



FACULDADE DOM BOSCO DE PORTO ALEGRE

CURSO DE ENGENHARIA

AMBIENTAL E SANITÁRIA

BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR POR MEIO DO USO DE LIQUENS.

PRISCILA NUNES

Porto Alegre
Dezembro/2012



FACULDADE DOM BOSCO DE PORTO ALEGRE
CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL E SANITÁRIA

**BIOMONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR POR MEIO DO USO
DE LIQUENS.**

PRISCILA NUNES

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária
Orientador: Professora Ma: Luciane Teresa Salvi.
Coorientador: Dra: Suzana Maria de Azevedo Martins.

Porto Alegre
Dezembro/2012

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho “in memoriam” ao meu querido e estimado avô Osmar Bonifácio Nunes, que sempre acreditou que eu pudesse me tornar engenheira, até mesmo quando eu nem pensava no que queria “ser quando crescer”. Agradeço por todo carinho, toda confiança, por me ensinar os valores da vida, por me mostrar o quanto respeitar a cada ser vivo é importante e que cada um deles tem sua função, porque a natureza é perfeita.

AGRADECIMENTOS

À amável professora Luciane Salvi, orientadora deste trabalho, pela imensa contribuição, carinho, paciência, dedicação e interesse.

À querida Dra. Suzana Martins, coorientadora deste trabalho, por toda a imensa contribuição, ensinamento, paciência, apoio e carinho ao me ensinar.

À Dra. Márcia Käffer por todo ensinamento, interesse e enorme contribuição neste trabalho.

À Bióloga Fabiane Lucheta pela paciência no auxílio das metodologias..

Às professoras Isabel Damin e Daniela Marques pelas críticas e sugestões construtivas e pertinentes para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus queridos e amados pais Maria Helena e Maurício, por sempre acreditarem em mim, por todo incentivo, investimento, dedicação, paciência, amor e por todos os valores que me ensinaram.

Ao Meu irmão Maurício Júnior, pela amizade, carinho e incentivo.

À minha Avó Francisca, por alegrar meus dias com seu sotaque cantado, por todo amor e carinho.

À minha tia Margarete que sempre com alegria, amor e carinho está ao meu lado, por me ensinar que é muito melhor ver tudo com alegria e a ver as dificuldades como aprendizado, que quando as coisas são feitas com amor e com fé tudo se torna mais fácil.

Aos meus irmãos de alma Aline Tonial e Tiago Dietrich, que desde o 1º semestre estão ao meu lado, pela amizade sincera e por toda ajuda, apoio e carinho.

À todos professores da Faculdade Dom Bosco pelo carinho, amizade e pela dedicação que ministram as aulas.

À todos meus verdadeiros amigos pelas vibrações positivas.

À Deus, meu anjo da guarda e todos espíritos de luz que me guiam e iluminam meu caminho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fungo e alga na visão do mutualismo.....	22
Figura 2: Filamentos do micobionte (<i>Parmotrema tinctorum</i>) envolvendo células do fotobionte (<i>Trebouxia</i>), vistos ao microscópio.	22
Figura 3: Talo de <i>Coenogonium</i> , RS, Brasil.	23
Figura 4: Líquen crostoso do gênero <i>Brigantiae</i>	23
Figura 5: Estrutura geral de um líquen crostoso.....	24
Figura 6: Exemplo de líquen folioso lobado de <i>Parmotrema tinctorum</i> espécie de Parmaliaceae.....	24
Figura 7: Talo fruticososo de <i>Teloschistes</i>	25
Figura 8: Líquen dimórfico (cladonia), visto sob lupa.	26
Figura 9: P1 – Praça Osvaldo Schwerdt	27
Figura 10: P2 – Av. Guaíba.	28
Figura 11: P1 e P2 marcados no mapa com o uso da ferramenta <i>Google Earth</i>	28
Figura 12: P3 - Parque Jardim Botânico.	29
Figura 13: P4 – Rua Felizardo, Bairro Jardim Botânico.....	30
Figura 14: P3 e P4 marcados no mapa com o uso da ferramenta <i>Google Earth</i>	30
Figura 15: Líquen da espécie <i>Parmotrema tinctorum</i>	31
Figura 16: <i>Parmotrema tinctorum</i> sendo coletada.....	31
Figura 17: Preparação das amostras liquênicas.	32
Figura 18: Amostra de líquens colocados na cubeta com 10 ml de álcool 96%.....	33
Figura 19: Cubeta envolvida com papel alumínio e algodão para não sofrer interferência de luz e o álcool não evaporar.	33
Figura 20: amostra liquênica preparada para análise de fotobionte.	34
Figura 21: Ponto 1 – <i>Parmotrema tinctorum</i> apresentando poucas manchas no talo.....	35
Figura 22: Ponto 2 - <i>Parmotrema tinctorum</i> com manchas no talo, principalmente nas margens dos lobos.	36
Figura 23: Ponto 3 – <i>Parmotrema tinctorum</i> com manchas no centro do talo (parte mais velha).....	37
Figura 24: <i>Parmotrema tinctorum</i> com manchas no talo - ponto 4.	38

Figura 25: Líquen da espécie <i>Canoparmelia texana</i> com manchas no talo – ponto 4.	38
Figura 26: Ponto 1: Tronco apresentando as 11 espécies liquênicas acompanhantes.	40
Figura 27: <i>Parmotrema tinctorum</i> , vista em primeiro plano, associada a <i>Canoparmelia texana</i> no ponto 2.....	41
Figura 28: Comunidade liquênica constituída por aproximadamente 10 espécies no tronco amostrado do Ponto 3.....	42
Figura 29: Ponto 4 - cinco espécies todas com manchas no talo.	43
Figura 30: Balanço entre clorofila a e b no talo de <i>Parmotrema tinctorum</i> nos pontos amostrados.	44
Figura 31: Comparação dos valores (em cm^2) de clorofila total nos pontos amostrados.	45
Figura 32: imagem de duas células vivas vista ao microscópio.	45
Figura 33: imagem de um agrupamento de células mortas vista ao microscópio	46
Figura 34: Imagem vista do microscópio mostrando célula plasmolisada.	46
Figura 35: Comparação de células vivas, mortas e plasmolisadas entre os quatro pontos. .	46
Figura 36: Comparação do índice de vitalidade do fotobionte em relação aos quatro pontos.	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Lista de espécies acompanhantes e seu hábito, ocorrentes nos pontos de amostragem. Nota: P1 - praça Osvaldo Schwerdt, P2 – Avenida Guaíba, P3 – Parque Jardim Botânico e P4 – Rua Felizardo. 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Níveis de Chl_a e Chl_b nos quatros pontos amostrados.....	44
--	----

Resumo

A atmosfera vem sendo acrescida continuamente de produtos químicos estranhos a sua composição original, entre os principais fatores da poluição do ar esta a interferência antrópica, como, por exemplo, a poluição gerada por veículos automotores. As condições ambientais podem ser avaliadas através do biomonitoramento, que é uma alternativa econômica e eficiente para avaliar a qualidade do ar, dentre os organismos utilizados para estes métodos destacam-se os líquens por estes organismos apresentarem um conjunto de características que os favorecem como monitores ambientais. Este trabalho tem por objetivo avaliar por meio da utilização de líquens, a qualidade do ar em quatro diferentes pontos na cidade de Porto Alegre- RS; comparar a diversidade líquênica encontrada nos pontos de estudo; analisar danos morfológicos no talo de duas espécies de líquens bioindicadores de áreas alteradas; elaborar considerações a partir da análise dos resultados tendo como referência a influência veicular na qualidade do ar. Foram realizadas quatro metodologias para avaliar a qualidade do ar em quatro pontos diferentes da cidade de Porto Alegre. Locais próximos, porém com características ambientais diferenciadas como vegetação e interferência antrópica quer de origem industrial ou urbana como fonte veicular, apresentam qualidade atmosférica diferente sendo que, quanto mais densa for a vegetação e menor a interferência veicular melhor é a qualidade do ar e consequentemente a qualidade de vida local. Recomenda-se investir em ciclovias e melhoria do transporte público para a redução do número de veículos particulares circulando nas ruas visando a diminuição da emissão de gases poluentes. O aumento da vegetação urbana especialmente na forma de núcleos verdes também vem a contribuir para a melhoria da qualidade de vida nas grandes cidades.

Palavras-chave: biomonitoramento, líquens, poluição atmosférica.

"Tudo está ligado, como o sangue que une uma família. Todas as coisas estão ligadas. O que acontece a Terra recai sobre os filhos da Terra. Não foi o homem que teceu a trama da vida. Ele é só um fio dentro dela. Tudo o que ele fizer à teia estará fazendo a si mesmo."

Provérbio indígena

sumário

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	15
2.1.1 Histórico da poluição do ar.....	15
2.1.2 Poluentes atmosféricos	15
2.1.3 Problemas decorrentes da poluição atmosférica	16
2.2 LEGISLAÇÃO	17
2.1.4 Padrões de qualidade do ar para o município de Porto Alegre, RS	17
2.3 BIOMONITORAMENTO.....	18
2.3.1 Líquens	20
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
3.1 ÁREA DE ESTUDO	27
3.2 ESPÉCIE LIQUÊNICA SELECIONADA	31
3.3 ANÁLISE DE DANOS MORFOLÓGICOS EXTERNOS.....	32
3.4 DIVERSIDADE DE ESPÉCIES NOS FORÓFITOS AMOSTRADOS.....	32
3.5 ANÁLISE DE CLOROFILA.....	32
3.5 CONTAGEM DE CÉLULAS VIVAS, MORTAS, PLASMOLISADAS E ÍNDICE DE VITALIDADE DO FOTOBIONTE.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 ANÁLISE DE DANOS MORFOLÓGICOS EXTERNOS.....	35
4.2 DIVERSIDADE DE ESPÉCIES NOS FORÓFITOS AMOSTRADOS	39
4.3 ANÁLISE DE CLOROFILA.....	44
4.4 CONTAGEM DE CÉLULAS VIVAS, MORTAS, PLASMOLISADAS E IVF.....	45

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente frota de veículos automotores vem aumentando a emissão de gases e, conseqüentemente, a poluição atmosférica devido ao processo de combustão e queima incompleta do combustível utilizado. Estas emissões são compostas por: óxidos de carbono (CO e CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), óxidos de partículas inaláveis (MP₁₀), entre outros (CETESB, 2004). Devido a este aumento de contaminantes atmosféricos, faz-se necessário o monitoramento da qualidade do ar em centros urbanos.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA n° 003/1990 (BRASIL, 1990a), que dispõe sobre controle da qualidade do ar e a ampliação do número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País, os padrões de qualidade do ar podem ser definidos como as concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão "afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral".

A poluição do ar é um problema ambiental, pois interfere no processo de fotossíntese das plantas, como também é um problema de saúde pública, uma vez que provoca distúrbios respiratórios, alergias, enjôos, dores de cabeça, alterações em órgãos vitais e câncer (GONÇALVES, 2007), sendo portanto, de grande importância o contínuo monitoramento da qualidade do ar. Este monitoramento permanente implica em investimentos entretanto, porém os altos custos dos métodos físico-químicos e equipamentos utilizados podem ser minimizados se for utilizado o biomonitoramento que trata-se da observação de respostas de organismos vivos a poluição atmosférica pelo qual é possível se avaliar a qualidade do ar. Esses organismos, como por exemplo os líquens, são conhecidos como bioindicadores, seres que fornecem informações sobre o ambiente em que estão localizados, pois apresentam mudanças de comportamento quando expostos aos poluentes (GONÇALVES, 2007; COPELLI, 2011). Além do biomonitoramento ser um processo de baixo custo financeiro, tem ainda por vantagens cobrir amplas extensões geográficas e por longos períodos de tempo, facilidade de coleta de organismos, além de permitir a obtenção de uma distribuição espacial dos poluentes (CARNEIRO, 2004; SANTOS, 2011).

