

Avaliação atmosférica de cádmio no distrito industrial da cidade de Rio grande através do *Sphagnum recurvum* P. Beauv.

¹Ariadne Ribeiro Henriques, ²Pedro José Sanches-Filho

¹ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Biologia/DBI - Campus Universitário, Cx. P. 3037, CEP 37200-000. Lavras, MG, Brasil. Email: ariadnehenriques@yahoo.com.br

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense, Departamento de Química - Praça 20 de Setembro 455, CEP. 96015360. Pelotas, RS, Brasil. Email: pjsans@ibest.com.br

Resumo: A cidade de Rio Grande RS - Brasil possui uma região portuária fortemente industrializada composta principalmente por indústrias de fertilizantes e uma refinaria de petróleo. Consequentemente desde a última década o nível de poluição do município vem sendo classificado como crítico. Cádmio é um metal pesado prejudicial ao ambiente e a saúde humana que possui como fonte de contaminação antropogênica indireta as indústrias petroquímicas, portanto a investigação dos níveis de cádmio no município é de extrema importância. Este experimento consiste na avaliação das condições aéreas do distrito industrial do município de Rio Grande, utilizando o musgo *Sphagnum recurvum* P. Beauv. como bioindicador de cádmio no meio ambiente. Conforme o método "moss-bag", saquinhos de nylon contendo 30g de musgo foram tratados e distribuídos em três pontos de monitoramentos na zona industrial. A contaminação aérea por cádmio bem como fatores climáticos tais como, temperatura, precipitação, direção e velocidade dos ventos, que apresentam relação direta com a dispersão e deposição do poluente, foram avaliados durante trinta dias. Após o período de exposição, o material vegetal foi digerido em solução ácida e os níveis de cádmio no musgo medidos através do Espectrômetro de Absorção Atômica de Chama. Este estudo confirmou a presença elevada de cádmio em duas estações de monitoramento que acumularam, respectivamente, 4,16 e 1,47 mg Cd/Kg, valores considerados prejudiciais para o meio ambiente e para saúde humana.

Palavras chave: Biomonitor, Metal pesado, Qualidade do ar.

Atmospheric evaluation of cadmium in the industrial district of the Rio Grande city through *Sphagnum recurvum* P. Beauv.

Abstract: The city of Rio Grande, RS – Brazil, has a port area heavily industrialized mainly composed of fertilizer and oil refinery industries. Consequently, since the last decade the municipality pollution level has been rated critical. Cadmium is a heavy metal harmful to the environment and human health which has as indirect pollution source petrochemical industries, so investigate cadmium levels in the city is of utmost importance. This experiment consists in evaluating the air conditions of the Industrial District of Rio Grande, using the *Sphagnum recurvum* P. Beauv. moss as cadmium bioindicator in the environment. According the method "moss-bag", nylon bags containing 30g of moss were treated and distributed in three monitoring stations in industrial zone. The air pollution by cadmium and climatic factors such as temperature, precipitation, wind speed and direction, which have a direct relationship with the dispersion and deposition of pollutant were evaluated for thirty days. After the exposure period, the moss was digested in acid solution and cadmium levels measured by Atomic Absorption Spectrometer Flame. This study confirmed the high presence of cadmium in two monitoring stations which accumulated, respectively, 4.16 and 1.47 mg Cd / kg, values considered harmful to the environment and human health.

Key words: Biomonitor, Heavy metal, Air quality.

Introdução

A poluição atmosférica é um grande problema para a população, especialmente nos grandes centros urbanos e industriais. A cidade de Rio Grande, situada no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul, possui uma economia próspera que tem se destacado em âmbito nacional devido a forte movimentação industrial e aos investimentos no pólo naval. Entretanto, com a crescente industrialização e aumento populacional, a poluição atmosférica tem atingido níveis alarmantes colocando em risco a população e o ambiente. Consequentemente, desde 2001, a Fundação de Estatística do Estado [FEE] através do Índice de Potencial Poluidor da Indústria (Inpp-I) tem classificado Rio Grande como um município crítico em termos de poluição.

O cádmio é um metal pesado potencialmente prejudicial, em razão de seu uso intenso, toxicidade e ampla distribuição (Alloway, 1990 & Pratte-Santos et al., 2008). Frequentemente é utilizado na fabricação de pigmentos, pilhas elétricas e materiais plásticos (Manahan, 1991). Entretanto, as fontes antropogênicas de cádmio não incluem somente as atividades de mineração, produção, consumo e disposição de produtos que utilizam cádmio, mas também as atividades indiretas, em que o cádmio é constituinte natural do material que está sendo processado ou consumido, tais como, metais não ferrosos, liga de zinco, chumbo e cobre, emissões de indústrias de ferro e aço, combustíveis fósseis, cimento e fertilizantes fosfatados (Alloway, 1990, Baird, 2002, Azevedo & Chasin, 2003).

A principal porta de entrada do cádmio no corpo humano são as vias respiratórias, local por onde o cátion liga-se rapidamente aos grupos-SH afetando de maneira desfavorável e às vezes fatal a saúde humana. Este metal não é encontrado naturalmente nos seres vivos e tampouco desempenha funções nutricionais ou bioquímicas nos humanos (Matović et al., 2011). Desta maneira, trabalhar ou viver próximo de uma das fontes contaminantes pode resultar em uma exposição significativa de cádmio (Baird, 2002).

