

FÁBIO MARCONDES RIBEIRO FREITAS

**USO DE *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. (LÍQUEN) COMO
BIOMONITOR DA QUALIDADE DO AR NO COMPLEXO
INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE - PE**

RECIFE

2006

FÁBIO MARCONDES RIBEIRO FREITAS

**USO DE *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. (LÍQUEN) COMO
BIOMONITOR DA QUALIDADE DO AR NO COMPLEXO
INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE - PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, do Departamento de Botânica da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Orientadora: Dra. Eugênia Cristina G. Pereira

Co-orientador: Dr. Nicácio Henrique da Silva

RECIFE

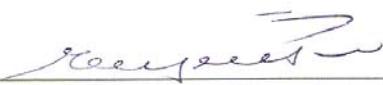
2006

FÁBIO MARCONDES RIBEIRO FREITAS

**USO DE *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. (LÍQUEN) COMO
BIOMONITOR DA QUALIDADE DO AR NO COMPLEXO
INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE - PE**

Dissertação submetida à banca examinadora:

Orientadora:


Prof^ª. Dra. Eugênia Cristina Gonçalves Pereira (Orientadora)-UFPE

1º Examinador:


Prof^ª. Dra. Noêmia Pereira dos Santos - UFPE

2º Examinador:


Prof^º. Dr. Antônio Fernando Morais de Oliveira - UFPE

**“Se não você, então quem?
Se não agora, então quando?”
(Gary Heberth)**

**Dedico esta obra a minha orientadora
Prof^a Dr^a Eugênia Cristina G. Pereira
pelas valiosas contribuições, ensinamentos
e acima de tudo pelo grande exemplo de
cientista no qual me espelharei.**

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pernambuco pela oportunidade dos estudos desde a graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal e a todos os professores pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Complexo Industrial Portuário de Suape pela permissão para a realização do projeto, em especial a Walter Blossey e Luiz Gonzaga.

As indústrias Coca – Cola, Emplal e Bonesa pelo consentimento da realização do experimento em suas instalações.

A Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – CPRH, na pessoa de Gilson Lima, pela ajuda na caracterização da área.

Ao Departamento de Bioquímica da Universidade Federal de Pernambuco por disponibilizar a infra-estrutura do Laboratório de Produtos Naturais, para a realização de parte dos experimentos desta Dissertação, sobretudo a João Virgínio (técnico do laboratório) pela colaboração, dedicação e apoio na execução das tarefas de desenvolvimento dos experimentos e análises efetuadas.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Eugênia C. Pereira e Prof^o Dr. Nicácio Henrique da Silva, pela compreensão, companheirismo e dedicação.

Ao Prof^o Fernando de Oliveira Motta Filho, pelas várias contribuições na montagem do experimento.

Ao Departamento de Patologia e Biologia Celular do Centro de Pesquisa Aggeu Magalhães / Fundação Osvaldo Cruz, por disponibilizar a infra-estrutura de seus laboratórios para a realização da avaliação em microscopia eletrônica de varredura, em especial à Dra. Regina Célia Bressan Queiróz de Figueiredo, Dra. Christina Peixoto e ao técnico Sérgio Silva.

A minha família pelo apoio incondicional ao meu desenvolvimento.

Aos meus colegas de Pós-Graduação pelo companheirismo e boas discussões nas disciplinas.

A todos que de alguma forma tenham contribuído para a realização deste trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites máximos de concentração de alguns contaminantes presentes na atmosfera recomendadas pela Organização Mundial de Saúde – 1995. 16

Tabela 2. Padrões primários e secundários da qualidade do ar e métodos de medição segundo resolução CONAMA n ° 03/90. 19

Manuscrito

Tabela 1. Concentrações do ácido FUM evidenciadas nos extratos orgânicos, obtidas através de cromatografia líquida de alta eficiência, de *Cladonia verticillaris* submetida por 12 meses ao ambiente do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). 45

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Microfotografia de *Cladonia verticillaris* (Raddi)Fr. ocorrente sobre solos arenosos de tabuleiros costeiros (Alhandra, Paraíba). Escala em centímetros. (Fonte: PEREIRA, 1998). 7

Manuscrito

Figura 1. Mapa do Complexo Industrial Portuário de Suape com indicação de sua localização na costa de Pernambuco. Fonte: Suape (2006). 34

Figura 2: Líquens acondicionados em recipientes plásticos, contendo o substrato natural de sua área de ocorrência. 35

Figura 3. Imagem de satélite do Complexo Industrial Portuário com a localização dos pontos de estudo e indicação da direção predominante dos ventos (Alísios de SE). Legenda: PC1 (ponto marrom), PC3 (ponto verde), Bonesa (ponto azul), Emplal (ponto rosa), Viveiro (ponto laranja), COMPESA (ponto vermelho), Coca-Cola (ponto amarelo) e Ventos Alísios de SE (setas em vermelho). Fonte: Google Earth (2006). 36

Figura 4. Teores de clorofilas e feofitinas totais das amostras de *Cladonia verticillaris* submetidas ao ambiente por 12 meses no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). 40
Legenda: Teores de clorofilas totais (colunas em azul) e teores de feofitinas totais (colunas em marrom).

Figura 5. Cromatogramas em camada delgada de extratos orgânicos de *Cladonia verticillaris* submetida por 12 meses ao ambiente do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). 43

Figura 6. Cromatografia em fase líquida de amostra controle de *Cladonia verticillaris* (momento de coleta em ambiente natural) e padrões dos ácidos fumaprotocetrárico (FUM) e protocetrárico (PRO) e atranorina (ATR). Legenda: absorvância a 254 nm (eixo Y) e tempo de retenção em minutos (eixo X). 46

Figura 7. Cromatografia dos extratos orgânicos de *Cladonia verticillaris* submetida por 12 meses ao ambiente no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). Legenda: absorvância a 254 nm (eixo Y) e tempo de retenção em minutos (eixo X). 47

Figura 8. Microfotografias obtidas através de lupa estereoscópica das amostras de *Cladonia verticillaris* submetidas por 12 meses ao ambiente no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). 49

Legenda: A = controle, B = bosesta, C = viveiro, D = PC1, E = PC3, F = emplal, G = coca e H = compesa.

Figura 9a. Microfotografias obtidas através de microscopia eletrônica de varredura das amostras de *Cladonia verticillaris* submetidas por 12 meses no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). 51

Legenda: A1 e A2 = controle, B1 e B2 = Bosesa, C1 e C2 = Viveiro e D1 e D2 = PC1.

Figura 9b. Microfotografias obtidas através de microscopia eletrônica de varredura das amostras de *Cladonia verticillaris* submetidas por 12 meses no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). 52

Legenda: E1 e E2 = PC3, F1 e F2 = Emplal, G1 e G2 = Coca-Cola e H1 e H2 = COMPESA.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
4. MANUSCRITO (Uso de <i>Cladonia verticillaris</i> (Raddi) Fr. (líquen) como biomonitor da qualidade do ar no Complexo Industrial Portuário de Suape).	30
5. CONCLUSÕES	56
6. RESUMO	57
7. ABSTRACT	58

1. INTRODUÇÃO

Em geral, os seres vivos são indicadores de qualquer modificação que ocorra no ambiente, podendo ser utilizados como bioindicadores de alterações ambientais naturais ou antrópicas, oferecendo respostas qualitativas do ambiente. No entanto, nem todos os bioindicadores são eficientes para biomonitoramento, pois para isto os seres devem ser passíveis de uma análise que revele respostas quantificáveis, para que sejam estabelecidos parâmetros de avaliação (HAWKSWORTH, 1990).

A prática do biomonitoramento se revela como promissora devido ao custo reduzido que a técnica pode oferecer e também pelo efeito que pode ser avaliado no ser vivo, tendo em vista a estreita relação que pode existir entre o biomonitor e o ecossistema estudado (MARKET, 1993).

Os líquens, em especial, possuem qualidades reconhecidas como biomonitores por estarem intimamente relacionados com o ambiente, pela enorme capacidade de fixar e acumular elementos dispersos no meio, principalmente o nitrogênio, assim como elementos radioativos e íons metálicos, entre outros poluentes (NIEBOER *et al.*, 1972; SEAWARD, 1977).

Esta capacidade de absorção é possível devido às características morfológicas e fisiológicas dos líquens, como por exemplo: não dependem de um sistema radicular para absorção de nutrientes, fazendo-a através do ar (higroscópica) e por possuírem cutícula reduzida ou ausente, facilitando a incorporação dos poluentes (PILEGAARD, 1978). Portanto, o líquen se revela como candidato promissor tanto para bioindicação como para biomonitoramento da qualidade do ar, tendo em vista que possui íntimas relações ecofisiológicas com a atmosfera ao invés do seu substrato (HAWKSWORTH, 1992).

Os líquens são seres simbiotes, onde fungo (micobionte) e alga e/ou cianobactéria (fotobionte) vivem em perfeita harmonia, com proteção mútua e transferência de substâncias vitais, como nutrientes e produtos da fotossíntese (HALE, 1983; NASH, 1996).

O metabolismo primário dos líquens consiste na produção específica de uma classe de carboidrato produzida pela alga, a partir da fotossíntese, cuja transferência ao micobionte é rápida e em quantidade substancial para acúmulo e transformação (HALE, 1983; NASH, 1996). Os produtos do metabolismo primário são processados em uma segunda etapa, onde são produzidos compostos do metabolismo secundário, denominados de substâncias líquênicas, sendo a maioria, únicas neste táxon (CULBERSON *et al.*, 1977; NASH, 1996).

Devido a essas características é possível identificar alterações morfológicas, através da análise do talo liquênico, e fisiológicas, através de ensaios químicos, revelando os danos e respectiva extensão causados pela poluição.

Várias pesquisas utilizando líquens como biomonitores comprovaram a sua eficácia, sendo incontestada pela grande sensibilidade que estes possuem aos poluentes. Essa técnica revela-se então como promissora, não só pela qualidade, como pela economia que oferece frente a utilização de monitores mecânicos (CÁCERES, 1996; SILVA, 2002).

MOTA-FILHO *et al.* (2003) utilizaram plantas e líquens na cidade do Recife, Pernambuco, Brasil, analisando seus pigmentos como parâmetro de avaliação ambiental, obtendo excelentes respostas de biomonitoramento.

Outros estudos realizados no Estado de Pernambuco, utilizando o líquen *Cladonia verticillaris* como biomonitor, revelaram a eficácia da prática, onde dados de monitores mecânicos foram cruzados com os dados obtidos do líquen, revelando as mesmas respostas, o que oferece ainda mais credibilidade e confiabilidade ao biomonitor (CÁCERES, 1996; SILVA, 2002; MOTA-FILHO *et al.*, 2005).

A qualidade do ar reflete no bem estar e equilíbrio do meio ambiente. Alterações desse equilíbrio e emissões de poluentes sem controle podem afetar a saúde humana, da fauna e da flora, além de gerar desequilíbrios climáticos, podendo gerar catástrofes ambientais, alterar ciclos naturais e provocar mortandades em massa de espécies, podendo até mesmo ocasionar extinção da biota. Com líquens já foram constatados o desaparecimento dos mesmos em grandes centros urbanos europeus, como em Londres, e a redução de populações em florestas próximas a áreas industriais (PURVIS *et al.*, 2003).

Atualmente a questão da poluição atmosférica preocupa o mundo inteiro, de forma que legislações nacionais e internacionais são discutidas e implementadas para tratar do assunto, além de acordos e tratados, como o do Protocolo de Kyoto, que visa reduzir as emissões de gases poluentes causadores do efeito estufa e destruidores da camada de ozônio em até 5,2%, até 2012, em referência aos dados de 1990. Esse acordo envolve várias nações industrializadas e entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005.

No Brasil a qualidade do ar foi regulamentada pelo Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), através da resolução CONAMA nº 05/89, com o objetivo de definir estratégias para controlar, preservar e recuperar a qualidade do ar, em todo o Território Nacional, estabelecendo definições e critérios para gerenciamento.

Dessa forma, áreas industriais necessitam de monitoramento atmosférico como forma de assegurar a qualidade ambiental e o compromisso com a saúde humana e o meio ambiente.

O Estado de Pernambuco destaca-se pelo seu potencial industrial. Em particular, o Complexo Industrial Portuário de Suape revela-se como uma área promissora para grandes investimentos e práticas industriais, por possuir características especiais em termos de ampla disponibilidade de terreno, alternativas de escoamento da produção via marítima, rodoviária e ferroviária. Além disso, é naturalmente favorecido por possuir uma localização geográfica privilegiada, podendo tornar-se um centro concentrador de cargas na costa Atlântica da América do Sul, tornando-o um grande atrativo econômico internacional.

Mais de 70 empreendimentos já estão instalados ou em fase de implantação em Suape. De acordo com a Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (CPRH) pelo menos 15 empresas são consideradas fontes de emissões fixas de poluentes e, a área ainda carece de estudos de monitoramento, sejam através de recursos mecânicos ou biológicos.

Por possuir uma diversidade de indústrias com diferentes emittentes faz-se necessário um monitoramento da qualidade do ar da área, com o objetivo de proteger a saúde humana das pessoas que residem ou trabalham na área e viabilizar a Zona de Preservação Ecológica da área.

Devido ao potencial de Suape para o desenvolvimento de Pernambuco e a falta de monitoramento atmosférico da área, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do ar utilizando o líquen *Cladonia verticillaris* como biomonitor no Complexo Industrial/Portuário, avaliando o comportamento fisiológico da espécie exposta ao ambiente, bem como os danos à superfície externa do talo liquênico. Os resultados permitirão conclusões sobre o estado da qualidade do ar, permitindo a implementação de futuros planos ou projetos visando a melhoria ambiental, além de oportunizar preliminarmente a verificação das conformidades frente às exigências nacionais e internacionais, sobretudo relacionadas às questões ambientais.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Biologia de líquens

O primeiro a descrever os líquens foi Tournefort no fim do século XVII, mas não os diferenciou dos musgos. Em 1729, o italiano Michele empregou pela primeira vez o termo “líquen” (do grego *leichen*) que significa planta rasteira ou lambechão, mas faz referências botânicas, descrevendo apotécios liquênicos como receptáculos florais. Da mesma forma, o

biólogo suíço Schwedener, em 1868, reconheceu os líquens como entidades vegetais. Já Beijerinck, em 1890, admitiu parasitismo, e considerava o fungo como parasita da alga (XAVIER-FILHO & RIZINI, 1976).

A proposta atualmente aceita é a de que os líquens são entidades biológicas formadas pela união de uma ou mais algas e/ou cianobactérias (fotobionte) com um fungo (micobionte). São, geralmente, citados na literatura como o melhor exemplo de simbiose, um tipo de associação entre seres vivos na qual os membros formam uma entidade distinta. Neste caso, geram um relacionamento onde o fotobionte é responsável pela fotossíntese, produzindo compostos orgânicos para o fungo, que por sua vez, é capaz de obter nutrientes de substratos compactos e/ou densos, como cascas de árvores e superfícies rochosas, além de proteger a alga (SEAWARD, 1977; NASH, 1996).

A simbiose que confere as características particulares deste grupo torna o posicionamento taxonômico difícil dentro dos sistemas de classificação dos seres vivos, pois a constituição líquênica é baseada em dois organismos de três reinos diferentes. Mesmo com esta constituição, a definição anatômica leva em consideração o maior percentual da presença do fungo líquênico e obedece ao Código Internacional de Nomenclatura Botânica (ALEXOPOULOS & MIMS, 1979; ALEXOPOULOS *et al.*, 1996).

O sistema de classificação proposto por Margulis & Schwartz em 1982, posiciona os líquens, observando critérios de evolução celular e filogenia, dentro do reino Fungi, sendo classificados como Mycophycophyta, onde Myco se refere ao fungo, Phyco à alga e Phyta a posição a nível taxonômico. O componente alga aparece em menor proporção (em torno de 10%) e pode pertencer às divisões Chlorophyta ou Cyanophyta; já os fungos detêm a maior proporção (em torno de 90%) e podem ser Ascomycetes, Basidiomycetes ou Deuteromycetes, formando respectivamente os Ascolíquens, Basidiolíquens e Deuterolíquens (XAVIER-FILHO & RIZINI, 1976; ALEXOPOULOS & MIMS, 1979).

A morfologia do líquen é baseada na organização do talo líquênico em camadas bem definidas, onde o córtex superior é constituído por hifas entrelaçadas do fungo, possibilitando proteção à camada de algas que está posicionada logo abaixo, protegida por outro feixe de hifas frouxas, a medula, seguida de um outro feixe de hifas, o córtex inferior (HALE, 1983).

As espécies líquênicas possuem talos de formas bastante definidas, os quais podem ser crustosos, folhosos ou fruticulosos. O talo ainda pode apresentar formas e cores variadas, dependendo da espécie e das substâncias que o compõe (THOMSON, 1967; SEAWARD, 1977; ALEXOPOULOS *et al.*, 1996).

As contribuições mútuas entre o fotobionte e o micobionte permitem que esse tipo de ser sobreviva às mais diversas intempéries, habitando desde as regiões mais áridas, como os desertos, às mais frias, como as regiões polares, sendo portanto cosmopolitas (SEAWARD, 1977; HALE, 1983; NASH, 1996). Vários substratos são utilizados para sua fixação tais como rochas, madeira em decomposição, tronco de árvores, folhas, solo, entre outros (SEAWARD, 1977; FEIGE & KREMER, 1979).

Pela fácil adaptabilidade a diversos ambientes, os líquens podem dar início ao processo de sucessão ecológica, gerando condições que favoreçam outras formas de vida, permitindo sua instalação e desenvolvimento (SEAWARD, 1977).

O sucesso da relação alga/fungo se estabelece na troca de benefícios mútuos, onde o fungo recebe da alga os carboidratos da via fotossintética (metabolismo primário) e por outro lado passa para a alga o CO₂ resultante da sua respiração, realiza quebra, transformações e acúmulo de moléculas, além de dar a proteção às células das algas contra adversidades ambientais (SEAWARD 1977; HALE, 1983; NASH, 1996).

