenta uma concentração média total maior na madrugada e na noite (Figura 19).

Figura 18. Concentração média das variáveis meteorológicas, temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (km/h) e precipitação acumulada (mm), em relação ao período do dia analisado, manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).

Figura 19. Concentração média das variáveis $MP_{2,5}$ (µg/m³), MP_{10} (µg/m³) em relação ao período do dia analisado, manhã (6h-12h), tarde (12h-19h), noite (19h-00h) e madrugada (00h-6h).

A variação de acordo com o período do dia na concentração de esporos pode ser explicada por diversos fatores, mas em especial pela variação nos parâmetros meteorológicos (HIRST, 1953; INGOLD, 1971; BURCH E LEVETIN, 2002; LIN E LI, 2010).

Em uma atmosfera estável, como observada no período da madrugada, devido a menor dispersão das partículas é observada maior concentração de material particulado, e consequentemente de esporos totais, bem como dos Ascósporos, Basidiósporos e os Diversos. Em uma atmosfera mais instável mais favorável a dispersão, como observada no período da tarde a concentração de poluentes como o material particulado é menor. Contudo, os Mitósporos são encontrados mais no período da tarde. Esse comportamento é uma clara indicação de que a concentração de esporos na atmosfera, não é apenas controlada pelos menos fatores meteorológicos assim como as outras partículas inorgânicas na atmosfera que também dependem das fontes emissoras. Outros fatores, como a liberação de esporos pelo fungo irá influenciar na concentração do esporo na atmosfera. No caso, os Mitósporos apresentam uma tendência a liberarem seus esporos em temperaturas mais elevadas, e com baixa umidade relativa do ar.

Essa variação dos grupos de esporos na atmosfera é muito importante para a epidemiologia, porque dependendo do período do dia, a presença de cada grupo irá influenciar em uma maior ou menor incidência de problemas respiratórios e alergênicos (HIRTS, 1953). Os Mitósporos, por exemplo, são os esporos mais alergênicos, sendo assim, no período da tarde a incidência de problemas alergênicos e respiratórios poderá ser maior. Além disso, no período da madrugada e início da manhã, já que há maior concentração de esporos no geral, também são períodos preocupantes para a saúde, já que mesmo sendo menos alergênicos, os Ascósporos e Basidiósporos também podem causar reações alérgicas e problemas respiratórios.

5.5. Associação entre esporos, variáveis meteorológicas, MP_{2,5} e MP₁₀¹

O MP₁₀ e MP_{2,5} podem ser indicadores do comportamento dos esporos na atmosfera, sendo que parte das espécies de esporos estão inclusos no MP₁₀. O MP_{2,5} apresenta um diâmetro menor do que a maioria dos esporos, contudo também pode sofrer das mesmas variações na atmosfera que os grupos fúngicos. Assim, fazendo-se a correlação entre os materiais particulados e os esporos fúngicos pode-se verificar se há uma contribuição dos esporos para o material particulado ou se estes reagem da mesma forma na atmosfera. Muitos grupos de esporos estão correlacionados significativamente com as variáveis meteorológicas bem como com os poluentes MP_{2,5} e MP₁₀ (Tabela 7).

¹As análises correlacionando as coletas manuais de material particulado feitas com o “Dicotômico-Partisol” e a concentração de esporos correspondente ao ano de 2013 pode ser encontrada no Apêndice B. As análises apresentadas nesse tópico utilizam os dados correspondente as coletas automáticas feitas pela CETESB.

Tabela 7. Correlação de Spearman entre esporos, poluentes (MP₁₀ e MP_{2,5}), precipitação (Prec.), pressão atmosférica (Pa), velocidade do vento (Vv) umidade relativa do ar (UR) e temperatura (Temp.)

Gênero/variável	Temp. (°C)	UR (%)	Vv (km/h)	Pa (hPa)	Prec. (mm)	MP ₁₀ (µg/m³)	MP _{2,5} (µg/m³)
<i>Alternaria</i> sp.	0,13*	-0,17*	0,01	-0,13*	-0,10*	0,09*	0,10*
<i>Botrytis</i> sp.	-0,05	-0,06*	-0,03	0,04	-0,03	0,20*	0,10*
<i>Cercospora</i> sp.	0,04	0,01	0,01	-0,07*	0,03	-0,05	-0,05
<i>Cladosporium</i> sp.	0,18*	-0,26*	-0,06*	-0,16*	-0,12*	0,39*	0,34*
<i>Curvularia</i> sp.	0,20*	-0,23*	0,03	-0,11*	-0,07*	0,11*	0,00
<i>Drechslera</i> -like	0,10*	-0,10*	0,01	-0,11*	-0,02	0,07*	0,13*
<i>Epicoecum</i> sp.	0,12*	-0,22*	0,06*	-0,11*	-0,08*	0,12*	0,09*
<i>Pen./Asp.</i> -like**	-0,03	0,01	-0,09*	0,06*	-0,11*	0,27*	-0,09*
<i>Periconia</i> sp.	0,20*	-0,31*	-0,05	-0,13*	-0,20*	0,30*	0,28*
<i>Pithomyces</i> sp.	0,06*	-0,06*	0,03	-0,03	0,01	0,06*	0,02
<i>Spegazzinia</i> sp.	0,01	-0,08*	-0,02	0,02	-0,05	0,11*	0,07*
<i>Stemphylium</i> sp.	-0,02	0,06*	-0,02	-0,04	0,01	-0,08*	-0,01
<i>Tetraploa</i> sp.	0,07*	-0,05	0,03	-0,05	-0,03	-0,04	0,06*
<i>Torula</i> sp.	0,12*	-0,22*	-0,01	-0,10*	-0,06*	0,20*	0,22*
<i>Gliomastix</i> sp.	0,18*	-0,28*	0,02	-0,06*	-0,12*	0,24*	0,14*
Mitósporos Ind.	0,16*	-0,31*	-0,03	-0,05	-0,16*	0,45*	0,30*
Diatrypaceae gra.**	-0,07*	0,19*	0,01	-0,09*	0,31*	-0,12*	-0,15*
Diatrypaceae peq.	0,01	0,28*	0,04	-0,18*	0,32*	-0,25*	-0,14*
<i>Paraphaeosphaeria</i> sp.	0,10*	-0,07*	0,04	-0,14*	0,01	-0,01	0,05
<i>Pleospora</i> -like	0,06	0,07*	0,01	-0,13*	0,13*	-0,12*	0,05
<i>Sporormiella</i> sp.	0,04	-0,07*	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Venturia</i> sp.	0,04	0,18*	0,03	-0,17*	0,23*	-0,21*	-0,14*
Xylariaceae	0,02	0,25*	-0,12*	-0,16*	0,02	-0,12*	-0,04
Asc. 2 cél. com cor**	0,02	0,24*	0,03	-0,12*	0,20*	-0,20*	-0,20*
Asc. 2 cél. sem cor**	0,07*	0,26*	0,03	-0,17*	0,18*	-0,24*	-0,10*
Asc. 4 cél. com cor**	0,06*	0,22*	0,02	-0,17*	0,19*	-0,15*	-0,15*
Asc. 4 cél. sem cor**	0,13*	0,14*	0,02	-0,19*	0,15*	-0,22*	-0,09*
Ascósporos Ind.	0,05	0,27*	0,04	-0,23*	0,24*	-0,26*	-0,15*
<i>Coprinus</i> -like	0,10*	0,27*	-0,13*	-0,28*	0,03	-0,20*	0,16*
<i>Panaeolus</i> sp.	0,04	-0,07*	0,05	-0,04	-0,03	0,01	0,09*
<i>Inocybe</i> -type	0,02	0,06	0,00	-0,03	-0,06*	-0,01	-0,10*
<i>Ganoderma</i> sp.	0,26*	0,00	-0,19*	-0,20*	-0,19*	0,14*	0,20*
Basidiósporo hia. peq.**	0,15*	-0,16*	-0,02	-0,14*	-0,13*	0,31*	0,21*
Basidiósporo hia. gra.**	0,28*	0,05	0,00	-0,36*	-0,02	-0,03	0,13*
Basidiósporos Ind.	0,22*	0,17*	-0,05	-0,40*	0,08*	-0,21*	0,09*
Teliospores (<i>Smuts</i>)	0,05	-0,17*	0,02	-0,11*	-0,09*	0,09*	0,18*
<i>Rust</i>	0,03	-0,01	0,01	-0,06*	0,03	-0,03	0,00
Myxomycota	0,23*	-0,03	0,05	-0,30*	0,07*	-0,11*	0,08*
Indeterminados	0,31*	-0,05	-0,06	-0,33*	-0,03	0,17*	0,15*
Concentração total	0,27*	-0,03	-0,06	-0,39*	-0,01	0,18*	0,23*
Mitósporos	0,18*	-0,28*	-0,06*	-0,13*	-0,15*	0,45*	0,35*
Ascósporos	0,05	0,34*	0,01	-0,25*	0,27*	-0,31*	-0,16*
Basidiósporos	0,25*	-0,02	-0,05	-0,33*	-0,08*	0,14*	0,23*
Diversos	0,32*	-0,07*	-0,05	-0,35*	-0,03	0,17*	0,17*

*p < 0,05. ** *Pen./Asp.*-like (*Penicillium/Aspergillus*-like); hia. (hialino); peq. (pequeno); gra (grande); Ind (indeterminado); Asc. (Ascósporo); cél (células)

No geral, os esporos apresentam uma correlação negativa com a pressão, entretanto com as outras variáveis não apresentaram um padrão único de correlação (negativo ou positivo). Contudo, pode-se notar que os esporos pertencentes aos mesmos grandes grupos (Mitósporos, Ascósporos, Basidiósporos e Diversos) apresentam semelhanças em suas respostas às variáveis meteorológicas, e cada grande grupo apresenta um comportamento diferente entre si.

A concentração total de esporos obteve uma correlação significativa com a pressão atmosférica ($\rho = -0,39$), com a temperatura ($\rho = 0,27$), com o $MP_{2,5}$ ($\rho = 0,18$) e com o MP_{10} ($\rho = 0,23$) (Figura 20). A correlação com a pressão atmosférica é negativa, já com a temperatura apresenta uma correlação positiva, o que indica que o aumento da temperatura pode influenciar no aumento da concentração de esporos e temperaturas mais baixas podem ser um fator limitante à concentração de esporos na atmosfera. Esse comportamento foi observado por LI e KENDRICK (1995), que verificaram que durante o período de crescimento de fungos as temperaturas mínimas eram o fator meteorológico limitante para o desenvolvimento do fungo. A correlação positiva com o material particulado ($MP_{2,5}$ e MP_{10}) pode indicar que existem fatores que influenciam na concentração de material particulado na atmosfera da mesma forma que influenciam a concentração de esporos, ou ainda que eles apresentam a mesma fonte.

Figura 20. Coeficiente de correlação de Spearman indicando as correlações significativas entre os esporos totais, os poluentes e as variáveis meteorológicas.

Verifica-se que as variáveis que se correlacionam com os esporos totais, como pressão e temperatura, também se correlacionam com os grandes grupos. Contudo, os

Ascósporos ao contrário da maioria dos outros esporos se correlacionam negativamente com o MP₁₀ e MP_{2,5}.

Em relação à umidade relativa do ar, é possível observar que os Mitósporos, Ascósporos e Diversos apresentam uma correlação significativa. No caso, os Mitósporos e Diversos apresentam uma correlação negativa com a umidade e os Ascósporos apresentam uma correlação positiva com a umidade. Ademais, os Ascósporos também apresentam uma correlação positiva com a precipitação e os Mitósporos apresentam uma correlação negativa com a precipitação.

Quando há um aumento na umidade relativa e precipitação ocorre a deposição úmida das partículas, resultando em uma menor concentração de partícula na atmosfera (SEINFELD e PANDIS, 1998). Contudo, estudos apontam que alguns grupos de organismos pertencentes ao filo Ascomycota dependem da precipitação para liberarem seus esporos, (LI e KENDRICK, 1995; LACEY, 1996; BURGE et al., 2006). Sendo assim, a correlação positiva dos Ascósporos com a umidade e com a precipitação, indica que apesar da maioria das partículas no intervalo de MP_{2,5} e MP_{2,5-10}, serem depositadas em períodos de chuva, são nesses períodos de precipitação que há a liberação dos Ascósporos na atmosfera, resultando em um aumento destes nesses períodos e não diminuição como o esperado. Quando se considera o MP₁₀ um aumento na precipitação é proporcional a uma diminuição na sua concentração na atmosfera. Isso explica o porquê da tendência na correlação negativa dos Ascósporos com o material particulado.

Já uma correlação negativa com a umidade, como no caso dos Mitósporos, indica que quando ocorre a precipitação, há a deposição úmida desses esporos. Contudo, além disso, no caso dos Mitósporos a diminuição destes em períodos de alta umidade, também é devido a fisiologia do fungo, já que um aumento na umidade e/ou precipitação pode inibir a liberação de esporos (BURGE et al., 2006).

Alguns Basidiósporos são liberados na atmosfera quando há a condensação da umidade na sua superfície (BURGE et al., 2006; WEBSTER & WEBER 2007; FISCHER et al, 2010; LANCEY, 1996). Contudo, o Basidiomycota é um filo diversificado, onde nem todos os gêneros que fazem parte desse filo respondem às variáveis meteorológicas da mesma forma. Assim, alguns grupos, como o gênero *Coprinus* sp. e o grupo dos “Basidiósporos indeterminados” apresentaram uma correlação positiva com a umidade, já os “Basidiósporos hialinos pequenos”, apresentaram uma correlação negativa com a umidade.

A correlação com o $MP_{2,5}$ e com o MP_{10} observada para os Basidiósporos, Diversos e para os Mitósporos pode indicar que os mesmos fatores que influenciam o material particulado podem estar influenciando esses esporos. Uma possível relação é a ressuspensão do solo, que é uma fonte de $MP_{2,5}$ e de MP_{10} e também é uma fonte de esporos. Essa relação foi observada anteriormente em São Paulo, para o Basidiósporos hialino, no trabalho de Degobbi et al. (2011), que correlacionou positivamente os elementos químicos, presentes no $MP_{2,5}$, que são indicativos de solo, com os esporos. A correlação mais significativa encontrada entre Mitósporos e o MP_{10} é um indicativo da contribuição mais significativa dos Mitósporos para os materiais particulados com diâmetro até $10\mu m$. O comportamento, onde os Mitósporos apresentam uma correlação positiva com a temperatura e negativa com a umidade e os Ascósporos se correlacionam positivamente com a umidade e precipitação, é bem documentado, em especial quando se analisa a presença destes em períodos do dia (BURCH e LEVETIN, 2002; LACEY, 1996; HIRST, 1953; HERRERO et al. 2006).

Correlacionando a direção do vento com os esporos totais é possível verificar, que de maneira geral, a maioria dos esporos são originários da região sudeste (Figura 21), o que já era esperado devido às características da região, isto é a presença da Reserva Florestal “Armando Salles de Oliveira” na região sudeste do local de coleta.

Figura 21. Rosa dos ventos com os dados da concentração de esporos.

Para verificar se há alguma diferença na concentração de esporos em função da velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura e precipitação, foi utilizado o teste de Kruskal Wallis. Com esse teste é possível determinar se a concentração de

esporos apresenta a mesma distribuição considerando diferentes grupos de velocidade do vento, umidade relativa do ar, precipitação e temperatura. Quando o valor de p for menor que 0,05 ($p < 0,05$) pode-se afirmar que há uma diferença nas concentrações de esporos considerando as variáveis meteorológicas.

Os dados de velocidade do vento, umidade relativa do ar, temperatura e precipitação foram organizados de maneira independente do menor para o maior e em seguida delimitados em postos de maneira que o tamanho da amostra fosse o mais similar possível. As concentrações de esporos foram organizadas nessa mesma ordem e foram obtidas as médias da concentração dos grandes grupos e os esporos totais em cada posto para cada variável meteorológica.

Os esporos totais, os Basidiósporos, os Diversos, o $MP_{2,5}$ e o MP_{10} apresentaram diferenças nas concentrações quando se considerou diferentes postos da velocidade do vento (Tabela 8 e Figura 22). Contudo, os outros grupos (Ascósporos, Mitósporos e Diversos) não apresentaram uma diferença significativa em relação às diferentes velocidades do vento. Considerando um aumento progressivo da velocidade do vento, foi observado que os esporos totais iniciaram com uma concentração mais alta e essa concentração foi diminuindo com o aumento da velocidade do vento, até chegar a velocidades maiores do que 7km/h, onde a concentração de esporos começou a aumentar novamente. Os Basidiósporos, os Diversos bem como o $MP_{2,5}$ e MP_{10} apresentam um comportamento semelhante aos esporos totais.

Tabela 8. Teste de Kruskal-Wallis relacionando a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m³ - média por período) e dos poluentes $MP_{2,5}$ e MP_{10} (µg/m³) com as diferentes velocidades do vento (8 grupos).

V. vento (km/h)	<1	1-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	>8	
Amostra	109	170	128	172	163	155	121	157	p
Conc. tot.*	5838	6789	5835	5587	5371	5243	5639	6043	0,000
Mit.*	1043	971	982	1014	826	840	807	1071	0,198
Asc.*	475	798	509	568	460	481	440	704	0,144
Bas.*	3839	4428	3852	3542	3651	3454	3911	3800	0,000
Div.*	482	594	493	463	436	469	482	473	0,003
$MP_{2,5}$	40	38	27	25	20	20	24	19	0,000
MP_{10}	25	25	19	19	17	17	18	17	0,000

*V. Vento (Velocidade do vento); Conc. tot (esporos totais); Mit. (Mitósporos); Asc. (Ascósporos); Bas. (Basidiósporos); Div. (Diversos).

Figura 22. Relação entre a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m³ - média por período), dos esporos totais (Total) e as diferentes velocidades do vento (separadas em 4 grupos). Teste de Kruskal-Wallis (Total: $p=0,000$; Mitósporo: $p=0,056$; Ascósporo: $p=0,7629$; Basidiósporo: $p=0,000$; Diversos: $p=0,0010$).

A velocidade do vento pode influenciar na liberação seca dos esporos e na liberação e dispersão de esporos grandes como no caso de alguns Mitósporos (ex.: *Alternaria* sp. e *Epicoccum* sp.); também está relacionada com a ressuspensão do solo (LI e KENDRICK, 1995). O comportamento dos esporos considerando a velocidade do vento já foi observado em outros trabalhos no exterior, como é o caso de Lin e Li (2010) e Pasanen (1991). O decaimento da concentração de esporos, com o aumento da velocidade do vento indica que este age como um fator de diluição até atingir a velocidade de 7km/h, onde se inicia um aumento da concentração de esporos, indicando que a partir desse ponto o vento age como um fator de indução da liberação de esporos (PASANEN et al., 1991).

Os esporos totais, os Ascósporos, os Mitósporos, os Diversos, o MP_{2,5} e o MP₁₀ apresentaram diferenças na concentração em função da umidade relativa do ar (Tabela 9 e Figura 23). Contudo, os Basidiósporos não apresentaram uma diferença significativa em relação as diferentes umidades. Os esporos totais, os diversos, o MP_{2,5} e o MP₁₀ inicialmente apresentaram uma concentração mais alta e essa concentração foi diminuindo com o aumento da umidade relativa do ar, até chegar a uma umidade entre 84% e 92%, onde a concentração começou a aumentar novamente. Os Mitósporos

apresentaram um comportamento semelhante, contudo a queda na concentração foi muito maior e o consequente aumento da concentração foi muito mais sutil. Os Ascósporos apresentaram um comportamento oposto, sendo que inicialmente a concentração de Ascósporos era menor e com o aumento da umidade relativa do ar, observou-se um aumento na concentração de Ascósporos e em uma umidade entre 84%-92% essa concentração teve um aumento ainda mais pronunciado.

Tabela 9. Teste de Kruskal-Wallis relacionando a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m³ - média por período) e dos poluentes MP_{2,5} e MP₁₀ (µg/m³) com as diferentes umidades relativas do ar (8 grupos).

UR (%)	<60	60-70	70-78	78-84	84-88	88-92	92-94	>94	
Amostra	161	131	165	144	142	173	122	138	p
Conc. tot.*	5852	5890	6198	5481	5213	5380	5750	6657	0,000
Mit.*	1480	1117	1167	927	780	598	715	727	0,000
Asc.*	196	440	489	393	517	557	721	1294	0,000
Bas.*	3668	3839	4033	3720	3480	3768	3875	4039	0,092
Div.*	511	497	511	442	437	457	440	597	0,002
MP _{2,5}	27	28	27	25	24	21	20	23	0,000
MP ₁₀	23	22	22	20	19	15	17	17	0,000

*UR (Umidade relativa do ar); Conc. tot (esporos totais); Mit. (Mitósporos); Asc. (Ascósporos); Bas. (Basidiosporos); Div. (Diversos).

Figura 23. Relação entre a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m³ - média por período) dos esporos totais (Total) e os diferentes intervalos de valores da umidade relativa do ar (separados 4 grupos). Teste de Kruskal-Wallis (Total: p=0,039; Mitósporo: p =0,000; Ascósporo: p =0,000; Basidiósporo: p=0,740; Diversos: p=0,144).