O monitoramento de poluentes atmosféricos normalmente é realizado por métodos físicos, químicos ou físico-químicos que são eficientes, mas possuem um custo elevado e

registram somente valores momentâneos de determinados contaminantes não reproduzindo a qualidade do ar de maneira tão autêntica quanto os biomonitorios. Os biomonitorios são organismos, parte de organismos ou comunidades de organismos, que fornecem informações sobre aspectos quantitativos da qualidade do ambiente (Markert et al., 2003). Estes organismos reagem às alterações ambientais através da modificação de suas funções essenciais e/ou da sua composição química, permitindo obter informações a respeito de uma determinada área (Bollmann, 2001). Assim, é pelo fato desses organismos tolerarem um determinado nível de estresse e por suas funções vitais estarem tão estritamente relacionados com o ambiente, que cada vez mais eles vêm sendo empregados em vários sistemas de monitoramento do ar (Aquino et al., 2011; Käffer et al., 2012 & Salo et al., 2012).

Os musgos do gênero *Sphagnum* são largamente utilizados no estudo de qualidade do ar (Culicov et al., 2005, Astel et al., 2008, Aničić et al., 2009, Saitanis et al., 2013 & Vuković et al., 2014) pelo fato de possuírem alta distribuição geográfica, facilidade de padronização das amostras, fácil identificação taxonômica e absorverem água e nutrientes em toda a sua superfície (Clymo, 1963). Diversos autores relatam a existência de correlações significativas entre a concentração de cádmio e outros metais na atmosfera e a concentração de cádmio acumulado no tecido das plantas utilizadas como biomonitorios (Vasconcelos, Tavares, 1998, Falla et al., 2000, Aničić et al., 2009 & Boquete et al., 2013), indicando que musgos, tais como o *Sphagnum*, podem fornecer uma estimativa significativa da concentração de metais pesados no ambiente. Estas características fazem do *Sphagnum* um organismo ideal, apto para retratar uma situação global e real de uma localidade e revelar o impacto dos contaminantes atmosféricos no ambiente. Portanto, este trabalho teve como objetivo verificar e quantificar a presença de cádmio na zona industrial da cidade de Rio Grande através do monitoramento ativo com o musgo *Sphagnum recurvum* P. Beauv. com o intuito de obter informações relevantes que possam contribuir para aumentar a qualidade de vida da população e com a preservação do meio ambiente.

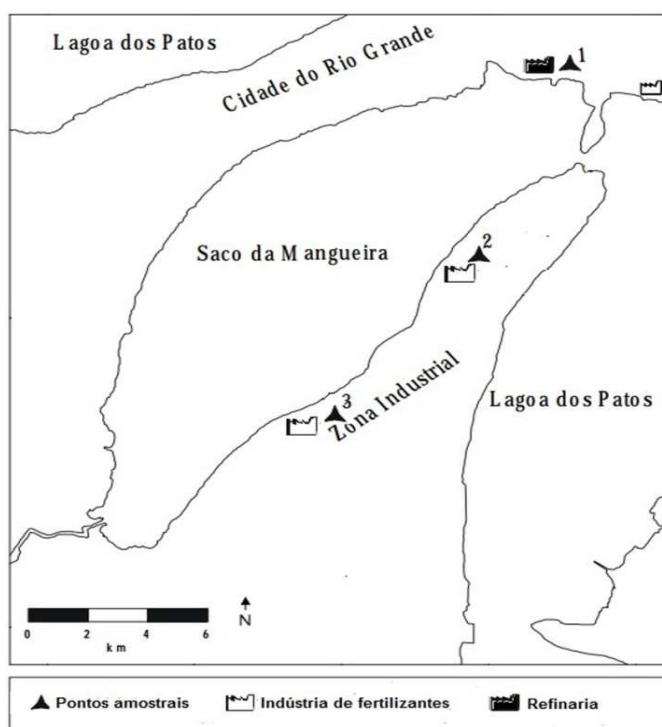
Materiais e métodos

Área do estudo

O município de Rio Grande possui um distrito industrial com 2500 ha na chamada área do Retro Porto que é composto por quatro indústrias de fertilizantes, uma indústria de refinamento de petróleo, terminais de graneis líquidos, de grão agrícola, entre outros. As indústrias situam-se na zona industrial de Rio Grande, mas suas emissões atmosféricas atingem toda a circunvizinhança (Vanz et al., 2003 & Nóbrega, 2010) acarretando sérios problemas para a saúde humana e para o ecossistema local.

Neste estudo utilizou-se o musgo *S. recurvum* na forma de “saco de musgo” para realizar uma avaliação da poluição aérea por cádmio. Foram escolhidos três estações de monitoramento na zona industrial, representados por indústrias com ramos distintos. A primeira estação de monitoramento localizou-se aproximadamente 40 m da indústria petroquímica (32°02'32.1”S 52°05'31.3”W), a segunda (32°04'10.0”S 52°05'41.8”W) e terceira (32°04'20.1”S 52°05'52.8”W) situaram-se aproximadamente a 50 m e 100 m, respectivamente, das indústrias de fertilizantes (Figura 1).