Segundo Copelli (2011), existem três situações que levam ao biomonitoramento. Entre as três, para o presente estudo se destacam as seguintes: "quando há implicações para a saúde humana e quando existe interesse de se conhecer a qualidade ambiental".

Líquens, musgos e plantas superiores são os organismos mais utilizados como bioindicadores da qualidade do ar uma vez que sua pureza é um componente importante para sobrevivência destes indivíduos (CARNEIRO, 2004; GONÇALVES 2007; COPELLI, 2011).

Líquens são organismos simbióticos compostos por um fungo (micobionte) e uma ou mais algas (fotobionte) que podem variar sua complexidade desde formas simples até formas morfológicamente e anatômicas muito complexas (KÄFFER, 2011; MAZZITELLI et al., 2006).

As trocas gasosas destes organismos ocorrem diretamente uma vez que não possuem estômatos e, portanto, podem sofrer alterações fisiológicas, metabólicas, estruturais em função da presença da poluição atmosférica. Nestas situações são comuns o surgimento de cloroses, descoloração do talo e necrose em tecidos e órgãos, modificações estas que indicam a presença de gases poluentes no ambiente (KÄFFER et al., 2011a; MARTINS et al., 2008; MAZZITELLI et al., 2006).

Em 1866, Wylliam Nylander em Paris, França, correlacionou a poluição do ar com o desaparecimento de líquens através de estudos realizados no jardim de Luxemburgo. Nylander notou que ocorreu primeiramente um declínio e depois o desaparecimento total destes organismos. Posteriormente, depois da redução da poluição, foi possível observar o reaparecimento de líquens na região (KÄFFER et al., 2011b; SAIKI, 2001; SOMMERFELDT; ELIASARO, 2009). Estes autores relatam ainda que a tolerância do líquen à poluição varia com a espécie e as características climáticas.

As espécies líquênicas *Canoparmelia texana* e *Parmotrema tinctorum* são espécies características de ambientes alterados em estudos de biomonitoramento utilizando líquens em Porto Alegre-RS, sendo que estas duas espécies foram utilizadas neste estudo para o biomonitoramento da qualidade do ar em todos locais de amostragem, uma vez que são espécies características de ambientes alterados (MARTINS et al., 2008).

Com a crescente poluição atmosférica nos grandes centros urbanos, faz-se necessário um monitoramento contínuo da qualidade do ar. Os biomonitores são uma alternativa barata e simples para se realizar essa medição, e dentre estes se destacam os líquens, que são seres vivos cuja morfologia permite que sejam usados como biomonitores da qualidade do ar, pois incorporam facilmente os poluentes do ar devido às suas características físicas.

Assim, esta pesquisa tem por objetivos:

- a) Avaliar por meio da utilização de líquens, a qualidade do ar em quatro diferentes pontos na cidade de Porto Alegre, RS;
- b) Comparar a diversidade líquênica encontrada nos pontos de estudo;
- c) Analisar danos morfológicos no talo de duas espécies de líquens bioindicadores de áreas alteradas.
- d) Elaborar considerações a partir da análise dos resultados tendo como referência a influência veicular na qualidade do ar.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A contaminação do ar tem sido entre os tipos de poluição ambiental, um dos temas mais discutidos e de grande interesse para o meio científico nas últimas décadas, pois interfere negativamente na saúde humana e no ecossistema, caracterizando o tema como um fator de grande importância na busca da implementação de um desenvolvimento sustentável (CARNEIRO, 2004).

2.1.1 Histórico da poluição do ar

A poluição do ar é um problema que vem afetando a humanidade desde a antiguidade. Existem dados que afirmam que há dois mil anos atrás, em Roma, já haviam relatos de incômodos devidos a este fenômeno. No século XIII, no ano de 1273, surgiram na Inglaterra as primeiras leis relacionadas à qualidade do ar, assinadas pelo Rei Eduardo. O conteúdo destas leis era a proibição do uso de carvão com alto teor de enxofre, portanto, a partir desta data iniciou-se o desenvolvimento das legislações ambientais (BRAGA et al., 2006). Também existem dados de que estudos foram realizados, sobre a responsabilidade de comissões formada por ingleses (em 1881), alemães e franceses (1884), com o intuito de conhecer as causas da poluição por fumaças, suas prevenções e alternativas de controle (LISBOA, 2007).

Em Londres no ano de 1911, quando 1500 pessoas foram ao óbito em decorrência da poluição atmosférica causada pela queima do carvão, surgiu o termo “*smog*”, que foi proposto para indicar a composição de “*smoke*” e “*fog*”, ou seja, fumaça e neblina respectivamente. Desde então, esse termo vem sendo empregado em situações críticas de poluição do ar (BRAGA et al., 2006).

Em 1967, a poluição do ar foi oficialmente definida pelo Conselho Ambiental da Europa da seguinte maneira:

Existe poluição do ar quando a presença de uma substância estranha ou a variação significativa na proporção dos seus constituintes é suscetível de provocar efeitos prejudiciais ou originar doenças, tendo em conta o estado dos conhecimentos científicos do momento (BRANCO, 2007).

2.1.2 Poluentes atmosféricos

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados em primários e secundários. Poluentes primários como por exemplo, dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), monóxido de carbono (CO) e poeira, são poluentes lançados diretamente no ar pela sua fonte emissora (PEDROSO, 2007; MOTA et al., 2003).

Os poluentes secundários são formados a partir de reações químicas que ocorrem nos poluentes primários em determinadas condições físicas. Um exemplo é o SO₃, que se forma

através da reação do SO₂ e o O₂ no ar. O SO₃ quando em contato com o vapor de água reage e dá origem ao ácido sulfúrico (H₂SO₄), substância responsável pela chuva ácida (BRAGA et al., 2006). São considerados como os principais causadores da poluição atmosférica os gases de combustão dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (CARVALHO JUNIOR; LACAVA, 2003; MOTA 2003).

De acordo com Ferreira (2009):

Os principais poluentes primários aliados aos processos de formação de poluentes secundários, por meio de reações fotoquímicas, tornam a avaliação da poluição do ar e suas consequências para a saúde humana um dos mais complexos problemas em ecotoxicologia ambiental.

Os principais poluentes emitidos pelos veículos automotores são:

- a) Monóxido de Carbono (CO);
- b) Hidrocarbonetos (HC);
- c) Óxidos de Nitrogênio (NO_x);
- d) Óxidos de Enxofre (SO_x);
- e) Aldeídos e
- f) Material particulado (fuligem, poeira, metal, etc.).

2.1.3 Problemas decorrentes da poluição atmosférica

2.1.3.1 Efeito estufa

Antes de atingir a superfície da Terra, grande parte dos raios solares é refletida e parte da radiação que não é refletida, é remetida à Terra em forma de calor. Devido à presença de alguns gases na atmosfera, principalmente o gás carbônico (CO₂), a superfície do planeta torna-se opaca e a radiação térmica fica impossibilitada de retornar para o espaço; sendo assim, essa radiação é então devolvida à Terra, ocasionando o efeito estufa (MOTA, 2003).

Importante ressaltar que o efeito estufa é um fenômeno natural benéfico, de extrema importância para a vida na Terra, sem o qual a temperatura média do planeta estaria em torno de -19°C. No final dos anos 60 porém, pesquisadores começaram a notar uma intensificação do efeito estufa, o qual estaria ocorrendo devido a elevadas taxas de emissões de dióxido de carbono (CO₂), além de outros gases. Com o aumento da concentração de gases, a quantidade de calor que fica retida também cresce, o que leva à elevação da temperatura no planeta. O problema portanto, é o excesso de CO₂ que é continuamente gerado e não é absorvido pelas plantas a uma taxa que permita o equilíbrio do ciclo de carbono.

O CO₂ representa 55% da causa do efeito estufa, além deste, contribuem como responsáveis os gases metano (CH₄) com 15%, os clorofluorcarbonos (CFCs) responsáveis por

20% e o restante de 10% por responsabilidade do óxido nitroso (N_2O) e do ozônio (O_3), entre outros (MOTA, 2003).

2.1.3.2 Chuva ácida

Os contaminantes industriais e o tráfego de veículos automotores produzem dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos voláteis, que se misturam nas nuvens e reagem com a água e a luz solar para formar ácido sulfúrico e nítrico, sais de amônia entre outros. Estes compostos caem sobre a Terra em forma de chuva ácida, devido à dissolução de gases, como o CO_2 em especial, as águas da chuva são levemente ácidas, uma vez que normalmente apresentam pH próximo a 5,65. O lançamento de gases na atmosfera, principalmente dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NOX), promovem o aumento da acidez na água ocasionando a chuva ácida (MOTA, 2003).

2.1.3.3 Efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde

Muitos estudos realizados na área da saúde pública e ecotoxicologia, bem como estudos ambientais, apontam o poluente atmosférico como causa de morbidades. Os efeitos vão desde problemas respiratórios, doenças crônicas, podendo chegar à mortalidade (COPELLI, 2011), atingindo principalmente os idosos, crianças, gestantes, portadores de deficiência respiratória ou cardíaca, sendo estes os grupos de maiores risco (OGA et al., 2008).

2.2 LEGISLAÇÃO

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 003/1990 (BRASIL, 1990b), que dispõe sobre controle da qualidade do ar e a ampliação do número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no país, os padrões de qualidade do ar podem ser definidos como as concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão "afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral".

2.1.4 Padrões de qualidade do ar para o município de Porto Alegre, RS

Conforme o decreto nº 9325/88, Art.16º, para controle da qualidade do ar do Município de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 1988), a Secretaria Municipal do Meio Ambiente estabelece os seguintes parâmetros baseados na Legislação Federal:

I - Partículas em suspensão:

a) uma concentração média geométrica anual de 80 microgramas por m^3 ;

b) uma concentração média diária de, no máximo, 240 microgramas por m^3 e que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;

c) método de referência: método de amostragem de grandes volumes, ou equivalentes.

II - Dióxido de enxofre:

a) uma concentração média aritmética anual de 80 microgramas por m³ (0,03ppm);

b) uma concentração média diária de, no máximo, 365 microgramas por m³, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;

c) método de referência: Método de Para-rosanilina ou equivalente.

III - Monóxido de carbono:

a) uma concentração média em intervalo de 08 horas, de no máximo 10.000 microgramas por m³ (9 ppm) e que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;

b) uma concentração média horária de, no máximo, 40.000 microgramas por m³ (35 ppm) e que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;

c) Método de referência: Método de Absorção de Radiação Infravermelho não Dispersivo ou equivalente.

IV - Oxidantes fotoquímicos:

a) uma concentração média horária de no máximo, 160 microgramas por m³ (0,08 ppm), que não deve ser excedida mais de uma vez por ano;

b) método de referência: Método de Luminescência Química, ou equivalente.

2.3 BIOMONITORAMENTO

A qualidade do ar atmosférico é importante devido ao fato de que, sem o ar, é possível se resistir por apenas alguns minutos, enquanto que sem comida ou água, pode-se sobreviver por semanas ou dias, respectivamente. Por isso as agências de controle ambiental passaram a recomendar o monitoramento da qualidade do ar, propondo que testes de natureza biológica, química e física fossem empregados para a verificação do potencial tóxico dos componentes da atmosfera (ALVES, 2010; CALVELO et al., 2009; KÄFFER, 2011b; MAZZITELLI et al., 2006).