Os esporos totais, os Mitósporos, os Ascósporos, os Diversos, o MP_{2,5} e o MP₁₀ apresentaram diferenças na concentração em função da precipitação (Tabela 10 e Figura 24). Contudo, os Basidiósporos não apresentaram uma diferença significativa em relação

as diferentes precipitações. Os esporos totais, os diversos, os Mitósporos, o MP_{2,5} e o MP₁₀ tiveram um pequeno aumento constante com o aumento da precipitação. Contudo, os Mitósporos a partir de uma precipitação acumulada de 0,2-0,3mm começaram a diminuir com o aumento da precipitação. Os Ascósporos apresentaram um comportamento um pouco diferenciado, sendo que o aumento da concentração de Ascósporos a partir de uma precipitação acumulada de 0,1-0,2mm foi mais pronunciado até chegar em aproximadamente 1mm, onde o aumento da concentração foi menor.

Tabela 10. Teste de Kruskal-Wallis relacionando a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m³ - média por período) e dos poluentes MP_{2,5} e MP₁₀ (µg/m³) com as diferentes precipitações acumuladas (8 grupos).

Precip. (mm)	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,6	0,6-1	1-1,6	1,6-3	3-7,3	7,3>	p
Amostra	896	91	27	32	30	20	25	28	27	
Conc.Tot.*	5702	5765	6296	6548	5805	6806	6379	5872	5702	0,049
Mit.*	933	958	1465	1450	613	1322	711	935	933	0,006
Asc.*	478	517	877	1046	775	657	957	666	478	0,000
Bas.*	3810	3841	3521	3629	3891	4210	4063	3781	3810	0,617
Div.*	483	450	433	424	526	618	650	490	483	0,024
MP _{2,5}	25	26	23	19	24	36	26	17	25	0,000
MP ₁₀	20	16	15	13	15	22	23	15	20	0,003

*Precip (Precipitação acumulada); Conc. tot (esporos totais); Mit. (Mitósporos); Asc. (Ascósporos); Bas. (Basidiosporos); Div. (Diversos).

Figura 24. Relação entre a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m³ - média por período), dos esporos totais (Total) e as diferentes precipitações (separadas em 4 grupos). Teste de Kruskal-Wallis (Total: p=0,022; Mitósporo: p =0,1382; Ascósporo: p =0,000; Basidiósporo: p=0,735; Diversos: p=0,151).

Apenas o grupo dos Mitósporos apresentou uma diferença significativa em relação às diferentes temperaturas (Tabela 11 e Figura 25), sendo que este apresentou um aumento na concentração com o aumento da temperatura até atingir seu pico em uma temperatura entre 18°C e 21°C a partir do qual a sua concentração decai com o aumento da temperatura. Nenhum dos outros grupos, nem o MP_{2,5} e o MP₁₀ apresentaram uma diferença significativa em relação às diferentes temperaturas.

Tabela 11. Teste de Kruskal-Wallis relacionando a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m³ - média por período) e dos poluentes MP_{2,5} e MP₁₀ (µg/m³) com os diferentes intervalos de temperaturas.

Temp.	7,9-14	14-16	16-17	17-18	18-19	19-21	21-24	24-33,2	
Amostra	115	178	110	113	129	205	164	161	p
Conc. tot.*	5915	5267	5517	5930	6071	5911	5658	6147	0,160
Mit.*	803	756	829	1060	1015	1162	983	866	0,051
Asc.*	616	463	531	585	650	543	501	629	0,833
Bas.*	3996	3595	3682	3833	3875	3735	3676	4145	0,067
Div.*	501	455	475	452	533	473	501	509	0,311
MP _{2,5}	27	21	25	24	27	24	25	27	0,208
MP ₁₀	21	17	18	19	20	20	20	20	0,181

*Temp. (Temperatura); Conc. tot (esporos totais); Mit. (Mitósporos); Asc. (Ascósporos); Bas. (Basidiósporos); Div. (Diversos).

Figura 25. Relação entre a concentração média dos grandes grupos de esporos (esporos/m³ - média por período), dos esporos totais (Total) e as diferentes temperaturas (separados em 4 grupos). Teste de Kruskal-Wallis (Total: p=0,206; Mitósporo: p =0,009; Ascósporo: p =0,981; Basidiósporo: p=0,430; Diversos: p=0,166).

Com essas análises é possível perceber que a concentração de Mitósporos aumenta no geral quando maior a temperatura e menor a umidade, situação encontrada no período da tarde. A concentração dos Ascósporos aumenta com a umidade e precipitação, um comportamento oposto ao dos Mitósporos. Os Basidiósporos não aparentam ser influenciados pelas variações meteorológicas, principalmente devido a diversidade de esporos presente no grupo.

Com as mudanças climáticas globais, já evidentes, é esperado que haja um aumento de alguns tipos fúngicos, os quais se favoreceriam dessas mudanças, como por exemplo do aumento da temperatura. Esse comportamento de aumento da concentração já foi analisado para alguns bioaerossóis como no caso dos pólenes (WAYNE et al., 2002), resultando em um aumento na concentração devido ao aumento do CO₂. Alguns trabalhos já publicados também apresentam as interferências causadas pelas mudanças climáticas no equilíbrio do ecossistema. Nessa abordagem inclusive, já foi observado que com o aumento da temperatura houve o aumento de um tipo fúngico responsável pela maior incidência de mortes em anfíbios, e conseqüentemente, impactando no desequilíbrio do ecossistema (POUNDS et al., 2006). Além disso, é esperado que haja o aumento de doenças respiratórias e doenças crônicas, devido ao aumento de esporos fúngicos e pólenes na atmosfera, o que ocasiona em um grande problema para a saúde pública global.

A Análise de Componentes Principais foi construída com os dados de esporos com o objetivo de identificar quais gêneros e grupos de esporos estão mais correlacionados. Essa análise não é uma metodologia comum para análise de esporos na atmosfera. Diferente de uma análise da composição inorgânica do material particulado, onde os fatores indicam as fontes do material, no caso dos esporos, os fatores vão indicar quais variáveis estão influenciando a variabilidade dos esporos na atmosfera. No caso, a meteorologia é um dos principais fatores que influenciam nessa variabilidade. Contudo, existem outras variáveis, que também podem contribuir para a correlação encontrada em cada fator, como a morfologia do esporo, o ciclo de vida e etc.

Com essa análise, utilizando a média diária, foram obtidos sete fatores. A análise pode ser considerada consistente já que a porcentagem cumulativa da variância explicada foi maior do que 73%, os autovalores foram maiores do que 1 e a comunalidade indicou que a maioria dos grupos foram bem explicados (Tabela 12).

Tabela 12. Análise de Fatores indicando os sete fatores e a comunalidade (Vp). Os Fatores juntos perfazem uma porcentagem cumulativa de 73% da variância dos dados, e possuem autovalores maiores que 1.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Fator 7	Vp
<i>Cladosporium</i> sp.	0,07	0,93*	0,11	0,03	0,08	0,07	-0,06	0,89
<i>Drechslera</i> -like	0,05	0,66*	0,05	0,06	-0,14	0,01	0,25	0,53
<i>Epicoccum</i> sp.	0,00	0,87*	0,04	0,02	0,05	0,06	0,03	0,77
<i>Pen./Asp.</i> -like**	0,04	0,19	0,11	0,24	0,74*	0,04	-0,19	0,69
<i>Torula</i> sp.	-0,12	0,14	0,03	0,01	-0,07	0,70*	0,22	0,58
<i>Gliomastix</i> sp	-0,12	0,69*	0,10	-0,05	0,00	0,31	-0,01	0,60
Mitósporos Ind.**	-0,09	0,42	0,15	-0,20	0,15	0,59	-0,02	0,63
Diatrypaceae peq.	0,78*	-0,13	0,17	-0,17	-0,16	0,02	-0,22	0,76
<i>Venturia</i> sp.	0,75*	0,03	0,04	0,09	-0,16	0,00	-0,11	0,60
Xylariaceae	0,31	0,01	0,06	0,78*	0,02	0,00	-0,06	0,72
Asc. 2 cél. com cor**	0,83*	0,00	0,11	0,12	0,12	-0,10	0,01	0,74
Asc. 2 cél. sem cor**	0,80*	-0,02	0,25	0,02	0,05	-0,11	0,36	0,84
Asc. 4 cél. com cor**	0,85*	0,19	0,11	0,06	0,06	-0,07	0,21	0,82
Asc. 4cél. sem cor**	0,69*	0,04	0,11	0,21	0,05	-0,05	0,36	0,67
Ascósporos Ind.	0,77*	-0,01	0,22	0,08	-0,01	0,00	0,17	0,67
<i>Coprinus</i> -like	0,15	0,01	0,41	0,53	-0,52	0,13	-0,01	0,76
<i>Inocybe</i> -type	-0,03	0,05	-0,05	0,62*	0,14	-0,17	0,10	0,45
<i>Ganoderma</i> sp.	-0,05	-0,06	0,28	0,69*	-0,01	0,09	0,06	0,58
Bas. hia. Peq.**	-0,04	0,09	0,80*	-0,09	0,29	0,12	0,09	0,77
Bas. hia. Gra.**	0,39	0,03	0,68*	0,28	-0,09	-0,12	0,29	0,80
Basidiósporos Ind.	0,46	0,25	0,35	0,42	-0,43	-0,01	-0,08	0,77
Teliospores (<i>Smuts</i>)	0,01	0,15	0,04	0,03	0,00	0,76*	-0,11	0,62
Myxomycota	0,31	0,09	0,12	0,06	-0,17	0,10	0,68*	0,63
Indeterminados	0,22	0,08	0,83*	0,06	-0,11	0,01	-0,11	0,77
Esporos totais	0,46	0,46	0,72*	0,15	0,04	0,10	0,07	0,97
Mitósporos	0,04	0,92*	0,14	0,01	0,15	0,17	-0,07	0,93
Ascósporos	0,94*	-0,06	0,20	0,01	-0,06	-0,01	-0,02	0,93
Basidiósporos	0,24	0,09	0,87*	0,22	0,00	0,03	0,18	0,91
Diversos	0,24	0,11	0,82*	0,07	-0,12	0,11	-0,06	0,77
Var. Expl.	6,16	4,03	4,43	2,32	1,33	1,71	1,20	
Prp.Totl	0,21	0,14	0,15	0,08	0,05	0,06	0,04	
Autovalor	8,71	4,60	2,56	1,85	1,36	1,10	1,01	
Porc. Cum. (%)	30,02	45,89	54,70	61,07	65,76	69,54	73,03	

“Factor loading” > 0,6; *Pen./Asp.-like* (*Penicillium/Aspergillus*-like); Ind (indeterminado); Asc (Ascósporos); cél (células); hia (hialino); Peq (pequeno); Gra (grande); Bas. (Basidiósporo) Porc. Cum. (porcentagem cumulativa).

O Fator 1 agrupa a maioria dos grupos e gêneros de Ascomycota, incluindo o grande grupo dos Ascósporos. Já o Fator 2, agrupa a maioria dos Fungos Mitospóricos, incluindo o grande grupo dos Mitósporos. O Fator 3, engloba os Basidiomycota, os Indeterminados e os Esporos totais, sugerindo a relação entre os Basidiósporos e os

Indeterminados, podendo ser um indicativo que a maioria dos esporos que não foram identificados pertencem ao grupo dos Basidiomycota. O Fator 4, agrupa grupos como a Xylariaceae (Ascomycota), *Inocybe*-type, *Ganoderma* sp. e *Coprinus* sp. (Basidiomycota). Esse fator engloba principalmente os Basidiomycota que não estavam inclusos no fator anterior, indicando que dentro do grande grupo dos Basidiósporos existem grupos que se comportam de maneira diferente e não apresentam a mesma variabilidade na atmosfera. Esse comportamento explica o porquê do grande grupo dos Basidiósporos não apresentarem um comportamento único em relação as variáveis meteorológicas. A presença da Xylariaceae nesse grupo indica que essa família não se comporta da mesma maneira que os outros ascósporos. Uma possível explicação é que a morfologia dos esporos da Xylariaceae é muito semelhante aos esporos dos Basidiomycota, em especial do *Coprinus* sp., o que pode indicar que quando na atmosfera, ambos respondem da mesma forma as variáveis meteorológicas, já que apresentam um tamanho, cor e forma muito semelhante.

O *Penicillium/Aspergillus* sp. é o principal grupo no Fator 5. Este pertence ao grupo dos Fungos Mitospóricos e apresentam um comportamento diferenciado, já que se adaptaram muito bem ao meio urbano, sendo um dos principais fungos encontrados e um dos principais alergênicos. O fator 6 inclui a *Torula* sp., os Mitósporos indeterminados e os Teliospores. No último fator (Fator 7) estão presentes os Myxomyceto, que são considerados Fungos (*Latus sensu*), contudo são Protistas, sendo assim era de se esperar que estes estivessem em um grupo separado.

A análise de componentes principais permitiu que fossem propostos grupos de esporos correlacionados, separando os esporos de uma forma semelhante a que estava sendo feita no início do trabalho, quando foi separado os Mitósporos, Ascósporos e Basidiósporos. Nesse sentido, a análise permitiu corroborar a informação de que esses grupos apresentam um comportamento diferentes entre si, mas semelhantes quando se considera os gêneros que fazem parte desse grupo.

Figura 26. Análise de Cluster, realizada utilizando método de Ward para agrupamento e a técnica de 1-Pearson r como medida da distância.

Com a análise de Cluster foi possível corroborar os dados observados com a análise de fator, indicando que há sete grupos principais de esporos (Figura 26). Primeiro, os principais Basidiomycota e Indeterminados (Diversos), segundo o outro grupo de Basidiomycota e a Xylariaceae, terceiro os Ascomycota, quarto os Fungos Mitospóricos, quinto o Myxomyceto e alguns grupos diversos o sexto tem o *Penicillium/Aspergillus* sp. e alguns outros Fungos Mitospóricos, e por último é o *Smuts* e alguns Fungos Mitospóricos. Também é possível observar que os três grupos com Fungos Mitospóricos estão correlacionados, bem como os dois grupos com Basidiomycota, e que os Ascomycota e Basidiomycota estão mais correlacionados entre si do que com os Fungos Mitospóricos, o que pode ser elucidado pela correlação positiva com a umidade observada tanto para os Ascomycota e Basidiomycota e não observada para os Fungos Mitospóricos. Além disso, a análise de Cluster permite uma observação mais detalhada dos dados, sendo possível observar quais gêneros e grupos estão mais correlacionados podendo ajudar no entendimento do comportamento dos esporos na atmosfera.

5.6. Associação entre Cidade Universitária e Pico do Jaraguá

Foram coletadas amostras durante 14 dias (de 12 de setembro de 2014 até 24 de setembro de 2014) em 2014 no Pico do Jaraguá (PJ) e o número total de amostras válidas foi de 57, já que foram considerados os quatro períodos do dia. Nesse período foram identificados 35 grupos de fungos, entre gêneros, espécies e indeterminados. Foi obtida uma concentração média de esporos de 7471 ± 2309 esporos/m³ por dia, sendo que a concentração máxima de esporos total foi de 15028 esporos/m³ no dia 19 de setembro de 2014 no período da tarde. Considerando as coletas feitas no mesmo período na Cidade Universitária (USP), foi observada uma concentração média de 5458 ± 1252 esporos/m³, aproximadamente 27% menor do que a concentração encontrada no Pico do Jaraguá, e a concentração máxima foi de 9300 esporos/m³ no dia 24 de setembro de 2014 no período da manhã.

O fato da concentração obtida no Pico do Jaraguá (PJ) ter sido maior do que aquela obtida na Cidade Universitária (USP) pode ser explicada porque o local de coleta no Pico do Jaraguá (PJ) é circundado por uma vasta área florestada, muito maior do que a área florestada na Cidade Universitária (USP), sendo assim o local é mais propício para o crescimento e desenvolvimento de alguns tipos fúngicos (Figura 27).

Figura 27. Variação da concentração dos esporos do Pico do Jaraguá (PJ) e na Cidade Universitária (USP).

Utilizando o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (W) foi possível verificar que as amostras coletadas no Pico do Jaraguá (PJ) e na Cidade universitária (USP) não pertencem a uma mesma população e a concentração no PJ é maior do que na USP (Figura 28), sendo esta diferença estatisticamente significativa ($W=U=2179,5$, $p\text{-valor} = 0,00$).

Figura 28. Box Plot dos dados do Pico do Jaraguá (PJ) e da Cidade universitária (USP).

Foram comparadas duas estações meteorológicas, a estação do IAG localizada na Água funda, região sul de São Paulo, e a estação do INMET localizada no Mirante de Santana, na região norte de São Paulo. A estação do IAG como está mais próxima da Cidade Universitária, indica as variações meteorológicas da região, em contrapartida como o INMET está na região norte, mais próxima do Pico do Jaraguá, esta estação indica as variações meteorológicas do Pico do Jaraguá. Foi observada que as variáveis meteorológicas do IAG e INMET se correlacionam indicando que em ambos locais as variáveis meteorológicas variaram de forma semelhante (Tabela 13).

Tabela 13. Correlação entre as concentrações diárias das variáveis meteorológicas, temperatura (Temp.), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (V. Vento), precipitação acumulada (Precip.) das duas estações meteorológicas (IAG e INMET).

IAG/INMET	Temp. (°C) (IAG)	UR (%) (IAG)	V. Vento (km/h) (IAG)	Precip. (mm) (IAG)
Temp. (°C) (INMET)	0,94*	-0,73*	-0,44	-0,23
UR (%) (INMET)	-0,80*	0,96*	0,23	0,56*
Precip. (mm) (INMET)	-0,25	0,55*	-0,05	0,97*
V. Vento (km/h) (INMET)	-0,28	0,08	0,62*	0,02

*p<0,05

Observa-se uma diferença na concentração de esporos em relação aos períodos do dia no Pico do Jaraguá (PJ), sendo que a concentração de esporos totais é maior no período da manhã com 28% (8113 esporos/m³), seguida pelo período da tarde com 27% (8023 esporos/m³), madrugada com 24% (6918 esporos/m³) e noite com 22% (6343 esporos/m³) respectivamente (Figura 29). A concentração de Mitósporo foi maior à tarde (1638 esporos/m³), seguida pela manhã (1250 esporos/m³), madrugada (1175 esporos/m³) e noite (1110 esporos/m³); a concentração de Ascósporo foi maior na manhã (1194 esporos/m³), seguida pela madrugada (676 esporos/m³), tarde (653 esporos/m³) e noite (358 esporos/m³); a concentração de Basidiósporos foi maior à tarde (4973 esporos/m³), seguida pela manhã (4830 esporos/m³), madrugada (4377 esporos/m³) e noite (4192 esporos/m³); e a concentração dos Diversos foi maior na manhã (839 esporos/m³), seguida pela tarde (759 esporos/m³), madrugada (690 esporos/m³) e noite (683 esporos/m³).

Figura 29. Porcentagem referente a concentração de cada grande grupo de esporo em cada período do dia, considerando as coletas feitas no Pico do Jaraguá.

Um comportamento semelhante foi observado na Cidade Universitária (Figura 30), em que os esporos totais apresentaram uma concentração maior pela manhã (6178 esporos/m³), seguida pela tarde (5652 esporos/m³), noite (5118 esporos/m³) e madrugada (4911 esporos/m³); a concentração dos Mitósporo foi maior a tarde (845 esporos/m³), seguida pela manhã (818 esporos/m³), noite (644 esporos/m³) e madrugada (483 esporos/m³); a concentração de Ascósporo foi maior pela manhã (465 esporos/m³), seguida pela tarde (262 esporos/m³), madrugada (256 esporos/m³) e noite (190 esporos/m³); a concentração de Basidiósporos foi maior pela manhã (4238 esporos/m³), seguida pela tarde (3958 esporos/m³), noite (3682 esporos/m³) e madrugada (3646 esporos/m³); e a concentração dos Diversos foi maior na manhã (656 esporos/m³), seguida pela noite (601 esporos/m³), tarde (587 esporos/m³) e madrugada (527 esporos/m³).

Figura 30. Porcentagem referente a concentração de cada grande grupo de esporo em cada período do dia, considerando as coletas feitas na Cidade Universitária (USP).

Valores médios referentes aos dados meteorológicos medidos na estação Climatológica do IAG e no INMET são apresentados na Figura 31.

O comportamento observado da concentração de esporos, nos diferentes períodos do dia para ambos os locais de coleta foi diferente do observado nas análises anteriores

(2013 e 2014). As concentrações no período da tarde, que eram baixas para a maioria dos grupos (excluindo o Mitósporo), nesta análise foi mais alta, sendo o segundo período em que foi observado a maior concentração de esporos. Como no período da tarde foi observada maior velocidade do vento, esta pode ter agido como um fator de indução da liberação de esporos. Além disso, na estação do INMET que é a estação mais perto do Pico do Jaraguá, a quantidade de chuvas a tarde foi elevada, o que também contribui para a elevada concentração de esporos a tarde.

Figura 31. Variáveis meteorológicas médias obtidas no IAG e no INMET considerando os diferentes períodos do dia.

Considerando as concentrações diárias dos grandes grupos de esporos em ambos locais de coleta é possível observar que houve um aumento na concentração de esporos no PJ após o dia 18 (Figura 32 e 33).

Figura 32. Variação temporal (diária) da concentração de esporos na PJ.

Figura 33. Variação temporal (diária) da concentração de esporos na USP.

Correlacionando as concentrações observadas no Pico do Jaraguá (PJ) e na Cidade Universitária (USP) é possível verificar que as concentrações totais de esporos não se correlacionam (Tabela 14). Contudo, alguns grandes grupos se correlacionam, como no caso dos Ascósporos da USP com os Ascósporos ($r = 0,77$) e Basidiósporos ($r = 0,52$) do Pico do Jaraguá, que apresentam uma correlação positiva. Além desses, os Basidiósporos da USP se correlacionam com os Ascósporos ($r = -0,62$) e os Basidiósporos ($r = -0,54$) do Pico do Jaraguá, contudo essa correlação é negativa. Ademais, os Mitósporos ($r = -$

0,58) e Ascósporos ($r = 0,55$) da USP se correlacionam com a concentração total de esporos do Pico do Jaraguá.