Cerca de 550 produtos são produzidos pelos líquens, dos quais 350 são metabólitos secundários. As substâncias líquênicas, anteriormente designadas como ácidos líquênicos, são na maioria compostos fenólicos, dentre eles os ácidos alifáticos, para e meta depsídeos, depsídonas, benzilésteres, dibenzofuranos, xantonas, antraquinonas, terpenóides, e derivados do ácido pulvínico. No interior do talo, tomam forma cristalina e podem ser depositados sobre as hifas do micobionte. Tal fato confere ao líquen grande capacidade de adaptação às adversidades, tendo em vista que esses cristais funcionam como fotorreceptores e/ou fotoindutores, selecionando o tipo e quantidade de radiação que a eles seja conveniente, sendo de extrema importância para otimizar a via fotossintética. Os fenóis líquênicos, acumulados sobre as hifas do córtex superior, participam do mecanismo adaptativo de diversas espécies (LAWREY, 1986). O ácido úsnico, por exemplo, um dos mais freqüentes compostos de líquens, protege o fotobionte da radiação de baixo comprimento de onda (RUNDEI, 1987), sendo considerado, inclusive, como recurso energético em casos de estresse nutricional (VICENTE *et al.*, 1980).

A produção das substâncias líquênicas se dá por três principais vias biossintéticas: a do acetato polimalonato, a do ácido chiquímico e a do ácido mevalônico. Dessas vias são originados os grandes grupos de compostos. Na primeira são formados os ácidos graxos, depsídeos, depsídonas e quinonas; na segunda são originados os pigmentos amarelos, derivados do ácido pulvínico, e na terceira são produzidos os terpenóides e esteróis. Outras vias podem ser ainda destacadas como as vias dos aminoácidos e a dos carboidratos

verificando-se, nesta última, a biossíntese dos sacarídeos e polióis. Por outro lado, a maioria dos metabólitos secundários tem origem biossintética via ácido chiquímico e acetato polimalonato, perfazendo cerca de 10% do peso do talo seco (HALE, 1983; XAVIER-FILHO, 1989; NASH, 1996).

A reprodução nos líquens ocorre, geralmente, de forma vegetativa, através da fragmentação do talo. Este apresenta, por vezes, protuberâncias (isídios) e/ou massas pulverulentas (sorédios) contendo as partes alga e fungo, que se destacam e são disseminados juntos, principalmente pela água, vento e insetos, para formar novos líquens (XAVIER-FILHO & RIZINI, 1976; HALE, 1983; NASH 1996).

2.2 Caracterização do biomonitor

O líquen *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. denominado de cladoniforme, faz parte de um grupo de hábito terrícola pertencente à divisão dos Discomycetes, classe dos Ascomycetes, ordem Lecanorales e família Cladoniaceae (AHTI, 1982).

A família Cladoniaceae é caracterizada por apresentar um talo crustoso ou esquamuloso, a partir do qual porções semelhantes a hastes suportam o ascostroma, também denominadas de podécios, que é parte dominante do talo (NASH, 1996).

Segundo Hammer (2003) a Australasia é um centro de endemismo do gênero *Cladonia*, sendo a diversidade claramente notável na Nova Zelândia, que possuía cerca de 60 espécies reconhecidas até 2003, ano em que oito novas espécies foram descobertas e mais oito estão em discussão.

A espécie *C. verticillaris* apresenta eficiência como biomonitor da qualidade do ar (CÁCERES, 1996; SILVA, 2002; MOTA-FILHO *et al.*, 2005). Esse líquen foi descrito pela primeira vez por Vainio, em 1894, e é considerado por Ahti *et al.* (1993) como endêmico da costa leste do Brasil, distribuído do Rio Grande do Sul à Paraíba.

Caracterizada por possuir verticilos ao longo de seu talo, com cor branco-acinzentada quando submetida a pouca umidade, ou amarronzada quando exposta diretamente ao sol; em período chuvoso seu talo torna-se mesclado de verde e branco (PEREIRA, 1998).

Possui talo primário evanescente, podécios pouco ramificados, com cifos sobrepostos, curtos e amplos, poros nas articulações com o cifo superior. Tem, usualmente, 7cm a 12cm de altura (PEREIRA, 1998).



Figura 01: Microfotografia de *Cladonia verticillaris* (Raddi)Fr. ocorrente sobre solos arenosos de tabuleiros costeiros (Alhandra, Paraíba). Escala em centímetros. (Fonte: PEREIRA, 1998).

C. verticillaris apresenta como metabólitos secundários bastante característicos o ácido fumarprotocetrárico, o ácido protocetrárico e a atranorina (AHTI *et al.*, 1993; PEREIRA, 1998). O estudo químico dos líquens é de alta importância para compreensão de sua filogenia e taxonomia, podendo estabelecer relações em análises cladísticas de evolução entre taxas (NASH, 1996). Além disso, as características de produção química pode ser utilizada em estudos de biomonitoramento, uma vez que poluentes podem prejudicar o metabolismo do líquen, ocasionando a produção de compostos intermediários ou produtos de degradação (SILVA, 2002).

2.3 Biomonitoramento

A presença de agentes potenciais de poluição atmosférica nos espaços urbanos, que ameaçam a saúde e a qualidade de vida de grupos humanos e demais organismos vivos, assim como a integridade do meio abiótico, tem despertado a busca por medidas e estratégias destinadas à detecção precoce de processos poluidores, assim como de instrumentos e métodos de intervenção em áreas com exposição humana a poluentes.

A qualidade do ar pode ser avaliada a nível local, regional, nacional e internacional, através de estimativas das emissões, do uso de modelos matemáticos e de medidas das concentrações ambientais dos principais poluentes, utilizando-se, normalmente, métodos físico-químicos. Por estas medidas, podem-se verificar normas e valores limites para concentrações atuais de poluentes em seres vivos (KLUMPP *et al.*, 2001).

A partir de meados do século passado, foi iniciado o processo de utilização de organismos vivos, como método auxiliar de detecção de alterações perigosas da qualidade do ambiente, denominado de biomonitoramento (GARTY *et al.*, 1998; XIAO *et al.*, 1998).

Esses organismos são normalmente denominados de bioindicadores. Quando reagem ao estresse pela acumulação de substâncias nos tecidos, são reconhecidos como organismos resistentes e denominados de bioindicadores de acumulação; quando sofrem alterações morfológicas, fisiológicas, genéticas e etológicas, são considerados organismos sensíveis e denominados de bioindicadores de reação (NIMIS *et al.*, 2000; SILVA, 2002; KLUMPP *et al.*, 2001).

Organismos bioindicadores apenas expressam sintomas particulares ou respostas que indicam mudanças ambientais.

Por outro lado, são considerados biomonitores aqueles que através de análises químicas possam oferecer respostas qualitativas e quantitativas (WOLTERBEEK *et al.*, 1995).

Biomonitoramento pode ser definido como um método experimental indireto para verificar a existência de poluentes em determinada área, utilizando-se de organismos, que respondem ao estresse a que se encontram submetidos, por modificações nos ciclos vitais ou pela acumulação de poluentes (ROSSBACH *et al.*, 1999; WAPPELHORST *et al.*, 2000; CARRERAS & PIGNATA, 2001).

Em relação aos métodos tradicionais de verificação dos níveis de poluição, o biomonitoramento apresenta vantagens, tais como: baixo custo de instalação e acompanhamento; ausência, em geral de aparelhagem sofisticada de medição; eficiência no monitoramento de áreas amplas e períodos longos de tempo e, viabilidade de se avaliar elementos químicos presentes em baixas concentrações no ambiente em estudo (HIATT, 1999; CARRERAS & PIGNATA, 2001; SUMITA *et al.*, 2003).

O uso de organismos vivos permite que sejam verificadas a atividade fisiológica de substâncias nocivas, ocorrência de intoxicações crônicas de exposições prolongadas e pesquisas de áreas extensas em períodos prolongados (FELLENBERG, 1980; KLUMPP *et al.*, 2001).

Fanerógamas, musgos e líquens têm sido largamente empregados como método complementar de monitoramento da qualidade do ar e da presença de contaminantes na atmosfera (MA, 1999; PIGNATA *et al.*, 1999; SCERBO *et al.*, 1999).

Considerando-se que a biomassa vegetal recobre parcela significativa da superfície terrestre, os vegetais desempenham importante papel na persistência de contaminantes

químicos, os quais são assimilados pelas plantas superiores por translocação, a partir do solo, através das raízes e por assimilação de substâncias presentes na fase gasosa e deposições atmosféricas (OMASA *et al.*, 2000).

Os gases poluentes são absorvidos pelas plantas através dos estômatos, por difusão gasosa. Dissolvem-se no líquido interno, penetrando nas membranas celulares de acordo com o gradiente de concentração existente. O gás é metabolizado ou decomposto no interior das células. Alguns poluentes orgânicos são absorvidos pelas plantas e não são decompostos. Nessa situação, poderá ocorrer um equilíbrio com as concentrações ambientais, limitando a capacidade das folhas em absorver o poluente (OMASA *et al.*, 2000).

Vegetais possuem sistemas radiculares que possibilitam a obtenção de nutrientes do solo, permitindo a captação também de poluentes oriundos do mesmo, fato que pode interferir nos resultados de uma pesquisa por representar mais uma variável, uma vez que os poluentes fixados e acumulados podem ter origens de compartimentos diferentes do ecossistema, ou seja, do ar e do solo (OMASA *et al.*, 2000).

A categorização de plantas em grupos de sensíveis e tolerantes deve ser considerada em programas de pesquisa dessa área de conhecimento, visto que plantas sensíveis podem ser utilizadas como bioindicadores de reação e as tolerantes podem servir como bioindicadores de acumulação em ambientes urbanos e industriais (PIGNATA *et al.*, 1999).

O líquen é uma estrutura sem raízes e com cutícula ausente ou reduzida, dependendo principalmente da atmosfera para a obtenção de nutrientes, são capazes de viver em ampla área geográfica e, de acumular elementos minerais além de suas necessidades vitais. Estas características os tornam excelentes indicadores e monitores da qualidade do ar (GARTY *et al.*, 2003).

A pureza do ar é um fator importante à sobrevivência dos líquens, pois os mesmos possuem uma enorme capacidade de fixar e acumular elementos dispersos na atmosfera, notadamente o nitrogênio (NIEBOER, 1972; SEAWARD, 1977).

Os líquens são utilizados em ensaios de biomonitoramento basicamente em dois métodos distintos:

- a) método passivo, quando são utilizados indivíduos que já habitam a área de estudo;
- b) método ativo, quando líquens são introduzidos de forma controlada no local a ser investigado (DOMINGOS *et al.*, 1998; SILVA *et al.*, 2000; SUMITA *et al.*, 2003).

Vale ressaltar que a observação de respostas visuais nos líquens à ação de poluentes é uma técnica simples e pouco dispendiosa, mas por certo também subjetivas.

2.4 Poluentes e saúde humana

Dentre os diferentes tipos de poluição observados no ambiente, a contaminação do ar tem sido um dos temas de grande importância e relevância para o meio científico nas últimas décadas. Tendo em vista sua implicação negativa sobre a saúde humana, ecossistemas e bens construídos, caracterizando-se como um fator de importância na busca da implementação do desenvolvimento sustentável (BRAGA *et al.*, 2002; CAMPOS, 2002; SALDIVA, 1997; CETESB, 1999).

A avaliação dos problemas de contaminação do ar teve início nas áreas próximas de fontes industriais, passando pela avaliação de emissões nos grandes centros urbanos, e transporte entre regiões, até chegar à avaliação de contaminações em escala global, como os efeitos da poluição sobre a camada de ozônio na estratosfera, atualmente relacionada às alterações climáticas do planeta (CETESB, 1999).

A poluição do ar afeta todo o meio ambiente, incidindo negativamente sobre a flora, fauna e saúde humana. Os vegetais submetidos aos efeitos da poluição podem apresentar necrose de folhas, caule e frutos; diminuição ou ausência de crescimento; propensão a doenças e pragas; interrupção do processo reprodutivo, entre outros danos a sua morfologia e fisiologia (ALMEIDA, 1999).

O ser humano também pode ser agredido negativamente pela poluição, proporcionando alterações na homeostasia dos sistemas orgânicos.

A poluição atmosférica pode ter como causa um agente natural, ou ser provocada por ações antrópicas. As fontes naturais de poluentes atmosféricos são as emissões de gases provocadas por erupções vulcânicas, atividades de *geysers*, decomposição de animais e vegetais, formação de gás metano em pântanos, incêndios naturais em florestas, entre outras. A poluição antrópica possui como fonte os vários processos e ocupações industriais; queima de combustível para transporte; incineração de lixo; queimadas na agricultura; produtos voláteis; equipamentos de refrigeração e ar condicionado, e *sprays* (BOTKIN & KELLER, 2000).

As fontes emissoras de contaminantes atmosféricos são classificadas em estacionárias ou móveis. As principais fontes estacionárias estão ligadas a processos de combustão decorrentes da produção industrial, de usinas termelétricas ou da queima de resíduos sólidos, em serviços urbanos de tratamento de resíduos. Quanto às fontes móveis, são representadas, principalmente, pelos veículos automotores (CONAMA, 2004; CETESB, 2002).

Classicamente, os poluentes atmosféricos são divididos em duas categorias: poluentes primários, quando emitidos diretamente pelas fontes; e poluentes secundários, formados por reações químicas entre poluentes primários e outros constituintes da atmosfera (BRAGA *et al.*, 2002; CONAMA, 2004; CAMPOS, 2002).

A determinação sistemática da qualidade do ar deve limitar-se a um número restrito de contaminantes, definidos em função de sua importância e dos recursos materiais e humanos disponíveis, constituindo-se nos indicadores da qualidade do ar consagrados universalmente (CETESB, 2002).

No Brasil a qualidade do ar foi regulamentada pelo Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), através da resolução CONAMA nº 05/89. Uma outra resolução CONAMA nº 03/90 estabelece as concentrações máximas de poluentes no ar (padrão de emissão), que se excedidas, podem afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como causar danos à flora, fauna e aos materiais em geral.

Os Estados podem possuir legislações próprias a exemplo da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, apresenta uma das mais completas do país e estabelece os seguintes indicadores da qualidade do ar:

- a) partículas totais em suspensão (PTS): de composição variada, incluindo metais pesados. Material sólido ou líquido suspenso no ar na forma de poeira, neblina, aerosol, fumaça, fuligem, com dimensões inferiores a 100 µm. São produzidos por indústrias veículos, suspensão do solo e queimadas;
- b) material particulado ou partículas inaláveis (MP₁₀): material sólido ou líquido suspenso no ar na forma de poeira, neblina, aerosol, fumaça, fuligem, com dimensões inferiores a 10µm. São produzidos nos processos de combustão industriais e veiculares;
- c) dióxido de enxofre (SO₂): gás incolor, de odor forte. Precursor dos sulfatos e um dos principais componentes das partículas inaláveis (MP₁₀). É produzido na queima de óleo combustível, em refinarias de petróleo e indústrias de papel. É o principal responsável pelas doenças respiratórias provocadas por poluentes atmosféricos e pelo agravamento de doenças cardíacas;
- d) dióxido de nitrogênio (NO₂): gás marrom avermelhado, de odor forte e irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos e compostos orgânicos tóxicos. Produzido na combustão veicular, em processos industriais e de incineração. Em condições de temperaturas elevadas, favorece a ocorrência de infecções respiratórias e provoca danos à vegetação, em decorrência da formação da chuva ácida. Além do NO₂, outros óxidos de nitrogênio fazem parte do grupo genericamente chamado de NO_x, tais como: o óxido

nitroso (N_2O), que se destaca na ciclagem do nitrogênio, e o NO, que é tóxico e precursor do NO_2 ;

- e) monóxido de carbono (CO): gás incolor, inodoro, insípido, formado na combustão incompleta em veículos. Na presença de oxigênio molecular, forma o dióxido de carbono, que contribui com o “efeito estufa”, responsável pela elevação das temperaturas do planeta;
- f) ozônio (O_3): poluente secundário, formado por ação fotoquímica, a partir dos óxidos de nitrogênio. Gás incolor e inodor nas concentrações ambientais. Provoca irritação dos olhos e das vias respiratórias, além de causar danos a plantios e vegetação em geral (CETESB, 2002).

Outros contaminantes ainda são mencionados na literatura científica como modificadores importantes da qualidade do ar, entre os quais destacam-se:

- a) compostos orgânicos voláteis (VOCs) e hidrocarbonetos: formados a partir de eventos naturais, na decomposição e queima de matéria orgânica ou eventos antrópicos, na combustão incompleta de combustíveis fósseis, evaporação de solventes e de combustíveis armazenados;
- b) poluentes metálicos: chumbo (Pb) presente na gasolina, mercúrio (Hg) e aqueles desprendidos durante a queima de carvão mineral, ou em processos industriais envolvendo temperaturas elevadas;
- c) gás fluorídrico (HF) e demais fluoretos gasosos: são emitidos pelas indústrias de fertilizantes, na produção de alumínio e em refinarias de processamento de matérias-primas que contenham flúor, em altas temperaturas. São irritantes respiratórios e com ação de abscisão foliar sobre a vegetação (DERISIO, 2000; BRAGA *et al.*, 2002; BAIRD, 2002).

Ainda que uma das principais fontes de poluição atmosférica contemporânea sejam os combustíveis líquidos, não são os contaminantes primários emitidos diretamente na atmosfera pelos veículos automotores os que mais contribuem para a poluição atmosférica, mas sim os contaminantes secundários, resultando no *smog* fotoquímico como o ozônio e peroxiacetil nitratos – PAN (ANDREWS *et al.*, 1996; ALVES *et al.*, 2001; CAMPOS, 2002).