Atualmente, são utilizados captadores para se monitorar a qualidade do ar, os quais são capazes de medir alguns poucos parâmetros físico-químicos, não podendo avaliar combinações imprevistas, nem o efeito dos poluentes. (FALLA et al., 1999).

O biomonitoramento está atualmente entre as técnicas mais utilizadas, através dele pode-se medir os poluentes do ar usando organismos vivos que são definidos como bioindicadores. Bioindicadores são seres que fornecem respostas sobre o que se quer avaliar, sendo que estes organismos devem ser escolhidos com cautela, levando em consideração a capacidade de resposta e variações sobre o que será avaliado. Deve-se levar em consideração para a escolha de um bioindicador os seguintes aspectos: quantidades suficientes para a

obtenção de avaliações biológicas e químicas. E a distribuição em amplas áreas que possam ser consideradas para comparação de respostas em locais diferentes (CALVELO; LIBERATORE 2004; KÄFFER et al, 2011a; KÄFFER et al., 2012; MARKET, 1993; MAZZITELLI et al., 2006; MOTA, 2004).

Segundo Wittig (1993), para ser um bom biomonitor um organismo deve possuir as seguintes características:

- capacidade de acumulação mensurável do elemento químico;
- distribuição generalizada na área de estudo, permitindo a amostragem alargada e não enviesada;
- ausência de variações sazonais na quantidade disponível para amostragem;
- capacidade de acumulação diferenciada do poluente, relacionada com a intensidade de exposição ao fator ambiental. Esta relação deve poder ser descrita de forma quantitativa ou semi-quantitativa;
- ausência de variações sazonais na capacidade de acumulação;
- acumulação do elemento químico apenas pela via que se quer avaliar;
- identificação taxonômica fácil;
- se suficientemente estudado (fisiologia, ecologia, morfologia).

Os líquens são reconhecidos como bioindicadores ambientais e, por excelência, também biomonitores da qualidade do ar. Por isso, é possível através do seu uso o estabelecimento de escalas quantitativas e qualitativas para avaliação dos índices de contaminação de áreas com as mais diversas características de poluição atmosférica. São indicadores passivos e podem ser usados em longo prazo para determinar a distribuição e nivelar os efeitos dos poluentes, além da sua distribuição em amplas extensões geográficas (COPELLI, 2011; CALVELO; LIBERATORE 2004; FREIRE, 2004; KÄFFER et al., 2012; MAZZITELLI et al., 2006).

A possibilidade do uso destes seres como indicadores biológicos da poluição está na sua capacidade de absorver e reter elementos radioativos, íons metálicos, dentre outros poluentes, funcionando como filtros no monitoramento do ar (COPELLI, 2011; MARTINS, 2008). O monitoramento da qualidade do ar com o uso de líquens deriva da sua sensibilidade à contaminação, uma vez que estes seres são sensíveis à poluição do ar o que ocasiona o desaparecimento de várias espécies em ambientes alterados. Embora uma redução do número de espécies em áreas poluídas, algumas mais tolerantes permanecem nestes locais. Assim, para se obter resultados confiáveis é necessário o emprego de metodologias adaptadas para alcançar uma avaliação da poluição. O monitoramento de um ambiente com uso de líquens pode considerar variações de parâmetros como diversidade e/ou abundância, com uso de aspectos

fisiológicos, ou com o uso destes seres como acumuladores de poluentes (CALVELO et al., 2009; GARTY et al., 2002; ; KÄFFER et al, 2011a; PINHO et al., 2008; MARTINS et al., 2008). Segundo Le Blanc e Rao (1975 apud COPELLI 2011):

Os métodos para se estudarem os efeitos da poluição atmosférica em líquens têm sido, principalmente, fitossociológicos e ecofisiológicos, sendo possível relacionar a presença ou ausência de espécies de líquens, seu número, frequência de cobertura, danos externos e internos, com o grau de poluição da área em estudo.

Segundo Mazzitelli et al., (2006), os Líquens apresentam um conjunto de características que os favorecem como monitores ambientais:

- não possuem camadas protetoras, comuns nas folhas das plantas fenerogâmicas, como camadas cerosas e cutícula;
- a tomada de nutrientes não é normalmente realizada a partir do substrato, que é apenas utilizado para fixação;
- têm atividade fotossintética e apresentam crescimento ao longo de todo ano;
- a morfologia não varia consideravelmente ao longo do ano;
- a generalidade das espécies apresenta distribuição em áreas geográficas muito vastas.

2.3.1 Líquens

Os líquens são seres resultantes de uma associação microbiana simbiótica entre fungos (micobionte – Reino Fungi) e algas ou cianobactérias (fotobionte – Reino Monera (algas azuis) ou Reino *Protista* (no caso das algas verdes) 98% dos Líquens pertencem ao Filo Ascomycota, pois os ascomicetos parecem ser os fungos mais equipados para a associação com algas, o restante aos Basidiomycota. Os fotobiontes pertencem aos grupos continentais unicelulares ou filamentosos de algas verdes ou de cianobactérias, as algas mais frequentes são *Trebouxia*, *Pseudotrebouxia*, (ambos presentes em pelo menos metade dos líquens que ocorrem na natureza) *Trentepohlia* (comum nos líquens tropicais) e as cianobactérias mais frequentes nos líquens pertencem aos gêneros *Nostoc* e *Scytonema* (MARCELLI, 2006; PELCZAR et al., 1981).

O fotobionte é responsável pela fotossíntese, portanto sintetiza açúcar o qual é aproveitado pelo micobionte. Uma vez que precisam de luz, estes seres são geralmente encontrados sobre um substrato ao invés de no seu interior. Já o micobionte é responsável pelo fornecimento de água, sais minerais, proteção e a reprodução.

As algas e cianobactérias são organismos providos de clorofila, portanto capazes de fabricar seu próprio alimento por meio da fotossíntese (seres autótrofos). O crescimento e metabolismo dos líquens dá-se através da nutrição mineral fornecida pela deposição de elementos por vias seca e úmida na forma de sais solúveis e partículas. Estes organismos não

possuem estômas ou cutículas e, por este motivo, absorvem os gases pelo talo, os quais se espalham rapidamente pelo fotobionte sendo o primeiro a ser afetado pela poluição atmosférica, pois absorvem tanto da água quanto do ar nutrientes para seu desenvolvimento; se há poluição no ar, os gases tóxicos também serão absorvidos pelos líquens, sendo que estes poluentes se alojarão em suas células, chegando muitas vezes a serem metabolizados (LEMOS et al., 2007; LÓPEZ, 2006; MARCELLI, 2006; PELCZAR et al., 1981; VALENCIA; CEBALLOS, 2002).

Os líquens crescem sobre cascas de árvores, rochas ácidas ou alcalinas, folhas e em outros substratos impróprios ao desenvolvimento de plantas, sendo raros em locais constantemente úmido e com baixa luminosidade, como matas tropicais densas ou regiões com ar poluído por terem sensibilidade a quaisquer alterações ambientais. O desenvolvimento destes organismos depende de fatores como rugosidade, porosidade, dureza, exposição à luz, pH, presença de partículas no ar, umidade, ventos e temperatura (KÄFFER, 2011; LÓPEZ, 2006; MARCELLI, 2006; MARTINS et al., 2011; PELCZAR et al., 1981; RAPOSO JR et al., 2007; VALENCIA; CEBALLOS, 2002).

Segundo os trabalhos de Pelczar et al. (1981); MARCELLI, (2006), os líquens são semelhantes aos vegetais pela história da sua sistemática botânica. O corpo do líquen (o conjunto de alga e fungo) é chamado de talo. Geralmente, os talos líquênicos possuem coloração entre o branco e cinza (quando portadores de algas verdes), o tom verde é dado pela clorofila. Quando o talo é umedecido, as células do fungo ficam intumescidas mais translúcidas, já os fungos líquenizados que são portadoras de cianobactérias possuem coloração preta, marrom e cinza-chumbo. Alguns líquens podem produzir uma substância colorida, que trata-se de uma defesa contra o excesso de luminosidade do ambiente que habita, a qual poderia causar degradação da clorofila.

Existem vários tipos de associação e níveis de intimidade entre as células das algas e as hifas dos fungos o que resulta em ampla variação da anatomia e morfologia, a estrutura morfológica de um líquen simples pode ser descrito como micélios de fungos, densamente entrelaçados, abaixo uma camada de células algáceas e, mais abaixo, uma terceira camada de fungo. A última camada pode prender-se diretamente ao substrato ou utilizar pequenas cadeias de hifas, chamada rizinas, que funcionam como âncoras (Figura 1 e 2). Alguns líquens são mais complexos e contam com uma camada intermediária, abaixo das algas, que parece constituir um reservatório de alimentos.

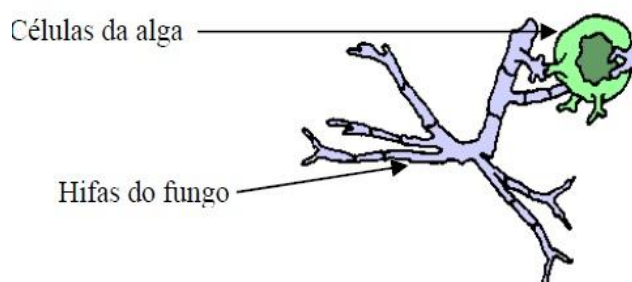


Figura 1: Fungo e alga na visão do mutualismo.
Fonte: LICHEN LAND 2012.

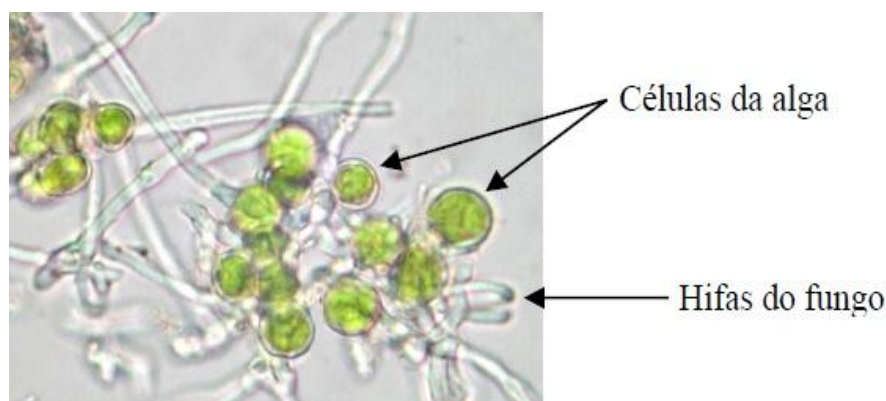


Figura 2: Filamentos do micobionte (*Parmotrema tinctorum*) envolvendo células do fotobionte (*Trebouxia*), vistos ao microscópio.
Fonte: LICHEN LAND 2012.

Cada talo de líquen consiste em uma única espécie de fungo, associada a uma única espécie de alga. Quase todas as características morfológicas usadas na classificação dos líquens são de origem fúngica, tendo já sido descritas 18.000 espécies (PELCZAR, 1981). Áreas urbanas contam com menos diversidade de espécies liquênicas do que ambientes naturais; por sofrerem interferência antrópica, a ocorrência de espécies tolerantes à poluição dá-se devido ao desaparecimento das espécies mais sensíveis, proporcionando mais espaço para o desenvolvimento de organismos mais resistentes. No Brasil existem em torno de 150 espécies e estas geralmente são tolerantes ao excesso de iluminação e vento (KÄFFER, 2011; LEMOS et al., 2007; MARCELLI, 2006; MARTINS et al., 2008;).