Tabela 14. Correlação de Pearson entre as concentrações dos poluentes MP₁₀ e MP_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e as concentrações de esporos diárias (esporos/ m^3) observadas no Pico do Jaraguá (PJ) e na Cidade Universitária (USP).

Pico do Jaraguá/ USP	Conc.Tot.** (USP)	Mit.** (USP)	Asc.** (USP)	Bas.** (USP)	Div.** (USP)	MP₁₀	MP_{2,5}
Conc. tot.** (PJ)	-0,41	-0,58*	0,55*	-0,50	-0,11	-0,44	-0,29
Mit.** (PJ)	0,04	0,49	-0,10	-0,19	-0,09	-0,13	-0,24
Asc.** (PJ)	-0,34	-0,39	0,77*	-0,62*	-0,29	-0,67*	-0,52*
Bas.** (PJ)	-0,26	-0,14	0,52*	-0,54*	-0,19	-0,45	-0,38
Div.** (PJ)	0,06	0,36	0,18	-0,24	-0,07	-0,15	0,05
MP ₁₀	0,28	0,15	-0,63*	0,60*	0,35	1,00	0,91*
MP _{2,5}	0,35	0,10	-0,48	0,62*	0,46	0,91*	1,00

* $p < 0,05$; **Conc. tot (esporos totais); Mit. (Mitósporos); Asc. (Ascósporos); Bas. (Basidiósporos); Div. (Diversos).

A correlação positiva entre Ascósporos da USP com os Ascósporos, Basidiósporos e o Total do PJ e a correlação negativa entre os Mitósporos da USP e o Total no PJ indica que provavelmente as mesmas variáveis meteorológicas que influenciaram as concentrações destes na USP influenciaram as concentrações destes no PJ, como pode ser observado analisando a correlação entre as variáveis meteorológicas e os grupos de esporos (Tabela 15 e 16).

Tabela 15. Correlação de Pearson entre as variáveis meteorológicas temperatura, umidade relativa do ar (UR), precipitação acumulada (Precip. Acum.) e velocidade do vento (V. vento) obtidas na estação do INMET com os poluentes MP₁₀ e MP_{2,5} e as concentrações diárias dos grupos de fungo coletados no Pico do Jaraguá e na Cidade Universitária.

(continua)				
Variáveis / Grupos de fungos	Temperatura (°C)	UR (%)	Precip. Acum. (mm)	V. Vento (km/h)
	INMET	INMET	INMET	INMET
Conc. Total (PJ)	-0,27	0,40	0,75*	0,19
Mitósporos (PJ)	-0,09	-0,12	-0,11	0,25
Ascósporo (PJ)	-0,41	0,67*	0,96*	0,20
Basidiósporos (PJ)	-0,09	0,33	0,87*	0,05
Diversos (PJ)	-0,12	0,35	0,39	-0,33

Tabela 15. (continuação). Correlação de Pearson entre as variáveis meteorológicas temperatura, umidade relativa do ar (UR), precipitação acumulada (Precip. Acum.) e velocidade do vento (V. vento) obtidas na estação do INMET com os poluentes MP₁₀ e MP_{2,5} e as concentrações diárias dos grupos de fungo coletados no Pico do Jaraguá e na Cidade Universitária. (conclusão)

Variáveis / Grupos de fungos	Temperatura (°C)	UR (%)	Precip. Acum. (mm)	V. Vento (km/h)
	INMET	INMET	INMET	INMET
Conc. total (USP)	0,37	-0,37	-0,41	-0,12
Mitósporos (USP)	0,18	-0,29	-0,46	-0,08
Ascósporo (USP)	-0,32	0,49	0,61*	0,35
Basidiósporos (USP)	0,52*	-0,54*	-0,59*	-0,29
Diversos (USP)	0,40	-0,44	-0,28	-0,16
MP ₁₀ (USP)	0,81*	-0,72*	-0,55*	-0,64*
MP _{2,5} (USP)	0,71*	-0,49	-0,40	-0,72*

*p<0,05

Tabela 16. Correlação de Pearson entre as variáveis meteorológicas temperatura (Temp.), umidade relativa do ar (UR), precipitação acumulada (Precip.) e velocidade do vento (V. vento) obtidas na estação do IAG com os poluentes MP₁₀ e MP_{2,5} e as concentrações diárias dos grupos de fungo coletados no Pico do Jaraguá e na Cidade Universitária.

Variáveis / Grupos de fungos	Temperatura (°C)	UR (%)	Precip. Acum. (mm)	V. Vento (km/h)
	IAG	IAG	IAG	IAG
Conc. Total (PJ)	-0,16	0,31	0,72*	0,26
Mitósporos (PJ)	0,00	-0,21	-0,12	0,44
Ascósporo (PJ)	-0,31	0,61*	0,91*	0,15
Basidiósporos (PJ)	-0,02	0,27	0,85*	0,05
Diversos (PJ)	-0,13	0,36	0,43	-0,24
Conc. total (USP)	0,30	-0,38	-0,27	0,01
Mitósporos (USP)	0,06	-0,25	-0,40	0,18
Ascósporo (USP)	-0,28	0,47	0,61*	0,22
Basidiósporos (USP)	0,48	-0,55*	-0,44	-0,22
Diversos (USP)	0,42	-0,52*	-0,14	-0,03
MP ₁₀ (USP)	0,77*	-0,66*	-0,46	-0,39
MP _{2,5} (USP)	0,71*	-0,47	-0,31	-0,52*

*p<0,05

O aumento da precipitação (Figura 34) que ocorre próximo do dia 19 em ambas as estações, coincide com o aumento da concentração de Ascósporos, Basidiósporos no PJ e consequentemente com o aumento da concentração dos esporos totais no PJ e também coincide com o aumento de Ascósporos e diminuição de Mitósporos na USP. Esse aumento na concentração ocorre durante um período com elevada umidade relativa

em ambas as estações e explica a correlação entre esses grupos. Após o período com elevada precipitação (dia 22) há um aumento de Mitósporos na USP, que coincide com a diminuição da umidade relativa. A diminuição de Ascósporos no PJ e na USP no dia 22 coincide com o aumento de Mitósporos no PJ e na USP.

Figura 34. Variação temporal (diária) das variáveis meteorológicas.

Assim, os Ascósporos no PJ e na USP se comportam da mesma maneira, e os Mitósporos do PJ e da USP também apresentam um comportamento semelhante. Contudo, o comportamento do Basidiósporo da USP que mostra um decaimento com o decorrer dos dias é diferente do comportamento dos Basidiósporos do PJ que apresentam um crescimento com o tempo. Como visto anteriormente os Ascósporos se correlacionam negativamente com o material particulado. Isso pode ser explicado pela correlação negativa do material particulado com a umidade e precipitação.

A direção do vento predominante considerando a estação do IAG foi leste e considerando a estação do INMET foi sudeste (Figura 35), considerando o período coletado.

Figura 35. Rosa dos ventos considerando a velocidade do vento e a direção do vento obtidas no INMET (A) e no IAG (B).

Quando se analisa a velocidade do vento, a concentração de esporos, e a direção do vento (Tabela 17), é possível observar que a concentração de esporos não é alterada de maneira significativa por essas variáveis, sendo que a concentração de esporos não está correlacionada com a velocidade do vento (Tabela 15 e 16), e não é alterada de maneira regular dependendo da direção do vento. O mesmo pode ser observado analisando-se os diferentes grupos de fungos.

Tabela 17. Variação temporal da concentração de esporos considerando os dois locais de coleta (PJ e USP) e da direção predominante do vento considerando as duas estações meteorológicas (IAG e INMET).

Data	Concentração total (esporos/m ³)		Direção predominante do vento	
	Pico do Jaraguá	Cid. Universitária	IAG	INMET
10/09/2014	6813	5525	NNW	S
11/09/2014	5623	4679	NW	SSE
12/09/2014	5052	5177	ENE	ESSE
13/09/2014	5724	5550	E	ESSE
14/09/2014	6307	5959	E	SE
15/09/2014	6457	6627	N	SSE
16/09/2014	7365	6145	SE	SSW
17/09/2014	4561	6336	E	SW
18/09/2014	4914	4549	ESE	ESSE
19/09/2014	10674	3216	E	SE
20/09/2014	9386	5444	NW	NW
21/09/2014	11922	5469	SSE	WSW
22/09/2014	7729	3942	ESE	SE
23/09/2014	10046	4889	NE	ESE
24/09/2014	9487	6490	NE	SSE

Análises de trajetória com o HYSPLIT foram realizadas para os períodos em que houve medidas nos dois pontos, PJ e USP, mas não foi possível caracterizar o transporte entre esses dois pontos. As análises de trajetória estão apresentadas no Apêndice E.

5.7. Análise dos Carboidratos, Íons, WSOC, OC e EC²

Cinquenta e cinco amostras diárias foram coletadas em maio, junho e julho de 2015, correspondendo ao outono e inverno. Essas amostras foram submetidas à análise de carboidratos, íons, WSOC, OC, EC (Tabela 18). A concentração média de MP₁₀ (de acordo com medidas das estações de qualidade do ar da CETESB) foi de 28,4µg/m³.

Tabela 18. Concentração média, máxima e mínima dos carboidratos, íons (ng/m³), WSOC, OC e EC (µg/m³) e porcentagem média da contribuição de cada carboidrato, Íon, WSOC, OC e EC para a massa do MP₁₀.

	Média*	Máximo	Mínimo	Contribuição para o MP ₁₀
Arabitol (ng/m ³)	11,7 (±6,4)	36,3	3,1	0,04%
Manitol (ng/m ³)	23,3 (±9,9)	46,8	7,5	0,09%
Levoglucozan (ng/m ³)	231,9 (±220,0)	1020,0	20,5	0,73%
Galactosan (ng/m ³)	5,5 (±5,9)	32,5	0,0	0,02%
Mannosan (ng/m ³)	21,8 (±21,2)	99,2	2,7	0,07%
Treitol (ng/m ³)	8,4 (±4,9)	20,9	1,6	0,03%
Metil-Treitol (ng/m ³)	14,0 (±10,0)	40,8	0,0	0,05%
Metil-Eritritol (ng/m ³)	48,4 (±25,0)	145,8	0,0	0,17%
Carboidratos Totais (ng/m ³)	408,9 (±303,4)	1292,1	65,8	1,55%
Ca ⁺ (ng/m ³)	422,6 (±481,9)	425	1538,7	1,67%
Mg ⁺ (ng/m ³)	172,6 (±216,9)	168,5	787,4	0,72%
K ⁺ (ng/m ³)	128,9 (±119,3)	129,8	445,7	0,40%
Na ⁺ (ng/m ³)	421,9 (±540,5)	400,2	1938,3	1,82%
Cl ⁻ (ng/m ³)	535,9 (±451,9)	2,3	120,6	2,04%
F ⁻ (ng/m ³)	91,7 (±35,1)	537,6	2105,3	0,37%
NO ₃ ⁻ (ng/m ³)	2481,6 (±1413,6)	91,4	175,2	9,31%
NO ₂ ⁻ (ng/m ³)	148,5 (±403,1)	2473,9	7577,6	0,62%
C ₂ O ₄ ²⁻ (ng/m ³)	296,5 (±154,6)	151,3	2161	1,07%
PO ₄ ³⁻ (ng/m ³)	103,5 (±226,0)	294,8	620,2	0,56%
SO ₄ ²⁻ (ng/m ³)	3556,3 (±2148,7)	105,5	1051,5	14,40%
Íons totais (ng/m ³)	8360,0 (±4089,3)	425	1538,7	32,99%
WSOC (µg/m ³)	2,8 (±1,5)	6,4	0,0	9,65%
OC (µg/m ³)	3,2 (±2,0)	8,0	0,5	10,44%
EC (µg/m ³)	1,8 (±1,3)	6,4	0,1	8,17%

* Média com desvio padrão

²As calibrações utilizadas podem ser encontradas no Apêndice C.

O composto que apresentou a maior concentração entre os carboidratos foi o levoglucosan, representando 0,73% da concentração média de MP₁₀ (Tabela 18). A concentração média total considerando todos os carboidratos foi de 408,9ng/m³, representando um mínimo de 0,75% e um máximo de 5,30% (média de 1,55%) da concentração em massa de MP₁₀.

Amostras coletadas na Floresta Amazônica (Brasil) mostraram que os açúcares (trealose, sacarose, glicose e frutose) e os álcoois de açúcar (glicerol, Eritritol, Arabitol, Manitol e inositol) representam 62% durante o dia e 78% durante a noite da massa do material particulado grosso (GRAHAM et al., 2003a). Como esperado, a concentração observada por Graham et al. (2003a) é diferente da concentração observada nesse trabalho, já que os locais de coleta são distintos e as porcentagens indicadas nesse trabalho não consideram as concentrações dos outros açúcares (trealose, sacarose, glicose e frutose).

O Arabitol e Manitol apresentaram uma concentração em uma faixa entre 3.1ng/m³ e 36,3ng/m³ (média de 11,7ng/m³), e entre 7.5 ng/m³ e 46.8 ng/m³ (média de 23,3ng/m³), respectivamente (Figura 36 e 37).

As concentrações de Arabitol e Manitol foram menores do que as observadas em outros artigos, por exemplo: Bauer et al. (2008b), observou uma concentração média de 22ng/m³ para o Arabitol e 34ng/m³ para o Manitol em uma área urbana em Viena no verão; Zhang et al. (2010) observou a concentração máxima de 96ng/m³ para o Arabitol e 160ng/m³ para o Manitol em uma floresta tropical na China na primavera; Graham et al. (2003) notou uma concentração média de 41,74ng/m³ para o Arabitol e 53,30ng/m³ para o Manitol em uma floresta no Brasil (Floresta Amazônica) no inverno. Em contrapartida, Burshtein et al. (2011) coletando em uma área urbana em Israel no inverno, observou uma concentração média de 8,43ng/m³ para Arabitol e 21,94ng/m³ para o Manitol, sendo semelhante a esse trabalho.

Esses locais são exemplos de coletas feitas em ambientes urbanos e florestados, contudo as diferenças nas concentrações são principalmente devidas aos locais de coleta e/ou períodos de coletas distintos.

Figura 36. Concentração de Arabitol e variáveis meteorológicas.

Figura 37. Concentração de Manitol e variáveis meteorológicas.

Para o Treitol foi obtida uma concentração entre 1,6ng/m³ e 20,9ng/m³ (média de 8.4ng/m³). Concentrações mais baixas foram observadas em Graham et al. (2002) que obtiveram uma concentração entre 0,2ng/m³ e 6,2ng/m³ (média de 2,3 ng/m³) em uma área de pasto; e entre 0,1 ng/m³ e 4,5ng/m³ (média de 1,7ng/m³) em uma área de floresta.

A contribuição do Arabitol e Manitol para a concentração em massa do MP₁₀ foi entre 0,02% e 0,14% (média de 0,04%); e entre 0,03 e 0,26% (média de 0,09%) respectivamente. Zhang et al. (2010) observaram uma contribuição maior do Arabitol e do Manitol para o MP₁₀ que foi entre 0,06% e 0,51% (média de 0,26%); e entre 0,12% e 0,94% (média de 0,41%) respectivamente. Para os dois biomarcadores de fungos, o Manitol teve uma concentração maior do que o Arabitol, como havia sido observado em outros trabalhos (ZHANG et al., 2010; BURSHTAIN, et al., 2011; BAUER et al., 2008b; GRAHAM et al., 2003 e 2002).

O Manitol, Arabitol e Treitol são conhecidos indicadores da presença de compostos orgânicos no material particulado, já que eles estão presentes em muitas estruturas vegetais e fúngicas (FRISVAD et al., 1998; LOESCHER, et al., 1992; WEYMARN et al., 2002; GOMES, 2009; ELIAS, 2003). O Treitol pode ser considerado uma assinatura para biocombustíveis como folhas, ervas e galhos (SULLIVAN et al., 2011).

Alguns autores (BURSHTAIN et al., 2011) têm questionado o uso de Arabitol e Manitol como biomarcadores de fungos, já que muitas plantas e animais apresentam alguns desses álcoois de açúcar na sua composição. Contudo, Frisvad et al. (1998) utilizaram os carboidratos como uma possível forma de identificar os diferentes gêneros e espécies de fungos, indicando essa importante relação entre fungos e carboidratos. Frisvad et al. (1998) também afirmaram que Manitol e glicerol são considerados um constituinte comum em fungos, e o Manitol está presente em grande quantidade em todos os estágios de vida do gênero *Agaricus*. *Agaricus* é um gênero pertencente ao filo Basidiomycota, que é o filo que apresenta a maior concentração de esporos na atmosfera (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2012; DEGOBBI et al., 2011).

O Arabitol, Xilitol, Eritritol e o Treitol são menos comuns, mas ainda assim são encontrados em fungos. Glicerol, Eritritol e Arabitol são detectados em todos os estágios de vida do fungo, mais especialmente em corpos de frutificação. Em culturas de *C. albicans*, foi encontrado que o Arabitol é o principal constituinte da fração dos polióis nas hifas e nas leveduras (FRISVAD et al., 1990), o que indica a relação entre o Arabitol e as estruturas fúngicas (FRISVAD et al., 1998). Bauer et al. (2008b) demonstrou que o Arabitol e o Manitol presente no MP₁₀ tem uma forte correlação com a contagem de esporos de fungos. Além disso, Elbert et al. (2007) afirma que o Manitol pode ser usado como um biomarcador para a descarga ativa úmida de Basidiósporos, confirmando a validade do Manitol como um biomarcador de fungo.

Os três anidroaçúcares (Levoglucosan, Galactosan e Mannosan) são indicados na literatura como traçadores de queima de biomassa (SIMONEIT et al., 1999; YANG et al., 2012; GRAHAM et al., 2002 e 2003; SULLIVAN et al., 2011; ZHANG et al., 2015). A explicação para isso, é que os anidroaçúcares são produtos da combustão primária da celulose e hemicelulose, que são compostos presentes na parede celular de plantas. Portanto, quando ocorre a queima da biomassa, especialmente a queima da vegetação, as emissões resultantes dessa queima terão os anidroaçúcares (levoglucosan, mannosan e galactosan) (TSAI et al., 2010).

As concentrações de Levoglucosan, Galactosan e Mannosan foram 231,9ng/m³, 5,5ng/m³ e 21,8ng/m³, respectivamente. Concentrações mais baixas foram observadas na floresta amazônica (Brasil) no inverno (GRAHAM et al., 2003), com concentrações no material particulado grosso de 1,97ng/m³, 0,12ng/m³ e 0,08ng/m³ para o Levoglucosan, Galactosan e Mannosan respectivamente. Graham et al. (2002), coletou amostras em Rondônia (Brasil) durante a primavera, que é a “estação de queimada” e obteve uma concentração muito mais alta, de 2460ng/m³, 55,4ng/m³ 126ng/m³ no pasto e 1180ng/m³, 22,7ng/m³ e 49,5ng/m³ na floresta para o Levoglucosan, Galactosan e Mannosan, respectivamente. Vasconcellos et al. (2010) obteve uma concentração de 39ng/m³ para o levoglucosan no MP₁₀ na atmosfera de São Paulo. Apesar do período de coleta ser o mesmo desse trabalho, a concentração observada por Vasconcellos et al. (2010) é muito menor.

O WSOC é geralmente produzido através de processos fotoquímicos (FU et al., 2012), contudo também pode ser derivado primariamente da queima de biomassa e de áreas populosas, sendo altamente correlacionado com o OC (SULLIVAN et al., 2006). O WSOC também pode ser um indicador de carbono orgânico secundário em áreas poluídas (WEBER et al., 2007). A concentração média encontrada para o WSOC foi de 2,8µg/m³, o que corresponde a uma média de 9,65% da concentração total do MP₁₀. RAM et al. (2011) observou que o WSOC corresponde a aproximadamente 15% do MP₁₀ e 20% do MP_{2,5}.

Considerando a concentração de íons (Tabela 18), a espécie dominante foi o sulfato (3,6µg/m³) seguido pelo nitrato (2,5µg/m³). O sulfato e o nitrato estão associados com a formação de aerossol secundário ou com combustíveis fósseis (ANDRADE et al., 2010), representando uma fonte antropogênica. O sulfato e o nitrato contabilizaram mais de 14% e 9% da concentração total em massa do MP₁₀ respectivamente, o que combinados representam mais de 20% da concentração em massa do MP₁₀. Andrade et

al., 2010 analisando a concentração de $MP_{2.5}$ em São Paulo observou uma concentração de $3\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o sulfato e o nitrato respectivamente, concentrações similares as encontradas nesse trabalho, indicando que os sulfatos e nitratos devem estar presentes predominantemente na moda fina.