Figura 1 - Mapa da cidade de Rio Grande-RS, Brasil, com a localização das estações de monitoramento, 1(▲¹) 2 (▲²) e 3(▲³), das indústrias de fertilizantes e da Refinaria de petróleo no distrito industrial.



Amostragem e preparação do material

Os *S. recurvum* foram coletados no Ecocamping Municipal da cidade de Pelotas – RS, Brasil (31°42'42”S e 52°10'32”W), por acreditar-se ser um local isento de poluição industrial. Os musgos coletados foram levados para o Laboratório de Química do Instituto Federal de Pelotas e submetidos a pré-tratamento para retirada de impurezas. A lavagem inicial do

material foi realizada com água corrente para remoção de terra, insetos e plantas. Logo em seguida, os musgos foram lavados com água destilada e com água deionizada para retirada dos íons superficiais. Após as lavagens, os musgos foram deixados durante alguns minutos em uma peneira para remoção do excesso de água e posteriormente amostras de 30g do material vegetal foram colocadas em sacos de

nylon e expostas em duplicata nas estações de monitoramento. As amostras controle passaram pelo mesmo tratamento de lavagem e secagem, porém não foram expostas a poluição do distrito industrial. Estas amostras foram utilizadas como padrão de referência da concentração de cádmio encontrado naturalmente nos musgos do Ecocamping Municipal de Pelotas.

Instalação e exposição dos briófitos

Conforme o método utilizado, “moss bag” (Gutberlet et al., 1989), saquinhos de nylon contendo 30 gramas de musgo foram expostos ao ar atmosférico em três pontos da zona industrial da cidade de Rio Grande (Figura 2). Os *Sphagnum* ficaram suspensos a aproximadamente 3 metros de altura sobre galhos de árvores encontradas no local (Figura 2), por um período de 30 dias entre os meses de Setembro e Outubro. Durante a fase de exposição, os dados meteorológicos

(temperatura, direção de ventos predominantes, velocidade do vento e precipitação) foram obtidos e monitorados diariamente com o auxílio do Instituto Meteorológico da Universidade Federal do Rio Grande [FURG].

Análise de Cádmio

O material vegetal coletado nas estações de monitoramento foi seco em estufa a 65° C até peso constante. A digestão do material foi realizada através de uma mistura de HNO₃ (65%) e HCl (37%) por sete horas a 140 °C. Posteriormente, a concentração de cádmio foi mensurada através do Espectrômetro de Absorção Atômica de chama (Perkin Elmer 1100B), com limite de detecção de 0,001 mg L⁻¹. Os resultados de cada estação de monitoramento referem-se à média de duas determinações que foram submetidas à análise de variância e ao teste de Dunnett a 5%, visando à comparação das médias das estações com o controle.

Figura 2 - Método “moss bag” utilizado no estudo, o qual consiste na suspensão de sacos de nylon, contendo 30g de *Sphagnum*, sobre galhos de árvores a aproximadamente três metros do solo.



Análise morfológica do material

A avaliação morfológica dos musgos expostos nos pontos de monitoramento foi realizada diariamente durante todo o período de experimentação a fim de verificar sintomas macroscópicos de perturbação ambiental tais como clorose e necrose foliar.

Resultados e discussões

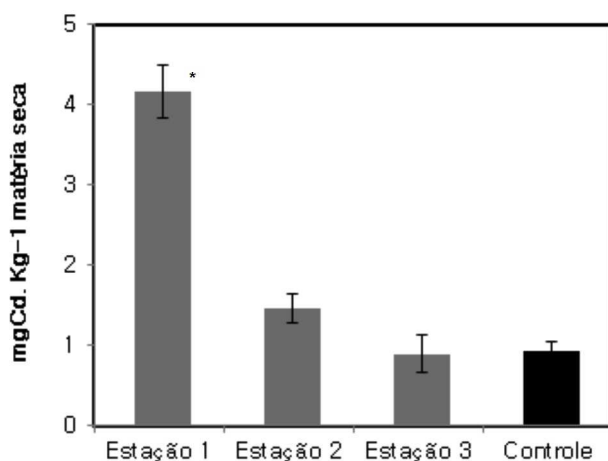
Os musgos expostos nas estações de monitoramento bioacumularam em dois pontos, estação 1 e 2, concentrações elevadas e prejudiciais de cádmio, quando comparados com

parâmetros de prevenção para solo, água e vegetação, estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA] 420/2009 e 357/2005. Entretanto, a quantidade de cádmio bioacumulada nos musgos da estação 3 apresentou níveis de cádmio similares aos níveis dos musgos não expostos a poluição industrial que foi de 0,90 mg cd/kg massa vegetal (Figura 3). A estação 1 acumulou cerca de 4 vezes mais cádmio do que as outras estações, diferindo-se estatisticamente da testemunha. Acredita-se que o acúmulo tenha sido favorecido pela direção e intensidade dos ventos, pela maior proximidade com a fonte geradora, estação 1 ficou a 40 m enquanto as estações 2 e 3 ficaram

respectivamente 50 e 100 m da fonte poluidora, e pelo tipo de processamento de matéria-prima utilizado pela refinaria petrolífera. As indústrias de fertilizantes são responsáveis principalmente pela emissão atmosférica de fluoretos, amônia e dióxido de enxofre que ocasionam aumento da acidez do solo e conseqüentemente, como poluição indireta, o aumento na solubilização de metais pesados nos solos e águas (Mirlean et al.,