Em elevadas temperaturas, como durante o processo de combustão, o oxigênio do ar pode reagir com o nitrogênio molecular, formando o monóxido de nitrogênio (NO). A oxidação do NO dá-se pela reação com hidrocarbonetos voláteis (etileno, butano, etc.), formando o dióxido de nitrogênio (NO_2). Este gás, por sua vez, na presença de radiação ultravioleta com comprimento de onda menor que 310 microm., é dissociado em NO e

oxigênio molecular (O), tornando possível a formação do ozônio (O₃), contaminante secundário (ANDREWS *et al.*, 1996; CAMPOS, 2002).

As concentrações de NO, NO₂ e O₃ aumentam no início da manhã com pico no meio da tarde, estendendo-se até o início da noite. Já o NO₂ mantém concentrações pouco variáveis no decorrer do dia e, o NO apresenta-se com maiores concentrações no período da manhã (OLCESE & TOSELLI, 2002; CAMPOS, 2002).

Em cidades que possuem uma grande frota automotiva, é comum a ocorrência de uma espécie de névoa marrom, decorrente de altas concentrações de NO_x e de MP₁₀ na atmosfera. Em circunstâncias de muita névoa a formação do ozônio como contaminante secundário diminui, visto que ocorre uma menor incidência de luz solar (ANDREWS *et al.*, 1996; CAMPOS, 2002; OLCESSE & TOSELLI, 2002).

Nos períodos de inverno, quando as inversões térmicas são favorecidas pela chegada brusca de massas de ar frias, estas névoas com temperaturas mais elevadas ficam retidas nas altitudes mais baixas da atmosfera, piorando significativamente a qualidade do ar em áreas urbanas adensadas (CAMPOS, 2002; CETESB, 2002).

Outro problema grave enfrentado pelos países desenvolvidos, desde a metade do século passado, e mais recentemente nos países em desenvolvimento, é a presença de ácidos na composição de chuva, decorrentes de atividades antrópicas. Os ácidos sulfúricos (H₂SO₄), nítrico (HNO₃) e clorídrico (HCl) produzidos na queima de combustíveis fósseis, bem como aqueles com origem biogênica, formam aerossóis que atuam como núcleos de condensação de nuvens, o que interfere na composição da água das chuvas (ANDREWS *et al.*, 1996; CAMPOS, 2002).

Ainda segundo esses autores, a solubilidade desses ácidos com a água determina o seu tempo de residência na atmosfera, contribuindo em maior ou menor grau com a acidez da chuva:

- o HCl é bastante solúvel em água e, conseqüentemente, tem um curto período de residência na atmosfera, tornando-se importante na acidificação de chuvas próximas à fonte emissora;
- o NO₂ também é importante para as regiões mais distantes da fonte, pois o HNO₃ apresenta um tempo de residência de cinco a seis dias;
- o SO₂ é encontrado na composição das chuvas a centenas de quilômetros da fonte emissora.

A acidez da chuva pode levar à corrosão de metais e ao desgaste de materiais de construção; pode causar a lixiviação de cátions no solo e alterações nos processos fisiológicos

da planta pela lixiviação de nutrientes. Nos corpos d'água, podem acarretar na morte de peixes e na modificação dos ecossistemas aquáticos (ANDREWS *et al.*, 1996; CAMPOS, 2002).

Fluoretos gasosos, particularmente o HF, grupo de poluentes atmosféricos de elevada fitotoxicidade, provocam ações devastadoras sobre a vegetação natural dos países industrializados do hemisfério Norte.

Mais recentemente, devido à transferência dessas atividades poluentes para os países em desenvolvimento é à crescente industrialização neles observada, o mesmo problema tem acometido os países do terceiro mundo, a exemplo dos danos ocorridos à vegetação que recobria o trecho da Serra do Mar, situado na zona de influencia do Complexo Industrial de Cubatão, São Paulo, Brasil, a partir da época de sua implantação na década de 50 do século XX (KLUMPP *et al.*, 1996).

Os VOCs são encontrados em emissões geradas pela queima de carvão mineral e demais combustíveis fósseis, bem como em decorrência da evaporação de combustíveis líquidos em postos de abastecimento, nos centros urbanos. Merecem especial atenção porque, na presença de luz solar reagem quimicamente com NO_x, formando O₃ e outros componentes do *smog* fotoquímico (LODOVICI *et al.*, 1998).

A poluição por hidrocarbonetos ocorre quando combustíveis fósseis são queimados parcialmente, sendo eliminados pelo sistema de exaustão dos veículos, ou quando evaporam diretamente para a atmosfera, de reservatórios onde são armazenados. No grupo dos hidrocarbonetos encontram-se muitos compostos tóxicos que podem causar danos graves à saúde humana. Podem apresentar-se na forma de gases ou partículas de suspensão, emitidos por uma grande variedade de processos naturais e industriais, e principalmente, por veículos motorizados como carros, caminhões e ônibus (LODOVICI *et al.*, 1998).

A presença de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) na baixa atmosfera é um importante aspecto de poluição ambiental, já que muitos de seus componentes são mutagênicos e cancerígenos. Uma das mais importantes fontes desse poluente é o tráfego de veículos, principalmente nas grandes cidades. Já em cidades do hemisfério Norte, as maiores concentrações de PAHs ocorrem no período de inverno, em decorrência da queima de combustíveis fósseis e lenha, em sistemas de aquecimento domiciliares (LODOVICI *et al.*, 1998).

Os poluentes particulados, após sua inalação, podem se depositar nas vias áreas superiores e inferiores, dependendo do tamanho, peso, forma e velocidade de sedimentação. As partículas com diâmetro superior a 10µm ficam retidas no nariz e nas vias aéreas

superiores, enquanto as partículas de menor tamanho, com diâmetros inferiores a 0,1µm, ficam retidas nas vias aéreas inferiores e nos alvéolos (HARRISON, 1980).

Os problemas decorrentes da poluição atmosférica sobre a saúde humana têm sido considerados em estudos de saúde pública, saúde ambiental e toxicologia, apontando para efeitos que se manifestam principalmente por doenças crônicas, prejudicando a qualidade de vida das populações afetadas ou causando aumento de mortalidade em situações extremas (PEITER & TOBAR, 1998). Estima-se que a poluição do ar seja responsável por 800 mil mortes anuais, e que a exposição a poluentes no ambiente de trabalho é a oitava causa de mortalidade no mundo (JORNAL DO MEIO AMBIENTE, 2003).

No Canadá, em pesquisa realizada com aproximadamente 1200 usuários do Serviço Público de Saúde de Ontário, localizados nas proximidades de estações de Avaliação da Qualidade do Ar, foi verificado o aumento da procura por atendimento médico em ocasiões de acréscimo no nível de SO₂ presente no ar (PENGELLY, 1992).

No Brasil, pesquisadores do Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental (LPAE) da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP) relacionaram a ocorrência de concentrações elevadas de NO_x no ar, com a incidência de mortalidade infantil e material particulado e SO₂ (SALDIVA *et al.*, 1994).

Duchiade (1992) destaca três tipos principais de reação do sistema respiratório aos poluentes, por indivíduos humanos:

- a) efeitos agudos em pessoas saudáveis em episódios de *smog* ou de aumento súbito de poluição atmosférica;
- b) exacerbação de doenças pré-existentes em indivíduos vulneráveis, com cardiopatias e doenças respiratórias prévias;
- c) fenômeno de hipersensibilidade de origem imunológica ou hiperreatividade brônquica, por causarem danos reversíveis e problemas crônicos.

Muitas pesquisas analíticas têm demonstrado que na composição atmosférica de centros urbanos, particularmente nas áreas de intenso tráfego, estão presentes substâncias mutagênicas e carcinogênicas, incluindo compostos orgânicos como o benzeno, compostos inorgânicos contendo níquel, cromo e radionúcleos. O monitoramento da atmosfera urbana para micropoluentes genotóxicos, além dos poluentes convencionais, tem recebido crescente consideração, com o objetivo de avaliar riscos potenciais à saúde humana (MONARCA *et al.*, 1999).

Apesar de ser conhecido o efeito negativo da poluição do ar sobre a saúde humana, é difícil e onerosa a comprovação de conexão entre um certo poluente e uma doença. Esta

conexão pode ser verificada com base em dados sobre a poluição atmosférica e a incidência da doença em uma certa região (PEITER & TOBAR, 1998; WAPPELHORST *et al.*, 2000).

2.5 Legislações ambientais, acordos e tratados internacionais e nacionais sobre poluição atmosférica

O controle da qualidade do ar é tema de grande importância para os principais organismos internacionais e nacionais de saúde, que estabelecem normas, padrões e recomendações sobre o tema.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda limites máximos de concentração de alguns contaminantes presentes na atmosfera, como o SO₂, NO₂, CO e O₃, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Limites máximos de concentração de alguns contaminantes presentes na atmosfera recomendados pela Organização Mundial de Saúde – 1995.

Contaminantes	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tempo de amostragem (h)
Dióxido de enxofre (SO ₂)	125	24
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	200	1
Monóxido de carbono (CO)	10	8
Ozônio (O ₃)	120	8

Fonte: CETESB (2002).

Discussões internacionais geraram um tratado denominado de Protocolo de Kyoto, um acordo internacional que estabelece metas de redução de gases poluentes para os países industrializados. O protocolo foi finalizado em 1997, baseado nos princípios do Tratado da ONU sobre Mudanças Climáticas, de 1992. De acordo com as metas estabelecidas, países industrializados se comprometeram a reduzir, até 2012, as suas emissões de dióxido de carbono a níveis pelo menos 5% menores do que os que vigoravam em 1990. Os países da União Européia, por exemplo, têm de cortar as emissões em 8%, enquanto o Japão se comprometeu com uma redução de 5%. Alguns países que têm emissões baixas podem até aumentá-las (ÉPOCA, 2006).

O total de emissões de dióxido de carbono caiu 3% entre 1990 e 2000. No entanto, a queda aconteceu principalmente por causa do declínio econômico nas ex-repúblicas soviéticas que mascarou um aumento de 8% nas emissões entre os países ricos. A ONU afirma que os países industrializados estão fora da meta e prevê para 2010 um aumento de 10% em relação a 1990. Segundo a organização, apenas quatro países da União Européia têm chance de atingir as metas. Um fator que prejudicou o protocolo foi o fato dos Estados Unidos da América (EUA), nação mais industrializada e emissora de poluentes atmosféricos do mundo, não assinarem o acordo, se retirando das negociações em 2001, alegando que a sua implementação prejudicaria a economia do país (ÉPOCA, 2006).

Apesar dos transtornos e mesmo sem a assinatura dos EUA, o acordo entrou em vigor em 16 de fevereiro de 2005, sendo assinado por 141 nações, das quais apenas 30 países são industrializados e estão sujeitos às metas (ÉPOCA, 2006).

A legislação brasileira trata de forma ampla a problemática da poluição atmosférica, abordando desde padrões de qualidade do ar e de emissões veiculares e industriais, até processos de licenciamento e implantação de fontes estacionárias de emissão atmosférica.

O termo meio ambiente surgiu com a Lei 6.938/81 – Política Nacional do Meio Ambiente - que em seu artigo 3º o define como “*o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas*” (ROCCO, 2002).

A expressão meio ambiente tem um caráter redundante, já que meio é o ambiente onde se observa certo fenômeno. E ambiente é o lugar, sítio, recinto, espaço que envolve os seres vivos ou as coisas. Entretanto, a expressão meio ambiente consagrou-se na língua portuguesa, utilizada pela doutrina, lei e jurisprudência do país (PETERS & PIRES, 2002).

A Lei Federal nº 6.938/81 define as regras gerais para políticas ambientais, sistema de licenciamento e cria o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que tem a responsabilidade de estabelecer os padrões e métodos ambientais (MMA, 2006).

A resolução CONAMA nº 01 de 23 de janeiro de 1986 exige que na implantação de Distritos Industriais seja elaborado o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), de forma a avaliar os riscos decorrentes da implantação de empreendimentos potencialmente poluidores e as formas de minimizar ou compensar os danos ao meio ambiente e comunidades circunvizinhas (MMA, 2006).

Em 1989 foi instituído o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR) através da resolução CONAMA 05/89, estabelecendo estratégias e instrumentos

para estabelecer limites máximos de emissões, adotar padrões nacionais de qualidade do ar, além de atribuir competências aos Estados para o estabelecimento e implementação dos Programas Estaduais de Controle da Poluição do Ar, desde que em conformidade com o estabelecido no PRONAR (MMA, 2006).

De acordo com a resolução CONAMA nº 03/90, são considerados padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, se 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 (MMA, 2006).

Essa resolução define poluente atmosférico como sendo qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- a) impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- b) inconveniente ao bem-estar público;
- c) danoso aos materiais, à fauna e flora.
- d) prejudicial à segurança. ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Também no artigo 2º, a mesma resolução estabelece os conceitos de:

a) Padrões Primários de Qualidade do Ar: concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população.

b) Padrões Secundários de Qualidade do Ar: concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral.

Os valores numéricos dos padrões primários e secundários de qualidade do ar, bem como os métodos de medição, conforme estabelece a resolução CONAMA 03/90 estão listados na Tabela 2.

Seguindo os critérios do PRONAR, o Estado de São Paulo destaca-se por possuir legislações estaduais e programas de monitoramento e acompanhamento da qualidade do ar realizada através da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do estado de São Paulo (CETESB).

Tabela 2. Padrões primários e secundários da qualidade do ar e métodos de medição segundo resolução CONAMA n ° 03/90.

Parâmetros	Amostragem	Padrão	Padrão	Medição
		Primário	Secundário	
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 h [*]	240	150	Amostrador de grandes volumes
	mga ^{**}	80	60	
Material particulado (MP ₁₀)	24 h [*]	150	150	Separação Inércia/filtração
	maa ^{***}	50	50	
Fumaça	24 h [*]	150	100	Refletância
	maa ^{***}	60	40	
SO ₂	24 h [*]	365	100	Pararosanilina
	maa ^{***}	80	40	
NO ₂	1 h [*]	320	190	Quimiluminescência
	maa ^{***}	100	100	
CO	1 h	40.000	40.000	Infravermelho ao dispositivo
		35 ppm	35 ppm	
		10.000	10.000	
O ₃	8 h	9ppm	9ppm	Quimiluminescência
		160	160	

* não pode ser excedido mais de uma vez por ano

** media geométrica anual

*** media aritmética anual

Fonte BRASIL (1990).

O Estado de Pernambuco segue os critérios do PRONAR, possuindo ainda a lei n° 10.564 de 11 de janeiro de 1991 que trata de padrões de emissões veiculares. A Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos e Meio Ambiente (CPRH) ainda possui alguns monitores mecânicos na Região Metropolitana do Recife, mas são insuficientes para fazer um monitoramento efetivo da qualidade do ar em Pernambuco.

2.6 Complexo Industrial Portuário de Suape

O Estado de Pernambuco destaca-se por ter o segundo maior Pólo Industrial da Região Nordeste, perdendo apenas para o estado da Bahia. Pernambuco limita-se ao sul com os Estados de Alagoas e Bahia, a oeste com parte da Bahia e Piauí, ao norte com os Estados de Ceará e Paraíba e a leste com o oceano Atlântico, possuindo uma localização geográfica privilegiada.

Atualmente Pernambuco concentra vários pólos de desenvolvimento, como o Pólo Gesso do Araripe, localizado no município de Araripina, que conta com dezenove empresas produtoras de gesso e pré-moldados. Outro pólo de destaque é o de confecções, sendo composto pelas cidades de Caruaru, Santa Cruz do Capibaribe e Toritama, que juntas concentram dezenas de pequenas indústrias.

O grande destaque do Estado é o município do Cabo de Santo Agostinho, que é considerado o maior pólo industrial de Pernambuco. Esta cidade, juntamente com o município de Ipojuca, abriga o Complexo Industrial Portuário de Suape, que representa uma área de desenvolvimento e relevante interesse econômico; comporta atualmente mais de 70 empreendimentos diversificados, instalados ou em fase de implantação, gerando cerca de 5.500 empregos, com capacidade para, pelo menos, mais 100 empresas.

O Porto de Suape teve seu plano diretor desenvolvido entre 1973 e 1975, tendo como princípios: integrar uma extensa área para indústrias e serviços de apoio a um porto marítimo, com excelentes características naturais. A área idealizada para a instalação do porto foi selecionada devido a três características: possuir águas profundas junto à linha da costa (em torno de 17,0m a cerca de 1,2km do cordão de arrecifes); quebramar natural formado por cordão de arrecifes e extensas áreas reservadas à implantação de um parque industrial (SUAPE, 2006).

A desapropriação de cerca de 13.500 hectares de terras ocorreu em 1977, marcando o efetivo início das obras previstas dentro da concepção estabelecida no Plano Diretor do Complexo. Em 1978 foi criada a empresa Suape Complexo Industrial Portuário, com a finalidade de realizar atividades relacionadas com a implantação de complexo industrial-portuário (SUAPE, 2006).

O Decreto Estadual Nº 8.447/83 aprovou as Normas de Uso do Solo, Uso dos Serviços e de Preservação Ecológica do Complexo Industrial Portuário, de modo a garantir a ocupação

e uso racional do solo com o menor dano sobre a biodiversidade local, conforme previsto no seu Plano Diretor; desta forma o Complexo foi subdividido nas Zonas: Zona Industrial Portuária (ZIP), Zona de Processamento de Exportação (ZPE), Zona Industrial 3 (ZI-3), Zona Industrial 3A (ZI-3A), Zona Industrial 3B (ZI-3B), Zona Central Administrativa (ZCA), Zona de Preservação Ecológica (ZPEC), Zona Agrícola e Florestal (ZAF), Zona de Preservação Cultural (ZPC) e Zona Residencial 3D (ZR-3D) (SUAPE, 2006).