Embora não caracterizem grupos taxonômicos como família ou ordens, a identificação e descrição de um líquen é feita através do talo liquênico o qual é típico para cada espécie, constituindo uma estrutura autônoma, com morfologia e química de próprias. Os principais talos liquênicos são:

a) Talo filamentososo: Este é um dos tipos mais simples de talo, formado por fios muitos finos (filamentos frouxos) e entrelaçados, perceptíveis a olho nu. A textura deste talo é constituída por algas filamentosas que determinam a aparência final desta associação. Esse

caso é uma excessão em talos liquênicos, que em geral são constituídos principalmente por fungo e têm a sua forma e estruturas finais dada por eles. Um gênero bastante representativo é *Coenogonium* (Figura 3) geralmente corticícola e comum nos locais mais sombreados. É formado por filamentos da alga verde *Trentepohlia* envoltos por hifas do fungo. Outro exemplo de gênero que tem espécies filamentosas é *Dictyonema* (MARCELLI, 2006).



Figura 3: Talo de *Coenogonium*, RS, Brasil.

Notas: Na esquerda: Talo de *Coenogonium*, RS, Brasil. No centro: Detalhe mostrando os filamentos e apotécio (original). Na direita: Filamento de *Trebouxia* envolto por hifas do fungo visto ao microscópio

Fonte: SPIELMANN, 2006.

b) Talo crostoso ou crustáceo: Os líquens de talo crostoso (Figura 4) são presos ao substrato por células de seu lado inferior, isto é, diretamente pela medula, apresentando uma estrutura dorsiventral. São geralmente bastante achatados, aderido ao substrato por todas as células de seu lado inferior que estão em contato com ele, formando “crostas”, como o próprio nome sugere. A razão disso é que os líquens de talo crostoso não apresentam córtex inferior (Figura 5) e as hifas da medula é que prendem o líquen (MARCELLI, 2006).



Figura 4: Líquen crostoso do gênero *Brigantiae*.

Fonte: NUNES, 2012.

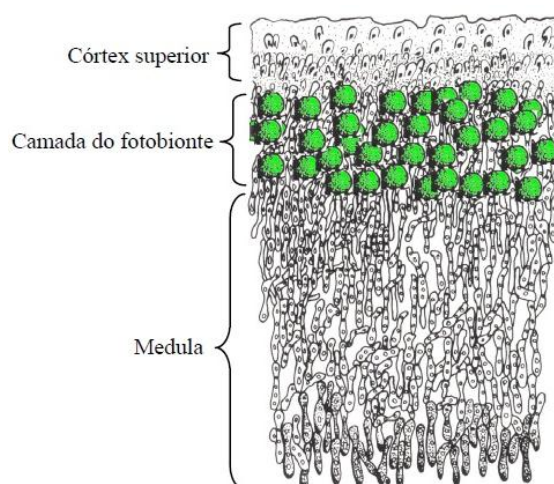


Figura 5: Estrutura geral de um líquen crostoso.
Fonte: LICHEN LAND 2012.

c) Talo folioso ou foliáceo: Este tipo de talo (Figura 6) apresenta estrutura laminar dorsiventral (possuem lado de baixo e lado de cima) e não se prendem ao substrato por sua medula, mas sim por projeções ou partes especializadas no córtex inferior. Entretanto, em algumas espécies o talo é tipicamente preso por um único apressório central; nesse caso o apressório pode ser chamado de umbigo e o talo é dito umbilicado (raro no Brasil). Outras vezes os talos são presos por um único apressório lateral, que pode ser chamado de pedúnculo, e o talo, de penduculado. Os recortes dos talos foliosos são chamados de lobos, alguns autores fazem distinção entre lobos de contorno arredondado e aqueles alongados e de lados paralelos (em forma de fita) a que chama de lacínios. Para estes autores os líquens foliosos podem ser divididos em lobados e lacinados. líquens foliosos têm sempre a aparência de uma lâmina enrugada e recortada colocada sobre um substrato (MARCELLI, 2006).



Figura 6: Exemplo de líquen folioso lobado de *Parmotrema tinctorum* espécie de Parmaliaceae.
Fonte: NUNES, 2012

d) Talo fruticoso: A figura 7 ilustra este tipo de talo, o qual é cilíndrico e achatado, muitas vezes bastante ramificado, lembrando pequenos arbustos com centímetros de altura, crescendo eretos perpendiculares ao substrato (fruticosos arbustivo) ou pendentes às rochas, troncos e galhos de árvores (fruticoso penduloso). Podem medir de alguns centímetros até mais de quatro metros de comprimento (espécies dos gêneros *Usnea* e *Ramalina*). Líquens fruticosos podem se prender ao substrato se enroscando a ele ou por um apressório, sendo que a morfologia do apressório e a maneira de se aderir ao substrato são caracteres taxonômicos importantes, razão pela qual os espécimes para identificação devem ser coletadas com eles (MARCELLI, 2006).



Figura 7: Talo fruticoso de *Teloschistes*.
Fonte: SPIELMANN 2006.

e) Talo esquamuloso: É um tipo de talo composto por uma quantidade enorme de pequenas escamas (esquândulas), normalmente menores que um milímetro cada uma, crescem agregadas, muitas vezes formando manchas de vários centímetros de diâmetro. Cada esquâmula tem uma parte aderida ao substrato da mesma maneira que um líquen crostoso e uma parte ascendente, dirigida pra cima (MARCELLI, 2006).

f) Talo Placodióide: Este tipo de talo apresenta a forma típica de roseta, sua parte central tida como crostosa, mas com a aparência geral de um pequeno talo folioso, devido ao talo ser aplicado no sentido radial, ou constituído de escamas convexas, alongadas no sentido radial e imbricadas como telhas (MARCELLI, 2006).

g) Talo composto ou dimórfico: É o talo formado pela combinação de dois tipos de talo, as combinações mais frequentes entre tipos de talo são crostoso-fruticoso e esquamuloso-fruticoso, com o fruticoso sempre como talo secundário. São característicos da família Cladoniaceae e, pela importância da família, têm recebido o nome de talo cladoniforme (MARCELLI, 2006).

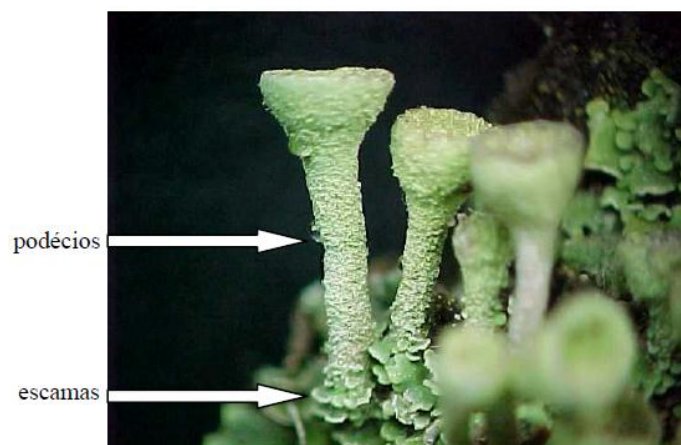


Figura 8: Líquen dimórfico (cladonia), visto sob lupa.
Fonte: SPIELMANN, 2006.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na cidade de Porto Alegre que abrange uma área de 497 km², conta com 1.409.351 habitantes, localizada na região fisiográfica da depressão central, com uma frota de 75,7% (510.987) automóveis, 4,7% (31.808) de caminhonetes, 10,6% (71.809) motonetas, 2,2% (14.651) caminhões, 4,4% (31.014) micro-ônibus, 1,1% (7.341) ônibus, 0,3% caminhões-trator (2.243), 0,3% (2.082) motocicletas e 0,7% (4.457) de tratores (IBGE, 2010).

Para verificar a viabilidade da utilização de líquens como bioindicadores da qualidade do ar na cidade de Porto Alegre foram selecionados quatro pontos de monitoramento, sendo um dentro do parque Jardim Botânico - ponto referência, um em uma rua do bairro Jardim Botânico, um em uma praça do bairro Ipanema, e por último, em uma rua próxima ao lago Guaíba, ainda no Bairro Ipanema, objetivando comparações entre esses. Os pontos foram determinados devido à interferência veicular local e a cobertura vegetal, sendo descritos a seguir:

Ponto 1 (P1): Foi escolhida a praça Osvaldo Schwerdt (Figura 9), localizada no Bairro Ipanema, local residencial com pouca interferência veicular.



Figura 9: P1 – Praça Osvaldo Schwerdt
Fonte: NUNES, 2012.

Ponto 2 (P2): Como área alterada no bairro Ipanema foi escolhida a Avenida Guaíba as margens do lago Guaíba (Figura 10), local que sofre interferência veicular de moradores e visitantes do local.



Figura 10: P2 – Av. Guaíba.
Fonte: NUNES, 2012.

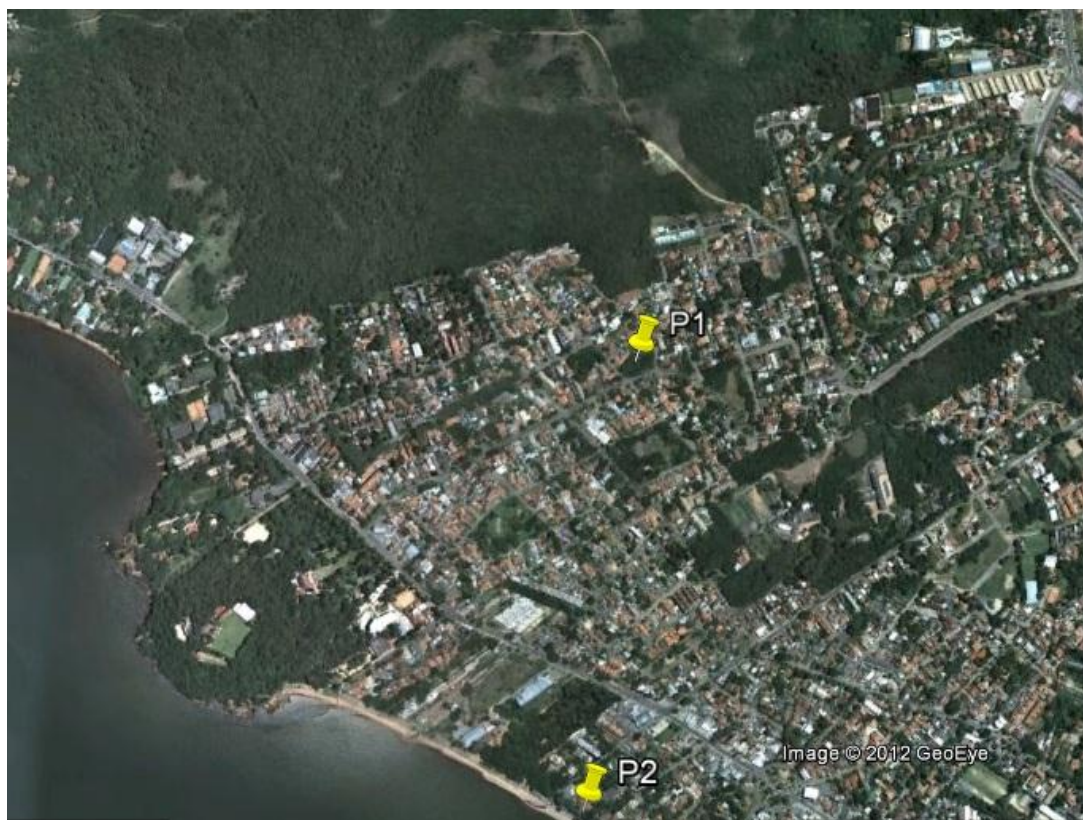


Figura 11: P1 e P2 marcados no mapa com o uso da ferramenta *Google Earth*.