2002). Nas indústrias de refino de petróleo a poluição atmosférica por aerossóis metálicos com níveis significativamente elevados de chumbo, cádmio e/ou outros metais pesados, juntamente com óxidos de enxofre e nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos ocorrem de forma direta das fontes emissoras, contaminando o solo e a vegetação da população circunvizinha (Silva et al., 2009).

Figura 3 - Concentração de cádmio (mg Cd.Kg^{-1} matéria seca) bioacumulado nas amostras de *Sphagnum recurvum* expostas por um período de 30 dias na zona industrial da cidade de Rio Grande-RS, Brasil. * Difere-se estatisticamente da testemunha de acordo com teste de Dunnett ($p < 0.05$).



Na estação 1 e 2 de monitoramento os musgos bioacumularam respectivamente 4,16 e 1,47 mg Cd/Kg massa vegetal (Figura 3). A quantidade de cádmio encontrada na estação 1 é condizente com os valores encontrados por Dmuchowski et al. (2011) que monitorou durante 12 semanas a concentração de cádmio na zona industrial de uma região da Polônia. Estes valores são considerados anormais e prejudiciais para as plantas segundo Malavolta (1980), o qual também ressalta que efeitos tóxicos para o homem têm sido observados quando a concentração de cádmio nas plantas consumidas como alimento excedem 3 mg/Kg.

Segundo a diretiva 2004/107/CE do Parlamento Europeu que avalia e normatiza as concentrações no ar ambiente e as taxas de deposição relativas ao arsênio, ao cádmio, ao níquel e ao benzo(a)pireno em todo o território dos Estados-Membros, o limiar máximo tolerável de cádmio na atmosfera é de 3 ng Cd/m³ sendo necessário introduzir medidas de proteção mais severas para o controle do cádmio e

monitoramento constante do elemento quando este limiar é atingido, pois o cádmio é um agente carcinogênico e genotóxico para os humanos (Hartwig, 2010 & Satarug et al., 2010). Contudo, a legislação brasileira ainda trata de forma ampla a problemática da poluição atmosférica, abordando na resolução CONAMA 03/90 desde padrões de qualidade do ar e padrões de emissão veiculares e industriais até os processos de licenciamento e implantação de fontes estacionárias de emissão atmosférica (Carneiro, 2004). A carência de normatizações brasileiras específicas para poluentes atmosféricos bem como a confirmação da presença de cádmio no ar atmosférico da cidade de Rio Grande é extremamente preocupante. O fato do homem não tratar o ar que respira e a respiração ser vital para a manutenção da vida faz com que a população rio grandina fique exposta diariamente a doses tóxicas de cádmio, que mesmo em baixos níveis, contribui para o agravamento de doenças respiratórias agudas e crônicas tais como a asma, efisema pulmonar e bronquite (Vianna et al.,

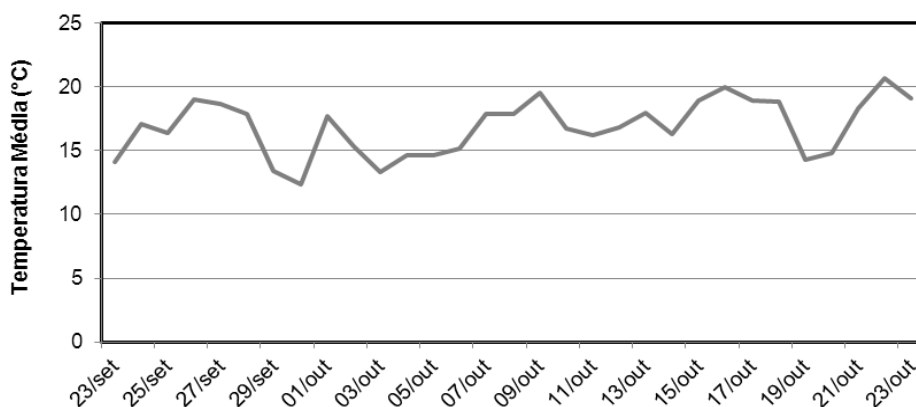
2008).

Os efeitos da presença de poluentes na forma de gases ou partículas no ar atmosférico variam muito, quer em quantidade, quer em qualidade, pois é a interação entre as fontes de emissão de poluentes atmosféricos e as condições meteorológicas que define a qualidade do ar, intensidade de dispersão e precipitação dos poluentes (Danni-Oliveira, 2008, O'Neill et al., 2008, Brunekreef et al., 2009, de Medeiros et al., 2009 & Toledo e Nardocci, 2011). Desta maneira, os dados meteorológicos sobre temperatura, direção e velocidade dos ventos e precipitação

fornecidos pelo Instituto Meteorológico da FURG foram fundamentais para a correta interpretação dos dados da poluição atmosférica e para uma análise mais crítica dos níveis de cádmio acumulado pelo musgo nas estações de monitoramento.

Durante o experimento a temperatura média foi de aproximadamente 18° C (Figura 4), temperatura considerada satisfatória para o acúmulo do cádmio no briófito, não tão alta a ponto de desidratar o vegetal e nem tão baixa que prejudicasse a dispersão dos poluentes.

Figura 4 - Valores diários da temperatura média do ar na cidade de Rio Grande durante o período de exposição dos *Sphagnum recurvum* ao ambiente de estudo.



A temperatura é um fator que pode ser tanto vantajoso para a acumulação dos poluentes nos bioindicadores, quanto desvantajoso. Baixas temperaturas prejudicam os movimentos ascendentes do ar fazendo com que a estagnação atmosférica não propicie a dispersão dos poluentes. Desta forma a camada quente fica acima da camada fria retendo os poluentes na camada inferior, situação que facilita o acúmulo de poluente nos musgos. Por outro lado, altas temperaturas são prejudiciais aos musgos porque eles não possuem controle sob a perda de água para o meio ambiente, desta forma, altas temperaturas deixam os musgos secos interrompendo o seu desenvolvimento e absorção.

A direção dos ventos é um elemento meteorológico determinante para configurar ou não um episódio de poluição, pois é responsável pela dispersão horizontal dos poluentes (Nóbrega

& Krusche, 2010). Neste experimento, a estação de monitoramento 1 situada próximo à refinaria de petróleo foi localizada na direção nordeste, e as estações 2 e 3 posicionadas próximas a indústrias de fertilizantes foram localizadas, respectivamente, na direção suldeste e noroeste em relação à fonte poluidora. Os ventos predominantes durante o experimento (Figura 5) favoreceram o acúmulo de poluentes nos briófitos localizados nas estações de monitoramento 1 e 2. Os briófitos da estação 1 localizados em direção nordeste foram os que conseqüentemente bioacumularam maiores concentrações de cádmio. Além do favorecimento da direção dos ventos que conduziram a dispersão dos poluentes do complexo da zona industrial no sentido da estação 1, o tipo de processo industrial utilizado no refino de petróleo e as más condições de funcionamento dos filtros da chaminé da fonte poluidora podem ter contribuído para que os

bríofitos do local bioacumulassem altos níveis de cádmio.

Assim como a direção dos ventos, a velocidade dos ventos predominantes é um fator de grande importância. De acordo com os dados obtidos durante o experimento, a velocidade média dos ventos esteve em torno de 3,2 m/s (Figura 6). A velocidade dos ventos associada a outros fatores meteorológicos determina a concentrações de poluentes próximos a superfície da fonte poluidora. Geralmente, quanto maior a velocidade dos ventos mais rápida é a taxa de

dispersão em consequência do aumento da turbulência (Ayoede, 1991). Desta maneira, através dos ventos é possível estimar onde se depositarão os poluentes. Considerando que as indústrias avaliadas são de médio à grande porte (vazão de aproximadamente 275g/s), a temperatura média de 18 °C e altura de chaminé de 30 m estimou-se que a extensão crítica afetada foi de 5800 m a partir da fonte poluidora (Thomasi et al., 2011), favorecendo o acúmulo de poluentes nos briófitos de todas as estações de monitoramento.

Figura 5 - Frequência relativa da direção dos ventos predominantes na cidade de Rio Grande no período de 23/07 a 23/08, durante a exposição dos *Sphagnum recurvum* ao ambiente de estudo.

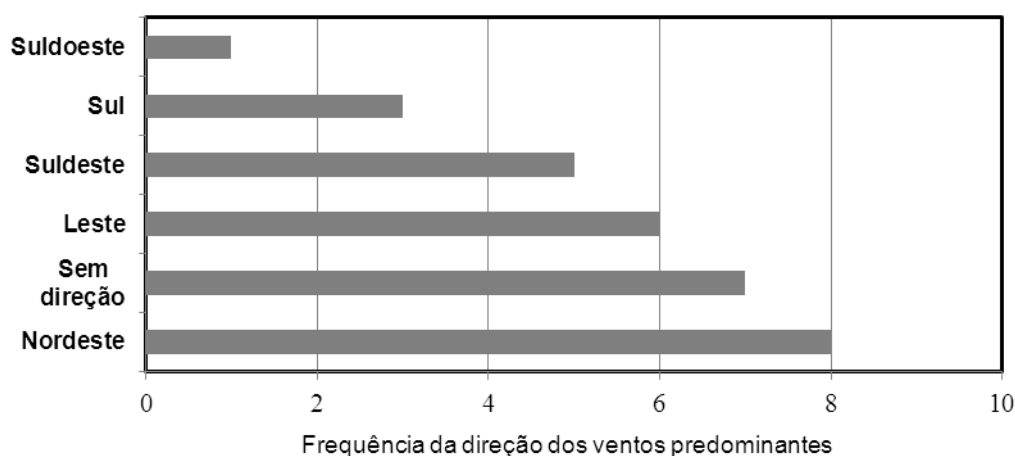
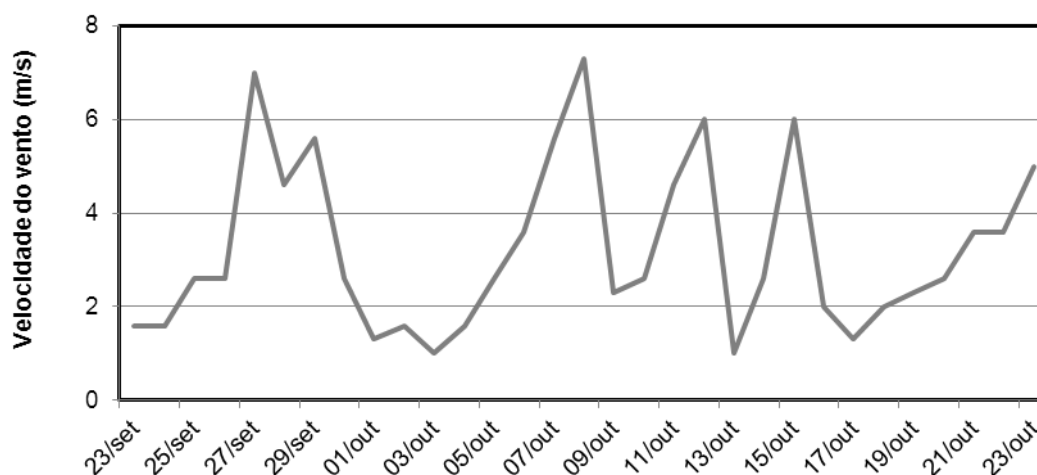