O início da operação do Porto de SUAPE ocorreu em abril de 1984, quando foi realizado o primeiro embarque de álcool, através do Pier de Granéis Líquidos (PGL), arrendado à Petrobras que intensificou suas operações em 1987. Já em 1991 entrou em operação o Cais de Múltiplos Usos (CMU), movimentando carga geral contêinerizada. Foram realizados, até o ano de 1991, investimentos públicos da ordem de R\$ 144 milhões nas seguintes áreas: infra-estrutura portuária, sistema viário interno (rodoviário e ferroviário), sistemas de abastecimento de água, de energia e de telecomunicações, centro administrativo e obras complementares (SUAPE, 2006).

Em 1999 concluiu-se a construção da primeira etapa do Porto Interno (935 m de cais), com profundidades de até 15,5 metros, onde indústrias e empresas de serviços portuários puderam investir em suas próprias instalações, ao longo das margens do canal interno. Já em 2001 iniciou-se a construção da segunda etapa do Porto Interno com a dragagem de mais 1 milhão e 300 mil m³ estendendo o canal de navegação em mais 450m, onde será construído o Cais 4 com 330m (SUAPE, 2006).

O Porto de Suape recebeu, em 2003, da “Food and Drug Administration” (FDA), vinculada ao governo norte-americano, um certificado internacional que atesta o obediência às medidas da lei contra o bioterrorismo, permitindo uma ampla repercussão internacional positiva para o porto (SUAPE, 2006).

No ano de 2004 foram assinados protocolos de intenções com a construtora Camargo Corrêa, para a instalação de um estaleiro no porto, e com o grupo argentino Arcor, líder mundial na fabricação de balas, para a instalação de um parque com quatro fábricas e uma central de distribuição. Outro destaque foi a inauguração da Emplal, umas das três maiores fabricantes de embalagens plásticas por termoformagem do país. Além disso, Suape captou três investimentos industriais ao firmar convênios com a PepsiCo, Refresco Guararapes (Coca-Cola) e Condor. Por último, foi assinado convênio com o grupo italiano M&G para a instalação de um parque fabril com quatro plantas (SUAPE, 2006).

No ano de 2005 foi lançada a pedra fundamental da Refinaria General José Ignacio Abreu e Lima. O empreendimento foi resultado de uma parceria entre a Petrobrás e a

Petróleos da Venezuela S.A. (PDVSA) e começará a ser construída em 2007 e terá capacidade de processar 200 mil barris de petróleo por dia. A refinaria exigirá um investimento de US\$ 2,5 bilhões e será responsável por gerar cerca de 10 mil empregos durante a sua construção e por abrigar 1,5 mil trabalhadores quando estiver concluída. A unidade será a única do país projetada para processar petróleo pesado. Além dessa grande conquista para o estado de Pernambuco foram inaugurados o Centro de Operações Portuárias (COP), que recebeu R\$ 1,4 milhão, e a duplicação e reforma da Avenida Portuária, na qual foram investidos R\$ 20 milhões. O COP foi criado para centralizar todos os órgãos de operações portuárias, facilitando os serviços e reduzindo o tempo de atracamento dos navios (SUAPE, 2006).

Atualmente a estrutura portuária de Suape opera nos 365 dias do ano, sem restrições de horário de marés e conta com um sistema de monitoração de atracação de navios a laser, que possibilita um controle efetivo e seguro, oferecendo condições técnicas e seguras nos padrões dos portos mais importantes do mundo. O Porto já movimentava mais de 5 milhões de toneladas de carga por ano, destacando-se, entre elas, os graneis líquidos (derivados de petróleo, produtos químicos, álcoois, óleos vegetais, entre outros) e a carga containerizada. O Porto pode atender a navios de até 170.000 tpb e calado operacional de 14,50m. Com 27km² de retroporto, seus portos externo e interno oferecem as condições necessárias para atendimento de navios de grande porte. O canal de acesso tem 5.000m de extensão, 300m de largura e 6,5m de profundidade. No total Suape conta com um Porto Externo, Porto Interno, Terminais de Graneis Líquidos, Cais de Múltiplos Usos, além de um Terminal de Contêineres (SUAPE, 2006).

Todas essas características fazem do porto de Suape um grande atrativo econômico internacional, além disso, é naturalmente favorecido por possuir uma localização geográfica privilegiada podendo tornar-se um centro concentrador de cargas na costa Atlântica da América do Sul (SUAPE, 2006).

O conceito porto/indústria atrai uma série de empresas pelas facilidades de escoamento da produção seja por via marítima, terrestre ou ferroviária, tendo em vista que Suape possui também rodovias e ferrovias próprias conectadas com malhas federais (SUAPE, 2006).

Por possuir uma diversidade de indústrias com diferentes emissores faz-se necessário um monitoramento da qualidade do ar da área, visando garantir a saúde humana dos trabalhadores de Suape e das pessoas que vivem nas áreas próximas (aproximadamente mais de 236 mil habitantes na soma das populações dos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca (IBGE, 2006)) e a viabilidade da Zona de Preservação Ecológica e Cultural (que

corresponde a 45% da área), considerando a importância de Suape para o desenvolvimento de Pernambuco, a área necessita estar em conformidade às exigências nacionais e internacionais, sobretudo relacionadas às questões ambientais.

Nenhum estudo de monitoramento mecânico da qualidade do ar foi realizado na área, até o presente momento, e o monitoramento biológico com líquens seria um trabalho pioneiro no local. Os dados seriam determinantes para implementação e desenvolvimento de futuros planos e programas de gestão ambiental da qualidade do ar em Suape. O estudo ainda serviria de parâmetro de qualidade do ar, tendo em vista que novos empreendimentos surgirão no futuro.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahti, T. Evolutionary trends in cladoniiform lichens. *Journ. Hattori Bot. Lab.* **1982**, v. 52, p. 331-341.

Ahti, T. Stereos, S.; Xavier-Filho, L. The lichen family Cladoniaceae in Paraíba, Pernambuco and Sergipe, northeast Brazil. *Tropical Biology*, **1993**, 7: 55-70.

Alexopoulos, C. J.; Mims, C. W. *Introductory Mycology*. New York, J. Wiley & Sons. 1979.

Alexopoulos, C. J.; Mims, C. W.; Blackwell, M. *Introductory Mycology*. New York, J. Wiley & Sons. 1996.

Almeida, I. T. A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo, 1999.

Alves, E. S.; Giusti, P. M.; Domingos, M.; Saldiva, P. H. N.; Guimarães, E. T.; Lobo, D. J. A. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição em área urbana. *Rev. Brasil. Bot.* 2001, 24(4): 567-576.

Andrews, J. E.; Brimblecombe, P.; Jickels, T. D. The atmosphere. In: *An introduction to environmental chemistry*. Oxford, 1996.

Baird, C. A. A química e a poluição do ar na troposfera. In: *Química Ambiental*, Porto Alegre, 2º ed. 2002.

Botkin, D. B.; Keller, E. A. *Environmental Science: earth as a living planet*. 3º ed. USA, 2000.

Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J. G. L.; Barros, M. T. L.; Veras Junior, M. S. O Meio Atmosférico. In: *Introdução a Engenharia Ambiental*. São Paulo, 2002.

Cáceres, M. E. S. Biomonitoramento ativo e passivo da qualidade do ar atmosférico na cidade do Recife-PE. *Monografia de Graduação*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.

Campos, M. L. de A. Introdução à química de ambientes aquáticos e da atmosfera. Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2002.

Carreras, H. A.; Pignata, M. L. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*. *Environmental Pollution*. 2001, 111: 45-52.

CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 2001. Secretaria de Meio Ambiente. São Paulo, 2002.

CETESB. Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo, 1998. Secretaria de Meio Ambiente. São Paulo, 1999.

CONAMA, <http://www.gov.br/port/CONAMA/index.cfm>, acessada em abril de 2004.

Culberson, C. F.; Culberson, W. L.; Johnson, A. *Second Supplement to Chemical e Botanical Guide of Lichen Products*. St. Louis, The American Bryological and Lichenological Society, Inc., 1977.

Derisio, J. C. *Introdução ao controle da poluição atmosférica*. São Paulo, Editora Signus, 2º ed. 2000.

Domingos, M.; Klumpp, A; Klumpp, G. Air pollution impact on the atlantic forest in the Cuabatão region, SP, Brazil. *Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*. 1998, 50(4): 230-236.

Durchiade, M. P. Poluição do ar e doenças respiratórias: uma revisão. *Cadernos de Saúde Pública*. **1992**, 8(3): 302-310.

Época, [http:// www.revistaepoca.globo.com](http://www.revistaepoca.globo.com) acessado em janeiro de 2006.

Feige, G. B.; Kremer, B. P. Flechten – Doppelwesen aus pilz und Alge: Vorkommen, Lebensweise, Bestimmung. *Kosmos*, Stuttgart. **1979**, 302: 1-72.

Fellenberg, G. Introdução aos problemas de poluição. São Paulo, Ed. Univ. de São Paulo, 1980.

Garty, J.; Toner, S.; Levin, T; Lehr, H. Lichens as biomonitors around a coal-fired power station in Israel. *Enviromental Research*. **2003**, 91: 186-198.

Garty, J.; Kloong, N.; Cohen, Y. Integrity of lichen cell membranes in relation to concentration of airplane elements. *Arch. Environ. Toxicol*. **1998**, 34: 136-144.

Hale-Jr., M. E. *The Biology of Lichens*. 3ed. London. Edward Arnold Pub. 1983.

Hammer, S. Notes on *Cladoniaceae* in New Zealand. *Bryologist*. **2003**, 106(3): 410-430.

Harrison *et al.* *Medicina Interna*. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1980.

Hawksworth, D. L. Litmus tests for ecosystem health: the potencial of bioindicator in the monitoring of biodiversity. In: Swaminathan, M. S. (eds.) *Biodiversity. Implications for global food security*. Madras: Macmillan India 1992 17: 184-204.

Hawksworth, D. L. The long-terms effects of air pollutants on lichen communities in Europe and North America. In: Woodwell, G.M. (ed.) *Patterns and processes of biotic impoverishment*. Cambridge University Press, Cambridge. 1990, pp. 45-64.

Hiatt, M. H. Leaves as an indicator exposure airborne volatile organic compounds. *Enviromental Science & Technology*. **1999**, 33: 4126-4133.

IBGE. [http:// www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) acessado em janeiro de 2006.

JORNAL DO MEIO AMBIENTE. [http:// www.jornaldomeioambiente.com.br](http://www.jornaldomeioambiente.com.br) acessado em janeiro de 2006.

Klumpp, A.; Ansel, W.; Klumpp, G.; Fomin, A. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede européia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). *Rev. Bras. Bot.* **2001**, 4: 511-518.

Klumpp, A.; Domingos, G.; Klumpp, G. Assessment of the vegetation risk by fluoride emissions from fertilizer industries at Cubatão, Brazil. *The Science of the Total Environment*. 1996, 192: 219-228.

Lawrey, J. D. Biological role of lichen substances. *Briology*, **1986**, 89(2): 268-275.

Lodovici, M.; Akpan, V.; Casalini, C.; Zappa, C.; Dolara, P. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in *Laurus nobilis* as a measure of air pollution in urban and rural sites of Tuscany. *Chemosphere*. **1998**, 36: 703-712.

Ma, T. H. The international program on plant bioassay and the report of the follow-up study after the hands-on workshop in China. *Mutation Research*. **1999**, 426: 103-106.

Markert, B. Plants as Biomonitors. Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment. Publishers. New York 1993.

MMA, <http://www.mma.gov.br> acessado em janeiro de 2006.

Monarca, S.; Feretti, D.; Zanardini, A.; Falistocco, E.; Nardi, G. Monitoring of Mutagens in urban air samples. *Mutation Research*. **1999**, 426: 189-192.

Mota-Filho, F. O.; Silva, N. H.; Andrade, L. H. C.; Martins, M. C. B.; Vasconcelos, T. L.; Oliveira, M. A. G. S.; Pereira, E. C. Efeito do estireno sobre o comportamento de *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. *Anais do VII Encontro do GLAL*. **2005**.

Mota-Filho, F. O.; Silva, N. H.; Andrade, L. H. C.; Pereira, E. C.; Vicente, C.; Legaz, M. E. Análise de pigmentos de plantas e líquens no Recife como parâmetro de avaliação da poluição ambiental. *Revista de Geografia*. **2003**, 20(2): 43-61.

Nash, T. H. *Lichen Biology*. Cambridge, USA, Cambridge University Press 1ed., 1996. 303p.

Nieboer, E.; Ahmed, H.M.; Puckett, K. J.; Richardson, D.H.S. The heavy metal content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury, Ontario. *Lichenologist*. **1972**, 5: 292- 304.

Nimis, P. L.; Lazzarin, G.; Lazzarin, N.; Skert, N. Biomonitoring of trace elements with lichen in Veveto (NE Italy). *The Science of the Total Environment*. **2000**, 255: 97-111.

Olcese, L. E.; Toselli, B. M. Some aspects of air pollution in Córdoba, Argentina. *Atmospheric environment*. 2002, 36: 299-309.

Omasa, K.; Tobe., K.; Hosomi. M.; Kobayashi, M. Absorption ozone and seven organic pollutants by *Populus nigra* and *Camelia sasanqua*. *Environmental Science & Technology*. **2000**, 34: 2498-2500.

Peiter, P.; Tobar, C. Poluição do ar e condições de vida: uma análise geográfica de riscos à saúde em Volta Redonda, Rio de Janeiro, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*. **1998**, 14(3): 473-485.

Pengelly, L. D. F. *Health effects of air pollution assed using Ontario Health survey data*. Institute of Environment and Health, McMaster University and University of Toronto, 1992.

Pereira, E. C. Produção de metabólitos pore especies de *Cladoniaceae* (líquen), a partir de imobilização celular. Tese de doutorado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 1998.

Peters, E. L.; Pires, P. T. L. *Manual de Direito Ambiental*. Curitiba: Juruá, **2002**.

Pignata, M. L.; Gudiño, G. L.; Cañas, M. S.; Orellana, L. Relationship between foliar chemical parameters measured in *Melia ozedarach* L. and environmental conditions in urban areas. *The Science of the Total Environment*. **1999**, 243: 85-96.

Pilegaard, K. Airborne metals and SO₂ monitored by epiphytic lichens in an industrial area. *Environ. Pollut*, **1978**, 17:81-91.

Purvis, O. W.; Chimonides, J.; Din, V.; Erotokritou, L.; Jeffries, T.; Jones, G. C.; Louwhoff, S.; Read, H.; Spiro, B. Which factors are responsible for the changing lichen floras of London? *The Science of the Total Environment*, **2003**. 310: 179-189.

Rocco, R. (org). Legislação Brasileira do meio ambiente. Rio de Janeiro: DP&A, 2002.

Rossback, M.; Jayasekera, K.; Kniewald, G.; Thang, N. H. Large scale air monitoring: lichen vs. air particulate matter analysis. *The Science of the Total Environment*. **1999**, 232: 59-66.

Rundel, P. W. The ecological role of secondary lichen metabolites. *Biol. System. Ecol.*, **1987**, 6: 157-170.

Saldiva, P. H. N. Efeitos da poluição atmosférica na saúde. Debatendo a poluição do ar. Secretaria de Meio Ambiente, 1997.

Saldiva, P. H. N. Lichtenfels, A. J.; Paiva, P. S.; Barone, I. A.; Martins, M.A.; Massad, E.; Pereira, J. C.; Xavier, V. P.; Singer, J. M.; Bohm, G. M. Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. *Environment Research*. **1994**, 65: 218-225.

Seaward, M.R.D.. *Lichen Ecology*. Academic Press, Inc. London. 1977.

Scerbo, R.; Possenti, L.; Ristori, T.; Barale, R. Lichen (*Xanthoria parietina*) biomonitoring of trace element contamination and air quality assessment in Livorno Province (Tuscany, Italy). *The Science of the Total Environment*. **1999**, 241: 91-106.

Silva, R. A. *Cladonia verticillaris* (Líquen), como biomonitor padrão da qualidade do ar no distrito de Jaboatão – PE. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

Silva, L. C. da; Azevedo, A. A.; Silva, E. A. M.; Oliva, M. A. Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura e o crescimento de plantas arbóreas. *Rev. Brasil. Bot.* **2000**, 23:383-391.

Suape, [http:// www.suape.pe.gov.br](http://www.suape.pe.gov.br) acessado em janeiro de 2006.

Sumita, N. M.; Mendes, M. E.; Macchione, M.; Guimarães, E. T.; Lichtenfels, A. J. F. C.; Lobo, D. J. A.; Saldiva, P. H. N. *Tradescantia pallida* cv. *purpurea* Boom in the characterization of air pollution by accumulation of trace elements. *Journal of the Air & Waste Management Association*. **2003**, 53: 574-579.

Thomson, J. W. *The Lichen Genus Cladonia In North America*, University of Toronto Press. 1967.

Vicente, C.; Ruiz, J. L.; Estévez, M. P. Mobilization of usnic acid in *Evernia prunastri* under critical conditions of nutrient availability. *Phyton*. **1980**, 39, p. 15-20.

Wapperlhorst, O.; Kühn, I.; Oehlmann, J.; Markert, B.; Deposition and disease: a moss monitoring project as an approach to ascertaining potential connections. *The Science of the Total Environment*. **2000**, 249: 243-256.

Wolterbeek, H. Th.; Verburg. T. G.; Herpin, U.; Thoni, L. Moss interspecies comparisons in trace element concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment*. **1995**, 35: 263-286.

Xavier-Filho, L. Inibição fotooxidativa de β caroteno por cloroatranorina de *Parmelia tinctorum* Nil. 91 f. Tese para Professor Titular, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 1989.

Xavier-Filho, L.; Rizinni, C. T. *Manual de Liquenologia Brasileiro*. Universidade Federal de Pernambuco. 1976.