Ponto 3 (P3): Está localizado no parque Jardim Botânico de Porto Alegre (Figura 12) no bairro de mesmo nome.. Esse é considerado um dos cinco maiores jardins botânicos do Brasil devido a diversidade das coleções de plantas e foi estabelecido como o ponto testemunho por se tratar de um núcleo verde dentro da área urbana e portanto com características microclimáticas diferenciadas.



Figura 12: P3 - Parque Jardim Botânico.
Fonte: NUNES, 2012.

Ponto 4 (P4): Localizado em área com influência de fontes móveis ainda no Bairro Jardim Botânico, porém fora dos limites do Parque, na rua Felizardo próximo a Escola Superior de Educação Física - ESEF (Figura 13), coordenadas geográficas 30°.03'.089"S, 51°.10'.937" o local tem grande interferência veicular, pois fica próxima a avenida Salvador França (3º perimetral).



Figura 13: P4 – Rua Felizardo, Bairro Jardim Botânico.
Fonte: NUNES, 2012.

Na Figura 14 estão marcados os pontos 3 e 4 situados no mesmo bairro, porém com marcante diferença entre interferência antrópica e cobertura vegetal. Nota-se no ponto 3 a existência de uma ilha verde inserida no contexto urbano, ao contrário do ponto 4 onde destaca-se um ambiente construído.



Figura 14: P3 e P4 marcados no mapa com o uso da ferramenta *Google Earth*.

3.2 ESPÉCIE LIQUÊNICA SELECIONADA

A espécie selecionada para o experimento foi *Parmotrema tinctorum* (Nyl.) Hale (Figuras 15 e 16) que é uma espécie de líquen corticícola, folioso da família Parmeliaceae comum em áreas alteradas, onde outras espécies já desapareceram o que a caracteriza como espécie indicadora de ambientes alterados (SAIKI, 2001).



Figura 15: Líquen da espécie *Parmotrema tinctorum*.
Fonte: NUNES, 2012.



Figura 16: *Parmotrema tinctorum* sendo coletada.

3.3 ANÁLISE DE DANOS MORFOLÓGICOS EXTERNOS

As observações das alterações morfológicas externas como necroses e cloroses no talo dos líquens foram realizadas através de comparação fotográfica nos diferentes pontos de amostragem método desenvolvido por Le Blanc et al., 1976.

3.4 DIVERSIDADE DE ESPÉCIES NOS FORÓFITOS AMOSTRADOS

No momento da coleta dos indivíduos de *P. tinctorum*, para a realização das análises de danos, observou-se as espécies liquênicas acompanhantes uma vez que segundo (MARTINS et al., 2008) as emissões aéreas afetam a diversidade de espécies na comunidade alterando sua estrutura.

3.5 ANÁLISE DE CLOROFILA

Para o método de análise de clorofila (Chl_a, Chl_b) seguiu-se Knudson et al. 1977. Foram cortados pedaços de cada amostra liquênica, colocados em um tubo de ensaio com 10 ml de etanol 96% e logo após 72 horas foi realizada a leitura através da absorbância, nos comprimentos de onda de 649 e 665 nm (valor referência) utilizando o espectrofotômetro modelo portable datalogging HACH DR/2010 do laboratório da Fundação Zoobotânica do RS.



Figura 17: Preparação das amostras liquênicas.
Fonte: NUNES, 2012



Figura 18: Amostra de líquens colocados na cubeta com 10 ml de álcool 96%
Fonte: NUNES, 2012.



Figura 19: Cubeta envolvida com papel alumínio e algodão para não sofrer interferência de luz e o álcool não evaporar.
Fonte: NUNES, 2012.

3.5 CONTAGEM DE CÉLULAS VIVAS, MORTAS, PLASMOLISADAS E ÍNDICE DE VITALIDADE DO FOTOBIONTE

Foi empregado o teste do vermelho neutro 5% para a contagem de células, através deste é determinado o percentual de células vivas, mortas e plasmolisadas das espécies liquênicas (MENDEZ & FOURNIER, 1980).

O Índice de Vitalidade do Fotobionte (IVF) (CALVELO et al., 2010) foi realizado para avaliar a capacidade de recuperação dos talos liquênicos. A fórmula é expressa por:

$$IVF = [V+(PI/2)/M+(PI/2)]$$

Onde: V = número de células vivas, PI = número de células plasmolisadas e M = número de células mortas .

As espécies liquênicas foram maceradas com água destilada e logo após acrescentado vermelho neutro 5%, após prepara-se uma lâmina com uma gota da mistura para observação sob objetiva de 40x de aumento em microscópio modelo Axiostar-Zeiss .

Os resultados foram analisados usando o programa *past* e foi verificado através do teste de estatística Anova one-way seguido do teste de Tukey se ocorreram diferenças significativas entre as categorias celulares (vivas, mortas, plasmolisadas) e entre os diferentes pontos de amostragem.



Figura 20: amostra liquênica preparada para análise de fotobionte.
Fonte: NUNES, 2012.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DE DANOS MORFOLÓGICOS EXTERNOS

Os danos morfológicos foram avaliados através de comparações fotográficas e visuais, buscou-se constatar possíveis mudanças na coloração do talo dos líquens presentes nos diferentes pontos amostrados. Importante lembrar que o fotobionte que compõe o líquen é suscetível a danos na presença de poluição, porém antes de suas células serem destruídas, perdem gradualmente sua atividade, apresentando modificações nos pigmentos e plasmólise. As figuras que seguem demonstram que os danos na aparência externa dos talos liquênicos foram diferentes entre os quatro pontos definidos pelo estudo.

Ponto 1 – localizado em uma praça no Bairro Ipanema - foram observadas poucas manchas nos talos dos líquens da espécie *Parmotrema tinctorum* nesse local (Figura 21).



Figura 21: Ponto 1 – *Parmotrema tinctorum* apresentando poucas manchas no talo.

Ponto 2 – localizado no Bairro Ipanema à beira do lago Guaíba - os indivíduos dessa espécie apresentavam o talo mais manchado, principalmente nas margens dos lobos que é a parte mais jovem e mais suscetível à poluição (Figura 22).

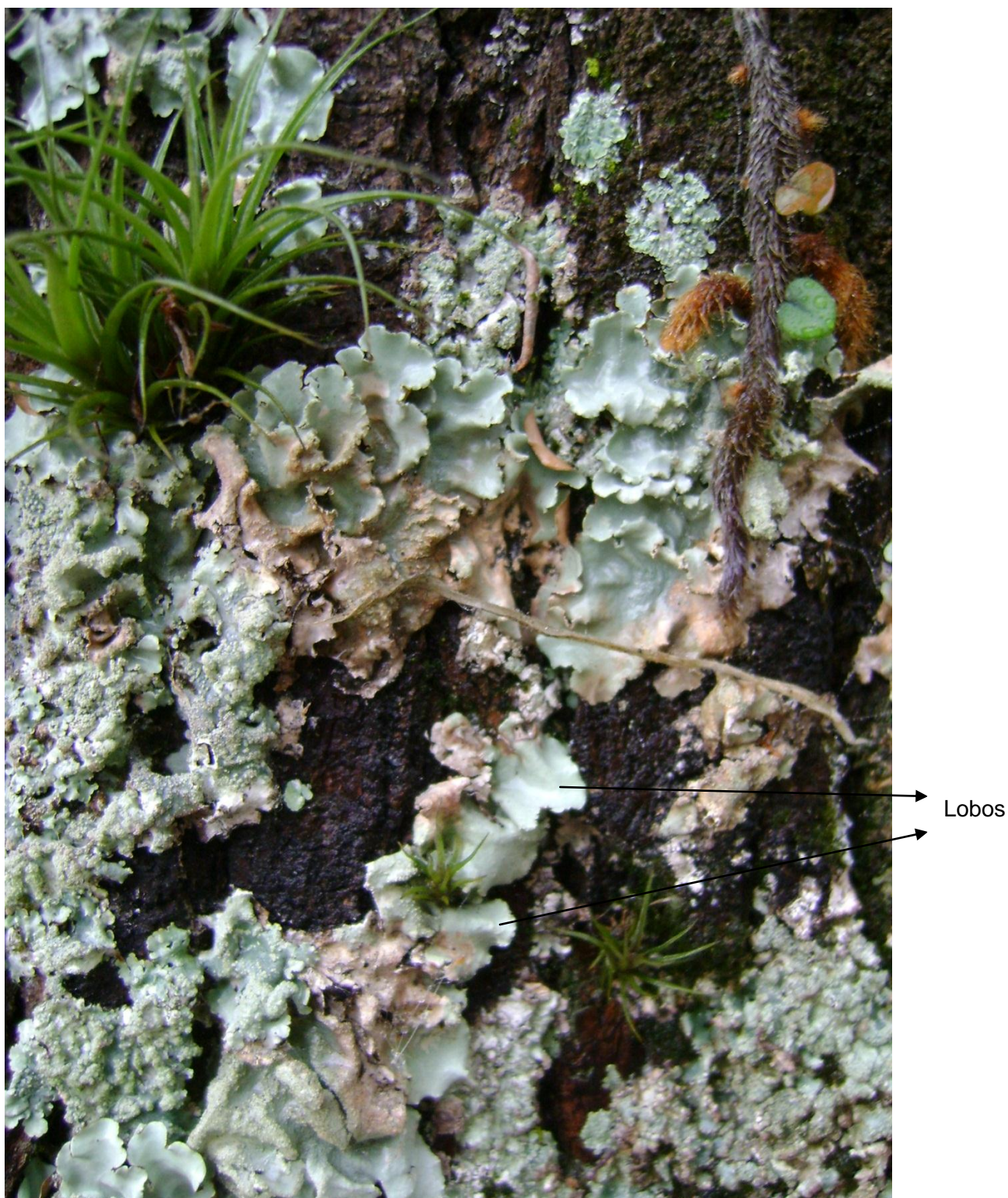


Figura 22: Ponto 2 - *Parmotrema tinctorum* com manchas no talo, principalmente nas margens dos lobos.

Ponto 3 – localizado no Parque Jardim Botânico - (ponto testemunho) não foram observadas manchas nas partes jovens dos indivíduos, somente no centro do talo que é a região mais velha e, portanto, pode ocorrer de forma natural em função do envelhecimento do líquen (Figura 23).



Figura 23: Ponto 3 – *Parmotrema tinctorum* com manchas no centro do talo (parte mais velha).

Ponto 4 – localizado no bairro Jardim Botânico próximo a ESEF- (Figuras 24 e 25) todos os indivíduos observados apresentaram manchas no talo sendo que estes talos eram muito reduzidas caracterizando uma baixa vitalidade.



Figura 24: *Parmotrema tinctorum* com manchas no talo - ponto 4.



Figura 25: Líquen da espécie *Canoparmelia texana* com manchas no talo – ponto 4.