Figura 6 - Valores diários da velocidade média dos ventos na cidade de Rio Grande no período de 23/07 a 23/08, durante a exposição dos *Sphagnum recurvum* ao ambiente de estudo.



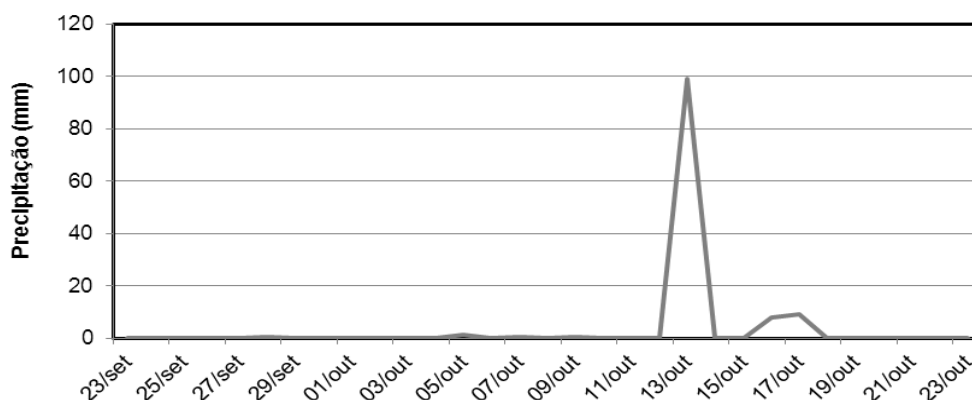
Durante o período do experimento as precipitações foram bastante escassas, não

ultrapassando os 3,8 mm (Figura 7) e dificultando a acúmulo de cádmio e a absorção de água e

nutrientes pelo musgo. A precipitação moderada é um evento que facilitaria o acúmulo de poluentes nos musgos expostos nas estações de monitoramento. O musgo *Sphagnum* absorve água através das precipitações atmosféricas, sejam elas por meio de chuva, nevoeiros ou

orvalhos assim, pelo fato das precipitações realizarem uma limpeza na atmosfera carregando consigo os mais variados contaminantes do ar, precipitações leves a moderadas contribuiriam para o aumento da concentração de poluentes nos musgos.

Figura 7 - Valores diários da precipitação total na cidade de Rio Grande no período de 23/07 a 23/08, durante a exposição dos *Sphagnum recurvum* ao ambiente de estudo.



Além dos fatores meteorológicos, a morfologia externa dos musgos também foi analisada. A partir do décimo quinto dia de exposição, os musgos das estações de monitoramento 2 e 3 começaram a apresentar sintomas claros de clorose, os quais foram se agravando até o final do experimento. Entretanto, o aparecimento de clorose nos musgos da estação de monitoramento 1, que acumularam até 3x mais cádmio dos que os musgos das outras estações, somente se tornaram visíveis após o vigésimo segundo dia de exposição. Os organismos bioindicadores respondem à poluição ambiental alterando suas funções vitais ou acumulando toxinas no seu interior, porém quando a sua capacidade de acumulação é ultrapassada eles apresentam sintomas microscópicos e macroscópicos sinalizando uma perturbação ambiental. Os sintomas macroscópicos como necrose e clorose podem ser identificados na vegetação a olho nu, sendo uma técnica simples e pouco dispendiosa que pode ser usada como método de verificação de toxicidade ambiental (Carneiro, 2004). A clorose é um sintoma típico de reação contra estressores ambientais, assim este acontecimento é como alerta para a presença de outros contaminantes,

talvez até mais nocivos que o cádmio, na área de estudo.

Desta maneira, o método “moss bag” utilizado neste experimento mostrou-se como uma alternativa eficiente e de baixo custo para detectar, quantificar e monitorar os poluentes atmosféricos. Atualmente, diversos países estão fazendo uso desta metodologia com a finalidade de complementar os dados obtidos pelas redes de monitoramento convencionais, uma vez que o biomonitoramento da poluição aérea através do método “moss bag” permite monitorar áreas extensas por longos períodos de tempo fornecendo um retrato real dos efeitos dos poluentes nos seres vivos (Cao et al., 2009, Dmuchowski & Bytneroski, 2009).

Conclusões

A avaliação da poluição atmosférica através do *Sphagnum recurvum* possibilitou a detecção e quantificação de cádmio no ar atmosférico da cidade de Rio Grande. O cádmio é um elemento extremamente perigoso por ser potencialmente genotóxico e cancerígeno. Desta maneira, torna-se vital um monitoramento permanente da poluição aérea na cidade e

adoção de medidas mais restritivas dos órgãos ambientais para proteção da população e do ambiente.

Referências

- Alloway, B. J. (1990). Cadmium. In: B.J. Alloway, (Ed.) *Heavy metals in soils* (pp.100-150). Chapman & Hall, London.
- Anicić M., Tasić M., Frontasyeva M.V., Tomasević M., Rajsic S., Mijić Z., & Popović A. (2009). Active moss biomonitoring of trace elements with *Sphagnum girgensohnii* moss bags in relation to atmospheric bulk deposition in Belgrade, Serbia, *Environmental Pollution*, 157, 673-679.
- Astel, A., Astel, K., & Biziuk, M. (2008). PCA and multidimensional visualization techniques united to aid in the bioindication of elements from transplanted *Sphagnum palustre* moss exposed in Gdan' sk City Area. *Environmental Science and Pollution Research*, 15, 41–50.
- Aquino, S. M. F., Almeida, J. R., Cunha, R. R., & Lins, G. A. (2011). Bioindicadores vegetais uma alternativa para monitorar a poluição atmosférica. *Revista Internacional de Ciências*, 1, 77-94.
- Azevedo, F.A., & Chasin, A. A. M. (Eds). (2003) *Metais: Gerenciamento da toxicidade* (554p.). São Paulo: Editora Atheneu.
- Ayoede, J. (1991). *Introdução a Climatologia para os Trópicos* (332p.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Baird, C. (2002). *Environmental Chemistry*. (2.ed., 528p.) New York: Bookman.
- Bollmann, H. Indicadores Ambientais. In: Maia, N., Martos, H., & Barrella. W (org.) (2001). *Indicadores Ambientais: Conceitos e aplicações* (285p.). São Paulo: EDUC/COMPED/INEP.
- Boquete, M. T., Fernández, J. A., Carballeira, A., & Aboal, J. R. (2013). Assessing the tolerance of the terrestrial moss *Pseudoscleropodium purum* to high levels of atmospheric heavy metals: a reciprocal transplant study. *Science of the Total Environment*, 461, 552-559.
- Brunekreef, B., Beelen, R., Hoek, G., Schouten, L., Bausch-Goldbohm, S., Fischer, P., Armstrong, B., Jerret, M., & Brandt, P. (2009). Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on respiratory and cardiovascular mortality in the Netherlands: the NLCS-AIR study. *Res Rep Health Eff Inst*, 139, 5-71.
- Cao, T., Min, W., Yinghao, Y., Yuxia, L., Shuiliang, G., Benrong, Z., Yan, L., Jiming, W., Yang, C., & Zhirui, Z. (2009). Air quality for metals and sulfur in Shanghai, China, determined with moss bags. *Environmental Pollution*, 157, 1270–1278.
- Carneiro, R. (2004). *Bioindicadores Vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da comunidade*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Enfermagem de Ribeirão, Preto Ribeirão Preto, MG, Brasil.
- Clymo, R. S. (1963). Ion exchange in *Sphagnum* and its relation to bog ecology. *Annals of Botany*, 27, 309–324.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (1990). Resolução n. 003 de 28 de junho de 1990. In: *Controle da poluição do ar*. Recuperado em 04 setembro 2011, de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>.
- Culicov, O. A., Mocanu, R., Frontasyeva, M. V., Yurukova, L., & Steinnes, E. (2005). Active moss biomonitoring applied to an industrial site in Romania: relative accumulation of 36 elements in moss-bags. *Environmental monitoring and assessment*, 108, 229-240.
- Danni-Oliveira, I. M. (2008). Poluição do ar como causa de morbidade e mortalidade da população urbana. *RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise*, 15, 113-126.
- De Medeiros, A. P. P., Gouveia, N., Machado, P., De Souza, M., Alencar, G., Novaes, H. (2009). Traffic-related air pollution and perinatal mortality: A case-control study. *Environ Health Perspect*, 117, 127-32.

- Dmuchowski, W. & Bytnerowicz, A. (2009). Long-term (1992–2004) record of lead, cadmium, and zinc air contamination in Warsaw, Poland: Determination by chemical analysis of moss bags and leaves of Crimean linden. *Environmental Pollution*, 157, 3413-21.
- Dmuchowski, W., Gozdowski, D., & Baczewska, A. H. (2011). Comparison of four bioindication methods for assessing the degree of environmental lead and cadmium pollution. *Journal of hazardous materials*, 197, 109 -118.
- Gutberlet, J. (1989). Uso de *Sphagnum recurvum* P. Beauv. como biofiltro no monitoramento de poluição aérea industrial de metais pesados. *Acta Botanica Brasilica*, 2, 103-114.
- Hartwig, A. (2010). Mechanisms in cadmium-induced carcinogenicity: recent insights. *Biometals*, 23, 951- 960.
- Käffer, M., Lemos, A., Apel, M., Rocha, J., Martins, S. & Vargas, V. (2012). Use of bioindicators to evaluate air quality and genotoxic compounds in an urban environment in Southern Brazil. *Environmental Pollution*, 163, 24-31.
- Malavolta, E. (1980). *Elementos de nutrição mineral em plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres.
- Markert, B., Breure, A. & Zechmeister, H. (2003) Definitions, strategies and principles for bioindication/ biomonitoring of the environment. In: Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. (Eds.), *Bioindicators and Biomonitors* (pp. 3-39). Amsterdam: Elsevier Science.
- Matović, V., Buha, A., Bulat, Z., & Đukić-Čosić, D. (2011). Cadmium Toxicity Revisited: Focus on Oxidative Stress Induction and Interactions with Zinc and Magnesium. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 62, 65–76.
- Mirlean, N., Casartelli, M. R., & Garcia, M. R. (2002). Propagação da poluição atmosférica por flúor nas águas subterrâneas e solos de regiões próximas às indústrias de fertilizantes. *Química Nova*, Rio Grande, RS, 25, 191-195.
- Nóbrega, M. R., & Krusche, N. (2010). Diagnóstico qualitativo da poluição atmosférica em Rio Grande-RS, 2000 a 2002. *Geosul*, 25, 129-150.
- O'Neill, M. S., Bell, M., Ranjit, N., Cifuentes, L., Loomis, D. & Gouveia, N. (2008) Air pollution and mortality in Latin America: the role of education. *Epidemiology*, 19, 810-819.
- Pratte-Santos, R., Terra, V. R., & Barbiéri, R. S. (2008). Perspectivas da avaliação da qualidade da água em rios por intermédio de parâmetros físicos, químicos e biológicos. *Natureza online*, 6, 63-65.
- Saitanis, C. J., Frontasyeva, M. V., Steinnes, E., Palmer, M. W., Ostrovskaya, T. M., & Gundorina, S. F. (2013). Spatiotemporal Distribution of Airborne Elements Monitored with the Moss Bags Technique in the Greater Thrasion Plain, Attica, Greece. *Environ. Monit. Assess.*, 185, 955-968.
- Salo, H., Bucko, M., Vahtovuori, L., Limo, J., Makinen, J. & Pesonen, L. (2012). Biomonitoring of air pollution in SW Finland by magnetic and chemical measurements of moss bags and lichens. *Journal of Geochemical Exploration*, 115, 69-81.
- Satarug, S., Garrett, S., Sens, M & Sens, D. (2010). Cadmium, environmental exposure, and health outcomes. *Environ Health Perspect.*, 118, 182–190.
- Silva, J. M., Gurgel, A. M., Gurgel, I. D. G., & Augusto, L. G. S. (2009). A inter-relação saúde, trabalho e ambiente no licenciamento da refinaria do nordeste. *Tempus: actas em saúde coletiva*, 4, 72-83.
- Thomasi, C., Nunes, G., Toledo, R., Jungueiro, M., Teixeira, P., Adamatti D., & Tagliani, C. (2011, julho). “Um sistema para previsão de impactos gerados pela instalação de indústrias e sua influência sobre ecossistemas costeiros no extremo sul do Brasil”, (pp.1455-1464). *Anais do Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais*, Natal, RN, 3.

Toledo, G. I. F. M., & Nardocci, A. (2011). Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. *Revista brasileira epidemiologia*, 14, 445-454.

Vanz, A., Mirlean, N., & Baisch, P. (2003). Avaliação de poluição do ar por chumbo particulado: uma abordagem geoquímica. *Química Nova*, 26, 24-29.

Vasconcelos, M., & Tavares, H. (1998). Atmospheric metal pollution (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) in Oporto city derived from results for low-volume aerosol samplers and for the moss *Sphagnum auriculatum* bioindicator. *Science of the Total Environment*, 212, 11–20.

Vianna, N., Andrade, L., Souza-Machado, A., & Saldiva, P. (2008). Uma proposta de intersectorialidade para investigar poluição atmosférica e alergias respiratórias. *Gazeta Médica Bahia*, 78, 86-92.

Vuković, G., Urošević, M., Razumenić, I., Kuzmanoski, M., Pergal, M., Škrivanj, S., & Popović, A. (2014). Air quality in urban parking garages (PM₁₀, major and trace elements, PAHs): Instrumental measurements vs. active moss biomonitoring. *Atmospheric Environment*, 85, 31-40.

Recebido em: 13/05/2013

Aceito em: 27/11/2014