Xiao, Z.; Sommar, J. Lindquist, O.; Giouleka, E. Atmospheric mercury deposition to grass in southern Sweden. *The Science of the Total Environment*. **1998**, 213: 85-94.

**USO DE *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. (LÍQUEN) COMO BIOMONITOR DA
QUALIDADE DO AR NO COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE - PE**

(manuscrito a ser enviado a revista Química Nova)

USO DE *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. (LÍQUEN) COMO BIOMONITOR DA QUALIDADE DO AR NO COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE - PE

Fábio Marcondes Ribeiro Freitas¹
Fernando de Oliveira Mota Filho²
Nicácio Henrique da Silva³
Eugênia C. Pereira²

Resumo

USO DE *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. (LÍQUEN) COMO BIOMONITOR DA QUALIDADE DO AR NO COMPLEXO INDUSTRIAL PORTUÁRIO DE SUAPE - PE

Cladonia verticillaris (Raddi) Fr., foi utilizada como biomonitor da qualidade do ar no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). A partir de ensaios fisiológicos e morfológicos em amostras submetidas ao ambiente por doze meses, foi possível identificar os pontos mais intensamente poluídos, pela baixa produção de metabólitos e danos à estrutura externa do líquen.

Palavras-chave: ***Cladonia verticillaris*, biomonitor, poluição atmosférica, ácido fumarprotocetrárico.**

Abstract

USE OF *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. (LICHEN) AS BIOMONITOR OF THE QUALITY OF AIR IN THE SUAPE PORT /INDUSTRY COMPLEX (PE)

Cladonia verticillaris (Raddi) Fr. was used as biomonitor of air quality in Suape Port /Industry Complex (PE, Brazil). From physiologic and morphological, assays samples placed on environmental conditions for 12 months revealed the most intensively polluted sites, through low metabolite production.

Keywords: *Cladonia verticillaris*, biomonitor, air pollution, fumarprotocetraric acid

1

¹ Depto. de Botânica, CCB, UFPE

² Depto. de Ciências Geográficas, CFCH, UFPE

³ Depto. de Bioquímica, CCB, UFPE

* e-mail: fabiologia19@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Os líquens possuem distribuição cosmopolita, sendo encontrados em todas as regiões do mundo e, geralmente, em áreas submetidas a condições climáticas severas. Mesmo com a capacidade de sobreviverem nos mais diferentes ambientes eles são muito sensíveis à poluição do ar atmosférico¹. São utilizados como biomonitores porque, diferentemente dos vegetais superiores, não dependem de um sistema radicular para absorção de nutrientes, possuem cutícula reduzida ou, em geral, ausente e, incorporam com facilidade altos níveis de poluentes².

A pureza do ar é fator crucial à sobrevivência dos líquens, já que estes se alimentam higroscopicamente, fixando elementos nele presentes, inclusive íons metálicos e elementos radioativos^{3,4}.

Considerando a diversidade de ocorrência de fontes de emissões atmosféricas, por meio de fluxos veiculares, processos de urbanização, instalação de distritos industriais, etc., a poluição atmosférica torna-se assunto de ampla discussão na atualidade, pois suas conseqüências são diversas, ocasionando alterações climáticas, problemas ambientais, danos à fauna, flora e à saúde humana.

Os centros urbanos e industriais são ambientes passíveis de contaminação por gases e metais. Existem vários relatos no mundo inteiro descrevendo inúmeros problemas de saúde decorrentes da poluição atmosférica, sobretudo aqueles localizados próximos a pólos de desenvolvimento industrial; é evidente o grande número de ocorrências de problemas respiratórios, e outras doenças correlacionadas à poluição, além de danos e desgastes à materiais, o que acarreta alto custo de manutenção de obras e monumentos.

Por isso, uma avaliação de contaminantes presentes no ar permite o planejamento e a execução de ações, de forma a minimizar os problemas de impacto ecológico e humano e suas conseqüências, sendo necessário um acompanhamento contínuo da qualidade atmosférica. As avaliações realizadas através de monitores mecânicos são muitas vezes inviáveis, face aos custos elevados que impossibilitam a instalação desses equipamentos em vários pontos. Já os biomonitores apresentam vantagens como: baixo custo de instalação e acompanhamento; ausência, em geral, de aparelhagem sofisticada de medição; eficiência no monitoramento de áreas amplas e períodos longos e, viabilidade de se avaliar elementos químicos presentes em baixas concentrações no ambiente em estudo^{5,6,7}.

Os métodos aplicados para estudo dos efeitos da poluição atmosférica em líquens têm sido, principalmente, fitosociológicos e ecofisiológicos. Com eles é possível relacionar a

presença ou ausência de espécies, frequência de ocorrência, percentual de cobertura, danos externos e internos, que variam com o grau de poluição da área em estudo⁸. O transplante de espécies líquênicas de áreas rurais despoluídas para regiões onde haja um nível de poluição mais elevado é um método ecofisiológico de estudo denominado de monitoramento ativo, por utilizar espécies que não são nativas da região em estudo^{7,8,9,10}. O biomonitoramento ativo vem sendo utilizado em diversos países e no NE do Brasil. O líquen *Cladonia verticillaris* é considerado altamente eficiente para o monitoramento atmosférico por responder de forma satisfatória a vários tipos de ensaios^{10,11}.

O Estado de Pernambuco destaca-se pelo seu potencial industrial, sendo o segundo maior pólo industrial do nordeste. Em particular, o Complexo Industrial Portuário de Suape, localizado nos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, revela-se como uma área promissora para grandes investimentos e práticas industriais por possuir características especiais em termos de ampla disponibilidade de terreno, alternativas de escoamento da produção via marítima, rodoviária e ferroviária, tecnologia para atracamento de navios, embarque e desembarque de cargas, estando também em conformidade com exigências a padrões internacionais de segurança, é ainda, naturalmente favorecido pela localização geográfica privilegiada podendo tornar-se um centro concentrador de cargas na costa Atlântica da América do Sul, tornando-o um grande atrativo econômico internacional. A área possui mais de 70 empreendimentos instalados ou em fase de implantação e desses, pelo menos 15 empresas são consideradas fontes de emissões fixas de poluentes porém a área ainda carece de estudos de monitoramento, sejam através de recursos mecânicos ou biológicos.

Devido ao potencial de Suape para o desenvolvimento de Pernambuco, à falta de monitoramento atmosférico da área e sendo o biomonitoramento ativo de poluentes atmosféricos uma técnica já fundamentada, o objetivo deste trabalho foi a avaliação da qualidade do ar, usando *Cladonia verticillaris* como biomonitor, a partir do comportamento fisiológico de indivíduos dessa espécie exposta ao ambiente, bem como os danos à superfície externa do talo líquênico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O Complexo Industrial Portuário de Suape está localizado na Região Metropolitana do Recife – PE, nos municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, 40km ao sul da capital

pernambucana (Figura 1). Abrange uma área de 135 km², sendo dividido em quatro zonas principais: Portuária, Administrativa, Industrial e de Preservação Ecológica e Cultural.

Possui 31km de ferrovia interna conectada à Companhia Ferroviária do Nordeste (CFN) e 41km de rodovias próprias, tendo ligação com as BR – 101 e BR – 232.

O Porto possui uma localização estratégica em relação as principais rotas marítimas de navegação, servindo de conexão entre os principais centros portuários do mundo. Além disso, possui águas profundas, podendo receber navios de até 170.000 toneladas de porte bruto e calado operacional de 14,5 m. O canal de acesso possui 5.000m de extensão, 300m de largura e 16,5m de extensão.

A estrutura do Porto/Industria ainda oferece água, energia abundante, apoio logístico e condições para exportação da produção, características importantes para atrair empresas e novos investimentos.

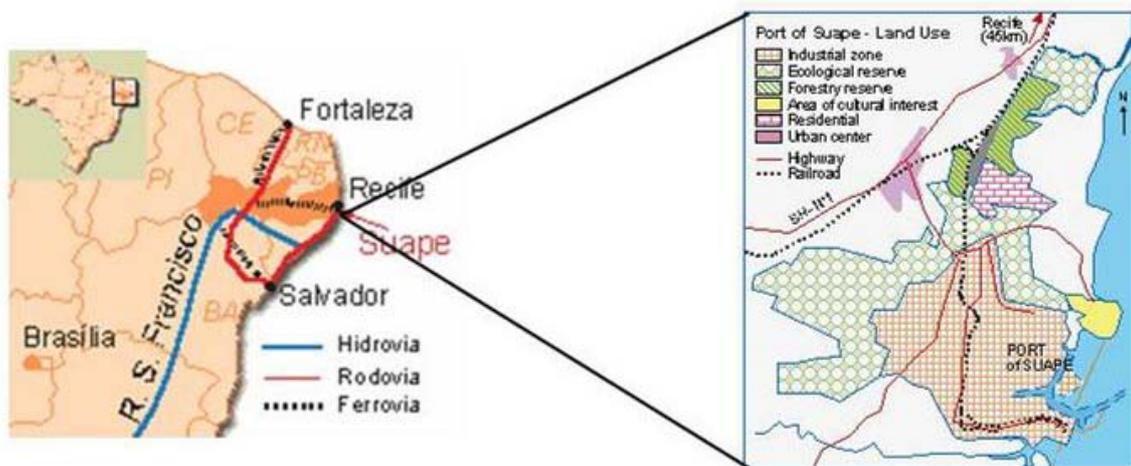


Figura 1. Mapa do Complexo Industrial Portuário de Suape com indicação de sua localização na costa de Pernambuco. Fonte: Suape (2006).

Coleta e armazenamento do biomonitor

Foi utilizado como monitor o líquen *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr., adotando-se a técnica do monitoramento ativo. Tufos liquênicos de tabuleiros costeiros arenosos, situados em Alhandra, Estado da Paraíba, foram coletados em sacos de papel e mantidos à temperatura ambiente ($28^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$) até a montagem dos experimentos. Parte do material foi separado e identificado, segundo características morfológicas e químicas do talo por E. C. Pereira. Amostras deste material encontram-se depositadas no Herbário UFP do Dept^o de Botânica da Universidade Federal de Pernambuco, voucher 42.220.

Montagem do experimento

Os líquens foram acondicionados em recipientes plásticos, contendo solo de sua área de ocorrência como substrato (Figura 2).



Figura 2: Amostras de *C. verticillaris* acondicionadas em recipientes plásticos, contendo seu substrato natural de sua área de ocorrência.

Os experimentos foram cobertos com uma rede de náilon para evitar a perda de material por deslocamento aéreo e, colocados em sete pontos no Complexo Portuário de Suape, levando em consideração a direção predominante dos ventos (SE/NW). Foram selecionados para biomonitoramento os seguintes pontos (Figura 3):

PC1 – localizado em frente à indústria Pamesa (processadora de cerâmicas e porcelanatos);

PC3 – localizado na área portuária nas proximidades do pólo de combustíveis;

Bonesa (empreendimento atualmente parado que processará borracha para pneus);

Emplal – (empresa fabricante de embalagens plásticas),

Viveiro - (área produtora de mudas para replantio, localizada próxima à indústria Pamesa);

COMPESA - (localizada na área administrativa do complexo);

Coca-Cola - (localizada na zona industrial).

Os experimentos permaneceram expostos por um período de 12 meses, procedendo-se coletas a cada dois meses, para posterior análise fisiológica e de morfologia externa, sendo instalado em dezembro de 2004.

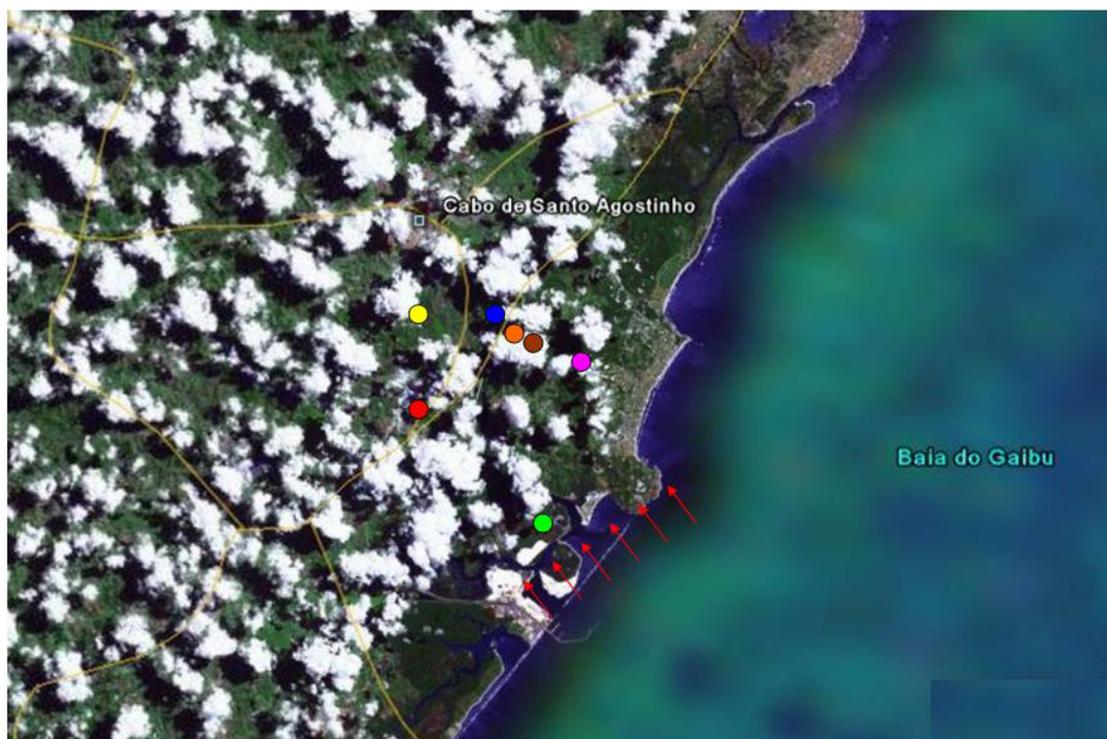


Figura 3. Imagem de satélite do Complexo Industrial Portuário com a localização dos pontos de estudo e indicação da direção predominante dos ventos (Alísios de SE). Legenda: PC1 (ponto marrom), PC3 (ponto verde), Bonesa (ponto azul), Emplal (ponto rosa), Viveiro (ponto laranja), COMPESA (ponto vermelho), Coca-Cola (ponto amarelo) e Ventos Alísios de SE (setas em vermelho). Fonte: Google Earth (2006).

Análise de pigmentos

A análise de pigmentos foi realizada com os talos liquênicos submetidos ao ambiente de Suape, e material controle. Foram colocados 200 mg do talo fresco triturado em 10 mL de acetona a 80%, mantidos no escuro por 48 horas. Após filtração os pigmentos foram quantificados em espectrofotômetro com leituras a 666 nm, 663 nm, 645 nm e 536 nm. A partir desses dados de leitura foram aplicadas as seguintes fórmulas para o cálculo dos teores de clorofilas **a** e **b**¹² e feofitinas **a** e **b**¹³.

$$\text{Clorofila a: } 12,7 \times \Delta 663 - 2,69 \times \Delta 645$$

$$\text{Clorofila b: } 22,9 \times \Delta 645 - 4,80 \times \Delta 663$$

$$\text{Feofitina a: } 21,67 \times \Delta 666 - 17,42 \times \Delta 536$$

$$\text{Feofitina b: } 31,90 \times \Delta 536 - 13,40 \times \Delta 666$$

Cromatografia em camada delgada (CCD)

Amostras de *C. verticillaris* controle e as submetidas ao ambiente, foram extraídas por sistema de esgotamento, submergindo o talo durante 24h utilizando sucessivamente os solventes: éter etílico, clorofórmio e acetona. Os extratos foram reunidos e evaporados à temperatura ambiente (28 ± 3 °C). Posteriormente os extratos obtidos foram aplicados em cromatoplasas de sílica gel Merck F₂₅₄ + 366 juntamente com padrões de atranorina (ATR) e de ácido fumarprotocetrárico (FUM), sendo desenvolvidas posteriormente em sistema unidimensional de solventes B (hexano / éter / ácido fórmico, 130:80:20, v/v)¹⁴. Após evaporação dos solventes, as placas foram reveladas sob luz UV curta e longa, posteriormente borrifadas com H₂SO₄ a 10%, e aquecidas a 100 °C por 30 min, para reação de coloração de bandas.

Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

Os mesmos extratos e padrões utilizados para os ensaios de CCD foram dissolvidos em éter. Soluções com concentrações de 1mg/mL (extratos) e 0,1mg/mL (padrões), foram injetadas em cromatógrafo líquido Hitachi, acoplado a detector de ultravioleta a 254nm. Os cromatogramas foram interpretados segundo tempo de retenção das substâncias na coluna e da área do pico, que determina a concentração de cada substância no extrato em comparação com os padrões dos ácidos fumarprotocetrárico (FUM), protocetrárico (PRO) e atranorina (ATR).

Análise em lupa estereoscópica

Observações com o auxílio de estereoscópio (lupa) foram realizadas no líquen coletado no momento em que foi retirado do campo e em cada amostra submetida ao ambiente após 12 meses de experimento. Foi verificada a morfologia externa do talo liquênico com a finalidade de observar danos e alterações estruturais e de coloração, visíveis macroscopicamente.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para a análise da estrutura externa, amostras de *C. verticillaris* controle e as submetidas durante doze meses ao ambiente foram montadas em suporte metálico, com o auxílio de fita adesiva dupla face de carbono, que também tem a finalidade de ajudar a atrair elétrons. Posteriormente foram submetidas à metalização, durante 90 segundos no metalizador

fine coat íon sputter JFC – 1100, a vácuo para retirada do ar e, conseqüentemente, da umidade. O material resultante, recoberto por uma camada de ouro de cerca de 20nm, foi observado em microscópio eletrônico de varredura (Marca Jeol, 5600-LV) com a finalidade de observar detalhadamente o grau de conservação do talo liquênico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de pigmentos

Após a análise de pigmentos foram constatados problemas relacionados à poluição, pois em todos os pontos de coleta foi observada uma maior produção de feofitinas, que sendo um produto de degradação da clorofila revela que o líquen passou por problemas desde as etapas químicas iniciais, afetando a produção dos compostos da fotossíntese que são transmitidas ao fungo para a síntese das substâncias liquênicas (Figura 4).

Em geral os pontos revelaram sempre uma proporção menor de clorofilas totais (clorofila a e b) quando comparadas com as feofitinas totais (feofitinas a e b) com exceção do ponto Emplal que revelou sempre valores de clorofilas maiores que os de feofitinas.

É possível que a condição de preservação e metabolismo adequado de *C. verticillaris* se deva a Emplal ser uma indústria que não emite contaminantes por via aérea, pois apenas transforma laminados rígidos de PET, confeccionando embalagens diversas. Por sua posição na área de Suape, atualmente não recebe influência de outra indústria poluente, quando observado a direção predominante dos ventos. É possível que, em futuro próximo, esta área seja de alto nível de poluentes, sobretudo materiais particulados, pois está sendo instalada uma fábrica processadora de cimento em terreno próximo.

Situação semelhante pode ser observada nas amostras colocadas no ponto COMPESA, que é apenas uma ETA (estação de tratamento de água) e provavelmente não recebe poluentes por influência dos ventos dominantes. Ainda assim apresentou valores de feofitinas maiores do que os de clorofila nas últimas três amostras.

Em PC3 há a influência de contaminantes do tipo hidrocarbonetos, visto que nas proximidades deste ponto está localizado o pólo de combustíveis, inclusive com estação de gás natural, além de uma termoeletrica. Esses produtos interferiram na produção de pigmentos fotossintéticos de *C. verticillaris* lá colocadas. Nesse ponto não foi possível realizar a última coleta devido ao desaparecimento do recipiente que continha o biomonitor, sendo feita a análise até a quinta coleta.

Os pontos Viveiro, Bonesa e PC1 apresentaram líquens com altos teores de feofitinas, indicando a presença de contaminantes atmosféricos. A Bonesa não está operando, funcionando apenas como área de estocagem de materiais para outras indústrias, estocando principalmente açúcar e o Viveiro é um local para germinação e manutenção de mudas destinadas a reflorestamento. Nesse caso, é possível atribuir a poluição a uma indústria de cerâmica que fica nas proximidades, podendo ter seus poluentes atmosféricos, sobretudo fluoretos resultantes da queima do esmalte, além de outros originados na queima de combustíveis para aquecimento dos fornos, carregados para esses pontos sob influência dos ventos.

O ponto Coca-cola também apresentou amostras com elevados teores de feofitinas, o que permite concluir que a área está sendo afetada por poluentes de outras áreas, visto que o ponto localiza-se em indústria não emissora de gases tóxicos, estando situada no pólo de bebidas, juntamente com indústrias do mesmo perfil.

Pesquisa semelhante realizada no município do Cabo de Santo Agostinho, uma das cidades na qual Suape está instalada, também revelou a presença de valores altos de feofitinas, sendo ratificada pelo presente estudo que pode inclusive indicar possibilidades dos poluentes de Suape serem carregados até a cidade¹¹, provocando efeitos similares a partir das comparações dos gráficos.

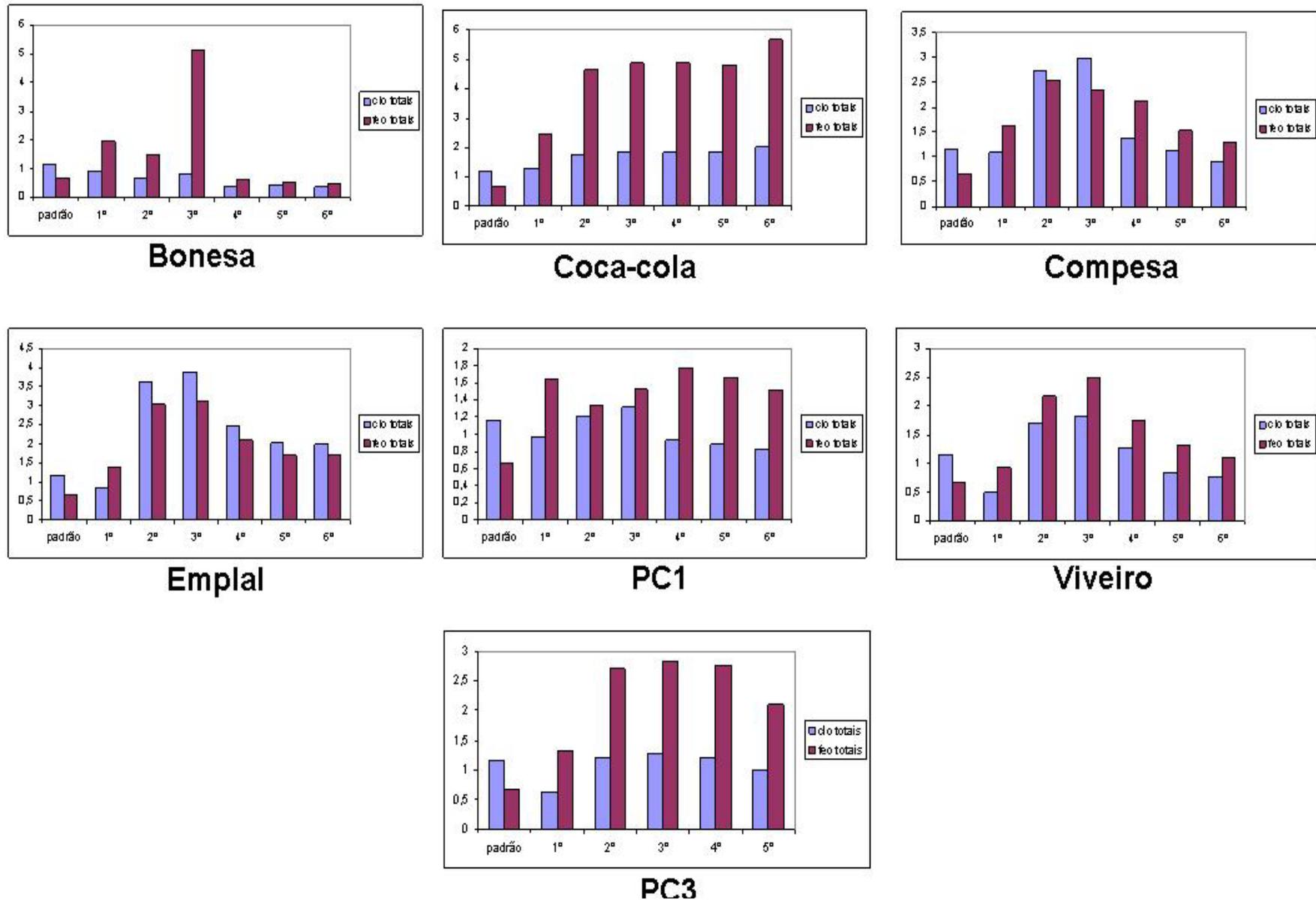


Figura 4. Teores de clorofilas e feofitinas totais das amostras de *Cladonia verticillaris* submetidas ao ambiente por 12 meses no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).

Legenda: Teores de clorofilas totais (colunas em azul) e teores de feofitinas totais (colunas em marrom)

Cromatografia em camada delgada (CCD)

As análises por CCD revelaram que as amostras controle sintetizaram o ácido fumarprotocetrárico (FUM) e vestígio de atranorina. Entretanto, as amostras submetidas à ação dos poluentes, revelaram bandas mal definidas dessas substâncias, sugerindo uma produção inadequada (Figura 5). A presença de substâncias intermediárias do metabolismo do FUM pode ser explicada pelo bloqueio que os contaminantes provocam durante a biossíntese dos fenóis liquênicos, interferindo nas reações enzimáticas^{10,15,16}.

As alterações podem ser explicadas pela ação dos poluentes que, ao penetrarem na célula, podem destruir os cloroplastos e/ou as clorofilas, interferindo na fotossíntese, onde ocorre a síntese dos carboidratos pelo fotobionte, que serão repassados ao micobionte para biossíntese das substâncias liquênicas¹⁰.

O ponto Emplal apresentou acúmulo de metabólitos intermediários da biossíntese do FUM, ou o produto de degradação. No entanto, a produção do FUM indica que esta área não é das mais poluídas de Suape. Uma alta produtividade do FUM na terceira coleta pode ser refletida pela lavagem do talo liquênico, visto que nesse período a pluviosidade foi alta, o que possibilita a limpeza do talo e aumento da umidade/teor hídrico, o que melhor viabiliza o funcionamento da espécie¹⁰. O acúmulo da ATR nos meses subsequentes, com menor pluviosidade, indica que a biossíntese do FUM não se completa, havendo a produção de compostos de síntese anterior¹⁰. Dados semelhantes são reportados para biomonitoramento em área industrial urbana¹⁰, zonas de beneficiamento do calcário¹⁷ e do chumbo para produção de baterias¹⁸.

A observação do setor referente ao ponto Bonesa permitiu sugerir que este local é bastante afetado por poluentes, pois a produtividade do FUM foi diminuída em todas as amostras coletadas nos diferentes meses. A ATR manteve uma produtividade regular na segunda e terceira coletas.

De acordo com o cromatograma apresentado no ponto Viveiro, a área revela ser uma das mais poluídas, pois a produção do FUM foi totalmente afetada e a produção de ATR manteve-se estável apenas nas duas primeiras coletas.

O setor denominado PC1 revelou semelhança a área do Viveiro, por destacar a não produtividade do FUM em nenhuma das amostras coletadas, apresentando modificações fisiológicas durante todo o ano de coleta. A similaridade pode ser explicada pela proximidade desses dois pontos, oportunizando praticamente a recepção das mesmas cargas poluidoras, evidenciando altos níveis de poluição na área.

Os dados de biossíntese de fenóis em *C. verticillaris* corroboram a perda de eficiência fotossintética indicada pela diminuição de clorofila e aumento dos teores de feofitina nos pontos Bonesa, Viveiro e PC1, que como referido, estão sob influência de contaminação por fluoreto e possivelmente SO₂.

No ponto Coca-Cola observou-se alterações na produção do FUM e acúmulo de ATR durante todo o experimento, permitindo novamente avaliar a possibilidade da área estar sofrendo influência de poluentes gerados no Complexo Industrial Portuário e dispersos pela ação dos ventos.

A qualidade do ar da área correspondente ao ponto COMPESA foi considerada boa por apresentar poucos produtos de degradação, apresentando sobretudo no primeiro semestre uma boa conservação na produção do FUM. O fato deste ponto estar localizado em área não industrial, fazendo parte da Zona de Administração de Suape, explica o bom desempenho fisiológico do líquen.

Foi observado no ponto PC3 a geração de metabólitos degradados oriundos das alterações das vias normais de biossíntese do FUM e acúmulo da ATR em todas as coletas realizadas, evidenciando alguma forma de poluição na área.

Resultados similares de pesquisas realizadas em outras áreas industriais confirmam a reação de *C. verticillaris* aos mais diversos poluentes, ocasionando danos a sua fisiologia. Estudo utilizando este mesmo líquen para biomonitoramento, em área de influência sob indústria petroquímica, inclusive localizada próxima a Suape, revelou, através de CCD, a degradação das substâncias liquênicas presentes no talo em resposta a dispersão de compostos voláteis dos produtos na área industrial¹⁹.

Outro estudo realizado no município de Vertente do Lério, localizado no Agreste Pernambucano, comprovou a resposta de *C. verticillaris* através de pesquisa de biomonitoramento em áreas de minas e indústrias de calcário, revelando alterações fisiológicas em termos de produção de fenóis liquênicos devido a poluição por material particulado¹⁷.

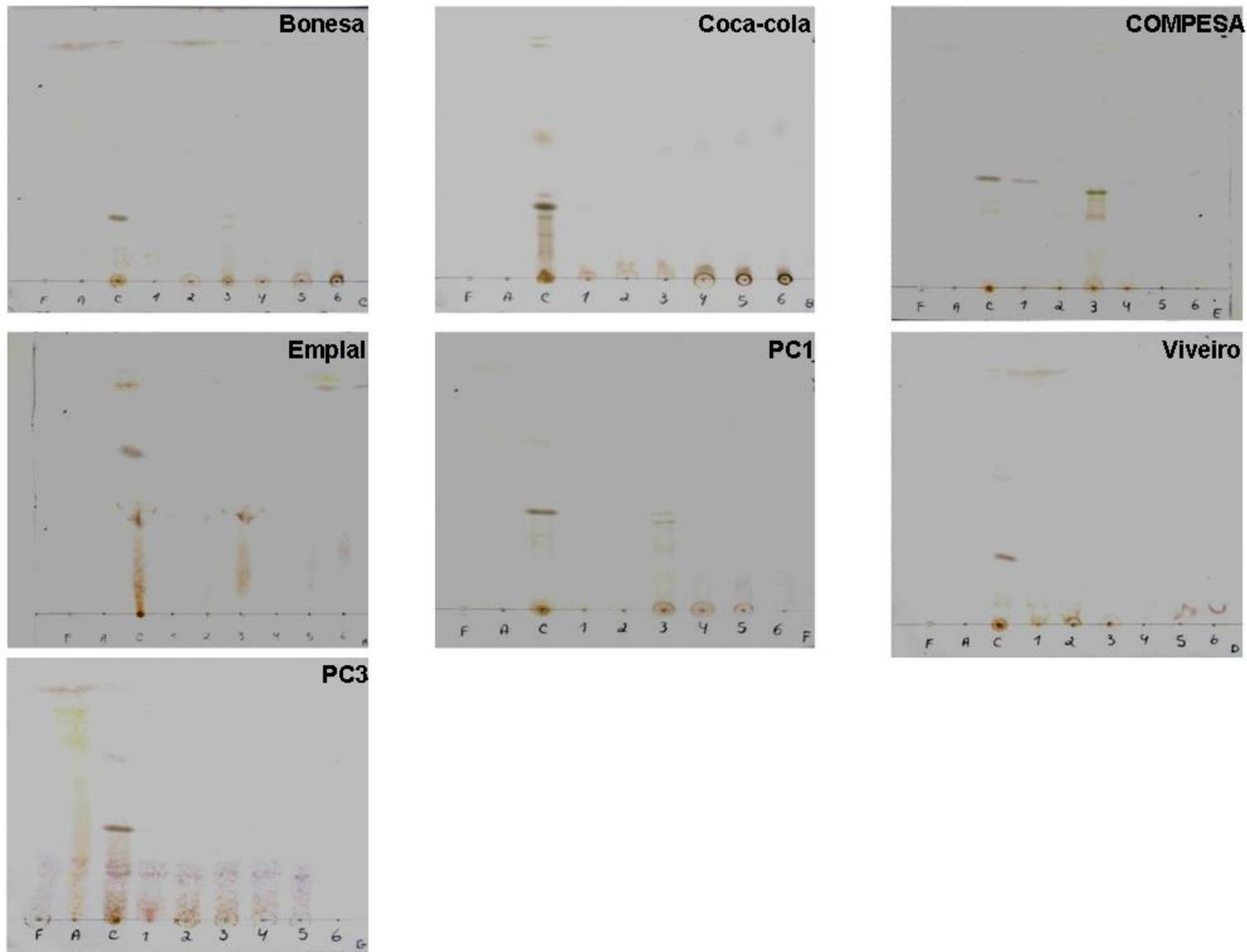


Figura 5. Cromatogramas em camada delgada de extratos orgânicos de *Cladonia verticillaris* submetida por 12 meses ao ambiente do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).

Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

A CLAE vislumbra o comportamento fisiológico do líquen, visto que indica os produtos sintetizados durante todo o tempo de exposição ao ambiente e seu teor no extrato.

Na figura 6 observam-se os perfis cromatográficos do material controle, processado no momento de coleta em seu ambiente natural e os padrões de FUM, PRO e ATR. Estes indicam o tempo de retenção (TR) dessas substâncias na coluna do cromatógrafo, e o controle revela o perfil de uma amostra que não sofreu influência de contaminantes da área de estudo, apenas podendo revelar as condições climáticas particulares do local de origem. Nela, observa-se que *C. verticillaris* produziu altos teores de FUM.

Esta espécie é reconhecida como produtora do FUM, podendo produzir em menor teor o PRO e ocasionalmente traços de ATR.²¹ Sabe-se que poluentes impedem o funcionamento adequado do líquen e, no caso de *C. verticillaris*, o indicativo de seu prejuízo metabólico é refletido no decréscimo de produção do FUM, por bloqueio de sua biossíntese. Com isto, os produtos intermediários, como o ácido hipoprotocetrárico (HYP) e seu aldeído, bem como a ATR, começam a acumular no talo^{10,18,22}.

Na figura 7 observam-se cromatogramas referentes aos extratos orgânicos de *C. verticillaris* após 12 meses de exposição ao ambiente em Suape.

As amostras dos pontos Bonesa e PC1 praticamente não produziram traços do FUM, não havendo produção alguma no ponto Viveiro, sendo considerado então o mais crítico de todos. Para que o ácido fumaprotocetrárico seja elaborado, há necessidade do acoplamento de uma porção fumarato ao ácido protocetrárico, que depende da reação de condensação oxidativa. A continuidade da exposição levou à perda de produtividade do talo liquênico, visto que o teor de FUM detectado foi nos dois primeiros pontos inferior 0,05% de 1mg do extrato.

No ponto COMPESA observa-se uma boa produtividade do FUM, acima dos 50%, confirmando um índice positivo de qualidade do ar, podendo novamente ser explicado pela localização deste ponto que está situado na área administrativa e centro de treinamento de Suape, tendo em sua vizinhança apenas uma estação de tratamento de água.

Os demais pontos apresentaram produtividade do FUM entre 30% e 43%, o que os classifica como pontos não tão críticos, mas que também devem ser observados, pois o grupo controle obteve uma produtividade altíssima do FUM, com praticamente 80% para cada 1mg do extrato orgânico.

Pesquisas similares também observaram o decréscimo na produção do FUM por parte do líquen, quando exposto à ação de poluentes, chegando à conclusão que a biossíntese é

alterada e as vias de síntese de substâncias prejudicadas face a presença dos contaminantes^{10,18,19,22}.

As análises de CLAE confirmam o que foi observado nas CCDs e análise de pigmentos, revelando que a soma de prejuízos no metabolismo liquênico desde a fotossíntese até as vias secundárias resulta em profundas alterações fisiológicas, podendo levar o líquen ao esgotamento, fato observado no pontos Viveiro, Bonesa e PC1 de forma acentuada.

Nos ensaios de CLAE foi possível observar, de maneira geral, um decréscimo na produção do FUM e acúmulo de substâncias intermediárias de sua síntese e/ou detecção de produtos de degradação, com ênfase em pontos mais críticos, comparando com o grupo controle, líquen retirado do ambiente natural e que não foi exposto às condições do ambiente de Suape (Tabela 1).

Tabela 1. Concentrações do ácido FUM evidenciadas nos extratos orgânicos, obtidas através de cromatografia líquida de alta eficiência, de *Cladonia verticillaris* submetida por 12 meses ao ambiente do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).

Amostra	mg de FUM / mg do extrato orgânico (%)
Controle	78,33
COMPESA	52,63
Coca-Cola	42,98
PC3	42,02
Emplal	33,72
PC1	5,78
Bonesa	0,54
Viveiro	0,00

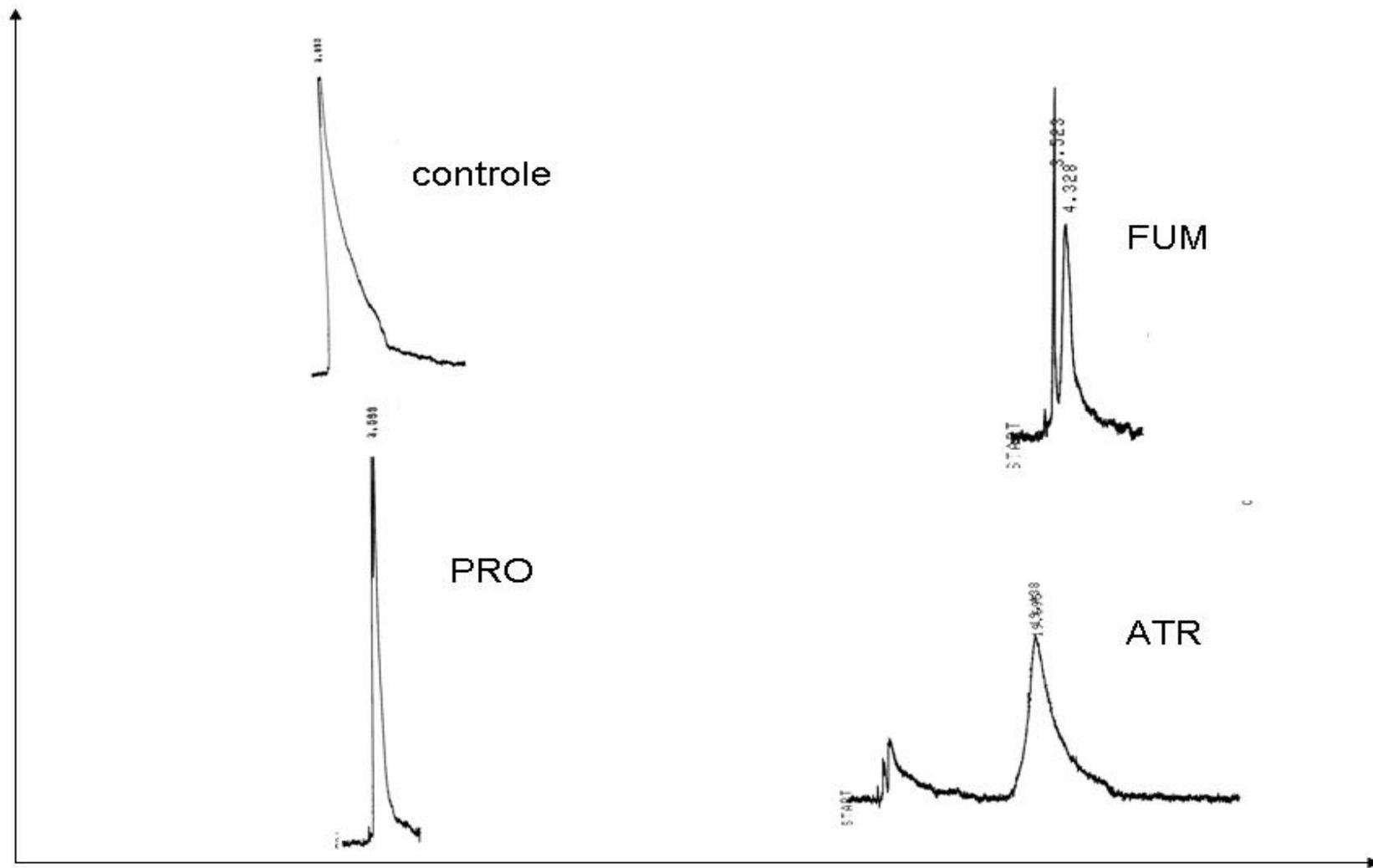


Figura 6. Cromatografia em fase líquida de amostra controle de *Cladonia verticillaris* (momento de coleta em ambiente natural) e padrões dos ácidos fumaprotocetrárico (FUM) e protocetrárico (PRO) e atranorina (ATR).
 Legenda: absorvância a 254 nm (eixo Y) e tempo de retenção em minutos (eixo X).

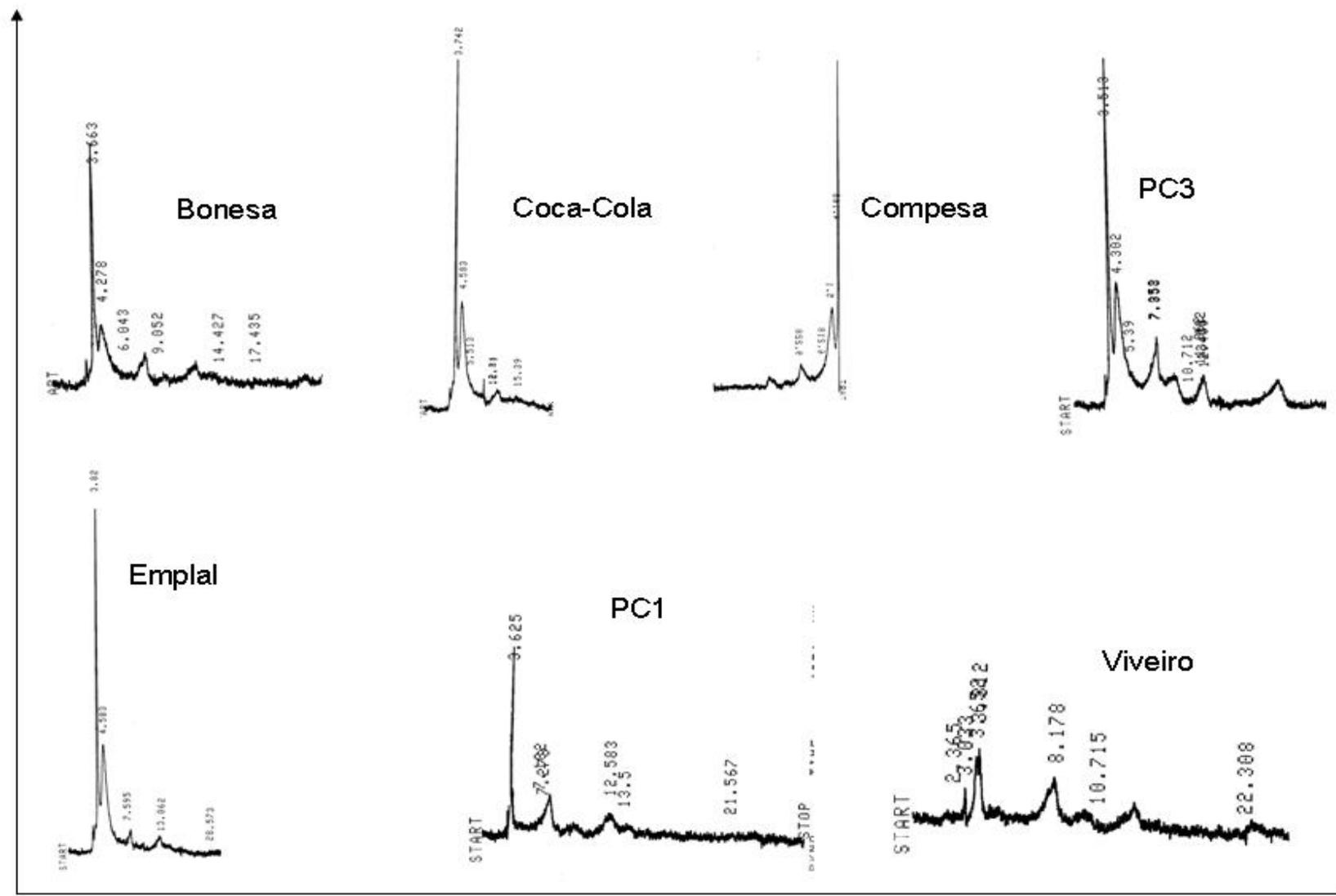


Figura 7. Cromatografia dos extratos orgânicos de *Cladonia verticillaris* submetida por 12 meses ao ambiente no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).
 Legenda: absorbância a 254 nm (eixo Y) e tempo de retenção em minutos (eixo X).

Análise estereoscópica

A partir das observações dos talos liquênicos das amostras expostas por 12 meses em Suape (Figura 8), foram verificadas modificações de coloração em todas as amostras de *C. verticillaris*, quando comparadas com o material controle (A).

Tais modificações podem ser explicadas pelas alterações a nível de cloroplastos e degradação de clorofilas a e b a feofitinas a e b respectivamente, sob efeito da acidificação do líquen.

O maior destaque foram as alterações morfológicas dos talos liquênicos, principalmente nas amostras Viveiro (C) e PC1 (D), evidenciando que o biomonitor sofreu altos índices de poluição nessas áreas, a ponto dos referidos talos apresentarem-se amplamente danificados e bastante frágeis, tornando-os secos e quebradiços.

As amostras dos pontos Bonesa (B), PC3 (E) e Emplal (F) tiveram uma preservação razoável. A amostra localizada na Emplal ficou preservada, no entanto, as B e E estavam em pontos poluídos. Isto ratifica a importância dos ensaios fisiológicos. Estes demonstram precocemente efeitos deletérios no líquen, quando os danos macroscópicos não são ainda evidentes²³, além do material particulado causar danos mais evidentes na estrutura externa do líquen.

A boa preservação pode ser observada nos pontos Coca-Cola (G) e COMPESA (H), ambas por estarem distantes de fontes poluidoras.

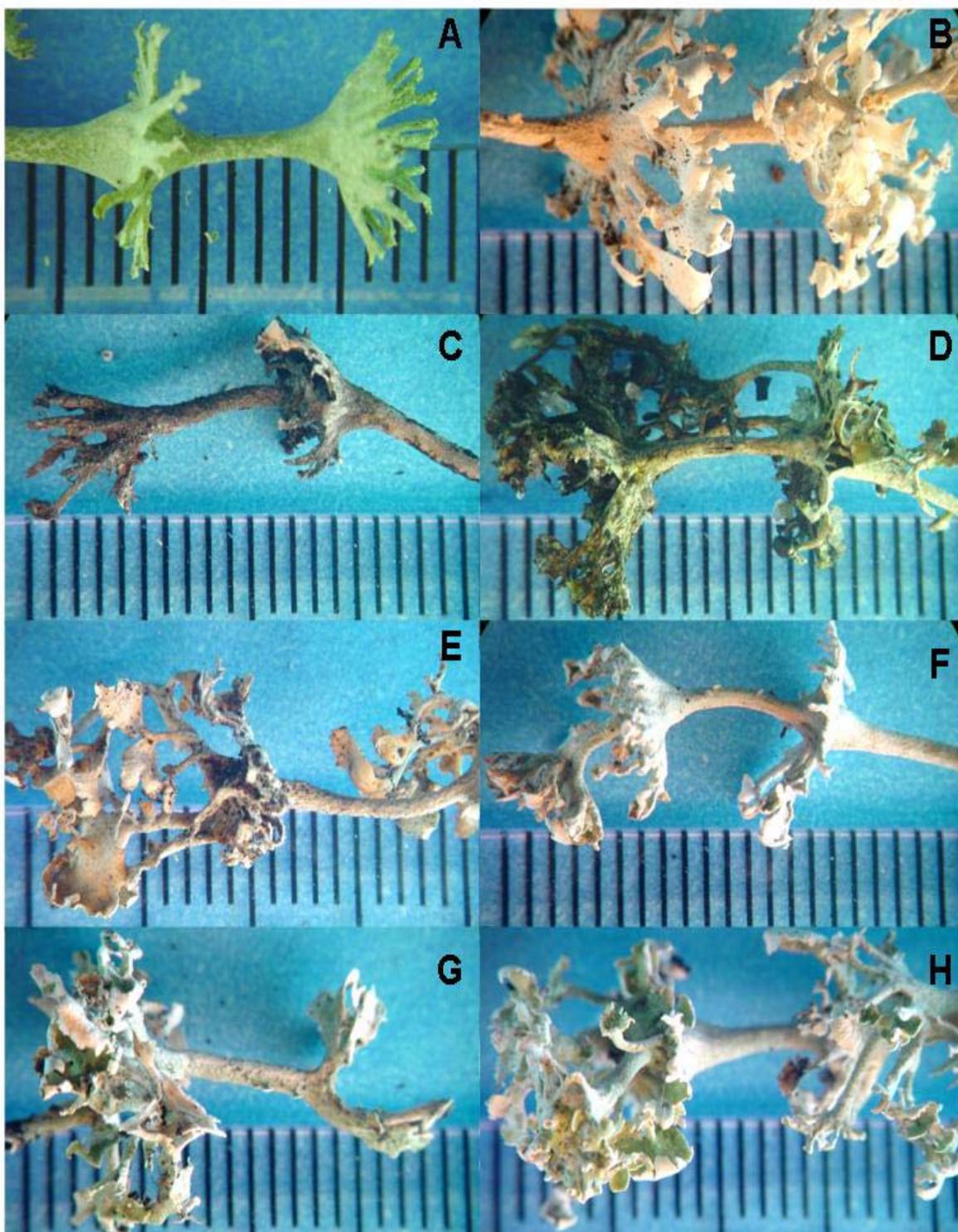


Figura 8. Microfotografias obtidas através de lupa estereoscópica das amostras de *Cladonia verticilaris* submetidas por 12 meses ao ambiente no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).

Legenda: A = controle, B = bolesa, C = viveiro, D = PC1, E = PC3, F = emplal, G = coca e H = compesa.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Para análise mais detalhada da estrutura externa de *Cladonia verticillaris* foram realizadas micrografias obtidas através de microscópio eletrônico de varredura, contidas nas Figuras 9a e 9b.

Com relação ao grupo controle (A1 e A2) que revelam uma superfície íntegra, e os grupos submetidos a exposição do ambiente em Suape (demais amostras), foram verificadas alterações morfológicas e estruturais em todos.

No ponto Bonesa observam-se perfurações e possibilidade de exposição das hifas corticais e do fotobionte, localizado abaixo (B1 e B2).

No ponto Viveiro (C1 e C2) constatou-se profundas alterações morfológicas, evidenciadas pelos desarranjos das hifas e vários pontos de perfuração com exposição da camada das algas. Especialmente nesse ponto ocorreu durante o estudo uma redução na biomassa dos tufois líquênicos transplantados e depositados inicialmente no recipiente plástico. Tal fato pode ser explicado pelos danos íntensos sofridos, o que pode ter levado a desestruturação completa do talo líquênico. As escamações são bastante evidentes, o que sugere ser este ponto altamente poluído.

Nas imagens do ponto PC1 (D1 e D2) foram observadas escamações (esfoliações) na superfície, gerando uma fragilidade no talo observado também durante coleta e manuseio.

Os pontos PC3 (E1 e E2) e Emplal (F1 e F2) revelaram também danos superficiais a estrutura líquênica, permitindo a visualização de perfurações no talo.

O ponto Coca-Cola (G1 e G2) revelou bastante alterações na morfologia do líquen, apresentando uma certa desestruturação da região cortical.

Por outro lado o ponto COMPESA (H1 e H2) revelou integridade na estrutura apresentando algumas escamações no talo.

Os pontos considerados medianamente poluídos, quando não demonstraram danos estruturais visíveis em lupa estereoscópica, demonstraram desordem fisiológica, perfurações, esfoliações e exposição da medula e fotobionte por MEV.

Dados semelhantes foram observados por outros autores que expuseram *C. verticillaris* a ambiente urbano e industrial^{10,18,22} ou mesmo submetendo esta espécie, em laboratório, a soluções contendo chumbo^{10,18}.

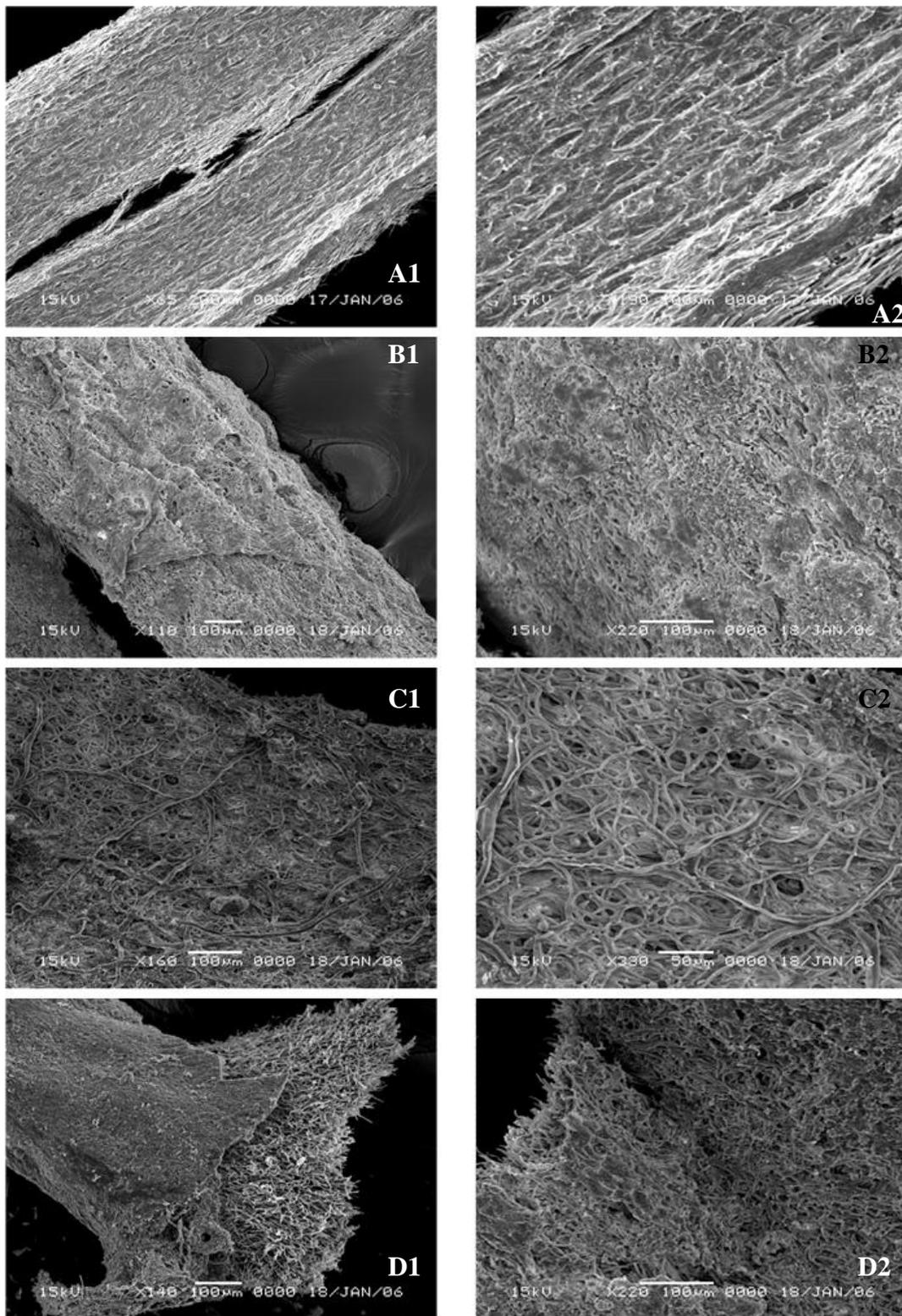


Figura 9a. Microfotografias obtidas através de microscopia eletrônica de varredura das amostras de *Cladonia verticillaris* submetidas por 12 meses no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).

Legenda: A1 e A2 = controle, B1 e B2 = Bosesa, C1 e C2 = Viveiro e D1 e D2 = PC1.

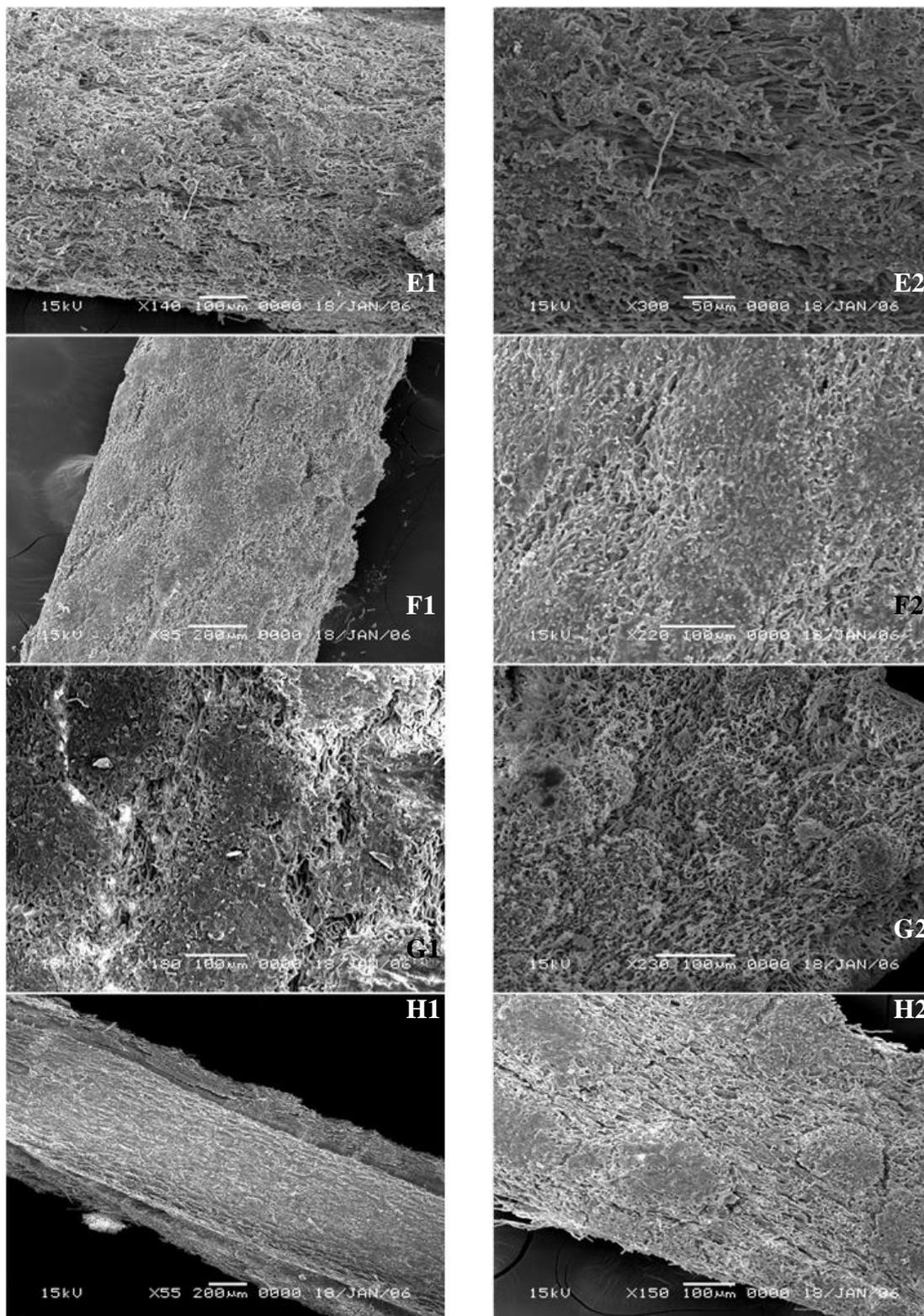


Figura 9b. Microfotografias obtidas através de microscopia eletrônica de varredura das amostras de *Cladonia verticillaris* submetidas por 12 meses no Complexo Industrial Portuário de Suape (PE).

Legenda: E1 e E2 = PC3, F1 e F2 = Emplal, G1 e G2 = Coca-Cola e H1 e H2 = COMPESA.

CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos a partir de um ano de monitoramento no Complexo Industrial Portuário de Suape, pode-se afirmar a presença de poluentes, sendo os pontos Viveiro, PC1 e Bonesa os mais críticos.

O ponto PC3 foi classificado como de má qualidade do ar.

Foi considerado como mediano o ponto Coca-cola.

Os outros pontos (COMPESA e Emplal) foram considerados como bons, mas também merecendo atenção pelo fato de receberem emitentes distribuídos pela ação dos ventos.

Cladonia verticillaris foi, mais uma vez, eficiente no biomonitoramento da qualidade do ar, respondendo com alterações morfológicas e fisiológicas de distintas intensidades, o que permitiu atribuir diferentes níveis de contaminação atmosférica no Complexo Industrial Portuário de Suape.

REFERÊNCIAS

1. Seaward, M. R. D. Lichens in air-polluted environments: multivariate analysis of the factors involved. In: Proceedings of the Kuopio Meeting on Plant Damages Caused by Air Pollution. Kuopio. **1976**, P:57-63.
2. Pilegaard, K. Airborne metals and SO₂ monitored by epiphytic lichens in an industrial area. *Environ. Pollut.*, **1978**, 17:81-91.
3. Nieboer, E.; Ahmed, H.M.; Puckett, K. J.; Richardson, D.H.S.. The heavy metal content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury, Ontario. *Lichenologist*, **1972**, 5: 292- 304.
4. Seaward, M.R.D. Lichen Ecology. Academic Press, Inc. London. 1977.
5. Hiatt, M. H. Leaves as an indicator exposure airborne volatile organic compounds. *Environmental Science & Technology*. **1999**, 33: 4126-4133.
6. Carreras, H. A. & Pignata, M. L. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea amblyoclada*. *Environmental Pollution*. **2001**, 111: 45-52.

7. Sumita, N. M.; Mendes, M. E.; Macchione, M.; Guimarães, E. T.; Lichtenfels, A. J. F. C.; Lobo, D. J. A.; Saldiva, P. H. N. *Tradescantia pallida* cv. *Purpurea* Boom in the characterization of air pollution by accumulation of trace elements. *Journal of the Air & Waste Management Association*. **2003**, 53: 574-579.
8. Leblanc, F. & Rao, D. N. Effects of pollutants on lichens and bryophytes. In: Mudd, J. B.; Kozłowski, T. T. *Responses of plants to air pollution*, London, Academic Press, Inc. 1975. 11: 237 – 272.
9. Domingos, M.; Klumpp, A.; Klumpp, G. Air pollution impact on the atlantic forest in the Cuabatão region, SP, Brazil. *Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*. **1998**, 50(4): 230-236.
10. Silva, R. A. *Cladonia verticillaris* (Líquen), como biomonitor padrão da qualidade do ar no distrito de Jaboatão – PE. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2002.
11. Cáceres, M. E. S. Biomonitoramento ativo e passivo da qualidade do ar atmosférico na cidade do Recife-PE. Monografia de Graduação. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 1996.
12. Hill, R. Chlorophyll. In: *Comprehensive Biochemistry*. Florin, M.; Stotz, H. (Eds.). 1963, 9: 73.
13. Vernon, L. P. Spectrophotometric determination of chlorophylls and phaeophytins in plant extracts. *Anal. Biochem*. **1960**, 32: 1142.
14. Culberson, C. F.; Culberson, W. L.; Johnson, A. *Second Supplement to Chemical e Botanical Guide of Lichen Products*. St. Louis, The American Bryological and Lichenological Society, Inc. 1977.
15. Mota-Filho, F. O.; Silva, N. H.; Andrade, L. H. C.; Martins, M. C. B.; Vasconcelos, T. L.; Oliveira, M. A. G. S.; Pereira, E. C. Efeito do estireno sobre o comportamento de *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. *Anais do VII Encontro do GLAL*. Curitiba, Brasil, 2005.

16. Pereira, E. C. Efeito da sazonalidade na detecção de atividade antimicrobiana em *Cladonia* e *Cladina* (líquen). Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 1989.
17. Cunha, M. H. A. Biomonitoramento da qualidade do ar em Vertente do lério – PE, e sua correlação com a ocorrência de doenças pulmonares. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil, 2005.
18. Mota-Filho, F. O.; Silva, N. H.; Andrade, L. H. C.; Martins, M. C. B.; Vasconcelos, T. L.; Oliveira, M. A. G. S.; Pereira, E. C. Ação do dióxido de chumbo (PbO₂) sobre *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. no prelo.
19. Oliveira, M. A. G. S.; Vasconcelos, T. L.; Martins, M. C. B.; Lima, M. J. G.; Silva, N. H.; Pereira, E. C.; Mota-Filho, F. O.; Andrade, L. H. C. Qualidade do ar em área industrial, utilizando *Cladonia verticillaris* como biomonitor – dados preliminares. Anais do VII Encontro do GLAL. Curitiba, Brasil, 2005.
20. Ahti, T. Steroos, S.; Xavier-Filho, L. The lichen family Cladoniaceae in Paraíba, Pernambuco and Sergipe, northeast Brazil. *Tropical Biology*, **1993**, 7: 55-70.
21. Legáz, M.E.; Vicente, C.; Ascaso, C.; Pereira, E. C.; Xavier-Filho, L. Pigment analysis of sun and shade populations of *Cladonia verticillaris*. *Biochem. System. Ecol*, 1986, 14: 545-582.
22. Mota-Filho, F. O.; Lima, E. S.; Pereira, E. C.; Silva, N. H.; Figueiredo, R. C. B. Lead dioxide (PbO₂) effects on physiology and ultra structure of *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr: experiment in laboratory. no prelo.
23. Mota-Filho, F. O.; Silva, N. H.; Andrade, L. H. C.; Pereira, E. C.; Vicente, C.; Legaz, M. E. Análise de pigmentos de plantas e liquens no Recife como parâmetro de avaliação da poluição ambiental. *Revista de Geografia*. **2003**. 20(2): 43-61.

CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos a partir de um ano de monitoramento no Complexo Industrial Portuário de Suape, pode-se afirmar a presença de poluentes diversos, sendo os pontos Viveiro, PC1 e Bonesa os mais críticos.

O ponto PC3 foi classificado como de má qualidade do ar. Foi considerado como mediano o ponto Coca-cola. Os outros pontos (COMPESA e Emplal) foram considerados como bons, mas também merecendo atenção pelo fato de receberem emitentes distribuídos pela ação dos ventos.

Cladonia verticillaris foi, mais uma vez, eficiente no biomonitoramento da qualidade do ar, respondendo com alterações morfológicas e fisiológicas de distintas intensidades, o que permitiu atribuir diferentes níveis de contaminação atmosférica no Complexo Industrial Portuário de Suape.

RESUMO

Líquens da região nordeste, especialmente *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr., são reconhecidos como eficientes biomonitoradores da qualidade do ar. O Complexo Industrial Portuário de Suape, por não possuir forma alguma de aferição de poluição atmosférica, foi avaliado em 7 pontos, usando *C. verticillaris* como biomonitor por 12 meses. A cada coleta bimestral, as amostras foram avaliadas no ponto de vista fisiológico (avaliação de pigmentos e fenóis) e, danos à estrutura externa (lupa estereoscópica e microscopia eletrônica de varredura). Foi possível estabelecer os pontos com melhor qualidade do ar, ou áreas críticas, observando a direção predominante dos ventos e pluviosidade. Nas áreas mais poluídas, próximas a indústria Pamesa os teores do principal composto de *C. verticillaris*, o ácido fumarprotocetrárico, foram bastante reduzidos, com acúmulo de produtos intermediários de sua biossíntese, o que ratifica a ação dos poluentes na célula. Isto pode ser também verificado na quantificação dos pigmentos e danos à estrutura externa. Foram consideradas como áreas críticas os pontos denominados de Viveiro, Bonesa e PC1, todos localizados próximos à indústria Pamesa (fabricante de cerâmicas). Os outros pontos, variaram de má, medianos e bons em termos de qualidade do ar, merecendo também atenção para que exista em Suape a implantação de políticas que garantam bons índices de pureza atmosférica, onde os dados poderão ser utilizados para futuros planejamentos de gestão ambiental na área.

Palavras-chave: *Cladonia verticillaris*, biomonitor, poluição atmosférica, ácido fumarprotocetrárico.

ABSTRACT

Lichens of the northeast region, especially *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr., is recognized as efficient biomonitors of the quality of air. The Complex Port/Industry of Suape, by not possessing form some of gauging of atmospheric pollution, was evaluated in 7 points, using *C. verticillaris* as biomonitor during 12 months. To each bimonthly collection, the samples had been evaluated in the physiological point of view (evaluation of pigments and phenols) e, damages to the external structure (estereoscopy and scanning electron microscopy). It was possible to establish the points with better quality of air, or critical areas, observing the predominant direction of the winds and rainfall. In the areas more polluted, next the Pamesa industry the *C. verticillaris* texts of the main composition, the acid fumarprotocetrárico, sufficiently had been reduced, with accumulation of intermediate products of its biosynthesis, what it ratifies the action of the pollutants in the cell. This also can be verified in the quantification of pigments and damages to the external structure. The called points of Viveiro, Bonesa and PC1 had been considered as critical areas, all located next the Pamesa industry (ceramics manufacturer). The other points, had varied of harm, medium and good in terms of quality of air, also deserving attention so that the implantation of politics exists in Suape that guarantee good parameters of atmospheric pureness, where the data could be used for futures actions of ambient management in the area.

Key-Words: *Cladonia verticillaris*, biomonitor, air pollution, fumarprotocetraric acid.

Freitas, Fábio Marcondes Ribeiro

Uso de *Cladonia verticillaris* (Raddi) Fr. (Líquén) como biomonitor da qualidade do ar no Complexo Industrial Portuário de Suape - PE / Fábio Marcondes Ribeiro Freitas. – Recife: O Autor, 2006.

x, 58 folhas : il., fig., tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCB. Ciências Biológicas. Biologia Vegetal, 2006.

Inclui bibliografia.

1. Líquens – *Cladonia verticillaris* 2 Biomonitoramento 3. Poluição atmosférica I. Título.

582.29

CDU (2.ed.)

UFPE

579.7

CDD (22.ed.)

CCB – 2006 056