As avaliações de danos morfológicos externos realizadas nos quatro pontos de amostragem demonstram uma relação entre as condições dos líquens e a qualidade do ar nestes locais. Talos de tamanho reduzido e com manchas nas margens (partes mais jovens), são

característicos de ambientes com alguma interferência de agentes poluidores, evidenciando sua presença na atmosfera (MARTINS et al., 2008).

4.2 DIVERSIDADE DE ESPÉCIES NOS FORÓFITOS AMOSTRADOS

No Quadro 1 estão listadas as espécies acompanhantes no tronco das forófitas amostradas em cada ponto de coleta.

Quadro 1: Lista de espécies acompanhantes e seu hábito, ocorrentes nos pontos de amostragem. Nota: P1 - praça Osvaldo Schwerdt, P2 – Avenida Guaíba, P3 – Parque Jardim Botânico e P4 – Rua Felizardo.

Táxons	P1	P2	P3	P4	Hábito
<i>Brigantiaea leucoxantha</i> (Spreng.) R. Sant &	x				crostoso
<i>Canoparmelia carneopruinata</i> (Zahlbr.) Elix & Hale	x		x		folioso
<i>Canoparmelia texana</i> (Tuck.) Elix & Hale	x	x	x	x	folioso
<i>Criптоthecia</i> sp.	x		x		crostoso
<i>Dirinaria picta</i> (Sw.) Schaer. Ex Clem.	x			x	folioso
<i>Fissurina</i> sp.			x		crostoso
<i>Graphis</i> sp.	x				crostoso
<i>Heterodermia obscurata</i> (Nyl.) Trevis	x		x		folioso
<i>Leptogium</i> sp	x				folioso
<i>Leptogium</i> cf. <i>azureum</i> (Sw.) Mont.			x		folioso
<i>Myelochroa lindmanii</i> (Lyngé) Elix & Hale				x	folioso
<i>Pamotrema trinctorum</i> (Nyl.) Hale	x	x	x	x	folioso
<i>Parmotrema austrosinense</i> (Zahlbr.) Hale				x	folioso
<i>Physcia</i> sp.			x		folioso
<i>Physcia undulata</i> Moberg.	x		x		folioso
<i>Platygrame caesioprinosa</i> (Fée) Fée	x		x		crostoso
<i>Punctelia mirabilis</i> Canêz & Marcelli			x		folioso
<i>Punctelia</i> sp.	x				folioso
Σ	12	2	11	5	

Nos quatro pontos foi encontrada a espécie *Canoparmelia texana*; no ponto 1 e ponto 4 foi encontrada, além desta, a espécie *Dirinaria picta*. Ambas espécies pertencem ao grupo dos líquens foliosos, mediantemente tolerantes à poluição. São consideradas fracas na competição, ou seja, em ambiente natural perdem na competição por espaço para as foliosas de talo grande, que são competidoras mais agressivas. Quando as espécies de talo foliosos e grandes desaparecem, espécies como a *Canoparmelia texana* e *Dirinaria picta* ocupam seu espaço com o aumento do seu talo e, conseqüentemente, com maior cobertura.

Coccaro et al., (2000), citam a espécie *Canoparmelia texana* como tolerante à poluição atmosférica e comenta que a taxa de crescimento desta espécie nos troncos depende diretamente das condições ambientais.

No ponto 1 (Figura 26) ocorreram 11 espécies acompanhantes no tronco onde foram realizadas as coletas. Neste ponto, as espécies *Canoparmelia texana* e *Dirinaria picta* registradas no local apresentaram o talo pequeno, não sendo muito visíveis quando comparadas às outras espécies encontradas no local.



Figura 26: Ponto 1: Tronco apresentando as 11 espécies liquênicas acompanhantes.

No ponto 2 (Figura 27) foi encontrada somente uma espécie acompanhante *Canoparmelia texana*, porém com o talo pequeno, sendo mais frequente a espécie *Parmotrema tinctorum*.



Figura 27: *Parmotrema tinctorum*, vista em primeiro plano, associada a *Canoparmelia texana* no ponto 2.

No ponto 3 (Figura 28) foram encontradas no tronco amostrado 10 espécies líquênicas, entre elas a espécie *Canoparmelia texana*, com o talo pequeno, porém mais visível do que nos dois pontos anteriores.



Figura 28: Comunidade líquênica constituída por aproximadamente 10 espécies no tronco amostrado do Ponto 3.

No ponto 4 (Figura 29) foram observadas quatro espécies além de *Parmotrema tinctorum*, dentre as quais destacam-se as espécies *Canoparmelia texana* e *Dirinaria picta*.

Diferente dos outros locais em que estas espécies apareceram, onde eram quase invisíveis quando não observado atentamente, neste ponto *Canoparmelia texana* apresenta o talo grande sendo a espécie mais frequente.

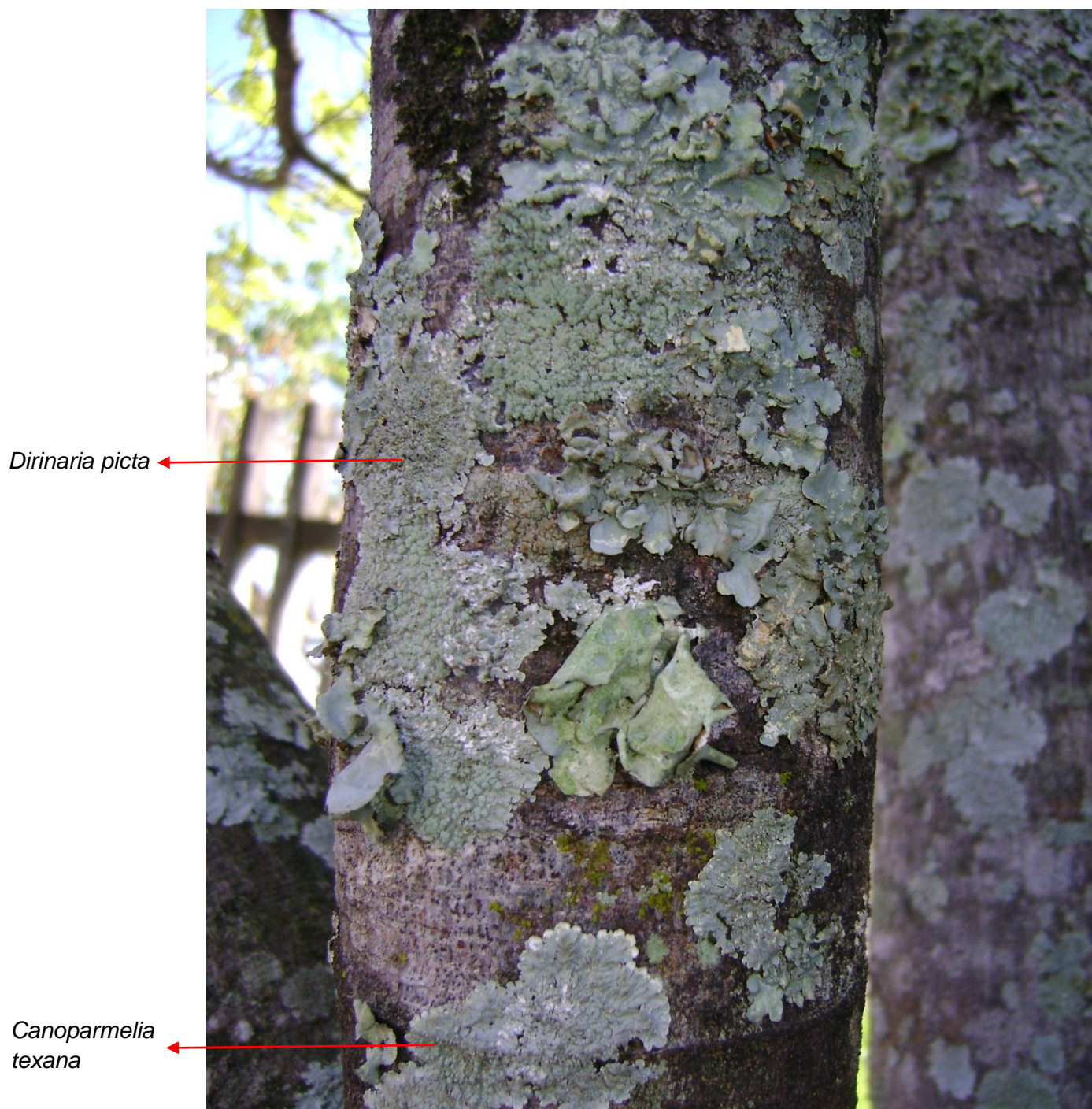


Figura 29: Ponto 4 - cinco espécies todas com manchas no talo.

As áreas mais urbanizadas e com menos vegetação devido a maior interferência antrópica apresentam menor diversidade de espécies liquênicas. Por sofrerem interferências diversas, a ocorrência de espécies tolerantes à poluição com maior frequência nessas áreas,

pode ser explicada pelo desaparecimento das espécies sensíveis, proporcionando espaço para o aumento da cobertura do talo de espécies mais tolerantes a poluição.

4.3 ANÁLISE DE CLOROFILA

A análise dos valores obtidos no teste de clorofila a e b (Tabela 1) permite a observação de um comportamento desordenado no metabolismo ao nível celular dos indivíduos presentes nos pontos de amostragem (Figura 30). Alterações no balanço simbiótico entre o foto e o micobionte podem ser evidenciadas através da ruptura desta associação; o fotobionte responsável pelo balanço fotossintético é o primeiro a ser afetado, provocando anormalidades no talo, bem como o branqueamento da clorofila e o desenvolvimento de áreas marrom amareladas no cloroplasto.

Tabela 1: Níveis de Chl_a e Chl_b (cm²) nos quatros pontos amostrados.

Nota: P1: praça Osvaldo Schwerdt no bairro Ipanema.

P2: Av. Guaíba - Bairro Ipanema às margens do lago Guaíba.

P3: Parque Jardim Botânico.

P4: Rua Felizardo - Bairro Jardim Botânico próximo a ESEF.

Valores		
Chla/cm ²	Chlb/cm ²	Total
2,6	13,5	16,14
10,6	0,0	10,56
29,7	22,5	52,21
11,5	7,5	19,02

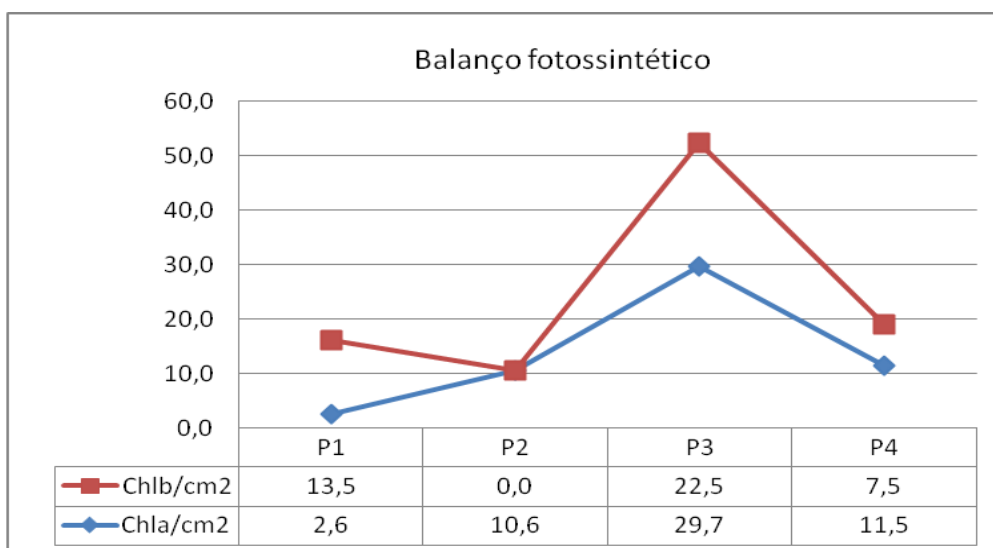


Figura 30: Balanço entre clorofila a e b no talo de *Parmotrema tinctorum* nos pontos amostrados.