A concentração média de potássio foi de $129,8\text{ng}/\text{m}^3$. O potássio pode ser derivado de fontes biogênicas, particularmente da liberação ativa de esporos de fungos e outros derivados de fungos (PÖHLKER et al., 2012; ELBERT et al., 2007 e ZHANG et al., 2015). Além disso, o potássio pode estar presente na fração fina do material particulado quando há a queima de biomassa, o que o faz ser um bom indicador para a combustão (ANDREAE, 1983; GRAHAM et al., 2002). Vasconcellos et al. (2010) analisando a atmosfera de São Paulo encontrou uma concentração média de $357\text{ng}/\text{m}^3$ na estação chuvosa (Março-Abril) e $579\text{ng}/\text{m}^3$ na estação seca (Agosto) para o potássio. Esse dado indica que a concentração de potássio é mais elevada na estação seca do que na estação chuvosa. As concentrações observadas em ambos os períodos foram maiores do que as observadas nesse trabalho. Elbert et al. (2007) indicou que a concentração média de potássio na Floresta amazônica no material particulado de tamanho de $1-10\mu\text{m}$, observada em diferentes artigos foi entre $14\text{ng}/\text{m}^3$ e $270\text{ng}/\text{m}^3$. Eles também estimaram que a emissão de potássio resultante da liberação ativa de esporos de fungos (Ascósporos) corresponde a 60% da concentração média de potássio encontrada em Balbina -BR e quase 100% em Rondônia -BR. Em contrapartida, Zhang et al. (2015) observou no material particulado de tamanho entre $2,5-10\mu\text{m}$ uma concentração média de $30,8\text{ng}/\text{m}^3$ na China, o que é menor do que as concentrações encontradas nesse trabalho. Assim, a concentração de potássio encontrada nesse trabalho pode ser um indicador da presença de fungos e também um indicador da presença de queima de biomassa.

A concentração de oxalato encontrada nesse trabalho foi de $151,3\text{ng}/\text{m}^3$. Graham et al. (2003) observaram em Balbina - BR uma concentração de $62,8\text{ng}/\text{m}^3$ para o ácido oxálico e em Rondônia - BR Graham et al. (2002) encontraram uma concentração de $619\text{ng}/\text{m}^3$ em uma área de pasto e $329\text{ng}/\text{m}^3$ em uma área florestada na “estação de queima”. Vasconcellos et al. (2010) observaram uma concentração de $285\text{ng}/\text{m}^3$ durante o mesmo período de coleta desse trabalho na atmosfera de São Paulo. A fonte do oxalato para a atmosfera ainda não é clara. Contudo, é sabido que este está presente em plantas e é produzido pela oxidação incompleta de carboidratos (STREITWEISER et al., 1976). Também está relacionado com a queima de biomassa (ANDREAE et al., 1988), emissão do escape do motor (KAWAMURA e KAPLAN, 1987) e plumas urbanas

(KAWAMURA et al., 1993; NARUKAWA et al., 1999). A concentração de fosfato observada nesse trabalho foi de 103,5ng/m³.

De acordo com Mahowald et al. (2008), a presença de fosfato na atmosfera é devida principalmente aos aerossóis minerais (82%), mas também pode ser derivado de partículas primárias biogênicas (12%) e fontes de combustão (5%).

A concentração média observada nesse estudo foi de 3,2µg/m³ e 1.8 µg/m³ para o OC e EC respectivamente. Arana (2014) encontrou, em Rebio Cuieiras uma concentração média de $6,3 \pm 3,1\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $0,6 \pm 0,3\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação seca para o OC e EC respectivamente, considerando o material particulado grosso. Gilardoni et al. (2011) encontraram $4,5 \pm 2,4\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $20 \pm 10\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o OC e EC respectivamente, também para o material particulado grosso. Kaneyasu et al. (1995) analisando o MP₁₀ em Sapporo (Japão) encontraram uma concentração média de 3,4µg/m³ e 3,6µg/m³ para o OC e 3,3µg/m³ e 3,6µg/m³ para o EC, considerando diferentes locais de coleta. A concentração de OC observada nesse trabalho é similar às concentrações encontradas por Kaneyasy et al. (1995), contudo estes autores apresentam uma concentração mais baixa quando considerado o EC. A contribuição do OC, EC, TC, OM (matéria orgânica) e TCA (aerossol carbonáceo total – soma do OM e EC) para a massa do MP₁₀ foi de 10,44%, 8,17%, 17,05%, 17,43% e 32,73% respectivamente.

5.8. Associação entre carboidratos, íons, MP₁₀, WSOC, OC e EC

Foi observada uma correlação positiva e significativa entre Manitol, Arabitol, Treitol, Metil-Eritritol, WSOC e EC, e entre Levoglucosan, Mannosan, Galactosan, Treitol, Metil-Treitol, WSOC, EC e OC, conforme apresentado na Tabela 19.

A correlação entre Manitol e Arabitol, ilustrada na Figura 38 também foi observada em outros trabalhos (ZHANG ET al., 2010; BURSHEIN, et al., 2011; ZHANG et al., 2015; GRAHAM et al., 2003 e 2002; NIRMALKAR et al., 2015).

Tabela 19. Correlação de Pearson entre os carboidratos, WSOC, OC e EC

EC	OC	WSOC	Metil-Eritritol	Metil-Treitol	Treitol	Mannosan	Galactosan	Levoglucosan	Manitol	Arabitol
0,40*	0,37	0,34*	0,58*	0,26	0,65*	0,2	0,12	0,21	0,89*	1
0,40*	0,38	0,39*	0,50*	0,31*	0,69*	0,27*	0,2	0,26	1	0,89*
0,78*	0,78*	0,83*	0,35*	0,42*	0,66*	0,99*	0,95*	1	0,26	0,21
0,70*	0,68*	0,72*	0,28	0,32*	0,52*	0,95*	1	0,95*	0,2	0,12
0,82*	0,79*	0,82*	0,32*	0,40*	0,64*	1	0,95*	0,99*	0,27*	0,2
0,61*	0,68*	0,74*	0,54*	0,57*	1	0,64*	0,52*	0,66*	0,69*	0,65*
0,41	0,48*	0,52*	0,64*	1	0,57*	0,40*	0,32*	0,42*	0,31*	0,26
0,43*	0,50*	0,59*	1	0,64*	0,54*	0,32*	0,28	0,35*	0,50*	0,58*
0,88*	0,89*	1	0,59*	0,52*	0,74*	0,82*	0,72*	0,83*	0,39*	0,34*
0,92*	1	0,89*	0,50*	0,48*	0,68*	0,79*	0,68*	0,78*	0,38	0,37
1	0,92*	0,88*	0,43*	0,41	0,61*	0,82*	0,70*	0,78*	0,40*	0,40*

*p<0,05

Figura 38. Correlação entre Manitol e Arabitol ($r^2 = 0,79$).

O Metil álcool, 2-Metil-tetrols tem quatro estereoisômeros, o 2-C-Metil-D-Eritritol (a), o 2-C-Metil-L-Eritritol (b), o 2-C-Metil-L-Treitolo (c), e o 2-C-Metil-D-Treitolo (d), o “a” e o “b” será referenciado como 2-Metil-Eritritol e o “c” e o “d” será referenciado como 2-Metil-Treitolo. Claeys et al. (2004) coletaram na Floresta Amazônica, e propuseram que o 2-Metil-tetrols é resultado da fotooxidação do isopreno. Contudo, os 2-Metil-tetrols também podem ter uma origem biológica, já que são produzidos por plantas, insetos e microrganismos (NOZIÈRE et al., 2011), e também podem ser correlacionados com a queima de biomassa (SCHKOLNIK et al., 2005).

O Treitol é um açúcar homólogo ao 2-MetilEritritol e do 2-MetilTreitol, e a correlação entre o Treitol e os outros carboidratos não é muito discutida na literatura. A correlação entre os biomarcadores de fungo (Arabitol e Manitol), o Treitol ($r=0,65$ e $r=0,69$ para o Arabitol e Manitol respectivamente) e o 2-Metil-Eritritol ($r=0,58$ e $r=0,50$ para o Arabitol e Manitol respectivamente) é um forte indicativo da origem biológica desses compostos (Treitol e 2-Metil-Eritritol).

A correlação entre o Treitol com o Levoglucosan foi observada também por Sullivan et al. (2011). Graham et al., (2002) encontraram uma correlação entre o Treitol, o carbono orgânico (OC), o “Black Carbon” (BC) e o potássio (K), indicando que uma das fontes do Treitol pode ser a queima de biomassa. Portanto, a correlação entre 2-Metil-Treitolo, o Treitol e os traçadores de queima de biomassa (levoglucosan, mannosan e

galactosan) encontrada nesse trabalho, pode ser um indicativo de que esses compostos são originários da queima de biomassa. Assim, o Treitol encontrado na atmosfera de São Paulo pode ter duas origens diferentes, uma biológica e outra da queima de biomassa.

O Galactosan e Mannosan são isômeros do levoglucosan (SULLIVAN et al., 2011; GRAHAM et al., 2003), sendo assim era esperada a correlação entre os três anidroaçúcares (Figura 39). A falta de correlação entre os álcoois de açúcar e o anidroaçúcares podem indicar que os álcoois de açúcar contribuem para o aerossol natural de fundo, isto é, o aerossol biogênico primário. (GRAHAM et al., 2003).

Figura 39. Correlação entre Levoglucosan, Galactosan ($r^2 = 0,90$) e Mannosan ($r^2 = 0,98$).

O WSOC se correlacionou com todos os carboidratos, o que concorda com o esperado, já que o WSOC é constantemente o principal componente carbonáceo (SULLIVAN et al., 2006). Contudo, a sua correlação com os anidroaçúcares foi mais pronunciada, o que pode ser explicado pela maior presença de carbono orgânico solúvel em água na queima de biomassa (SULLIVAN et al., 2006).

Uma correlação positiva significativa entre OC e EC ($r = 0.92$) pode indicar que ambos são predominantemente derivados de fontes em comum (queima de biomassa, combustão de carvão e escape do motor veicular) (RENGARAJAN et al., 2011). Essa correlação também pode indicar que o carbono orgânico é principalmente derivado de fontes primárias ou ambos o OC e EC são influenciados pelos mesmo fatores, em especial

fatores meteorológicos (TURPIN e HUNTZICKER, 1995). Essa correlação também foi observada em outros estudos quando analisadas as partículas finas (PACHAURI et al., 2013). Zhang et al. (2015) observou uma elevada correlação entre o OC e o Arabitól ($R^2 = 0,90$) e o Manitol ($R^2 = 0,97$) quando analisado o $MP_{2.5}$ coletado em uma floresta tropical da China. Contudo, essa correlação não foi observada neste trabalho. Em consequência da falta de correlação (Tabela 19) encontrada entre o OC e os biomarcadores de fungos (Manitol e Arabitól) e a baixa contribuição de ambos para a concentração de OC (Tabela 20), pode-se concluir que a concentração do OC não é primariamente originada de aerossol biogênico, especial de estruturas fúngicas.

Tabela 20. Contribuição média (%) de cada carboidrato, todos os carboidratos e o WSOC para a concentração em massa do OC.

Contribuição para o OC	
Arabitól	0,43%
Manitol	0,91%
Levoglucosan	6,49%
Galactosan	0,15%
Mannosan	0,62%
Treitol	0,29%
Metil-Treitol	0,43%
Metil-Eritritol	1,73%
WSOC	89,75%
Carboidratos totais	11,05%

Foi observada uma correlação positiva significativa entre o MP_{10} , o Arabitól, Manitol, Levoglucosan, Galactosan, Mannosan, Treitol, Metil-Treitol, Metil-Eritritol, WSOC, OC e EC (Tabela 21 e 22). Essa correlação é um indicativo da presença desses álcoois de açúcar no MP_{10} , e muitos artigos apontam que a concentração desses álcoois de açúcar é maior no MP_{10} do que em frações menores do particulado (ZHANG et al., 2010; ZHANG et al., 2015; ELBERT et al., 2007; NIRMALKAR et al., 2015; SULLIVAN et al., 2011). Os anidroaçúcares são observados em maiores quantidades em frações menores do material particulado, já que o aerossol originário de fumaça é um conjunto de partículas de tamanho submicron (GRAHAM et al., 2003). Contudo, eles ainda assim apresentam uma correlação positiva significativa com o MP_{10} , o que pode ser explicado pela grande participação do $MP_{2.5}$ no MP_{10} .

Tabela 21. Correlação entre os álcoois de açúcar, anidroaçúcar, WSOC, OC, EC e os íons (Ca^+ , Mg^+ , K^+ , Na^+ , Cl^- , F^-).

	Ca^+	Mg^+	K^+	Na^+	Cl^-	F^-
Arabitol	0,09	-0,01	0,41*	-0,25	-0,12	0,37*
Manitol	0,13	0,01	0,45*	-0,25	-0,06	0,35*
Levoglucozan	0,02	-0,09	0,74*	-0,12	0,55*	0,37*
Galactosan	-0,04	-0,13	0,65*	-0,14	0,71*	0,32*
Mannosan	0,03	-0,08	0,73*	-0,12	0,57*	0,37*
Treitol	0,14	-0,02	0,74*	-0,25	0,13	0,43*
Metil-Treitol	0,16	0,08	0,46*	-0,11	0,09	0,05
Metil-Eritritol	0,12	0,02	0,55*	-0,12	0,13	0,33*
WSOC	0,18	0,05	0,80*	0,00	0,45*	0,50*
OC	0,31	0,15	0,77*	-0,15	0,29	0,44*
EC	0,26	0,10	0,69*	-0,11	0,33	0,56*

* $p < 0,05$ **Tabela 22. Correlação entre os álcoois de açúcar, anidroaçúcar, WSOC, OC, EC e os íons (NO_3^- ; $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$; PO_4^{3-} ; SO_4^{2-} ; MP_{10}).**

	NO_3^-	$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	MP_{10}
Arabitol	0,03	0,35*	-0,09	-0,25	0,40*
Manitol	0,08	0,34*	-0,17	-0,20	0,47*
Levoglucozan	0,26	0,67*	-0,01	-0,20	0,76*
Galactosan	0,18	0,53*	0,03	-0,28	0,60*
Mannosan	0,28*	0,65*	0,00	-0,18	0,76*
Treitol	0,07	0,63*	-0,22	-0,27*	0,73*
Metil-Treitol	0,20	0,38*	0,05	0,00	0,47*
Metil-Eritritol	0,28*	0,56*	0,09	0,13	0,53*
WSOC	0,50	0,82*	-0,12	0,09	0,88*
OC	0,41*	0,79*	0,00	0,14	0,92*
EC	0,40*	0,71*	-0,01	0,11	0,93*

* $p < 0,05$

Todos os álcoois de açúcar, os anidroaçúcares e o WSOC, apresentaram uma correlação positiva significativa com o potássio, oxalato e fluoreto. A correlação entre potássio com os anidroaçúcares e com o WSOC pode ser explicada pela fonte comum que é a queima de biomassa (ZHANG et al., 2015; YANG et al., 2012; GRAHAM et al., 2002). Além disso, a correlação entre potássio com os álcoois de açúcar pode ser explicada pela presença de potássio em fungos e plantas (ELBERT et al., 2007). O oxalato e o cloreto estão mais correlacionados com os anidroaçúcares, indicando a sua relação com a queima de biomassa (ANDREAE et al., 1988). O cálcio, magnésio, sódio, fosfato, sulfato não mostraram uma correlação forte ou significativa com nenhum dos compostos.

5.9. Biomarcadores de fungos

Para o ano de 2015 foram encontrados 35 grupos incluindo espécie, gêneros, grupos e indeterminados. Foi encontrada uma concentração média de 5724 (± 2592) esporos/m³ e o principal grupo foi o Basidiomycota (Basidiósporo hialino pequeno), seguido pelo Fungo Mitospórico, o *Cladosporium* sp (Apêndice F).

A correlação de Pearson entre o total de esporos e os carboidratos, íons, WSOC, OC, EC e MP₁₀ foi apenas significativa com o Arabitol, Manitol, Treitol e Potássio (Tabela 23). Foi observada uma correlação positiva entre os esporos totais e os álcoois de açúcar como observado em Bauer et al., 2008b. Os esporos também estão correlacionados positivamente com o Treitol e o Potássio.

Tabela 23. Correlação entre o total de esporos, Arabitol, Manitol, Treitol e Potássio.

	Arabitol	Manitol	Treitol	Potássio
Correlação (r)	0,63*	0,59*	0,64*	0,48*

*p<0,05

Considerando cada grupo de esporos obtidos, é possível observar que a maioria dos esporos está correlacionada com o Arabitol e Manitol, bem como com o Treitol e o Potássio (Tabela 24), sendo que essa correlação é observada com os esporos de todos os grandes grupos (Ascomycota, Basidiomycota, Fungos Mitospóricos e Diversos).

Essa correlação positiva está em acordo com os outros trabalhos, que indicam que o Arabitol e Manitol podem ser traçadores para as estruturas fúngicas, especialmente para os principais grupos de fungos na atmosfera. O Potássio e o Treitol apesar de não terem sido muito discutidos na literatura também são relacionados com fungos. Portanto, esporos de fungos e outras estruturas fúngicas podem ser uma fonte de Arabitol, Manitol, Treitol e potássio na atmosfera, e além disso, esses podem ser usados como traçadores de fungos na atmosfera.

Tabela 24. Correlação entre os grupos de esporos e o Arabitol, Manitol, Treitol e Potássio.

	Arabitol	Manitol	Treitol	Potássio
<i>Alternaria</i> sp.	0,17	0,10	0,27	0,17
<i>Botrytis</i> sp.	0,62*	0,49*	0,53*	0,62*
<i>Cercospora</i> sp.	0,13	0,13	-0,19	0,13
<i>Cladosporium</i> sp.	0,73*	0,68*	0,73*	0,73*
<i>Curvularia</i> sp.	-0,17	-0,15	0,13	-0,17

(continua)

Tabela 24. (continuação). Correlação entre os grupos de esporos e o Arabitol, Manitol e Treitol e Potássio.

(conclusão)

	Arabitol	Manitol	Treitol	Potássio
<i>Drechslera</i> -like	0,42*	0,41*	0,55*	0,42*
<i>Epicoccum</i> sp.	0,24	0,22	0,36	0,24
<i>Penicillium/Aspergillus</i> -like	0,43*	0,41*	0,49*	0,43*
<i>Periconia</i> sp.	0,63*	0,62*	0,63*	0,63*
<i>Pithomyces</i> sp.	0,17	0,28	0,11	0,17
<i>Spegazzinia</i> sp.	0,32	0,28	0,31	0,32
<i>Gliomastix</i> sp.	0,47*	0,50*	0,49*	0,47*
<i>Torula</i> sp.	0,33	0,29	0,45*	0,33
Mitósporos Indeterminados	0,43*	0,33	0,45*	0,43*
Diatrypaceae grande	0,18	0,11	-0,09	0,18
Diatrypaceae pequeno	0,11	0,08	0,00	0,11
<i>Paraphaeosphaeria</i> sp.	0,17	0,17	0,25	0,17
<i>Pleospora</i> -like	-0,21	-0,28	-0,16	-0,21
<i>Venturia</i> sp.	0,30	0,33	0,10	0,30
Xylariaceae	0,48*	0,61*	0,50*	0,48*
Ascósporos 2 células com cor	0,27	0,27	-0,07	0,27
Ascósporos 2 células sem cor	0,29	0,26	0,02	0,29
Ascósporos 4 células com cor	0,46*	0,45*	0,21	0,46*
Ascósporos 4 células sem cor	0,40*	0,42*	0,09	0,40*
Ascósporos Indeterminados	0,36	0,31	0,08	0,36
<i>Coprinus</i> -like	0,46*	0,55*	0,61*	0,46*
Inocybe-type	0,30	0,28	0,61*	0,30
<i>Ganoderma</i> sp.	0,49*	0,58*	0,62*	0,49*
Basidiósporo hialino pequeno	0,40*	0,38	0,53*	0,40*
Basidiósporo hialino grande	0,47*	0,44*	0,54*	0,47*
Basidiósporo Indeterminado	0,61*	0,60*	0,54*	0,61*
Teliospores (<i>Smuts</i>)	0,43*	0,42*	0,36	0,43*
<i>Rust</i>	0,20	0,26	0,18	0,20
Myxomycota	0,29	0,21	0,39*	0,29
Indeterminados	0,36	0,39	0,52*	0,36
Esporos totais	0,63*	0,59*	0,64*	0,63*

*p<0,05

Usando o fator de conversão proposto por Bauer et al. (2008b) e Bauer et al. (2002) foi possível determinar a contribuição em porcentagem de massa dos esporos de fungos para a concentração de MP₁₀ (Tabela 25). O fator de conversão (FC) usado foi de 1,7pg Manitol/esporos (Bauer et al., 2008b), 33pg massa fresca de MP₁₀/esporos, e 13pg C/esporos (Bauer et al., 2002).

Tabela 25. Participação em massa de esporos no MP₁₀ e OC.

	Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Massa de MP ₁₀ no esporo	0,5 ($\pm 0,2$)	0,9	0,1
Massa de OC no esporo	0,2 ($\pm 0,1$)	0,4	0,1
Massa de esporos/massa do MP ₁₀ %	2% ($\pm 0,0$)	5%	1%
Massa de esporos/massa do OC%	8% ($\pm 0,1\%$)	22%	2%

Assim, pode ser observado que a contribuição de esporos de fungos para o MP₁₀ e OC corresponde a uma média de 2% e 8%, respectivamente. Zhang et al. (2010) observaram que na China, a concentração média de esporos na atmosfera contribui com 7,92% e 12,1% do MP₁₀ e OC, respectivamente. Bauer et al. (2008a) observaram uma concentração de 4,8% e 10% do MP₁₀ e do OC, respectivamente em uma área suburbana e 2,3% e 4,3% do MP₁₀ e OC, respectivamente em uma área urbana. Amostras coletadas em Balbina (Brasil), apontam que os esporos contribuem com uma média de 35% da concentração em massa total do material particulado de tamanho 1-10 μm (ELBERT et al., 2007).

As concentrações observadas nesse estudo foram similares aquelas observadas por Bauer et al. (2008a) em uma área urbana, mas foram menores do que as observadas por Zhang et al. (2010). Como a atmosfera de São Paulo tem uma elevada concentração de material particulado originário das emissões veiculares, a concentração correspondente aos esporos de fungos é significativa.

O fator de conversão proposto por Bauer et al. (2002 e 2008b) inclui uma gama de incertezas, associadas especialmente às diferenças entre os ambientes. Apesar do período de amostragem ser o mesmo, o local de coleta desse estudo foi a cidade de São Paulo, a quarta maior metrópole do mundo (IBGE, 2013), com um clima tropical, enquanto Bauer et al. (2002 e 2008b) coletou em Viena (Austria) com umidade, temperatura e composição química significativamente diferente. Ademais, espécies de fungos e as suas concentrações na atmosfera de São Paulo e Viena são diferentes, especialmente nas concentrações de Manitol e Arabitól.

Usando-se os dados obtidos nesse trabalho: a contagem de esporos (média de 5724 esporos/ m^3) e a concentração de Manitol e Arabitól foi possível estimar outro fator de conversão (Tabela 26) e obter outra contribuição em termos de porcentagem de massa de esporos de fungos para a concentração de MP₁₀ e OC (Tabela 27).

Tabela 26. Fator de conversão (FC) utilizando dados desse trabalho

	Média (pg/m ³)	Media (pg/spore)	Máximo (pg/spore)	Mínimo (pg/spore)
Arabitol	11677,0 ($\pm 6385,9$)	1,9 ($\pm 0,6$)	3,1	0,7
Manitol	23280,1 ($\pm 9934,5$)	4,0 ($\pm 1,4$)	8,0	1,6

Tabela 27. Participação em massa de esporos no MP₁₀ considerando a contagem de esporos feita nesse trabalho e o FC.

	Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Massa de MP ₁₀ no esporo	0,19 ($\pm 0,08$)	0,39	0,06
Massa de OC no esporo	0,08 ($\pm 0,03$)	0,15	0,02
Massa de esporos/massa do MP ₁₀ %	0,70% ($\pm 0,31$)	1,88%	0,26%
Massa do esporo /massa do OC %	3,22% ($\pm 2,23$)	9,53%	0,90%

Comparando os fatores de conversão, é possível observar que usando as contagens feitas nesse trabalho, o valor é maior do que a contagem feita por Bauer et al. (2008b). Consequentemente a contribuição dos esporos de fungos para o MP₁₀ e para o OC é menor. Isso pode ser explicado pela diferença entre as localizações (Brasil e Viena) e a metodologia de contagem, que neste trabalho foi feito manualmente usando um microscópio óptico e em Bauer et al. (2008b), os esporos foram enumerados por um microscópio de epifluorescência.

5.10. Fontes do MP₁₀

Com a análise de fluorescência de raio-x foi possível obter-se as concentrações dos elementos-traço que compõem o MP₁₀. Essa análise foi elaborada utilizando-se o filtro de polycarbonato. A massa do MP₁₀ obtida com a gravimetria dos filtros de polycarbonato foi muito menor do que a massa esperada (menor do que a massa obtida na CETESB) (Apêndice IV). Acredita-se que o volume coletado para o filtro de polycarbonato foi muito menor do que o indicado no equipamento (5L/min). Sendo assim, foi utilizado um fator de conversão a partir dos dados medidos pela CETESB, para se obter a massa corrigida do MP₁₀. Com isso, foi possível obter a concentração média (Tabela 28).

Tabela 28. Concentração média dos elementos-traço constituintes do MP₁₀.

	Média original (µg/m³)	Contribuição para o MP₁₀
Na	0,24	3%
Mg	0,01	0%
Al	0,31	4%
Si	0,78	10%
P	0,03	0%
S	0,36	5%
Cl	0,24	3%
K	0,21	3%
Ca	0,44	6%
Ti	0,04	1%
V	0,00	0%
Cr	0,02	0%
Mn	0,01	0%
Fe	0,54	7%
Ni	0,00	0%
Cu	0,00	0%
Zn	0,05	1%
Se	0,00	0%
Br	0,00	0%
Pb	0,00	0%
Elementos total (soma)	3,28	42%

Com os dados de carboidratos, WSOC, OC, EC, íons, elementos do MP₁₀, massa do MP₁₀, foi possível elaborar uma análise de componentes principais (Análise de Fator). Essa análise foi construída com o objetivo de identificar as fontes do material particulado, sendo estas representadas pelos fatores.

Com essa análise foram obtidos seis fatores (Tabela 29). A análise pode ser considerada consistente já que a porcentagem cumulativa da variância explicada foi maior do que 85%, os autovalores foram maiores do que 1 e a comunalidade indicou que a maioria dos grupos foram bem explicados. Contudo, devido ao pequeno número amostral, dos 51 casos processados, apenas 12 casos foram validos para 32 variáveis. Sendo assim, apesar da porcentagem cumulativa, da comunalidade e do autovalor serem consistentes, a baixa quantidade de casos validos implica em uma estatística fraca. Com isso a PCA será considerada somente como indicativa.

Tabela 29. Análise de Fatores. Na tabela está indicado os “Factor Loading”, o autovalor, porcentagem cumulativa da variância total e a comunalidade (Vp).

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	Vp
Al	0,90*	-0,11	0,16	0,15	0,05	0,25	0,94
Si	0,90*	-0,03	0,15	0,25	0,11	0,23	0,96
P	0,78*	-0,12	0,18	0,32	0,18	0,05	0,79
S	0,43	0,69*	-0,05	0,42	0,07	-0,04	0,85
K	0,80*	-0,01	0,21	0,42	0,10	0,28	0,95
Ti	0,87*	-0,14	0,19	0,16	0,18	0,26	0,93
Mn	0,83*	0,23	0,06	0,05	-0,28	-0,09	0,84
Fe	0,90*	0,16	0,14	0,09	-0,20	0,02	0,91
Cu	0,57	0,00	0,15	0,61*	-0,27	0,32	0,89
Zn	0,41	0,29	-0,01	0,72*	0,10	0,07	0,79
Br	0,33	-0,06	-0,03	0,66*	0,04	0,18	0,59
Pb	0,21	0,04	0,02	0,84*	0,06	0,22	0,80
MP ₁₀	0,72*	0,17	0,38	0,37	0,07	0,27	0,90
Arabitol	0,16	-0,07	0,22	0,08	0,01	0,91*	0,92
Manitol	0,20	0,04	0,22	0,12	-0,06	0,85*	0,83
Levoglucozan	0,51	-0,15	0,55	0,58	-0,15	0,10	0,95
Galactosan	0,35	-0,20	0,55	0,68*	-0,14	0,06	0,95
Mannosan	0,51	-0,10	0,50	0,62*	-0,15	0,11	0,95
Treitol	0,46	-0,18	0,49	0,26	-0,06	0,57	0,87
Metil-treitol	0,07	0,04	0,80*	0,08	0,11	0,19	0,70
Metil-eritritol	0,21	0,26	0,66*	-0,10	0,10	0,40	0,73
Cálcio	0,10	0,07	0,14	0,04	0,95*	0,01	0,95
Magnésio	0,00	0,18	-0,01	-0,06	0,93*	-0,17	0,93
Potássio	0,48	-0,07	0,59	0,22	0,18	0,30	0,76
Cloreto	-0,14	0,24	0,24	0,75*	-0,10	-0,24	0,77
Nitrato	-0,02	0,84*	0,26	0,20	0,06	0,02	0,81
Oxalato	0,51	0,18	0,60	0,11	-0,11	0,24	0,73
Sulfato	-0,07	0,89*	-0,04	-0,15	0,17	-0,21	0,88
WSOC	0,57	0,19	0,59	0,39	0,05	0,22	0,91
OC	0,74*	0,08	0,34	0,34	0,26	0,31	0,96
EC	0,66*	0,11	0,21	0,62*	0,15	0,31	0,99
Esporos totais	0,18	-0,33	0,23	0,12	-0,21	0,67*	0,71
Var. expl.	9,32	2,67	4,04	5,40	2,40	3,61	
Prp.Totl	0,29	0,08	0,13	0,17	0,08	0,11	
Autovalor	15,91	3,49	2,63	2,29	1,83	1,29	
Porc. Cumulativa (%)	49,73	60,64	68,84	76,00	81,71	85,75	

*"Factor loading">0,6

O primeiro fator agrupa a maioria dos compostos e tem um autovalor de 15,91. Esse fator agrupa os elementos Al, Si, P, K, Ti, Mn, Fe, Cu, MP₁₀, OC e EC. Desses componentes o Al, Si, Ti, Fe, MP₁₀ são traçadores de solo (ressuspensão de solo e solo de abrasão) (ANDRADE et al., 2010; AIRUSE, 2011), e o EC e o Cu estão relacionados com a emissão veicular (ANDRADE et al., 2010). O fator 2 inclui o enxofre, o nitrato e

o sulfato que corresponde a emissões industriais e a formação de aerossol secundário, representando uma fonte antropogênica (ANDRADE et al., 2010). O terceiro fator inclui o Metil-treitol, Metil-eritritol, Levoglucosan, Galactosan e Mannosan, que corresponde a fonte de queima de biomassa, em especial a combustão de resíduos agrícolas, já que a queima de resíduos agrícola é uma fonte para o isopreno e consequentemente os Metil-alcoois (PANDEY et al., 2014). O Fator 4 corresponde a fonte de queima de biomassa de resíduos de madeira por apresentar o Zn, Br, Pb, Levoglucosan, Galactosan, Mannosan, EC (AIRUSE, 2011) e Cloreto (SOUZA et al., 2014), e também representa a emissão veicular, devido a presença do Cu e do EC (ANDRADE et al., 2010). O Fator 5 inclui o magnésio e o cálcio, que ser traçadores de poeira (SOUZA et al., 2014). O sexto e último fator inclui o Arabitol, Manitol, Treitol e os esporos totais, representando a fonte de aerossol fúngico (ZHANG et al., 2015; BAUER et al., 2008b).

Usando a PCA é possível obter o “Factor score absoluto” que irá recuperar a massa dos elementos. A regressão foi feita utilizando o “Factor Score” e permitiu verificar a contribuição de cada fator para o MP₁₀ (Tabela 30).

Tabela 30. Contribuição de cada fator para o MP₁₀

	Traçadores	Fonte
Factor 1	Al, Si, P, K, Ti, Mn, Fe, MP ₁₀ , OC e EC	Ressuspensão do solo e emissão veicular
Factor 2	S, NO ₃ ⁻ e SO ₄ ⁻	Formação de aerossol secundário
Factor 3	Metil-treitol, Meyhyl-eritritol, oxalato, K ⁺ , Levoglucosan e Galactosan	Queima de biomassa (combustão de resíduos agrícolas)
Factor 4	Cu, Zn, Br, Pb, Levoglucosan, Galactosan, Mannosan e Cl ⁻	Queima de biomassa (resíduos de madeira) e emissão veicular
Factor 5	Ca ⁺ e Mg ⁺	Traçador de poeira
Factor 6	Arabitol, Manitol, esporos	Aerossol fúngico

*p<0,05

Com esses dados foi possível estimar que o MP₁₀ tem 6 principais fontes, sendo que entre elas estão a ressuspensão do solo e emissão veicular, queima de biomassa, aerossóis fúngicos e formação de aerossol secundário. Zhang et al. (2015) também fez uma PCA considerando traçadores semelhantes aos usados nesse trabalho e ele observou 4 fatores (aerossol relacionado com fungo, sal marinho e nitrato secundário, amônia e sulfato secundário, queima de biomassa e aerossol de poeira) de certa forma semelhante aos fatores observados nesse trabalho.

6. Conclusão

Os resultados obtidos com esse trabalho constituem um grande avanço nas pesquisas envolvendo a contribuição biológica para a poluição do ar em São Paulo. Com esse trabalho foi possível compreender quais são os principais grupos de fungos na atmosfera de São Paulo e quais as suas concentrações em massa e número. Além disso, foram propostos fatores que mais influenciam nessa concentração. Há ainda poucos estudos no Brasil discutindo esses aspectos.

Foi possível observar que a distribuição dos esporos na atmosfera não é igual para todos os grupos de esporos, sendo que cada grupo é influenciado por diferentes fatores, em especial as condições meteorológicas. A influência das variáveis meteorológicas na concentração de esporos na atmosfera se torna mais evidente quando analisados os diferentes períodos do dia e as diferentes estações do ano. Os Mitósporos apresentam o comportamento mais divergente em relação aos outros grupos, sendo encontrados com maiores concentrações em períodos mais secos e quentes. Os Ascósporos são encontrados em maior concentração em períodos mais úmidos e chuvosos e os Basidiósporos apresentam um comportamento diferente dependendo do gênero analisado, mas no geral apresentam uma relação positiva com a umidade.

A concentração de esporos totais foi maior durante o período da madrugada, contudo, analisando individualmente os grupos nota-se que o único grupo que apresentou uma concentração maior em um período diferente foi o Mitósporo, que teve uma maior concentração no período da tarde. A primavera e verão foram as estações do ano que apresentaram maior concentração de Ascósporos e Basidiósporos, e o outono e o inverno apresentaram a maior concentração de Mitósporo. A velocidade do vento influencia na concentração de esporos totais e maiores concentrações de esporos ocorrem com ventos da região sudeste. A correlação com os poluentes ($MP_{2,5}$, e MP_{10}) apesar de fraca, sugere que os esporos contribuem para a concentração de material particulado, tanto o fino quanto o grosso.

Outra grande contribuição deste trabalho foi o estudo de compostos traçadores da atividade biogênica, da vegetação e da queima de biomassa, além da determinação do total de carbono orgânico (OC) e carbono elementar (EC) no material particulado. Os dados indicam que o OC contribui para 10% da concentração em massa do MP_{10} , e os carboidratos analisados contribuíram com 11% da concentração do OC. Com o fator de conversão foi estimado que os esporos de fungos representam aproximadamente 2% da massa de MP_{10} e 8% da massa de OC, que é uma porcentagem significativa. Os esporos de fungos se correlacionaram com o Arabitol, Manitol e Treitol e esses se correlacionaram entre si. Isso pode ser um indicador que esses

álcoois de açúcar tem a mesma fonte, os fungos. Portanto, pode ser proposto que esses três álcoois de açúcar podem ser indicadores (traçadores) da presença de fungos na atmosfera. O íon potássio também apresentou uma correlação positiva com os esporos de fungos o que pode indicar que grande parte da concentração desse íon pode ser derivada de fungos.

Foi realizada uma estimativa das fontes de MP_{10} com a aplicação de modelos receptores, que indicou que as principais fontes são a queima de biomassa, a ressuspensão do solo e emissão veicular, os aerossóis fúngicos e a formação de aerossol secundário. Além da estimativa obtida com o fator de conversão também foi feita uma estimativa com a análise de fator que indicou que os aerossóis fúngicos contribuem com 17% de toda a massa de MP_{10} . Se apenas os aerossóis originários de fungos representam essa porcentagem, é esperado que outras partículas biológicas como os pólenes, os fragmentos de plantas e outros microrganismos tenham também uma porcentagem significativa, indicando a relevância da contribuição biogênica para a concentração de MP_{10} .

Todos esses resultados são importantes para o entendimento da dinâmica atmosférica, já que estas partículas influenciam em diversos processos atmosféricos como a precipitação, formação de nuvens, e reações químicas e físicas. Essas partículas também interferem na vida humana em particular na saúde humana, uma vez que muitos desses compostos orgânicos e inorgânicos podem ser alergênicos e podem causar diversas doenças respiratórias.

Para um melhor entendimento da composição orgânica primária do MP_{10} , é necessário estudar os outros componentes biológicos presentes na atmosfera. Nesse caso, as bactérias, vírus, insetos e fragmentos de plantas devem ser estudados para que assim, seja feita uma estimativa da composição orgânica primária do material particulado com maior precisão.

Além disso, a formulação de fatores de conversão é importante para facilitar e aprimorar a investigação dos componentes biológicos na atmosfera. Uma estimativa preliminar de um fator de conversão de Arabitol e Manitol para número de esporos foi elaborada nesse trabalho. Contudo, uma investigação mais aprofundada, considerando as diferentes estações do ano e os diferentes tipos fúngicos deve ser feita para se ter uma maior precisão na análise. Ademais, há uma lacuna no conhecimento do impacto dos fungos nos processos climáticos, como por exemplo, na formação de gelo e no seu potencial alergênico. Sendo assim, um estudo verificando a capacidade como nucleadores de gelo dos tipos fúngicos deve ser elaborada, além de verificar as outras possíveis influências dos esporos fúngicos para os processos climáticos.

REFERÊNCIAS³

- ADHIKARI, A.; REPONEN, T.; GRINSHUPUN, S. A.; MARTUZEVICIUS, D.; LEMASTERS, G. Correlation of ambient inhalable bioaerosols with particulate matter e ozone: a two-year study. **Environmental Pollution**, v. 140, p. 16-28, mar. 2006.
- AIRUSE. Action B4: Biomass burning in Southern Europe, p. 24, 2015. Disponível em: <<http://airuse.eu/wp-content/uploads/2013/10/B4-Deliverble-26-Biomass-Burning-Southern-Europe.pdf>>. Acesso em: 07/07/2014.
- ALEXOPOULOS, C.J.; MIMS, C.W. & BLACKWELL, M. **Introductory Mycology**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996, p. 865.
- ALMEIDA, F. et al. Flora micológica do ar: sua significação e importância. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 11, 1951.
- ANDRADE, M. D. F.; MIRANDA, R. M. DE; FORNARO, A.; et al. Vehicle emissions and PM(2.5) mass concentrations in six Brazilian cities. **Air Quality, Atmosphere and Health**, v. 5, n. 1, p. 79–88, 2010. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3286514&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 26/11/2014.
- ANDREAE M.O. Soot carbon and excess fine potassium: long-range transport of combustion-derived aerosols. **Science**, v. 220, n. 4602, p.1148-1151, jun, 1983.
- ANDREAE, M. O; BROWELL, E. V.; GARSTANG, M.; GREGORY, G. L.; HARRIS, R. C.; HILL, G. F.; JACOB, D. J.; PEREIRA, M. C.; SACHSE, G. W.; SETZER, A. W.; SILVA DIAS, P. L.; TALBOT, R. W.; TORRES, A. L.; WOFSY, S. C. Biomass burning emissions and associated haze layers over Amazonia. **Geophysical Research**, v. 93, p. 1509-1527, 1988.
- ARANA, A. **Aerossóis Atmosféricos na Amazônia: Composição elementar orgânica e inorgânica em regiões com diferentes usos do solo**. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Universidade Estadual do Amazonia, 2014.
- ARAUJO, W. O.; COELHO, C. J. Análise de Componentes Principais (PCA). **Relatório técnico**, 2009. Disponível em: <http://www.unievangelica.edu.br/gc/imagens/file/mestrados/artigos/RTINF_003092.pdf>. Acesso em: 6/04/2015.
- BAUER, H.; CLAEYS, M.; VERMEYLEN, R.; et al. Arabitol e Mannitol as tracers for the quantification of airborne fungal spores. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 3, p. 588–593, 2008a. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231007009053>>. Acesso em: 17/11/2014.
- BAUER, H.; KASPER-GIEBL, A.; LO, M. The contribution of bacteria e fungal spores to the organic carbon content of cloud water, precipitation e aerosols. **Atmospheric Research**, v. 64, p. 109–119, 2002.
- BAUER, H.; SCHUELLER, E.; WEINKE, G.; et al. Significant contributions of fungal spores to the organic carbon e to the aerosol mass balance of the urban atmospheric aerosol. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 22, p. 5542–5549, 2008b.
- BOLETIM CLIMATOLÓGICO ANUAL DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG/USP/ Seção Técnica de Serviços Meteorológicos. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, v. 16, 2013.
- BOLETIM CLIMATOLÓGICO ANUAL DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG/USP/ Seção Técnica de Serviços Meteorológicos. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, v. 17, 2014.

³De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023 (2002).

BOLETIM CLIMATOLÓGICO MENSAL DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DO IAG/USP/ Seção Técnica de Serviços Meteorológicos. São Paulo: Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, v. 17, maio, junho e julho, 2015

BRAGA, A.; BÖHM, G. M.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. **REVISTA USP**, São Paulo, n.51, p. 58-71, set./nov., 2001.

BURCH, M.; LEVETIN, E. Effects of meteorological conditions on spore plumes. **International journal of biometeorology**, v. 46, n. 3, p. 107–117, 2002. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12194003>>. Acesso em: 23/11/2014.

BURGE, H. A. Some comments on the aerobiology of fungus spores. **Grana**, v. 25, 1986.

BURGE, H. A.; MUILENBERG, M. L.; ROGERS, C.; HOYER, M. Spore Identification. In: **Introductory fungal spore identification e bioaerosol sampler workshop**, 2006, Boston - Massachusetts. Boston: Aerobiology Instruction e research, 2006. p.75-112.

BURGE, H. A.; ROGERS, C. A. Allergens. **Environmental Health Perspectives**, v. 108, p. 653–659, 2000.

BURSHTEIN, N.; LANG-YONA, N.; RUDICH, Y. Ergosterol, arabitol e Manitol as tracers for biogenic aerosols in the eastern Mediterranean. **Atmospheric Chemistry e Physics**, v. 11, n. 2, p. 829–839, 2011. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/11/829/2011/>>. Acesso em: 21/11/2014.

BUSH, R. K.; PORTNOY, J. M. The role e abatement of fungal allergens in allergic diseases. **Allergy and Clinical Immunology**, 2001.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMACHO, I. G. C. **Estudo aerobiológico da cidade do Funchal: detecção bioquímica dos principais aeroalergénios polínicos**. 2007. 256 f. Tese de doutorado – Centro de Ciências da Vida. Universidade da Madeira, Portugal, 2007.

CASTRO, L. M.; PIO, C. A.; HARRISON, R. M.; SMITH, D. J. T. Carbonaceous aerosol in urban e rural areas European atmospheres: estimation of secondary organic carbon concentration. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 2771 - 2781, 1999.

CERSÓSIMO, L.F. **Variações espaciais e temporais no estabelecimento de plântulas em trecho de floresta secundária em São Paulo, SP**. 1993. 195 f. Dissertação - Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

CETESB. Emissões veiculares no estado de São Paulo 2013. **Secretaria do Meio Ambiente**, São Paulo, (ISSN 0103-4103), 2014. Disponível em: <<http://www.CETESB.sp.gov.br/ar/emissao-veicular/48-relatorios-e-publicacoes>>. Acesso em: 10/11/2014.

CETESB. *Poluentes*. Disponível em: <<http://www.CETESB.sp.gov.br/ar/Informa/es-B/sicas/21-Poluentes>>. Acesso em: 1/04/2015.

CETESB. *Redes de monitoramento*. Disponível em: <<http://ar.CETESB.sp.gov.br/redes-de-monitoramento/>>. Acesso em: 06/01/2016.

CETESB. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2009. **Secretaria do Meio Ambiente**, São Paulo, (ISSN 0103-4103), 2012.

CHOW, J. C.; WATSON, J. G.; CROW, D.; LOWENTHAL, D. H.; MERRIFIELD, T. Comparison of IMPROVE and NIOSH Carbon Measurements. **Aerosol Science and Technology**, v. 34, n. 1, p. 23–34, 2001. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02786820119073>>. Acesso em: 07/07/2014.

CHOW, J. C.; WATSON, J. G.; PRITCHETT, L. C.; PIERSON, W. R.; FRAZIER, C. A.; AND PURCELL, R. G. The DRI Thermal/Optical Reflectance Carbon Analysis System: Description, Evaluation and Applications in U.S. Air Quality Studies. **Atmospheric Environment**, v. 27, p.1185–1201, 1993.

CLAEYS, M.; WANG, W.; ION, A. C.; et al. Formation of secondary organic aerosols from isoprene and its gas-phase oxidation products through reaction with hydrogen peroxide. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 25, p. 4093–4098, 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231004004996>>. Acesso em: 07/07/2014.

DAVIS, W. E.; HORNER, W. E.; SALVAGGIO, J. E.; LEHRER, S. B. Basidiospore allergens: analysis of *Coprinus quadrifidus* spore, cap, e stalk extracts. **Clinical & Experimental Allergy**, v. 18, 1988.

DE ANTONI ZOPPAS, B.; VALENCIA-BARRERA, R.; VERGAMINI, D. S.; FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, D. Fungal spores prevalent in the aerosol of the city of Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, over a 2-year period (2001–2002). **Aerobiologia**, v. 22, 2006.

DEGOBBI, C. **Análise dos contaminantes biológicos presentes no material particulado (PM_{2,5}) de amostras da região metropolitana de São Paulo**. 2010. 151 f. Tese (Doutorado em Ciência) - Programa de Pós- Graduação em Patologia. Faculdade de medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo.

DEGOBBI, C.; LOPES, F. D. T. Q. S.; CARVALHO-OLIVEIRA, R.; MUÑOZ, J. E.; SALDIVA, P. H. N. Correlation of fungi e endotoxin with PM_{2.5} e meteorological parameters in atmosphere of Sao Paulo, Brasil. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 13, p. 2277–2283, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231010010307>>. Acesso em: 23/11/2014.

DEMOTT, P. J.; PRENNI, A. J. New directions: need for defining the numbers e sources of biological aerosols acting as ice nuclei. **Atmospheric environment**, v. 44, p.1944-1945, 2010.

DENATRAN. Frota de veículos. Dez. 2011. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>>. Acesso em: 1/08/2013.

DISLICH, R. **Análise da vegetação arbórea e conservação na Reserva Florestal da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira”, São Paulo, SP**. 2002. 251 f. Tese (doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Departamento de Ecologia. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DISLICH, R. **Florística e estrutura do componente epifítico vascular na Mata da reserva da cidade universitária “Armando de Salles oliveira”, São Paulo, SP**. 1996. 183 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia. Departamento de Ecologia. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

DISLICH, R.; MANTOVANI, W. A flora de epífitas vasculares da reserva da Cidade Universitária “Armando de Salles Oliveira” (São Paulo, Brasil). **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, n.17, p.61-83, 1998.

DOUWES, J.; THORNE, P.; PEARCE, N.; HEEDERIK, D. Bioaerosol health effects e exposure assessment: progress e prospects. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 47, p. 187-200, abril 2003.

ELBERT, W.; TAYLOR, P. E.; ANDREAE, M. O.; PÖSCHL, U. Contribution of fungi to primary biogenic aerosols in the atmosphere: wet e dry discharged spores, carbohydrates, e inorganic ions. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.7, 2007.

ELIAS, B. C. **Estudo químico e atividades biológicas de extratos obtidos de culturas de *Penicillium verrucosum* Dierck**. 2003. Dissertação (Mestrado em Fármacos e Medicamentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2003. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/60/60131/tde-07082003-094230/>>. Acesso em: 29/08/2015

ENGLING, G.; CARRICO, C. M.; KREIDENWEIS, S. M.; et al. Determination of levoglucosan in biomass combustion aerosol by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection. **Atmospheric Environment**, v. 40, p. 299–311, 2006. Disponível em:<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231006005802>>. Acesso em: 21/11/2014.

ESMANHOTO, E. **Desenvolvimento de sistema de amostragem isocinética com análise quantitativa de material particulado em dutos e chaminés de fontes estacionárias**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em

Engenharia e Ciência dos Materiais) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais – PIPE. Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FISCHER, M. W. F.; STOLZE-RYBCZYNSKI, J. L.; CUI, Y.; MONEY, N. P. How far e how fast can mushroom spores fly? Physical limits on ballistospore size e discharge distance in the Basidiomycota. **Fungal biology**, v. 114, n. 8, p. 669–75, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2936274&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 26/11/2014.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D. W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D. C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in Atmospheric Constituents e in Radiative Forcing. In: **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Cambridge, United Kingdom e New York: Cambridge University Press, 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor e H.L. Miller (eds.)].

FRISVAD, J. C.; BRIDGE, P. D.; ARORA, K. D. **Chemical Fungal Taxonomy**. New York: Marcel Dekker, INC., 1998.

FRISVAD, J. C.; SAMSON, R. A.; STOLK, A. C. Chemotaxonomy of *Eupenicillium Javanicum* and Related Species. In: Samson, R. A.; Pitt J. I. (Ed.). **Modern Concepts in Penicillium and Aspergillus Classification**. New York: Springer US, 1990. p. 445-454.

FRÖHLICH-NOWOISKY, J.; BURROWS, S. M.; XIE, Z.; et al. Biogeography in the air: fungal diversity over land e oceans. **Biogeosciences**, v. 9, n. 3, p. 1125–1136, 2012. Disponível em: <<http://www.biogeosciences.net/9/1125/2012/>>. Acesso em: 6/10/2014.

FU, P. Q.; KAWAMURA, K.; CHEN, J.; et al. Diurnal variations of organic molecular tracers and stable carbon isotopic composition in atmospheric aerosols over Mt. Tai in the North China Plain: an influence of biomass burning. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 12, n. 18, p. 8359–8375, 2012. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/12/8359/2012/>>. Acesso em: 07/07/2014.

GAMBALE, W.; PURCHIO, A.; CROCE, J. Airborne fungi of the “Grande Sao Paulo area (Brazil). **Revista de Microbiologia**, v. 8, n. 3, p.74-79, 1977.

GAMBALE, W.; PURCHIO, A.; PAULA, C. R. Influência de fatores abióticos na dispersão aérea de fungos na cidade de São Paulo, Brasil. **Revista de Microbiologia**, v. 14, p. 204-214, 1983.

GEORGAKOPOULOS, D. G.; DESPRÉS, V.; FRÖHLICH-NOWOISKY, J.; PSENNER, R.; ARIYA, P. A.; PÓSFAL, M.; AHERN, H. E.; MOFFETT, B. F.; HILL, T. C. J. Microbiology e atmospheric processes: biological, physical e chemical characterization of aerosol particles. **Biogeosciences**, v. 6, p. 721–737, 2009.

GIANNINI, E. H.; NORTHEY, W. T.; LEATHERS, C. R. The allergenic significance of certain fungi rarely reported as allergens. **Annals of allergy**, v.35, 1975.

GILARDONI, S.; VIGNATI, E.; MARMER, E.; CAVALLI, F.; BELIS, C.; GIANELLE, V.; ARTAXO, P. Sources of carbonaceous aerosol in the Amazon basin. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.11, n.6, p.2747–2764, 2011.

GIORGIO, C. DI; KREMPFF, A.; GUIRAUD, H.; BINDER, P.; TIRET, C.; DUMENIL, G. Atmospheric pollution by airborne microorganisms in the city of Marseilles. **Atmospheric Environment**, v. 30, n. 1, p. 155–160, 1996. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/135223109500143M>>. Acesso em: 07/07/2014.

GLIKSON, M.; RUTHERFORD, S.; SIMPSON, R. W.; MITCHEL, L. C. A.; YAGO, A. Microscopic e submicron components of atmospheric particulate matter during high asthma periods in Brisbane, Queensland, Australia. **Atmospheric Environment**, v.29, 1995.

GODISH, T. **Air Quality**. 2. ed. Florida: Lewis publishers, 2004.

GOMES, F. S. **Antagonismo entre leveduras e bactérias lácticas na fermentação alcoólica**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11141/tde-23022010-092650/>>. Acesso em: 29/08/2015.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em: <<http://mapas.google.com>>. Acesso em: 10/11/2014.

GRAHAM, B.; GUYON, P.; MAENHAUT, W.; et al. Composition and diurnal variability of the natural Amazonian aerosol. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 108, n. D24, p. n/a–n/a, 2003a. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2003JD004049>>. Acesso em: 07/07/2014.

GRAHAM, B.; GUYON, P.; TAYLOR, P. E.; et al. Organic compounds present in the natural Amazonian aerosol: Characterization by gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 108, n. D24, p. n/a–n/a, 2003b. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2003JD003990>>. Acesso em: 07/07/2014.

GRAHAM, B.; MAYOL-BRACERO, O. L.; GUYON, P.; ROBERTS, G. C.; DECESARI, S.; FACCHINI, M. C.; ARTAXO, P.; MAENHAUT, W.; KOLL, P.; ANDREAE, M. O. Water-soluble organic compounds in biomass burning aerosols over Amazonia1. Characterization by NMR and GC-MS. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D20, p. 8047, 2002. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2001JD000336>>. Acesso em: 07/07/2014.

GRINN-GOFROŃ, A.; RAPIEJKO, P. Occurrence of *Cladosporium* sp. spp. e *Alternaria* spp. spores in Western, Northern e Central-Eastern Poland in 2004–2006 e relation to some meteorological factors. **Atmospheric Research**, v. 93, n. 4, p. 747–758, 2009. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169809509000696>>. Acesso em: 26/11/2014.

HAINES, J.; ESCAMILLA, B.; MUILENBERG, M. L.; GALLUP, J.; LEVETIN, E. **Mycology of the air. An introduction to the sampling e identification of airborne fungus spores**. Tucson, Arizona; 2000.

HAWKSWORTH, D. L.; KIRK, P. M.; SUTTON, B. C.; PEGLER, D. N. **Ainsworth e Bisby's dictionary of the fungi**. 8ed. Oxon, UK: CAB international, 1995. p. 650.

HENRY, R. C., LEWIS, C. W., HOPKE, P. K., WILLIAMSON, H. J. Review of Receptor Model Fundamentals. **Atmospheric Environment**, v. 18, p. 1507-1515, 1984.

HERRERO, A. D.; RUIZ, S. S.; BUSTILLO, M. G.; MORALES, P. C. Study of airborne fungal spores in Madrid, Spain. **Aerobiologia**, v. 22, n. 2, p. 133–140, 2006. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10453-006-9025-z>>. Acesso em: 25/11/2014.

HETEM, I. G. **Quantificação da contribuição veicular para as concentrações atmosféricas de material particulado fino e black carbon em São Paulo**. 2014. 80f. Dissertação (Mestre em ciências) – Programa de Pós-graduação em Ciências Atmosféricas. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo.

HIBBETT, D. S.; BINDER, M.; BISCHOFF, J. F.; et al. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. **Mycological Research**, v. 111, n. 5, p. 509–547, 2007. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0953756207000615>>. Acesso em: 07/07/2014.

HIRST, J. M. Changes in Atmospheric Spore Content: Diurnal Periodicity e the Effects of Weather, **Transactions British Mycological Society**, v.36, p. 375 -393, 1953.

HOBBS, P. V. Aerosol-Cloud Interactions. In: HOBBS, Peter V. (Ed.). **Aerosol-Cloud-Climate Interactions**. Londres: Academic Press, 1993. v. 54, p. 33-73.

HOOSE, C.; KRISTJÁNSSON, J. E.; BURROWS, S. M. How important is biological ice nucleation in clouds on a global scale? **Environmental Research Letters**, v.5, 2010.

HORNER, W. E.; HELBLING, A.; SALVAGGIO, J. E.; LEHRER, S. B. Fungal allergens. **Clinical Microbiology Reviews**, v. 8, 1995.

HORNER, W. E.; IBANEZ, M. D.; LEHRER, S. B. Stability studies of *Calvatia cyathiformis* basidiospore allergens. **International archives of allergy and applied immunology**, v. 90, 1989.

HORNER, W.E.; LEVETIN, E.; LEHRER, S. B. Basidiospore allergen release: elution from intact spores. **Journal of Allergy and Clinical Immunology**, v.92, ago. 1993.

HUSSEIN, T.; NORROS, V.; HAKALA, J.; et al. Species traits e inertial deposition of fungal spores. **Journal of Aerosol Science**, v. 61, p. 81–98, 2013. Elsevier. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021850213000542>>. Acesso em: 2/11/2014.

IBGE. Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2013. **Notas meteorológicas**, Ago. 2013.

INAL, A.; KARAKOC, G. B.; ALTINTAS, D.U.; PINAR, M.; CETER, T.; YILMAZ, M.; KENDIRLI, S. G. Effect of Outdoor Fungus Concentrations on Symptom Severity of Children with Asthma e/or Rhinitis Monosensitized to Molds. **Asian Pacific Journal of Allergy e Immunology**, v. 26, p. 11-17, 2010.

INGOLD, C.T. **Fungal spores: their liberation e dispersal**. Oxford University Press, London, 1971.

ISRAELEVICH, P. L. Desert aerosol transport in the Mediterranean region as inferred from the TOMS aerosol index. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. D21, p. 4572, 2002. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2001JD002011>>. Acesso em: 13/6/2014.

JOLLY, A. B. Estudos fitogeográficos dos campos do Butantã. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Univervisade de São Paulo**, n. 8, p.5-68, 1950.

JONES, B. L.; COOKSON, J. T. Natural atmospheric microbial conditions in a typical suburban area. **Applied e Environmental Microbiology**, v. 45, n. 3, p. 919–934, 1983.

KALTENEGGER, L.; SELSIS, F. Biomarkers Set in Context. In: Rudolf Dvorak (Org.). **Extrasolar Planets: Formation, detection e Dynamics**. Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2008.

KANEYASU, N.; OHTA, S.; MURAO, N. Seasonal variation in the chemical composition of atmospheric aerosols and gaseous species in Sapporo, Japan. **Atmospheric Environment**, vol. 29, p. 1559–1568, July 1995.

KAWAMURA, K.; IKUSHIMA, K. Seasonal changes in the distribution of dicarboxylic acids in the urban atmosphere. **Environmental Science & Technology**, v. 27, n. 10, p. 2227–2235, 1993. Disponível em:<<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es00047a033>>. Acesso em: 07/07/2014.

KAWAMURA, K.; KAPLAN, I. R. Motor exhaust emission as a primary source for dicarboxylic acids in Los Angeles Ambient Air. **Environmental Science & Technology**, v. 21, n. 1, p. 105–110, 1987.

KIRK, P. M.; CANNON, P. F.; DAVID, J. C.; STALPERS, J. A. **Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi**. 10 ed. CABI Publishing, 2008.

KNOX, R. B.; SUPHIOGLU, C.; TAYLOR, P.; DESAI, R.; WATSON, H. C.; PENG, J. L.; BURSILL, L. A. Major grass pollen allergen Lol p 1 binds to diesel exhaust particles: implications for asthma e air pollution. **Clinical & Experimental Allergy**, v. 27, p. 246-51, mar. 1997.

KURKELA, T. Conidia in the Air in Different Weather Conditions. **Grana**, v. 36, n. November 2014, p. 54–61, 1997.

LACAZ, C. S.; PORTO, E.; MARTINS, J. E. C.; HEINS-VACCARI, E. M.; TAKAHASHI DE MELO, N. **Tratado de Micologia médica**. 9. ed. São Paulo: Sarvier, 2002, p.1104.

LACEY, J. Spore dispersal — its role in ecology e disease: the British contribution to fungal aerobiology. **Mycological Research**, v. 100, n. 6, p. 641–660, 1996. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0953756296801948>>. Acesso em: 17/11/2014.

LAU, A. P. S.; LEE, A. K. Y.; CHAN, C. K.; FANG, M. Ergosterol as a biomarker for the quantification of the fungal biomass in atmospheric aerosols. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 2, p. 249–259, 2006. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231005008988>>. Acesso em: 22/11/2014.

LEVETIN, E. Methods for aeroallergen sampling. **Current Allergy and Asthma Reports**, n.4, p. 376–383, set. 2004.

LI, D. W.; KENDRICK, B. A year-round study on functional relationships of airborne fungi with meteorological factors. **International journal of biometeorology**, v. 39, n. 2, p. 74–80, 1995.

LI, M.; QI, J.; ZHANG, H.; et al. Concentration e size distribution of bioaerosols in an outdoor environment in the Qingdao coastal region. **The Science of the total environment**, v. 409, n. 19, p. 3812–9, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21724240>>. Acesso em: 19/8/2014.

LIN, W.H.; LI, C.S. Associations of Fungal Aerosols, Air Pollutants, e Meteorological Factors. **Aerosol Science e Technology**, v. 32, n. 4, p. 359–368, 2000. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/027868200303678>>. Acesso em: 23/11/2014.

LIN, Z. J.; ZHANG, Z. S.; ZHANG, L.; et al. An alternative method for estimating hygroscopic growth factor of aerosol light-scattering coefficient: a case study in an urban area of Guangzhou, South China. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 14, n. 14, p. 7631–7644, 2014. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys.net/14/7631/2014/>>. Acesso em: 07/07/2014

LIU, K. N. **An Introduction to Atmospheric Radiation**, 2. ed. Amsterdam: Academic Press, 2002.

LOESCHER, W. H.; TYSON, R. H.; EVERARD, J. D.; REDGWELL, R. J.; BIELESKI, R. L. Mannitol Synthesis in Higher Plants 1. **Plant Physiology**, v. 98, n. 4, p. 1396–1402, 1992. Disponível em: <<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1080363&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>>. Acesso em: 07/07/2014

LOUREIRO, A.L.; RIBEIRO, A.C.; ARTAXO, P., YAMASOE, M.A. Calibration of reflectometer system to measure black carbono e field intercomparison in the Amazon Basin. In: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CARBONACEOUS PARTICLES IN THE ATMOSPHERE, 1994. Berkley, California, USA.

MAHOWALD, N.; JICKELLS, T. D.; BAKER, A. R.; et al. Global distribution of atmospheric phosphorus sources, concentrations and deposition rates, and anthropogenic impacts. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 22, n. 4, p. 1–19, 2008.

MARTINS, J. A. **Efeito dos núcleos de condensação na formação de nuvens e o desenvolvimento da precipitação na região amazônica durante a estação seca**. 2006. 179f. Tese (Doutorado) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MATTHIAS-MASER S, JAENICKE R. The size distribution of primary biological aerosol particles with radii > 0.2 [μ]m in an urban/rural influenced region. **Atmospheric Research**, v.39, 1995.

MATTHIAS-MASER, S.; OBOLKIN, V.; KHODZER, T.; JAENICKE, R. Seasonal variation of primary biological aerosol particles in the remote continental region of lake baikal/sibiria. **Journal of Aerosol Science**, 29:545-6, 1998.

MEZZARI, A.; PERIN, C.; SANTOS JUNIOR S. A.; et al. BERND, L. A. G. Airborne fungi in the city of Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 44, n. 5, p. 269–272, 2002.

MIRANDA, R. M.; ANDRADE, M. F.; WOROBIECB, A.; GRIEKENB, R. V. Characterisation of aerosol particles in the São Paulo Metropolitan Area. **Atmospheric Environment**, v.36, p. 345–352, 2002.

MÖHLER, O.; DEMOTT, P. J.; VALI, G.; LEVIN, Z. Microbiology e atmospheric processes: the role of biological particles in cloud physics. **Biogeosciences**, v. 4, p. 1059–1071, 2007.

MORAES, A. M. L. Micologia. In: MOLINARO M. E.; CAPUTO, L. F. G.; AMENDOEIRA, M. R. R. (orgs). **Conceitos e métodos para a formação de profissionais em laboratórios de saúde**. v. 1. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio/ Fundação Oswaldo Cruz, 2009. p.399-496

MORRIS, C. E.; SANDS, D. C.; BARDIN, M.; JAENICKE, R.; VOGEL, B.; LEYRONAS, C.; ARIYA, P.A.; PSENNER, R. Microbiology e atmospheric processes: an upcoming era of research on bio-meteorology. **Biogeosciences Discuss.**, v. 5, p. 191–212, 2008.

MORRIS, C. E.; SANDS, D. C.; BARDIN, M.; JAENICKE, R.; VOGEL, B.; LEYRONAS, C.; ARIYA, P. A.; PSENNER, R. Microbiology e atmospheric processes: research challenges concerning the impact of airborne micro-organisms on the atmosphere e climate. **Biogeosciences**, v. 8, p. 17-25, 2011.

MORRIS, C. E.; SANDS, D. C.; GLAUX, C.; SAMSATLY, J.; ASAAD, S.; MOUKAHEL, A. R; GONÇALVES, F. L. T. ; BIGG, E. K. Urediospores of rust fungi are ice nucleation active at $> -10^{\circ}\text{C}$ e harbor ice nucleation active bacteria. **Atmospheric Chemistry e Physics**, v. 13, p. 4223-4233, 2013.

NA, K.; SAWANT, A. A.; SONG, C.; COCKER, D. R. Primary and secondary carbonaceous species in the atmosphere of Western Riverside County, California. **Atmospheric Environment**, v. 38, n. 9, p. 1345–1355, 2004. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S135223100301046X>>. Acesso em: 07/07/2014

NARUKAWA, M.; KAWAMURA, K.; TAKEUCHI, N.; NAKAJIMA, T. Distribution of dicarboxylic acids and carbon isotopic compositions in aerosols from 1997 Indonesian forest fires. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 20, p. 3101–3104, 1999.

NASCIMENTO FILHO, V. F. e SIMABUCO, S. M. - Uso da fluorescência de raios X com dispersão de energia e da reflexão total na análise de amostras ambientais. In: II WORKSHOP DO PROJETO PIRACENA: A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO, ESTRUTURA E PROCESSOS, 1996. Nazaré Paulista, SP. **Anais...** Nazaré Paulista: 1996. p. 140-145.

NIRMALKAR, J.; DEB, M. K.; TSAI, Y. I.; DESHMUKH, D. K. Arabitol and Mannitol as Tracer for Fungal Contribution to Size-Differentiated Particulate Matter of Rural Atmospheric Aerosols. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 6, n. 6, p. 460–463, 2015. Disponível em:<<http://www.ijesd.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=60&id=986>>. Acesso em: 07/07/2014.

NOVAKOV, T.; MENON, S.; KIRCHSTETTER, T. W.; KOCH, D.; HANSEN, J. E. Aerosol organic carbon to black carbon ratios: Analysis of published data and implications for climate forcing. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. D21, p. D21205, 2005. Disponível em:<<http://doi.wiley.com/10.1029/2005JD005977>>. Acesso em: 07/07/2014.

NOZIÈRE, B.; GONZÁLEZ, N. J. D.; BORG-KARLSON, A.-K.; et al. Atmospheric chemistry in stereo: A new look at secondary organic aerosols from isoprene. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 11, p. n/a–n/a, 2011. Disponível em:<<http://doi.wiley.com/10.1029/2011GL047323>>. Acesso em: 07/07/2014.

O'CONNOR, D. J.; SADYŚ, M.; SKJØTH, C. A.; et al. Atmospheric concentrations of Alternaria, *Cladosporium* sp., Ganoderma e Didymella spores monitored in Cork (Ireland) e Worcester (England) during the summer of 2010. **Aerobiologia**, v. 30, n. 4, p. 397–411, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s10453-014-9337-3>>. Acesso em: 07/07/2014.

OYAMA, B. S.; ANDRADE, M. F.; HERCKES, P.; DUSEK, U.; RÖCKMANN, T.; HOLZINGER, R. Vehicular emissions of organic particulate matter in Sao Paulo, Brazil. **Atmospheric Chemistry and Physics Discussions**, v. 15, n. 23, p. 33755–33788, 2015. Disponível em: <<http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/15/33755/2015/>>. Acesso em: 06/01/2016.

PAATERO, P; EBERLY S. EPA Positive Matrix Factorization. **United States Environmental Protection Agency (EPA)**, 2014. Disponível em: <http://www.epa.gov/heads/research/pmf/pmf_guidelines.html>. Acesso em: 4/11/2014.

PACHAURI, T. Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosols in PM_{2.5} during Wintertime in Agra, India. **Aerosol and Air Quality Research**, p. 977–991, 2013. Disponível em: <http://www.aaqr.org/Doi.php?id=15_AAQR-12-10-OA0263&v=13&i=3&m=6&y=2013>. Acesso em: 07/07/2014

PANDEY, K.; SAHU, L. K. Emissions of volatile organic compounds from biomass burning sources and their ozone formation potential over India. **Current Science**, v. 106, n. 9, p. 1270–1279, 2014. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000336354900022>. Acesso em: 07/07/2014

PASANEN, A.-L.; PASANEN, P.; JANTUNEN, M. J.; KALLIOKOSKI, P. Significance of air humidity e air velocity for fungal spore release into the air. **Atmospheric Environment**, v. 25A, n. 2, p. 459–462, 1991.

PÖHLKER, C.; WIEDEMANN, K. T.; SINHA, B.; et al. Biogenic potassium salt particles as seeds for secondary organic aerosol in the Amazon. **Science**, (New York, N.Y.), v. 337, n. 6098, p. 1075–8, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22936773>>. Acesso em: 07/07/2014

POUNDS, J. A.; BUSTAMANTE, M. R.; COLOMA, L. A.; CONSUEGRA, J. A.; FOGDEN, M. P. L.; FOSTER, P. N.; MARCA, E.; MASTERS, K. L.; MERINO-VITERI, A.; PUSCHENDORF, R.; RON, S. R.; SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; STILL, C. J.; YOUNG, B. E. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. **Nature**, v. 439, p. 161–167, 2006.

POULEUR, S.; RICHARD, C.; MARTIN, J. G.; ANTOUN, H. Ice Nucleation Activity in *Fusarium acuminatum* and *Fusarium avenaceum*. **Applied and environmental microbiology**, v. 58, n. 9, p. 2960–2964, 1992. Disponível em: <<http://ukpmc.ac.uk/abstract/MED/16348770>>. Acesso em: 05/01/2014

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Pico do Jaraguá**, 2004. Disponível em: <<http://www.cidadedesapaulo.com/sp/o-que-visitar/pontos-turisticos/216-pico-do-jaragua>>. Acesso em: 1/08/2013.

PRUPPACHER, H. R.; KLETT, J. D. **Microphysics of Clouds e Precipitation**. Kluwer Academic Publishers, 2010.

RAM, K.; SARIN, M. M. Day-night variability of EC, OC, WSOC and inorganic ions in urban environment of Indo-Gangetic Plain: Implications to secondary aerosol formation. **Atmospheric Environment**, v. 45, n. 2, p. 460–468, 2011. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.055>>. Acesso em: 22/02/2016

RAMANATHAN, V. Cloud-Radiative Forcing and Climate: Results from the Earth Radiation Budget Experiment. **Science**, New Series, v. 243, n. 4887, p. 57–63, 1989.

RASOOL, S. I.; SCHNEIDER, S. H. Atmospheric Carbono Dioxide e Aerosols: Effects of Large Increases on Global Climate. **Science**, v. 173, n. 3992, p. 138–141, 1971. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/173/3992/138.abstract>>. Acesso em: 1/06/2014.

RAW, Isaias et al. **A biologia e o homem**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

RENGARAJAN, R.; SUDHEER, A. K.; SARIN, M. M. Wintertime PM_{2.5} and PM₁₀ carbonaceous and inorganic constituents from urban site in western India. **Atmospheric Research**, v. 102, n. 4, p. 420–431, 2011. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169809511002900>>. Acesso em: 07/07/2014

RICCI, S.; BRUNI, M.; MERIGGI, A.; CORSICO, R. Aerobiological monitoring of *Alternaria* fungal spores: a comparison between surveys in 1992 e 1993 e local meteorological conditions. **Aerobiologia**, v. 11, p. 195–199, 1995.

ROGERS, C.; MUILENBERG, M. L. Comprehensive guidelines for the operation of hirst-type suction bioaerosol samplers, 2001. **Pan-American Aerobiology Association, Standardized Protocols**. Disponível em: <<http://www.paaa.org/StandardizedProtocols.pdf>>. Acesso em: 1/08/2013.

ROHRER, J. Analysis of carbohydrates by High Performance Anion Exchange Chromatography with Pulsed Amperometric Detection (HPAE-PAD). **Technical Note 20**, 2000.

ROSENFELD, D. Suppression of Rain e Snow by Urban e Industrial Air Pollution. **Science**, v. 287, n. 5459, p. 1793–1796, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.287.5459.1793>>. Acesso em: 24/5/2014.

ROSENFELD, D.; RUDICH, Y.; LAHAV, R. Desert dust suppressing precipitation: a possible desertification feedback loop. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 98, n. 11, p. 5975–5980, 2001.

ROSSI, L. **A flora arbóreo-arbustiva da mata da reserva da cidade universitária “Armando de Salles Oliveira”**. 1987. 270 f. Dissertação - Pós-Graduação em Botânica, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SAGAN, C. **O Mundo Assombrado pelos Demônios**. Companhia de Bolso, Brasil, 2009

SAMSON, R. A.; ELEN, S. H.; FRISVAD, J. C. Introduction to food e airborne fungi. 7º edição. **Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures**, 2004. p.389.

SÁNCHEZ-CCOYLLO, O. R.; YNOUE, R. Y.; MARTINS, L. D.; ASTOLFO, R.; MIRANDA, R. M.; FREITAS, E. D.; BORGES, A. S.; FORNARO, A.; FREITAS, H.; MOREIRA, A.; ANDRADE, M. F. The impact on tropospheric ozone formation on the implementation of a program for mobile emissions control: a case study in Sao Paulo, Brasil. **Environmental Monitoring and Assessment**, 2007.

SANTOS, L. H. M.; KERR, A. A. F. S.; VERÍSSIMO, T. G.; et al. Analysis of atmospheric aerosol (PM_{2.5}) in Recife city, Brasil. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 64, n. 5, p. 519–528, 2014.

SCHAUER, J. J.; ROGGE, W. F.; HILDEMAN, L. M.; MAZUREK, M. A.; CASS, G. R.; SIMONEIT, B. R. T. Source apportionment of airborne particulate matter using organic compounds as tracers. **Atmospheric Environment**, v. 30, p. 3837–3855, 1996.

SCHKOLNIK, G.; FALKOVICH, A. H.; RUDICH, Y.; MAENHAUT, W.; ARTAXO, P. New analytical method for the determination of levoglucosan, polyhydroxy compounds, and 2-methylerythritol and its application to smoke and rainwater samples. **Environmental Science & Technology**, v. 39, n. 8, p. 2744–2752, 2005.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry e Physics: from Air Pollution to Climate Change**, Wiley, New York, 1998.

SIMONEIT, B. R. T.; SCHAUER, J. J.; NOLTE, C. G.; et al. Levoglucosan, a tracer for cellulose in biomass burning and atmospheric particles. **Atmospheric Environment**, v. 33, n. 2, p. 173–182, 1999.

SMITH, G. **Sampling and identifying allergenic pollens and molds: An Illustrated Manual for Physicians and Lab Technicians**. San Antonio, Texas: Blewstone Press, 1990.

SOUZA, D. Z. Composition of PM_{2.5} and PM₁₀ Collected at Urban Sites in Brazil. **Aerosol and Air Quality Research**, p. 168–176, 2014. Disponível em: <http://www.aaqr.org/Doi.php?id=15_AAQR-13-03-OA-0071&v=14&i=1&m=2&y=2014>. Acesso em: 07/07/2014

STREITWEISER A.; HEATHCOCK, C. H.; KOSOWER, E. M. **Introduction to Organic Chemistry**. 4. ed. New York: Prentice Hall, 1998.

SULLIVAN, A. P.; FRANK, N.; KENSKI, D. M.; COLLETT, J. L. Application of high-performance anion-exchange chromatography–pulsed amperometric detection for measuring carbohydrates in routine daily filter samples collected by a national network: 2. Examination of sugar alcohols/polyols, sugars, and anhydrosugars in the upper Midwest. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, n. D8, p. D08303, 2011. Disponível em:<<http://doi.wiley.com/10.1029/2010JD014169>>. Acesso em: 07/07/2014

SULLIVAN, A. P.; PELTIER, R. E.; BROCK, C. A.; et al. Airborne measurements of carbonaceous aerosol soluble in water over northeastern United States: Method development and an investigation into water-soluble

organic carbon sources. **Journal of Geophysical Research**, v. 111, n. D23, p. D23S46, 2006. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1029/2006JD007072>>. Acesso em: 07/07/2014

TANG, J. W. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. **Journal of The Royal Society Interface**, v. 6, p. 737–746, 2009.

TARIQ, S. M.; MATTHEWS, S. M.; STEVENS, M.; HAKIM, E. A. Sensitization to *Alternaria* e *Cladosporium* sp. by the age of 4 years. **Clinical & Experimental Allergy**, v. 26, p. 794–98, 1996.

TEDERSOO, L.; BAHRAM, M.; PÖLME, S.; KÖLJALG, U.; YOROU, U. S.; WIJESUNDERA, R.; RUIZ, L. V.; VASCO-PALACIOS, A. M.; THU, P. Q.; SUIJA, A.; SMITH, M. E.; SHARP, C.; SALUVEER, E.; SAIITA, A.; ROSAS, M.; RIIT, T.; RATKOWSKY, D.; PRITSCH, K.; PÖLDMAA, K.; PIEPENBRING, M.; PHOSRI, C.; PETERSON, M.; PARTS, K.; PÄRTEL, K.; OTSING, E.; NOUHRA, E.; NJOUONKOU, A. L.; NILSSON, R. H.; MORGADO, L. N.; MAYOR, J.; MAY, T. W.; MAJUAKIM, L.; LODGE, D. J.; LEE, S. S.; LARSSON, K.-H.; KOHOUT, P.; HOSAKA, K.; HIIESALU, I.; HENKEL, T. W.; HAREND, H.; GUO, L.-D.; GRESLEBIN, A.; GRELET, G.; GEML, J.; GATES, G.; DUNSTAN, W.; DUNK, C.; DRENKHAN, R.; DEARNALEY, J.; KESEL, A.; DANG, T.; CHEN, X.; BUEGGER, F.; BREARLEY, F. Q.; BONITO, G.; ANSLAN, S.; ABELL, S.; ABARENKOV, K. Global diversity and geography of soil fungi. **Science**, v. 346, n. 6213, p. 1078–1088, 2014.

TSAI, Y. I.; WU, P.-L.; HSU, Y.-T.; YANG, C.-R. Anhydrosugar and sugar alcohol organic markers associated with carboxylic acids in particulate matter from incense burning. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 30, p. 3708–3718, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231010005005>>. Acesso em: 07/07/2014

TURPIN, B. J.; HUNTZICKER, J. J. Identification of secondary organic aerosol episodes e quantification of primary e secondary organic aerosol concentrations during SCAQS. **Atmospheric Environment**, p. 3527–3544, 1995.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Anuário Estatístico USP 2013. **Vice-Reitoria Executiva de Administração**, São Paulo, (ISSN 1807-295X), 2013

VARANDA, E. M. **Balanço hídrico de espécies da Mata do Butantã**. 1977. 145 f. Dissertação - Pós-Graduação em Botânica, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.

VASCONCELLOS, P. C.; SOUZA, D. Z.; SANCHEZ-CCOYLLO, O.; et al. Determination of anthropogenic and biogenic compounds on atmospheric aerosol collected in urban, biomass burning and forest areas in São Paulo, Brasil. **Science of The Total Environment**, v. 408, n. 23, p. 5836–5844, 2010. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969710008454>>. Acesso em: 07/07/2014

VERMA, M. HPAE-PAD for the analysis of carbohydrates. **White paper**, p. 1–2, 2013.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 2005. 215 f. Monografia (especialização) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VIEIRA, S. **Bioestatística: Tópicos avançados**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004

WAYNE, P.; FOSTER, S.; CONNOLL, J.; BAZZAZ, F.; EPSTEIN, P. Production of allergenic pollen by ragweed *Ambrosia artemisiifolia* is increased in CO₂ enriched atmospheres. **Annals of Allergy, Asthma & Immunology**, v. 88, p. 279–282, 2002.

WEBER, R. J.; SULLIVAN, A. P.; PELTIER, R. E.; RUSSELL, A.; YAN, B.; ZHENG, M.; DE GOUW, J.; WARNEKE, C.; BROCK, C.; HOLLOWAY, J. S.; ATLAS, E. L.; EDGERTON, E.; A study of secondary organic aerosol formation in the anthropogenic-influenced Southeastern United States. **Journal of Geophysical research**, v. 112, 2007.

WEBSTER, J. e WEBER R. **Introduction to fungi**. 3. ed. New York: Cambridge University Press, 2007.

WEYMARN, N.; HUJANEN, M.; LEISOLA, M. Production of d-Mannitol by heterofermentative lactic acid bacteria. **Process Biochemistry**, vol. 37, n. 11, p. 1207–1213, June 2002.

WHITE, D. C. Analysis of microorganisms in terms of quantity e activity in natural environments. **Society for General Microbiology**, v. 34, p.37–66, 1983.

WOMACK, A. M.; ARTAXO, P. E.; ISHIDA, F. Y.; et al. Characterization of active and total fungal communities in the atmosphere over the Amazon rainforest. **Biogeosciences Discussions**, v. 12, n. 10, p. 7177–7207, 2015. Disponível em: <<http://www.biogeosciences-discuss.net/12/7177/2015/>>. Acesso em: 25/11/2014

WOMILOJU, T. O.; MILLER, J. D.; MAYER, P. M.; BROOK, J. R. Methods to determine the biological composition of particulate matter collected from outdoor air. **Atmospheric Environment**, v. 37, n. 31, p. 4335–4344, 2003. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231003005776>>. Acesso em: 25/11/2014.

YANG, Y.; CHAN, C.; TAO, J.; et al. Observation of elevated fungal tracers due to biomass burning in the Sichuan Basin at Chengdu City, China. **The Science of the total environment**, v. 431, p. 68–77, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22664540>>. Acesso em: 25/11/2014.

ZHANG, T.; ENGLING, G.; CHAN, C.-Y.; et al. Contribution of fungal spores to particulate matter in a tropical rainforest. **Environmental Research Letters**, v. 5, n. 2, 2010. Disponível em: <<http://stacks.iop.org/17489326/5/i=2/a=024010?key=crossref.5a4fb6a0b0603df6f248cbefd8a6f4dc>>. Acesso em: 07/07/2014.

ZHANG, Z.; ENGLING, G.; LIN, C.-Y.; et al. Chemical speciation, transport and contribution of biomass burning smoke to ambient aerosol in Guangzhou, a mega city of China. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 26, p. 3187–3195, 2010. Elsevier Ltd. Disponível em:<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231010003973>>. Acesso em: 25/11/2014.

ZHANG, Z.; ENGLING, G.; ZHANG, L.; et al. Significant influence of fungi on coarse carbonaceous and potassium aerosols in a tropical rainforest. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 3, 2015. Disponível em:<<http://stacks.iop.org/1748-9326/10/i=3/a=034015?key=crossref.5f084c442fd04199ac00c84f17fb5b35>>. Acesso em: 07/07/2014.

ZHANG, Z.-S.; ENGLING, G.; CHAN, C.-Y.; et al. Determination of isoprene-derived secondary organic aerosol tracers (2-methyltetrols) by HPAEC-PAD: Results from size-resolved aerosols in a tropical rainforest. **Atmospheric Environment**, v. 70, p. 468–476, 2013. Disponível em:<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231013000459>>. Acesso em: 25/11/2014.

APÊNDICE A - FIGURAS

Figura A 1. Visão panorâmica observado do local de coleta na Cidade Universitária (USP).

Figura A 2. Visão geral observada do local de coleta no Pico do Jaraguá.

Figura A 3. “Burkard 7-day Recording Sampler” (Burkard Manufacturing Co., Ltd., Rickmansworth, United Kingdom).

Figura A 4. Visão geral de uma lâmina (magnificação 400X). Amostrador de ar Burkard, atmosfera de São Paulo, SP.

Figura A 5. Airmetrics MiniVol portable Sampler

Figura A 6. Filtro de quartzo coletado (47mm)

Figura A 7. Filtros de policarbonato (47mm).

Figura A 8. HPAEC-PAD (Dionex).

Figura A 9. Analisador “Model 1010 Total Organic Carbon (TOC)” (OI analytical company, USA).

Figura A 10. “DRI Model 2001A OC/EC Carbon Analyzer” (Atmoslytic Inc., Calabasas, CA, USA).

Figura A 11. Fluorescência de Raios X- Shimadzu EDX-700 instalado no LAPAt (Laboratório de Análise dos Processos Atmosféricos, IAG-USP).

Figura A 12. Porcentagem dos grupos de esporos que apresentam as maiores contribuições para a concentração total de esporos (USP).

Figura A 13. Porcentagem dos grandes grupos em relação ao total de esporos encontrados (USP).

APÊNDICE B – DICOTOMICO-PARTISOL

A correlação de Spearman entre os grandes grupos de fungos e os esporos totais com as concentrações em massa, obtidas com o “Dicotômico-Partisol” de MP₁₀ e MP_{2,5} para o ano de 2013, mostraram que apenas os Ascósporos apresentaram uma correlação significativa (Tabela B 1). Contudo, essa correlação é negativa e baixa, não indicando uma real relação entre ambos, apenas estimando um comportamento adverso entre os Ascósporos e o material particulado. Correlacionando os grandes grupos e os esporos totais com os elementos obtidos através da Fluorescência de Raio X é possível verificar que os Mitósporos, Basidiósporos, diversos e os esporos totais apresentaram uma correlação positiva significativa com o Pb, além disso os Ascósporos tiveram uma correlação negativa significativa com Na, Mg, Al, Si, Cl, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Ni, As e Se, confirmando o seu comportamento antagônico com o material particulado.

Tabela B 1. Correlação de Spearman entre esporos totais e grandes grupos com a concentração em massa de MP₁₀ e MP_{2,5} e os elementos do MP₁₀.

µg/m ³ / esporos/m ³	Esporos totais	Mitósporo	Ascósporo	Basidiósporo	Diversos
Na	0,06	0,12	-0,22*	0,06	0,06
Mg	-0,01	0,10	-0,31*	0,02	0,05
Al	-0,01	0,19	-0,29*	0,05	0,05
Si	0,00	0,18	-0,28*	0,05	0,07
P	0,04	0,14	-0,08	0,11	0,00
S	0,10	0,09	0,03	0,18	0,02
Cl	0,03	0,03	-0,20*	0,05	0,07
K	0,01	0,21*	-0,27*	0,05	0,06
Ca	-0,02	0,16	-0,28*	0,03	0,08
Ti	-0,02	0,16	-0,26*	0,04	0,07
V	0,16	0,36*	-0,15	0,11	0,09
Cr	-0,01	-0,05	-0,10	0,03	-0,05
Mn	-0,06	0,09	-0,29*	-0,06	0,08
Fe	-0,01	0,17	-0,28*	0,05	0,09
Ni	-0,05	0,10	-0,24*	-0,05	0,01
Cu	-0,04	0,03	-0,15	0,04	0,03
Zn	-0,03	0,11	-0,18	0,05	0,00
As	0,02	0,12	-0,37*	0,04	0,09
Se	-0,05	0,07	-0,22*	-0,03	-0,01
Br	0,00	0,03	-0,18	-0,01	0,10
Rb	0,10	0,26	-0,07	0,03	0,14
Sr	0,24	0,08	0,16	0,25	0,14
Cd	0,17	0,25	-0,25	0,06	0,17
Pb	0,30*	0,24*	0,10	0,35*	0,25*
MP _{2,5}	-0,04	0,12	-0,22*	0,03	-0,05
MP ₁₀	-0,04	0,07	-0,26*	0,03	0,01

*p<0,05

A possível explicação por essa falta de correlação pode ser devido aos erros referentes a manipulação das amostras. Quando os dados são coletados automaticamente pela CETESB, não ocorrem erros de manipulação, já quando se analisa com o “Dicotômico-Partisol”, os filtros devem ser trocados e pesados, isto é, manipulado. Somando os erros da manipulação dos filtros de material particulado com os erros da manipulação das lamina das amostras de ar (esporos) pode-se haver um erro muito grande o que impede uma correlação mais significativa.

APÊNDICE C – CALIBRAÇÕES

A calibração feita para os carboidratos, para os ânions e para os cátions é apresentada na Tabela C 1, Tabela C 2 e Tabela C 3 respectivamente. O tempo em minutos indica o ponto do pico de cada componente. Uma média de 6 pontos foi usada para calibrar e o coeficiente de calibração médio para todos os carboidratos foi de 99.9%, para os ânions foi de 99.6% e para os cátions foi de 99.8%.

Tabela C 1. Calibração para os carboidratos

Nome do Pico	Tempo retenção (min)	Tipo Calibração	Pontos	Coef. calibração (%)
Metil-eritritol	10,73	Lin	7	99,94
Metil-Treitol	11,52	Lin	6	99,84
Treitol	12,05	Lin	6	99,98
Levoglucozan	16,20	Lin	6	99,98
Arabitol	17,18	Lin	6	99,95
Mannosan	19,30	Lin	6	99,96
Manitol	22,65	Lin	5	99,81
Galactosan	26,27	Lin	6	99,74
Media				99,90

Tabela C 2. Calibração para os ânions

Nome do Pico	Tempo retenção (min)	Tipo Calibração	Pontos	Coef. Calibração (%)
Fluoreto	3,08	Lin	7	99,96
Cloreto	4,44	Lin	7	99,96
Nitrito	5,32	Quad	7	99,98
Brometo	6,40	Lin	7	99,97
Nitrato	7,14	Lin	7	99,99
Fosfato	9,26	Lin	7	99,94
Sulfato	10,12	Lin	7	99,93
Oxalato	13,53	Lin	5	99,77
Média				99,61

Tabela C 3. Calibração para os cátions

Nome do Pico	Tempo retenção (min)	Tipo Calibração	Pontos	Coef. calibração (%)
Sódio	4,61	Lin	6	99,98
Amônia	5,17	Quad	6	99,66
Potássio	6,58	Lin	6	99,72
Magnésio	9,83	Lin	6	99,85
Cálcio	13,02	Lin	6	99,84
Média				99,81

APÊNDICE D – MATERIAL PARTICULADO (CETESB X MINIVOL)

Através da comparação entre os dados de MP₁₀ obtidos de maneira manual com o amostrador MiniVol e obtidos de maneira automática com o amostrador da CETESB para o ano de 2015 pode ser observado que a concentrações medidas pela (CETESB) foi 41% ($\pm 10\%$) maior do que as concentrações obtidas com o amostrador MiniVol. Contudo, a correlação entre ambos ($r = 0.87$), indica que apesar das concentrações obtidas com o MiniVol serem menores a variação é similar (Figura D 1).

Figura D 1. Correlação entre a concentração de MP₁₀ obtidas pela CETESB e as concentrações obtidas com o MiniVol ($y = 0,44x - 0,97$; $R^2 = 0,76$).

Através da comparação entre as concentrações de MP₁₀ e MP_{2.5} obtidas pela CETESB, é observado que mais de 60% do total da concentração de MP₁₀ é de concentração de MP_{2.5}, e em alguns casos a concentração de MP_{2.5} corresponde a mais de 90% da concentração do MP₁₀ (Tabela D 1).

Tabela D 1. Concentrações médias, máximas e mínimas do MP_{2.5} e do MP₁₀ e a contribuição em porcentagem do MP_{2.5} no MP₁₀.

	MP _{2.5}	MP ₁₀	MP _{2.5} /MP ₁₀
Média (µg/m³)	17,3 ($\pm 9,5$)*	28,4 ($\pm 12,6$)*	61% ($\pm 13\%$)*
Máximo (µg/m³)	40	64	90%
Mínimo (µg/m³)	2,67	10,25	26%

*Média com desvio padrão

APÊNDICE E – MODELO NOAA HYSPLIT

As trajetórias obtidas com o modelo NOAA HYSPLIT referente ao período de 10 de setembro de 2014 a 24 de setembro de 2014 estão apresentadas abaixo (Figura E 1-15). Considerando cada linha e a trajetória de 6 em 6 horas foi possível estimar a direção predominante da massa de ar considerando como ponto central a Cidade universitária (Tabela E 1). Ademais, foi possível estimar a altitude de saída da massa de ar (Tabela E 2).

Com esses dados foi relacionado a concentração de esporos de cada grupo com a direção predominante do vento proposto pelo HYSPLIT, contudo não foi observada nenhuma relação entre as direções do vento observadas com o NOAA HYSPLIT e as concentrações de esporos referente ao período indicado (Tabela E 3).

Figura E 1. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 10 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde represente uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 2. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 11 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 3. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 12 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 4. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 13 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 5. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 14 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 6. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 15 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 7. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 16 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 8. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 17 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 9. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 18 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 10. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 19 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde represente uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 11. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 20 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde represente uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 12. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 21 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 13. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 22 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 14. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 23 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Figura E 15. Trajetória para trás com duração de 24 horas e finalizando em 00h do dia 24 de setembro de 2014. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. Cada ponto na trajetória representa um período de 6h. Modelo NOAA HYSPLIT. Método de cálculo do movimento vertical: modelo de velocidade vertical. Meteorologia: GDAS (0,5 graus, global, 09/2007-presente).

Fonte: NOAA HYSPLIT, 2015

Tabela E 1. Direção do vento predominante em relação a USP considerando 5 horários diferentes e as 3 linhas que indicam a altitude da massa de ar. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. O horário indicado se inicia em 00h do dia anterior à data de chegada da massa de ar e termina as 24h do dia de chegada.

(continua)						
Data de chegada/ Horário	Cor da linha	0	6	12	18	24
10/09/2016	Verde	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Norte
	Azul	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Norte
	Vermelha	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Norte
11/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Azul	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Vermelha	Nordeste	Nordeste	Norte	Norte	Noroeste
12/09/2016	Verde	Norte	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Sudeste
	Azul	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Leste	Leste
	Vermelha	Nordeste	Norte	Sudoeste	Sudeste	Sudeste
13/09/2016	Verde	Leste	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste
	Azul	Leste	Leste	Leste	Leste	Leste
	Vermelha	Sudeste	Sudeste	Sudeste	Sudeste	Sudeste
14/09/2016	Verde	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste
	Azul	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste
	Vermelha	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste
15/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Azul	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Vermelha	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Nordeste	Sudeste
16/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Azul	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Vermelha	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
17/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Azul	Oeste	Sudoeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Vermelha	Sudoeste	Sudoeste	Sul	Sudeste	Sudeste
18/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Sudoeste
	Azul	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Vermelha	Noroeste	Noroeste	Nordeste	Sudeste	Leste/sudeste
19/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Azul	Nordeste	Nordeste	Noroeste	Noroeste	Nordeste
	Vermelha	Nordeste	Nordeste	Leste	Sudeste	Sudeste
20/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Nordeste	Nordeste
	Azul	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Oeste	Nordeste
	Vermelha	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Nordeste	Nordeste
21/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Nordeste	Nordeste
	Azul	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Nordeste	Nordeste
	Vermelha	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Nordeste	Nordeste

Tabela E 1. (continuação). Direção do vento predominante em relação a USP considerando 5 horários diferentes e as 3 linhas que indicam a altitude da massa de ar. As cores das linhas indicam diferentes altitudes da massa de ar, sendo que a linha vermelha represente uma altitude de chegada de 500m, a linha azul represente uma altitude de chegada de 1000m e a linha verde representa uma altitude de chegada de 1500m. O horário indicado se inicia em 00h do dia anterior à data de chegada da massa de ar e termina as 24h do dia de chegada.

Data de chegada/ Horário	Cor da linha	(conclusão)				
		0	6	12	18	24
22/09/2016	Verde	Sudoeste	Sudoeste	Sudoeste	Sudoeste	Sudoeste
	Azul	Sudoeste	Sudoeste	Sudoeste	Sudoeste	Sudoeste
	Vermelha	Sudoeste	Sudoeste	Sudoeste	Sudeste	Sudeste
23/09/2016	Verde	Sudoeste	Sudeste	Sudeste	Sudeste	Nordeste
	Azul	Sudeste	Sudeste	Sudeste	Leste	Nordeste
	Vermelha	Sudoeste	Sudeste	Sudeste	Sudeste	Sudeste
24/09/2016	Verde	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Azul	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste	Noroeste
	Vermelha	Nordeste	Nordeste	Norte	Norte	Nordeste

Tabela E 2. Altitudes de saída da massa de ar referente ao dia anterior à data de chegada da massa de ar, considerando as 3 altitudes de chegadas definida na configuração do modelo.

Data de chegada/ Altitude de chegada	1500 Verde	1000 Azul	500 Vermelha
10/09	2000	2000	1500
11/09	+1500	+1500	1500
12/09	1000	1000	500
13/09	2000	1500	-500
14/09	1500	1000	500
15/09	+2000	1500	1000
16/09	1000	-500	-500
17/09	+1000	500	500
18/09	1500	+1000	+1500
19/09	2000	+500	-500
20/09	+1000	500	500
21/09	1500	+500	1000
22/09	+1000	+1500	-500
23/09	+2500	2000	-500
24/09	+2000	+1000	+1000

Tabela E 3. Média observada para cada grupo de esporos considerando as diferentes direções do vento observadas no período analisado e nos dois locais de coleta (PJ e USP); Direção do vento que apresentou a maior média, a menor média, a 2ª maior média e a 2ª menor média de cada grupo de esporos. A frequência de dia indica a quantidade de dias que apresentaram a direção do vento correspondente.

Direção predominante	(continua)								
	NW	NE	N	SE	SW	Maior média	Menor média	2º maior média	2º menor média
<i>Alternaria</i> sp. (PJ)	9	6	7	0	0	NW	SE	N	SW
<i>Cercospora</i> sp. (PJ)	1	3	0	0	2	NE	N	SW	N
<i>Cladosporium</i> sp. (PJ)	899	1152	995	474	992	NE	SE	N	NW
<i>Drechslera</i> -like (PJ)	2	5	0	8	10	SW	N	SE	NW
<i>Epicoccum</i> sp. (PJ)	7	6	0	4	4	NW	N	NE	SE
<i>Penicillium/Aspergillus</i> -like (PJ)	74	66	7	0	20	NW	SE	NE	N
<i>Periconia</i> sp. (PJ)	27	53	135	32	43	N	NW	NE	SE
<i>Torula</i> sp. (PJ)	9	3	45	8	53	SW	NE	N	SE
<i>Gliomastix</i> sp. (PJ)	7	6	15	4	0	N	SW	NW	SE
Mitósporo Indeterminado (PJ)	341	268	337	194	182	NW	SW	N	SE
Diatrypaceae grande (PJ)	33	15	0	0	4	NW	N	NE	N
Diatrypaceae pequeno (PJ)	8	90	0	0	30	NE	N	SW	N
<i>Paraphaeosphaeria</i> sp. (PJ)	0	3	15	0	2	N	NW	NE	NW
<i>Venturia</i> sp. (PJ)	10	18	0	0	4	NE	N	NW	N
Xylariaceae (PJ)	7	28	0	32	20	SE	N	NE	NW
Ascósporos 2 células com cor (PJ)	13	86	0	0	18	NE	N	SW	N
Ascósporos 2 células sem cor (PJ)	146	451	0	8	107	NE	N	NW	SE
Ascósporos 4 células com cor (PJ)	57	122	0	12	24	NE	N	NW	SE
Ascósporos 4 células sem cor (PJ)	16	34	0	0	53	SW	N	NE	N
Ascósporo Indeterminado (PJ)	296	369	30	57	229	NE	N	NW	SE
<i>Coprinus</i> -like (PJ)	26	73	7	8	75	SW	N	NE	SE
<i>Ganoderma</i> sp. (PJ)	25	44	7	4	36	NE	SE	SW	N
Basidiósporo hialino pequeno (PJ)	3269	3146	3605	2653	2489	N	SW	NW	SE
Basidiósporo hialino grande (PJ)	1241	1703	1144	867	1264	NE	SE	SW	N
Basidiósporo Indeterminado (PJ)	54	108	82	12	59	NE	SE	N	NW
Teliospores (Smuts) (PJ)	58	11	0	0	26	NW	N	SW	N
Indeterminados (PJ)	722	790	381	672	563	NE	N	NW	SW
Concentração total (PJ)	7361	8677	6813	5052	6321	NE	SE	NW	SW
Mitósporos (PJ)	1379	1573	1541	725	1306	NE	SE	N	SW
Ascósporo (PJ)	587	1216	45	109	492	NE	N	NW	SE

Tabela E 3. (continuação). Média observada para cada grupo de esporos considerando as diferentes direções do vento observadas no período analisado e nos dois locais de coleta (PJ e USP); Direção do vento que apresentou a maior média, a menor média, a 2ª maior média e a 2ª menor média de cada grupo de esporos. A frequência de dia indica a quantidade de dias que apresentaram a direção do vento correspondente.

Direção predominante	(conclusão)								
	NW	NE	N	SE	SW	Maior média	Menor média	2º maior média	2º menor média
Basidiósporos (PJ)	4615	5075	4846	3545	3929	NE	SE	N	SW
Diversos (PJ)	780	813	381	672	593	NE	N	NW	SW
MP10	44	32	46	44	27	N	SW	SE	NE
MP2.5	21	17	17	23	13	SE	SW	NW	N
<i>Botrytis</i> sp. (USP)	3	31	12	73	0	SE	SW	NE	NW
<i>Cladosporium</i> sp. (USP)	597	283	198	162	269	NW	SE	NE	N
<i>Penicillium/Aspergillus</i> -like (USP)	98	66	97	41	95	NW	SE	N	NE
<i>Periconia</i> sp. (USP)	24	19	32	8	10	N	SE	NW	SW
<i>Torula</i> sp. (USP)	6	2	4	0	0	NW	SE	N	SE
<i>Gliomastix</i> sp. (USP)	3	4	0	4	6	SW	N	NE	NW
Mitósporo Indeterminado (USP)	207	122	312	130	158	N	NE	NW	SE
Diatrypaceae pequeno (USP)	18	141	0	0	4	NE	N	NW	N
<i>Paraphaeosphaeria</i> sp. (USP)	1	2	4	4	0	N	SW	N	NW
<i>Venturia</i> sp. (USP)	1	4	0	0	2	NE	N	SW	N
Xylariaceae (USP)	11	5	4	12	26	SW	N	SE	NE
Ascósporos 2 células sem cor (USP)	31	116	4	16	38	NE	N	SW	SE
Ascósporos 4 células com cor (USP)	20	75	0	8	10	NE	N	NW	SE
Ascósporos 4 células sem cor (USP)	3	12	0	0	6	NE	N	SW	N
Ascósporos Indeterminados (USP)	80	130	24	49	59	NE	N	NW	SE
<i>Coprinus</i> -like (USP)	14	20	8	8	22	SW	N	NE	N
<i>Ganoderma</i> sp. (USP)	28	21	8	28	18	NW	N	NW	SW
Basidiósporo hialino pequeno (USP)	2717	2594	3063	2844	2252	N	SW	SE	NE
Basidiósporo hialino grande (USP)	1033	1122	1069	1069	822	NE	SW	N	NW
Basidiósporo Indeterminado (USP)	24	44	0	109	8	SE	N	NE	SW
Teliospores (Smuts) (USP)	10	1	89	61	0	N	SW	SE	NE
Indeterminados (USP)	556	605	595	551	431	NE	SW	N	SE
Concentração total (USP)	5582	5462	5525	5177	4245	NW	SW	N	SE
Mitósporos (USP)	955	536	656	417	539	NW	SE	N	NE
Ascósporo (USP)	183	519	36	89	146	NE	N	NW	SE
Basidiósporos (USP)	3879	3802	4148	4059	3129	N	SW	SE	NE
Diversos (USP)	566	606	685	612	431	N	SW	SE	NW

APÊNDICE F – ANÁLISE DA VARIABILIDADE DE 2013, 2014 E 2015

A concentração média diária observada em 2013 foi de 6147 ± 2798 esporos/m³, em 2014 foi de 5569 ± 2293 esporos/m³ e em 2015 foi de 5659 ± 2564 esporos/m³, indicando que em todos os anos coletados a concentração de esporos foi semelhante. Correlacionando a média diária dos grupos de esporos encontrados em 2013, 2014 e 2015, foi observada uma correlação significativa positiva, entre os anos (Tabela F 1). Isso indica que em todos os anos a concentração dos gêneros e grupos se mantiveram semelhantes.

Tabela F 1. Correlação entre 2013, 2014 e 2015

	Média (esporos/m ³)	Desvio padrão (esporos/m ³)	2013	2014	2015
2013	6147	2798	1,00	1,00*	0,99*
2014	5569	2293	1,00*	1,00	1,00*
2015	5659	2564	0,99*	1,00*	1,00

*p<0,05

As concentrações observadas em 2015 tiveram o mesmo comportamento quando comparadas ao mês correspondente de 2014, em que a concentração em maio é mais elevada, tendo uma queda em junho e um aumento em julho (Figura F 1).

Figura F 1. Variação mensal da concentração de esporos em 2013, 2014 e 2015.

As concentrações dos grandes grupos foram semelhantes em todos os anos. Como observado nos outros anos, o grande grupo que apresenta a maior concentração é o Basidiósporo (Figura F 2).

Figura F 2. Prevalência de esporos em 2013, 2014 e 2015.

ANEXO A – CLADOGRAMAS

Figura AA 1. Filogenia e classificação do Fungi (Fungi basais e Dikarya). O comprimento das ramificações não é proporcional à distância genética

Fonte: HIBBETT et al. (2007)

Figura AA 2. Filogenia e classificação do *Fungi* (*Ascomycota*). As linhas tracejadas indicam táxon que são de colocação incerta.

Fonte: HIBBETT et al. (2007)

Figura AA 3. Filogenia e classificação do *Fungi* (*Basidiomycota*). As linhas tracejadas indicam táxon que são de colocação incerta.

Fonte: HIBBETT et al. (2007)

Figura AA 4. Tipos de formas dos esporos (1)
Fonte: BURGE et al. (2006)

Figura AA 5. Tipos de formas dos esporos (2)
Fonte: BURGE et al. (2006)

Figura AA 6. Tipos de superfícies dos esporos
Fonte: BURGE et al. (2006)