Nota: P1: praça Osvaldo Schwerdt bairro Ipanema.

P2: Bairro Ipanema às margens do lago Guaíba.

P3: Parque Jardim Botânico.

P4: Bairro Jardim Botânico próximo a ESEF.

Na Figura 31 nota-se que o parque Jardim Botânico (ponto 3 – referência), foi o ponto que apresentou os maiores valores de clorofila.

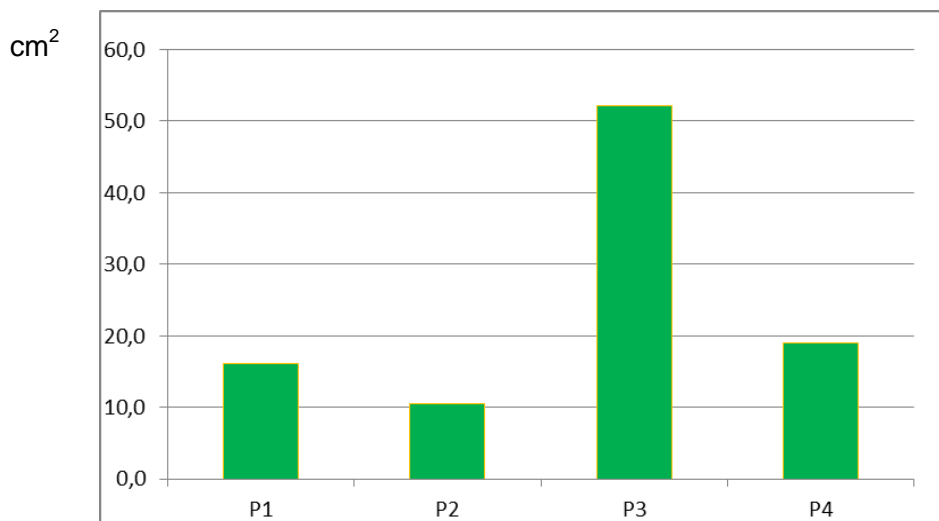


Figura 31: Comparação dos valores (em cm^2) de clorofila total nos pontos amostrados.

A quantidade de clorofila está estreitamente relacionada com os percentuais de células vivas, uma vez que na associação alga e fungo, as algas é que são responsáveis pela síntese de substâncias orgânicas. O balanço entre clorofila Chl_a e Chl_b demonstra o efeito das alterações ao nível celular comprovado pela análise dos percentuais da morte das células verdes (algas) provocando a queda da taxa fotossintética e, consequentemente, morte do líquen.

4.4 CONTAGEM DE CÉLULAS VIVAS, MORTAS, PLASMOLISADAS E IVF

Através da contagem de células vivas, mortas e plasmolisadas (Figuras 34, 35 e 36) nos diferentes pontos verificou-se que, no P1 e no P3 ocorreu um maior número de células vivas do que nos demais pontos (Figura 35). Esses locais são áreas de lazer com maior ocorrência de vegetação sendo, o P1 uma praça na zona sul e o P3 o parque Jardim Botânico. Tratam-se de áreas com menor interferência antrópica e pouco tráfego veicular com uma boa cobertura vegetal proporcionando condições microclimáticas adequadas ao desenvolvimento de líquens.

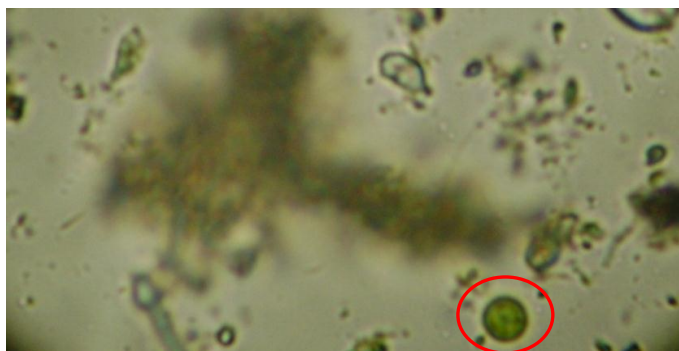


Figura 32: imagem de duas células vivas vista ao microscópio.



Figura 33: imagem de um agrupamento de células mortas vista ao microscópio



Figura 34: Imagem vista do microscópio mostrando célula plasmolisada.

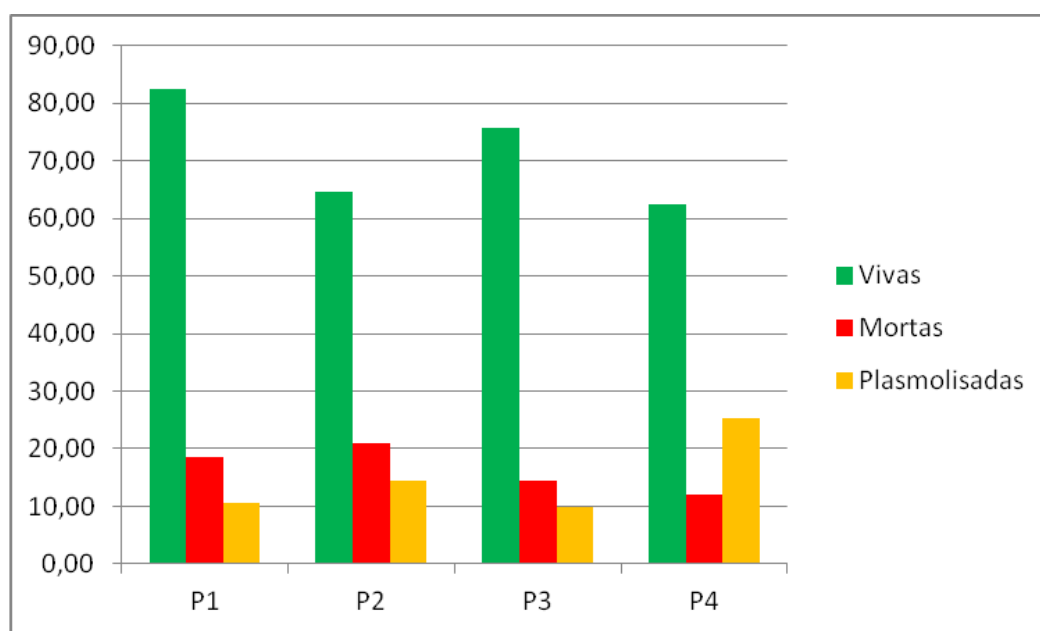


Figura 35: Comparação de células vivas, mortas e plasmolisadas entre os quatro pontos.

Para avaliar os parâmetros analisados foi realizado o teste estatístico Anova one-way seguido de Tukey. Os resultados obtidos demonstram diferença significativa entre as células vivas, mortas, plamolizadas e o IVF (Figura 36) dentro de cada ponto, porém não houve diferença significativa entre os pontos (Figura 36).

Embora o teste de Anova não tenha detectado diferenças significativas entre os pontos de amostragem, pode-se observar através dos resultados (Figura 35) que existe uma tendência demonstrando que nos pontos localizados próximos as vias de maior tráfego veicular ocorre maior queda no percentual de células vivas. Nesses locais o índice de vitalidade do fotobionte foi menor, demonstrando uma baixa capacidade de recuperação dos líquens nesses pontos (Figura 35).

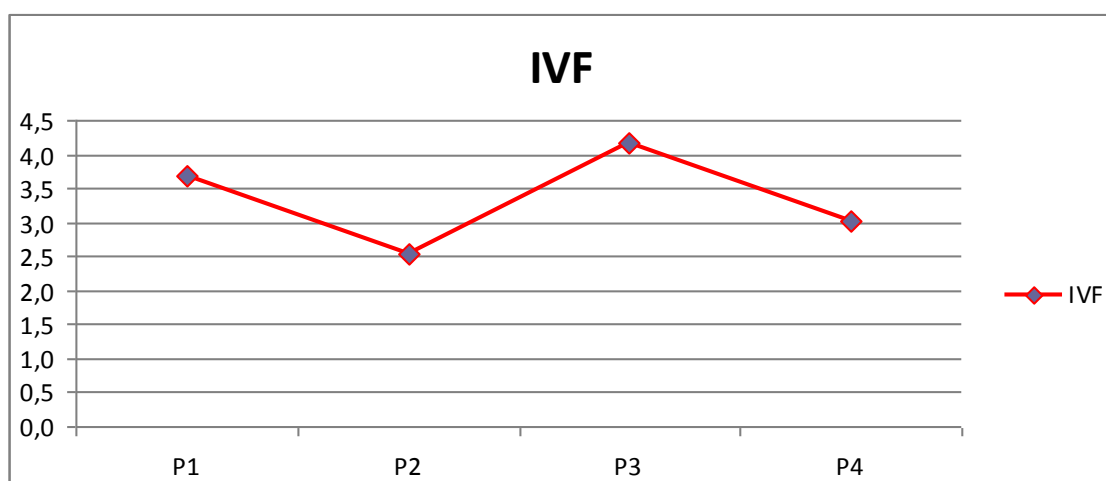


Figura 36: Comparação do índice de vitalidade do fotobionte em relação aos quatro pontos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os líquens mostram alta sensibilidade a poluentes, não somente pela diminuição da sua vitalidade, mas também por sintomas externos característicos. As alterações se dão a nível de comunidade modificando sua estrutura e diminuindo a diversidade de espécies, a nível morfológico afetando a vitalidade dos talos, pela inibição de seu crescimento, e a nível fisiológico por alteração no processo metabólico

O ponto 1 e ponto 3 –respectivamente- área de menor interferência antrópica e maior vegetação, apresentaram maior número de células vivas, maior índice de vitalidade do fotobionte e maior taxa de clorofila. Sendo que nos pontos 2 e 4, que caracterizam-se por apresentar interferência antrópica direta e menor cobertura vegetal, foi observado que os líquens apresentavam manchas escuras no talo provocado pela morte de células e a degradação da clorofila com consequente redução da fotossíntese, o que estima-se ser consequências da acumulação de poluentes nos tecidos liquênicos,

Por este motivo, nos pontos 1 e 3 que consiste em núcleos verdes na cidade de Porto Alegre foram observadas as maiores taxas de clorofila 16,10% e 52,12% respectivamente, maior quantidade de células vivas P1 (82,52%) e P3 (75,81%), maior índice de vitalidade do fotobionte P1 (3,7) e P3 (4,2).

Para os pontos alterados que sofrem interferência veicular os valores obtidos foram: taxa de clorofila 10,60% para o P2 e P4 taxa de clorofila 19%; quantidade de células vivas P2 (64,56%) e P4 (62,50%); para índice de vitalidade do fotobionte P2 (2,6) e P4 (3,0).

Nos pontos P1 e P3 não foram encontradas manchas nos talos. Nos pontos P2 e P4 foram encontradas manchas nas margens dos lobos que é a parte mais jovem e suscetível à poluição, supostamente estes danos seriam consequências da acumulação de poluentes no tecidos liquênicos. Em todas as áreas foi encontrada a espécie *Canoparmelia texana* e nos pontos P1 e P4 foi encontrada a espécie *Dirinaria picta*; ambas são espécies oportunistas, menos agressivas como competidoras quando em ambiente natural e, portanto aparecendo nestes com baixa frequência e baixa cobertura. Quando em um ambiente alterado com o desaparecimento de espécies mais sensíveis, estas espécies oportunistas encontram espaço para o seu desenvolvimento devido à sua tolerância à poluição. Assim, observou-se que no P4 a espécie *Canoparmelia texana* estava mais visível que outras espécies o que não ocorreu nos demais pontos amostrados.

Com base nestas observações, pode-se supor que a acumulação de poluentes do ar deve ter provocado a morte de células, ocasionando a degradação da clorofila e a redução da fotossíntese, surgindo manchas marrons talo dos líquens. Nos pontos onde foram registrados maior interferência antrópica percebe-se baixa diversidade liquênica e menor vitalidade do talo.

Conclui-se através deste trabalho que locais próximos, porém com características ambientais diferenciadas como vegetação e interferência antrópica quer de origem industrial ou urbana como fonte veicular, apresentam qualidade atmosférica diferente sendo que, quanto mais densa for a vegetação e menor a interferência veicular melhor é a qualidade do ar e consequentemente a qualidade de vida local.

Recomendações:

Sugere-se para a cidade de Porto Alegre investir em ciclovias e melhoria do transporte público para a redução do número de veículos particulares circulando nas ruas visando a diminuição da emissão de gases poluentes. O aumento da vegetação urbana especialmente na forma de núcleos verdes também vem a contribuir para a melhoria da qualidade de vida nas grandes cidades.

REFERÊNCIAS

- ALVES, N. O. **Genotoxicidade e composição do material particulado emitido pela queima de biomassa: um estudo de caso em Tangará da Serra, região da Amazônia brasileira**. 2010. 82f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- BRAGA, B. Hespanhol, I., Conejo, J.G.L. **Introdução à engenharia ambiental**. 2 ed. São Paulo: Pearson, Prentice Hall, 2006.
- BRANCO, S. M. **Poluição do ar**. 2.ed. São Paulo: Moderna, 2007.
- BRASIL - CONAMA , **Resolução nº 008 de 1990a** – Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição.
- BRASIL - CONAMA , **Resolução nº 003 de 1990b** - dispõe sobre controle da qualidade do ar e a ampliação do número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no país.
- CALVELO, S., BACCALÁ N., LIBERATORE S. Lichens as bioindicators of air quality in distant areas in Patagonia (Argentina). **Environmental Bioindicators**, 4:123–135, 2009.
- CALVELO, S., CÁCERES, I., GARIBOTTI, G. Photobiont vitality in lichens thalli under experimental fumigations with carbaryl: Index of vitality. **Environmental Bioindicators**, in press. 2010.
- CALVELO, S., LIBERATORE, S. Applicability of In Situ or Transplanted Lichens for Assessment of Atmospheric Pollution in Patagonia, Argentina. **Journal of Atmospheric Chemistry** 49: 199–210, 2004.
- CARNEIRO, R. M.A. **Bioindicadores vegetais na poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade**. 2004. Dissertação (Mestrado) - Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.
- CARVALHO JÚNIOR, J.A., LACAVA, P.T. **Emissões em processo de combustão**. 1 ed. São Paulo: Unesp, 2003
- COCCARO, D.M.B, SAIKI, M.B.A., VASCONCELOS, M.P., MARCELLI, M.P. 2000. **Analysis of Canoparmelia texana lichens collected in Brazil by neutron activation analysis**. In: Biomonitoring of atmospheric pollution (with emphasis on trace elements) BioMAP. International Atomic Energy Agency, Lisboa, pp. 143-148.
- COPELLI, T. S., **Biomonitoramento da qualidade do ar utilizando ensaio de micronúcleo em Tradescantia sp.** 2011. Monografia. (tecnólogo em processos ambientais) Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- ELIASARO, S., VEIGA, P.W., DONHA, C.G., NOGUEIRA L. **Inventário de macroLíquens epífitos sobre árvores utilizadas na arborização urbana em Curitiba, Paraná, Brasil: Subsídio para biomonitoramento urbano**. Laboratório de Líquenologia, Departamento de Botânica, Setor de Ciências Biológicas Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil. 2009.

FALLA J., GILLY P. L., DOMINIQUE M. H., FERARD J. Biological air quality monitoring: a review. **Environmental Monitoring and Assessment** V.64, 2000.

FERREIRA A.B. **Avaliação do risco humano a poluentes atmosféricos por meio de biomonitoramento passivo**: um estudo de caso em São Mateus do Sul, Parana. São Paulo. 2009.

FREIRE, E. V. C. **Efeito de diversos poluentes sobre o líquen *Cladonia verticillaris* (raddi) fr., analisado em condições de laboratório**. Recife, 2004.

GARTY J., TOMER S., LEHR H. Lichens as biomonitors around a coal-fired power station in Israel. **Environmental research** V. 91, 2002.

GONÇALVES, F. V. BRUNO, C.G.C., SOUZA, C.R., FAÇANHA P.E.W., ALVES, M.C., BORGES, M.P., MELO, C. **Líquens como bioindicadores da qualidade atmosférica na cidade de Uberlândia, MG**. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL. VIII. 2007, Caxambu, MG. Disponível em: <http://www.academia.edu/1856609/UTILIZACAO_DE_LIQUENS_COMO_BIOINDICADORES_DA_QUALIDADE_ATMOSFERICA_NA_CIDADE_DE_UBERLANDIA_MG> Acesso em 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Cidades. <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em 2012.

KÄFFER, M. I., ALVES, C., CACERES, M. E. S., MARTINS, S. M. A., VARGAS, V. M. F. Caracterização da comunidade líquênica corticícola de Porto Alegre e áreas adjacentes, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 25(4): 832 – 844, 2011a.

KÄFFER, M. I. **Biomonitoramento da qualidade do ar com uso de líquens na cidade de Porto Alegre, RS**. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Biociências. Programa de Pós-Graduação em Ecologia.

KÄFFER, M. I., LEMOS, A. T., APEL, M. A., ROCHA, J. V., MARTINS, S. M. A., VARGAS, V. M. F. Use of bioindicators to evaluate air quality and genotoxic compounds in an urban environment in Southern Brazil. **Environmental Pollution** 163 p. 24 – 31. 2012.

KÄFFER M.I., Martins, S. M. A., Alves, C. , Pereira, V. C., Fachel, J., Ferrão, V. M. V. Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. **Ecological Indicators** (11) p. 1319–1332, 2011b.

KNUDSON, L. L., TIRIBILIS, T. W., EDWARDS, G. E. Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. **Plant Physiol.**, 60: p. 606-608, 1977.

LEMOS, A. KÄFFER, M.I, MARTINS, S.A. Composição e diversidade de líquens corticícolas em três diferentes ambientes: Florestal, Urbano e Industrial. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, supl. 2, p. 228-230, 2007.

LICHEN LAND 2012. Disponível em <<http://ocid.nacse.org/lichenland/>> Acesso em Novembro de 2012.

LISBOA, H.M. **Efeitos causados pela poluição atmosférica**. Montreal, 2007. Disponível em: <<http://www.lcgar.ufsc.br>> Acesso em Abril de 2012.

LÓPEZ B.F. 2006. **Utilização de líquens no biomonitoramento da qualidade do ar.** In: XAVIER Filho, L., LEGAZ, M.E., CÓRDOBA, C.V., PEREIRA, E.C. (Eds.) *Biologia de Líquens*. RJ, 77-97.

MARCELLI M.P., 2006. **Utilização de líquens no biomonitoramento da qualidade do ar.** In: XAVIER Filho, L., LEGAZ, M.E., CÓRDOBA, C.V., PEREIRA, E.C. (Eds.) *Biologia de Líquens*. RJ, 25-74.

MARKERT, B. **Plants as Biomonitors.** Indicators for heavy Metals in the Terrestrial Environments. VCH Publishers.; New York, 1993.

MARTINS, S.M.A., KÄFFER M. I., LEMOS, A. Líquens como bioindicadores da qualidade do ar numa área de termoeletrônica, Rio Grande do Sul, Brasil. **Hoehnea** 35 (3): 425 – 433, 2008.

MARTINS, S.M.A., KÄFFER M. I., ALVES, C. R., PEREIRA, V. C. Fungos liquenizados da Mata Atlântica, no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica** 25 (2): 286-292. 2011.

MARTINS – MAZZITELLI, S.M.de A., MOTA Filho, F.de O., PEREIRA, E.C., FIGUEIRA, R., 2006. **Utilização de líquens no biomonitoramento da qualidade do ar.** In: XAVIER Filho, L., LEGAZ, M.E., CÓRDOBA, C.V., PEREIRA, E.C. (Eds.) *Biologia de Líquens*. RJ, 101-143.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental.** 3.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

MOTA-FILHO, F.O., PEREIRA, E. C., SILVA, R. A., XAVIER-FILHO L. **Líquens: Bioindicadores ou Biomonitores?** 2004. Portal Biomonitor, disponível em: <<http://www.jb.ul.pt/biomonitor>>. Acesso em 2012.

OGA, S. CAMARGO M.M.A. BATISTUZZO J.A.O. **Fundamentos de toxicologia.** 3ª ed. São Paulo, SP: Atheneu, 2008. 677p.

PALHIARINI, W.S. GONÇALVES, R. R., SANTOS, E. N., RATHE, C. C. DA, ZAMPAR, R. **Líquens como bioindicadores da qualidade do ar em Engenheiro Beltrão, PA, Brasil.** In: Congresso científico da região centro ocidental do Paraná. Disponível em: <http://www.grupointegrado.br/conccepar2011/?action=anais_resumo&id=789> Acesso em 2012.

PEDROSO, A.N.V., **Poluentes atmosféricos x Plantas bioindicadoras.** Instituto de Botânica – IBt, São Paulo - SP. 2007.

PELCZAR, M., REID, Roger., CHAN, E. C. S. **Microbiologia.** 1981 Sao Paulo: McGraw-Hill.

PINHO, P. AUGUSTO S., MÁGUAS C., PEREIRA M.J., SOARES A., BRANQUINHO C. Impact of neighbourhood land-cover in epiphytic lichen diversity: Analysis of multiple factors working at different spatial scales. **Environmental Pollution** 151 (2008) 414 - 422

PORTO ALEGRE, decreto 9325/88, Art. 16º, 1988. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/smam>>. Acesso em 2012.

RAPOSO JUNIOR, J.L., RÉ-POPPI, N., HONDA, N. K. Avaliação da concentração de alguns íons metálicos em diferentes espécies de líquens do cerrado sul-mato-grossense. **Química Nova** V. 30, N°. 3, 582-587, 2007.

SAIKI, M. **Utilização de líquens na biomonitoração da poluição atmosférica de elementos químicos da cidade de São Paulo**. Laboratório de Análise por Ativação Neutrônica, Ipen, São Paulo – SP. 2001.

SANTOS, E. P., BENTO, A. P., WASTOWSKI, A. C., CARVALHO JÚNIOR O. DE., FIOREZE M. **Avaliação da qualidade do ar na área urbana de Frederico Westphalen através da determinação de metais pesados em amostras de líquens**. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental 2011.

VALENCIA M. C. de, CEBALLOS J.A. 2002. Hongos liquenizados. Universidade Nacional de Colombia, Bogotá.

SPIELMANN A. A. 2006. **Fungos liquenizados (líquens)**. Tese de Doutorado. Instituto de Botânica – IBt. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente