

UTILIZAÇÃO DE MAPAS AUTO-ORGANIZÁVEIS PARA VERIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE METAIS NA ATMOSFERA DE IPATINGA, MINAS GERAIS, ATRAVÉS DE BIOMONITORAMENTO COM *Sphagnum capillifolium*

Adriana Rocha de Souza Drumond¹, Efraim Lázaro Reis²,
Maria Adelaide Vasconcelos Rabelo Veado³, Viviane Macedo Reis Araújo¹,
José Márcio Quintão Moreira⁴,

¹Programa de Mestrado em Engenharia Industrial do Centro Universitário do Leste de Minas Gerais (UNILESTE).

Coronel Fabriciano, MG, Brasil
adriana.drumond@ufv.br
viviane.macedoreis@gmail.com

²Laboratório de Instrumentação e Quimiometria/Departamento de Química (LINQ/DEQ) Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Viçosa, MG, Brasil
efraimreis@gmail.com

³Mestrado em Construção Civil / Área de Concentração Meio Ambiente da Universidade Fundação Mineira de Educação e Cultura (FUMEC)

Belo Horizonte, MG, Brasil
maria-vasc@hotmail.com

⁴Coordenação de Meio Ambiente e Qualidade – Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA S.A.) Belo Oriente, MG, Brasil

josemarcio.quintao@cenibra.com.br

Resumo: O presente trabalho refere-se ao biomonitoramento ativo *moss bag* da qualidade do ar de Ipatinga – MG, utilizando *Sphagnum capillifolium*, determinando-se os metais Al, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, In, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Sn, Sr, Tl e Zn adsorvidos no material vegetal através da técnica analítica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). Foi utilizada a ferramenta computacional Redes de Kohonen ou Mapas Auto Organizáveis para verificar as similaridades e diferenças de amostras e variáveis. Através dos mapas obtidos foi possível visualizar correlações positivas com as observações experimentais. Tanto no período seco quanto no chuvoso, verificou-se que a maioria dos metais determinados nas amostras vegetais foi identificada nos bairros da região sul desta pesquisa, região predominante da direção dos ventos e próxima à siderúrgica local. No período seco foram determinadas as maiores concentrações dos metais.

Palavras-Chave: Poluição do ar, Biomonitoramento, Metais pesados, *Sphagnum capillifolium*

Abstract: This paper refers to the active biomonitoring moss bag of air quality of Ipatinga - MG, using *Sphagnum capillifolium*, determining the metals Al, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, In, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Sn, Sr, Tl and Zn adsorbed on plant material through the analytical technique of Optical Emission Spectrometry with Inductively Coupled Plasma (ICP-OES). The self-organizing maps have proved useful to visualize the similarities and differences of samples and

variables, making a positive correlation with the experimental observations. Both in the dry and in the rainy season, it was found that the majority of certain metals in plant samples were identified in the southern districts of this research, the regions predominant wind direction and close to local steel. In the dry period were higher concentrations of certain metals.

Keywords: Air pollution, biomonitoring, heavy metals, *Sphagnum capillifolium*.

INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica no ambiente urbano industrial constitui um problema que tem se agravado, ocasionado, principalmente, pela queima de combustíveis fósseis e descargas industriais. Seus efeitos se caracterizam tanto pela alteração de condições consideradas normais como pelo aumento de problemas já existentes.

Os metais gerados por essas atividades antrópicas são nocivos à saúde mesmo em quantidades muito pequenas, pois se encontram agregados às partículas em suspensão, compostos orgânicos ou na forma de vapor e sofrem dispersão com os ventos, atingindo áreas onde a geração desses poluentes é muito baixa. São os elementos químicos mais estudados do ponto de vista toxicológica já que apresentam propriedades de bioacumulação, biomagnificação na cadeia trófica, persistência no ambiente e distúrbios nos processos metabólicos dos seres vivos [1, 2].

Na técnica de bioacumulação utilizam-se organismos naturais para a acumulação de substâncias do meio em análise. O uso de bioindicadores é a metodologia adequada para a detecção de efeitos de poluentes atmosféricos sobre organismos, no entanto, o seu emprego não substitui medições de concentrações ambientais de poluentes através de métodos físico-químicos, mas fornece informações adicionais referentes a efeitos sobre organismos vivos [4].

A vegetação é um indicador muito eficaz do impacto da poluição atmosférica devido à capacidade de acumular poluentes em níveis muito mais elevados do que os níveis presentes no ar. As plantas mais comuns usadas no biomonitoramento são os musgos devido à alta capacidade de troca iônica e a acumulação de poluentes não só na superfície, mas também em nível celular. Os musgos são bastante dependentes da qualidade do ar e vulneráveis às poluições atmosféricas, servindo, desse modo, como um bioindicador ideal, e o seu uso tem se tornado muito comum por causarem menos problemas técnicos e analíticos comparados aos líquens e outros tipos de plantas [5, 6].

O musgo mais usado no monitoramento *moss bag* é o *Sphagnum* devido a suas características anatômicas e fisiológicas que facilitam a acumulação dos poluentes e pelo fato de estarem intimamente ligados com as condições atmosféricas, já que absorvem água e nutrientes ao longo de toda sua superfície, captando-os eficientemente da água da chuva, do orvalho e nevoeiro. Por essa razão, os musgos são bastante dependentes da qualidade do ar e vulneráveis às poluições atmosféricas, servindo, desse modo, como um bioindicador ideal [7].

Através do método *moss bag*, é possível identificar a distribuição dos poluentes no espaço e no tempo e, assim, fornecer uma prova segura da dimensão e distribuição da contaminação ambiental na região em estudo. Em áreas poluídas de diversos países tem sido empregada, com sucesso, até os dias de hoje, a metodologia padronizada de biomonitoramento ativo com *Sphagnum*, devido a suas vantagens, salvo algumas adaptações do método para cada local (Quadro 1).

O material particulado é uma forma predominante de emissões de elementos traços em áreas urbanas e a capacidade de captação do musgo depende principalmente do aprisionamento físico-químico passivo e adsorção de elementos sobre as paredes das células [6].

Os musgos são relativamente resistentes a elevadas concentrações de poluentes do ar, possibilitando a sua utilização também em regiões poluídas, o que reforça cada vez mais sua importância nos estudos sobre a qualidade ambiental [6].

QUADRO 1

O presente trabalho refere-se ao biomonitoramento ativo *moss bag* da qualidade do ar de Ipatinga – MG, utilizando o musgo *Sphagnum capillifolium*, determinando-se os metais adsorvidos no material vegetal através da técnica analítica de Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES).

Objetivando-se facilitar a interpretação dos resultados recorreu-se à avaliação quimiométrica dos dados utilizando-se redes neurais de Kohonen ou mapas auto organizáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

Ipatinga, cidade do Estado de Minas Gerais, está localizada a 19° 28' 46" de Latitude Sul e 42° 31' 18" de Longitude Oeste. Ocupa uma área de 164,884 km² e sua população estimada em 241.538 habitantes [18] sendo a décima cidade mais populosa e com a oitava maior frota de veículos do Estado de Minas Gerais [19].

O clima do município é caracterizado como tropical subquente e subseco, com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média de 21,6 °C, tendo invernos secos e amenos (raramente frios) e verões chuvosos com temperaturas moderadamente altas, com precipitação média anual de 1280 mm [20].

Para o biomonitoramento *moss bag* foram escolhidos 15 pontos de amostragens levando-se em consideração as fontes de emissão de poluentes veiculares e industriais, através do Inventário de Emissões Atmosféricas da Usina Siderúrgica de Minas Gerais (USIMINAS).

Foram consideradas também outras 24 indústrias locais e 84 vias de tráfego urbano mais significativo em Ipatinga e dividiu-se a área de estudo em duas regiões (norte e sul) (Quadro 2) [21].

Experimento

O biomonitoramento ativo pelo método *moss bag*, tem como princípio fundamental a exposição de musgo em saquinhos, que servem como acumuladores de poluentes durante determinado período. Posteriormente, é feita uma análise química do musgo para determinar o conteúdo de poluentes em comparação com as amostras não expostas [22].

A espécie do musgo utilizada neste estudo foi *Sphagnum capillifolium*, coletada no município de Cananéia- SP, sendo que todas as amostras foram coletadas na mesma área (Brocuanha) visando garantir uma procedência única e assim proporcionar um biomonitoramento com condições uniformes.

Para uniformizar as variações entre os diversos locais de medição, os saquinhos de musgos foram fixados em suportes identificados e dispostos em seis amostras por local e três por altura (1m e 2m do solo) (Figura 1).

A exposição dos saquinhos de musgo foi entre 28/07/2010 a 18/11/2010, em três períodos alternados de 34 a 40 dias, para que fosse possível o registro de suas oscilações sazonais, nos 15 pontos de biomonitoramento entre os períodos de chuva e seca.

O material vegetal foi homogeneizado, feita a triagem e pesado em porções de cerca de 12g e em seguida colocado em saquinhos de náilon com malha de 1 cm². O formato foi esférico para proporcionar a vantagem de uma superfície maior de contato, com oscilação livre, não havendo dependência da direção dos ventos [6].

Durante todo o processo de preparação, os musgos estavam secos e, para reativar sua atividade biológica antes da exposição, foram previamente umedecidos. Foram mensurados os parâmetros condutividade, acidez, salinidade e temperatura da água utilizada para a hidratação do *Sphagnum* [6, 23].

O material vegetal depois de exposto foi tratado devidamente em laboratório, secado e moído. Massas aproximadas de 0,2 g desse material vegetal foram digeridas com HNO₃ a 60% em autoclave por uma hora, a uma pressão de 1,25 kgf/cm² e em temperatura de 114 ° - 115 °C. Em seguida as misturas foram filtradas com água fervente em papel de filtro. Após o resfriamento, foram avolumadas em balão volumétrico de 100 mL e para posterior análise.

Determinaram-se nas amostras tratadas os metais Al, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, In, Li, Mg, Mn, Ni, Pb, Sn, Sr, Tl e Zn por Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES) em espectrômetro ICPE 9000 sequencial da Shimadzu.

Método Quimiométrico

A ferramenta quimiométrica rede de Kohonen foi utilizada para visualizar as similaridades e diferenças de variáveis, por intermédio de grupamentos segundo as semelhanças apresentadas. É um tipo de rede que apresenta a habilidade de projetar dados de alta dimensão, sem perder a informação original, em espaço bidimensional [24].

Os dados foram organizados numa matriz com 90 linhas, representando as amostras (locais de amostragem), e 17 colunas representando as variáveis analisadas (concentrações dos metais bioacumulados). Obteve-se então duas matrizes, uma para o período chuvoso e outra para o seco, com as dimensões 90 x 17.

Para que todas as variáveis tivessem o mesmo peso, os dados foram auto escalonados para média zero e variância unitária.

A obtenção dos mapas auto organizáveis foi realizada através do pacote SOM-ToolBox [24], cuja operação ocorre no ambiente MatLab [25]. Na otimização da arquitetura de rede foram feitos cálculos para determinar o tamanho ideal dos mapas, a partir do cálculo de erro topológico e do erro quantitativo, o que permitiu a distribuição adequada das amostras, selecionando-se uma arquitetura de 49 neurônios, arranjados numa disposição de 7 linhas e 7 colunas.

QUADRO 2

FIGURA 1

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições temporais no período em estudo, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (SINDA/INPE) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) mostraram que nos meses de julho a novembro, a temperatura média foi de 22,5 °C, a temperatura mínima de 14,4 °C no mês de agosto e a temperatura máxima de 30,9 °C, nos meses de setembro e outubro. A média dos índices pluviométricos do período seco (julho/agosto/setembro) foi de 10,9 mm e a média do período chuvoso (outubro/novembro) atingiu 50,7mm (Figuras 2a) [26].

A média da umidade relativa do ar foi de 81% no período amostrado (FIG 2b) e o comportamento do vento (velocidade e direção) para os meses amostrados pode ser resumido numa representação gráfica (Figura 3).

Observou-se que no período de amostragem de julho a novembro a direção predominante do vento foi no sentido leste-sudeste (ESE) e sul-sudeste (SSE) e as velocidades médias do vento variaram entre 0,9 e 1,5m.s⁻¹. O comportamento da direção do vento nestes

meses foi de calma, direção sudeste até leste-nordeste, o que não é muito favorável à qualidade do ar (Figura 3) [26].

Os mapas auto organizáveis referentes aos metais bioacumulados nas amostras de *Sphagnum capillifolium* demonstram a influência de cada um, correlacionadas aos valores em concentração (Figuras 5 e 7) e a disposição de cada amostra no mapa, conforme a influência nos locais de biomonitoramento *moss bag* (Figuras 4 e 6).

No período seco (Figura 4), foi possível visualizar a formação de sete conjuntos, sendo que dois destes apresentam uma única amostra. No período chuvoso (Figura 6), formaram-se nove grupos, onde três destes também são amostras individuais.

Para interpretar a formação dos agrupamentos foram analisados os mapas de distribuição individual das concentrações dos metais (Figuras 6 e 7).

No período seco, foi possível constatar elevados teores, para os metais Ca, Cu, In, Mg, Sr e Tl nas amostras vegetais expostas nas estações *moss bag* do agrupamento 7 (Figura 4), nos bairros Limoeiro e Cariru. Como fonte antropogênica, Ca e Mg são metais usados como ingredientes básicos do cimento, cuja emissão aérea pode ser advinda dos resíduos da construção civil, setor que atualmente tem alto crescimento no município de Ipatinga.

Os metais Al, Cr, Fe, Mn, Ni e Sn tiveram teores elevados nos bairros Cariru e Das Águas, conforme o agrupamento 5 (Figura 4). Detectou-se, nas amostras vegetais expostas no bairro Das Águas, a maioria dos valores máximos de concentrações para estes metais. Esse local de biomonitoramento é muito próximo à siderúrgica local, onde o fluxo de veículos não é expressivo, sendo que esses metais são inerentes às reações químicas próprias da fabricação de aços [28].

O cobalto apresentou concentrações elevadas no agrupamento 6 (Figura 4), que abrange os bairros Veneza, Novo Cruzeiro e Horto. No bairro Novo Cruzeiro (NC) é alto o fluxo de veículos, o lançamento de cobalto pelo escapamento dos veículos automotores provavelmente pode ser uma das fontes de emissão deste metal. Outra fonte antrópica importante é a siderurgia, pois cobalto é um elemento traço dos componentes das cinzas de carvão mineral usado nos altos fornos e pode ser incorporado ao aço [29].

O chumbo, metal cuja toxicidade é alta e de efeito cumulativo, pode ser um elemento químico emitido pelos altos fornos, destacou-se em concentrações similares nos bairros Cariru, Das Águas, Horto, Novo Cruzeiro, localizados na região sul, na direção predominante dos ventos. Exceto, o bairro Limoeiro, que pertence à região norte [29].

O teor mais elevado de cádmio nas amostras foi no bairro Bom Retiro. A toxicidade do cádmio é alta e também cumulativa. A presença do Cd é um fator relevante, uma vez que esse metal não é essencial e é um agente carcinogênico. O Cd pode ser tanto de origem natural como antrópica. Naturalmente está presente na litosfera. Como o transporte desse metal chega a

longas distâncias na atmosfera via deposição úmida ou seca, o que justifica a identificação em todos os locais do biomonitoramento [31].

FIGURA 2

FIGURA 3

FIGURA 4

Como fonte antrópica, o metal cádmio pode ser advindo das indústrias de ferro e aço por meio dos altos fornos por emissão da queima de combustíveis, fundições e incineração de resíduos sólidos urbanos [28, 29].

O lítio apresentou a similaridade de concentrações mais elevadas nos bairros Veneza, Jardim Panorama e Canaã.

No município de Ipatinga, no período frio e seco, as concentrações de partículas totais em suspensão (PTS), o material particulado (MP₁₀) e elementos químicos são mais elevadas devido aos baixos índices de precipitação úmida (Figura 2a) e ocorrência de calmaria nesse período, com poucas rajadas de vento, dificultam a dispersão dos poluentes [27].

No período chuvoso, as concentrações de elementos tendem a diminuir em razão das chuvas se comportarem como um agente de autodepuração da atmosfera, principalmente em relação às partículas presentes na atmosfera e aos gases solúveis ou reativos com a água [32].

Entretanto, há metais que podem apresentar um maior teor de acumulação nos musgos, porque um ambiente fracamente ácido faz com que haja uma facilidade na diluição desses metais e ficam mais disponíveis para as plantas.

FIGURA 5

FIGURA 6

No período chuvoso não foi identificada a presença de Li e Tl. Enquanto que os metais Al, Ca, Cd, Co, Fe, Mg, Sr e Zn apresentaram maiores teores nas amostras vegetais expostas do agrupamento 7 (Figura 6), nos bairros Das Águas, Bom Retiro e Novo Cruzeiro, região sul, predominante da direção dos ventos e mais próxima da siderúrgica.

No agrupamento 03 (Figura 6), bairros Canaã (CN), Ideal (ID) e Limoeiro (LI) verificaram-se os maiores teores de Cu e Pb. O ponto de exposição no bairro Limoeiro (LI), fica bem próximo a uma fábrica de curtume, o que possivelmente justifica o alto teor de Cu. O Cu ocorre naturalmente ou pode ser usado em produtos agrícolas, conservantes de madeira e couro [33].

O maior teor de Pb nas amostras vegetais foi registrado no bairro Canaã (CN) o que pode ser justificado pelo elevado fluxo de tráfego de veículos nesse bairro, uma vez que a estação *moss bag* estava próxima a um sinal de trânsito e uma das fontes antrópicas de Pb é a queima de combustíveis fósseis, mesmo que nos últimos anos no Brasil se tenha reduzido esse metal da gasolina. Ou ainda, a presença de Pb no ar da cidade pode ser justificada pelo fato de ser um elemento químico que vaporiza e deixa os altos fornos na forma de gases [28].

No período seco foram determinadas as maiores concentrações dos metais. Tanto no período seco quanto no chuvoso, verificou-se que a maioria dos metais determinados nas amostras vegetais foi identificada nos bairros da região sul desta pesquisa.

FIGURA 7

Os metais In, Mg, Ni, Sr apresentaram maiores concentrações no agrupamento 05 (Figura 6), bairro Centro e Iguçu. São locais muito próximos à siderúrgica, onde pode ocorrer liberação desses metais para o ar das cinzas dos altos fornos pela queima de carvão mineral.

O teor elevado de níquel e estrôncio nas amostras do biomonitor no bairro Centro possivelmente seja um dos fatores antrópicos decorrentes do tráfego intenso de veículos. A emissão do Sr pode ser por via natural pela ressuspensão de poeiras e ou de forma antropogênica através da queima de combustíveis fósseis como o diesel. O Ni no ar pode ser proveniente da fundição de minérios de ferro e a formação de ligas como o aço inoxidável atividades comuns da região em estudo [34].

O agrupamento 08 (Figura 6), constituído dos bairros Bom Retiro e Iguçu destacaram-se os teores de cromo e estanho nas amostras vegetais expostas. O Cr está entre os elementos típicos da poluição do ar urbano (fabricação do aço, queima de óleo, a combustão do carvão, de incineração de resíduos etc) [10, 34].

O manganês apresentou o maior teor no bairro Veneza, agrupamento 04 (Figura 6). Nas imediações do local de biomonitoramento *moss bag* do bairro Veneza (VN) é mínimo o fluxo de veículos, entretanto é um dos locais mais próximos à siderúrgica. Provavelmente esse teor elevado de manganês esteja associado à produção de aço, que se inicia na extração e vai até o tratamento metalúrgico dos minérios, liberando para o ar os óxidos de manganês (MnO_2 , Mn_3O_4) [2, 28].

No presente estudo, a maioria dos metais identificados representa o impacto urbano, uma mistura de várias emissões antropogênicas, incluindo as empresas de pequeno e grande porte, o aumento da construção civil, a siderurgia regional, o tráfego de veículos, a combustão de combustíveis fósseis, ressuspensão da poeira da estrada, bem como transporte eólico de material finamente dividido, originalmente derivado de solo e até a possibilidade de contribuição da linha férrea que corta a cidade com transporte de minério de ferro que seria um novo objeto de estudo.

CONCLUSÕES

O uso mapas auto organizáveis (redes neurais de Kohonen) facilitou a interpretação da dinâmica de distribuição das concentrações dos metais no ar atmosférico de Ipatinga, obtidos através do biomonitoramento *moss bag*. Foi possível a determinação da dimensão espacial e intensidade a que a população ipatinguense está exposta e, conseqüentemente, os riscos e prejuízos para a saúde das pessoas que trabalham e vivem nos bairros em estudo.

Os altos teores de metais no tecido vegetal do musgo *Sphagnum capillifolium* indicam os níveis de poluição do ar, retratando o que é respirado pela população no município de Ipatinga/MG e redondezas, uma vez que o ar é um sistema altamente dinâmico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a Fapemig e a CAPES pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] C. Baird, Química ambiental, Bookman, Porto Alegre, 2a. ed.,(2002), 622 p.
- [2] T. R. Prochnow, Biomonitoramento de metais em suspensão atmosférica na sub-bacia do Arroio Sapucaia, RS/Brasil. (2005), 274 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [3] T. M. Tavares; F. M. Carvalho. Química Nova, 15(2), (1992), 147.
- [4] J. S. Lima, (2000) Bioindicação, biomonitoramento: aspectos bioquímicos e morfológicos. Techoje, Belo Horizonte. Disponível em:
<http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/detalhe_artigo/172>. Acesso em 11 de fevereiro de 2013.
- [5] B. Wolterbeek. Environmental Pollution, 120, (2002), 11.
- [6] M. Anicic,; M. Tasic; M. V. Frontasyeva; M. Tomasevic; A. S. Rajsic; Z. Mijic; A. Popovic. Environmental Pollution, 157, (2009), 673.
- [7] A. R. Henriques, (2005) O uso do Sphagnum no biomonitoramento da poluição aérea por cádmio. 80 f. Monografia (Graduação) - Instituto de Biologia da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- [8] O. A. Culicov; L. Yurukova. Journal of Atmospheric Chemistry, 55, (2006), 1.
- [9] W. Dmuchowski; A. Bytnerowicz. Environmental Pollution, 157, (2009), 3413.
- [10] S. Giordano; P. Adamo; S. Sorbo; S. Vingiani. Environmental Pollution, 136, (2005), 431.
- [11] Y. F. Jiang. Life Science Research, 4, (2005), 132.

- [12] M. M. Makhholm; D. J. Mladenoff. *Environmental Monitoring and Assessment*, 104, (2005), 1.
- [13] R. Niemi; P. J. Martikainen; J. Silvola; E. Sonninen; E. Wulff; T. Holopainen. *New Phytologist*, 156, (2002), 509.
- [14] K. Pilegaard. *Environmental Monitoring and Assessment*, 27(3), (1993), 221.
- [15] M. T. S. D. Vasconcelos; H. M. F. Tavares. *The Science of the Total Environment*, 212, (1998), 11.
- [16] S. Vingiani; P. Adamo; S. Giordano. *Environmental Pollution*, 129, (2004), 145.
- [17] IBGE (2011) Estimativas da população residente nos municípios brasileiros com data de referência em 1º de julho de 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2011/POP2011_DOU.pdf>. Acesso em 11 de fevereiro de 2014.
- [18] V. Tancredo, (2009) Frota de Ipatinga aumenta em 22 veículos a cada dia. *Jornal Vale do Aço, Ipatinga*, 13 out. Disponível em: <http://www.jornalvaledoaco.com.br/novo_site/ler_noticia.php?id=76994>. Acesso em 11 de fevereiro de 2014.
- [19] IBGE (2005) Mapa de Clima do Brasil. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#REC_NAT>. Acesso em 11 de fevereiro de 2014.
- [20] USIMINAS (2008) Dimensionamento da rede automática de monitoramento da qualidade do ar e meteorologia de Ipatinga. Relatório Técnico-RTC08045.
- [21] A. Ares; J. R. Aboal; A. Carballeira; S. Giordano; P. Adamo; J. A. Fernández. *Science of The Total Environment*, 432, (2012), 143.
- [22] W. Muchowski; D. Gozdowski; A. H. Baczewskaa, *Journal of Hazardous Materials*, 197, (2011), 109.
- [23] SINDA (2012). Consulta específica ao banco de dados por mês/ano com filtros em alguns sensores. Disponível em: <http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/historico/consulta_pcdms.jsp>. Acesso em 25 setembro de 2012.
- [24] Kohonen, T. I. A., E.; Himberg, J.; Parhankanpgas, J.; Vesanto, J. *SOM Toolbox*. Disponível em <http://www.cis.hut.fi>. Acesso em 13 de fevereiro de 2014.
- [25] MATH WORKS, Matlab, MathWorks, Natick, MA, 1993.
- [26] INMET (2012) Estações do INMET no Brasil. Disponível em: <<http://www3.funceme.br/plone/tempoClima/clima/downscale/inmet/201008/brasil.php/>>. Acesso em 25 de setembro de 2012.
- [27] E. M. S. Rizzo, (2006) Introdução aos processos de refino primário dos aços nos fornos elétricos a arco. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. 104 f.
- [28] W. F. Moraes Júnior, (2010) Eficiência e precaução na siderurgia a base de coque: a implementação de uma coqueria em Ipatinga/MG. 183 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

- [29] ATSDR. Toxicological profile for lead. Atlanta, 2007. 561 p. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp13.pdf>>. Acesso em 13 fevereiro de 2014.
- [30] ATSDR. (2008) Draft toxicological profile for cadmium. Atlanta. 512 p. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>>. Acesso em 13 fevereiro de 2014.
- [31] I. T. Almeida, (1999) A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto. 194 f. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [32] ATSDR. (2004) Toxicological profile for copper. Atlanta. 314 p. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.pdf>>. Acesso em 13 fevereiro de 2014.
- [33] M. F. Silva, (2007). Emissão de metais por veículos automotores e seus efeitos à saúde pública. 156 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo.
- [34] ATSDR. (2007) Draft toxicological profile for chromium. Atlanta, 2007a. 610 p. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp7.pdf>>. Acesso em 13 fevereiro de 2014.

Quadro 1. Biomonitoramento ativo com *Sphagnum* em vários países.

Local de estudo	Espécie	Tempo de exposição	Referência
Belgrado, Sérvia.	<i>Sphagnum girgensohnii</i>	15 dias a 5 meses	[6]
Baia Mare, Romênia.	<i>Sphagnum girgensohnii</i>	4 meses	[8]
Varsóvia, Polônia.	<i>Sphagnum fallax</i>	12 anos- junho a setembro (1992 a 2004)	[9]
Nápoles, Itália.	<i>Sphagnum capillifolium</i>	2 meses / 4 meses	[10]
Jishou, China.	<i>Sphagnum junghuhnianum</i>	3 meses	[11]
Wisconsin, Estados Unidos.	<i>Sphagnum russowii</i>	10 semanas	[12]
Finlândia	<i>Sphagnum angustifolium</i> , <i>Sphagnum magellanicum</i> e <i>Sphagnum papillosum</i>	25 dias /44 dias	[13]
Sarfartoq, Groelândia.	<i>Sphagnum girgensohnii</i>	25–34 dias	[14]
Porto, Portugal.	<i>Sphagnum auriculatum</i>	2 meses	[15]
Nápoles, Itália.	<i>Sphagnum capillifolium</i>	10 / 17 semanas	[16]
Turku e Harjavalta, Finlândia.	<i>Sphagnum papillosum</i>	87-88 dias / 62-64 dias.	[17]

Quadro 2. Regiões do Biomonitoramento *moss bag*, em Ipatinga/MG, 2010.

Estações <i>moss bag</i>	Sigla	Coordenadas Geográficas	Altitude (m)
NORTE			
P1-Bethânia	(BE)	19° 27'23,5" S - 42° 33'19,4" O	236
P2-Limoeiro	(LI)	19° 26'47,7" S - 42° 35'23,0" O	281
P3-Canaã	(CN)	19° 27'23,3" S - 42° 33'18,8" O	241
P4-Caçula	(CA)	19° 27'42,2" S - 42° 33'05,9" O	231
P5-Jardim Panorama	(JP)	19° 28'00,2" S - 42° 33'04,1" O	265
P6-Veneza	(VN)	19° 28'20,0" S - 42° 31'35,6" O	263
P7-Ideal	(ID)	19° 28'01,8" S - 42° 35'24,3" O	282
P8-Bom Jardim	(BJ)	19° 28'14,4" S - 42° 32'19,4" O	266
SUL			

P9-Novo Cruzeiro	(NC)	19° 28'33,1" S - 42° 32'14,6" O	264
P10-Centro	(CE)	19° 28'45,8" S - 42° 31'39,1" O	267
P11-Iguaçu	(IG)	19° 28'49,6" S - 42° 32'57,1" O	272
P12-Cariru	(CR)	19° 29'49,5" S - 42° 31'54,5" O	278
P13-Bairro Águas	das (BA)	19° 30'6,2" S - 42° 32'35,5" O	255
P14-Horto	(HO)	19° 26'10,7" S - 42° 33'47,9" O	330
P15-Bom Retiro	(BR)	19° 30'37,9" S - 42° 33'35,9" O	252



Figura 1. a) Modelo do suporte de um estação de medição *moss bag*; (b) Modelo de identificação padrão de todas as estações *moss bag*.

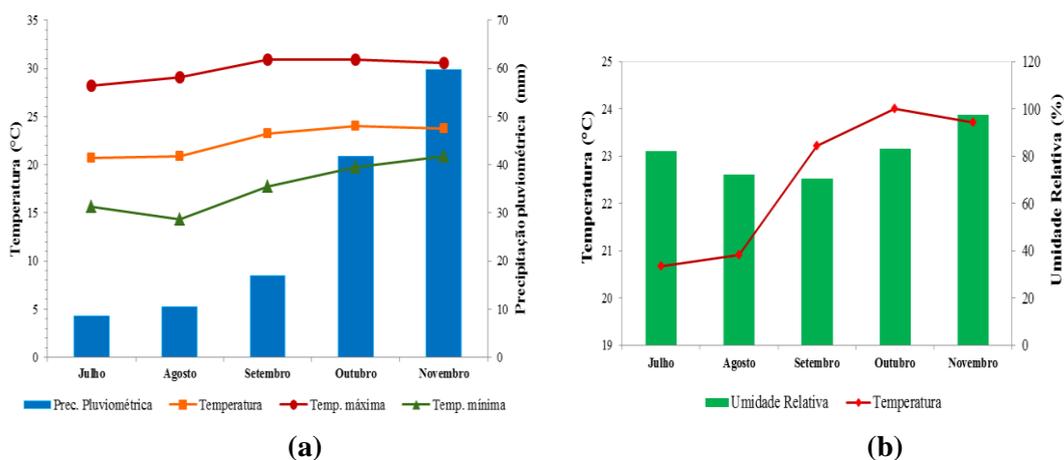


Figura 2. Médias aritméticas diárias das (a) temperaturas médias, máximas e mínimas e precipitação pluviométrica e da (b) umidade relativa do ar e temperatura no período de amostragem em Ipatinga/MG, 2010.

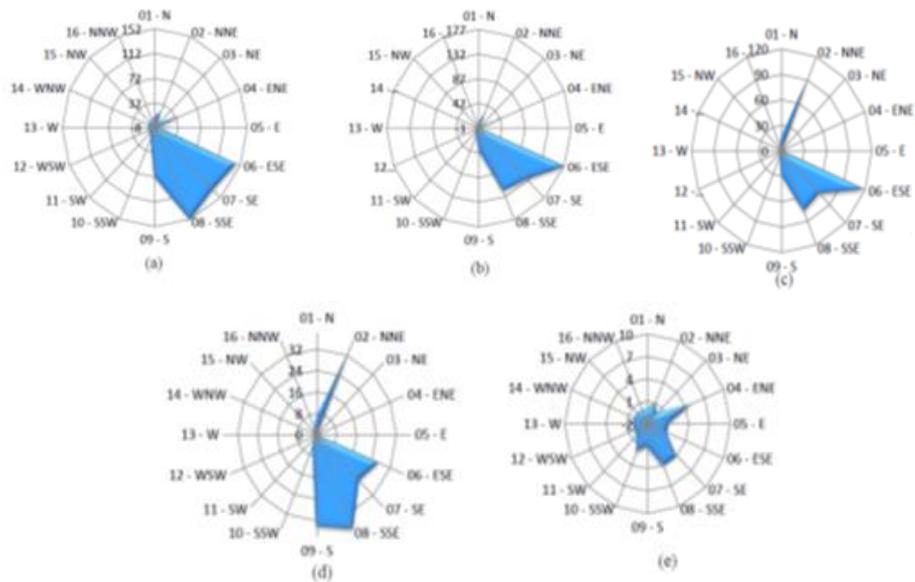


Figura 3. Direção e velocidade de vento (m s^{-1}) nos meses de amostragem (a) julho, (b) agosto, (c) setembro, (d) outubro e (e) novembro, no município de Ipatinga/MG, em 2010.

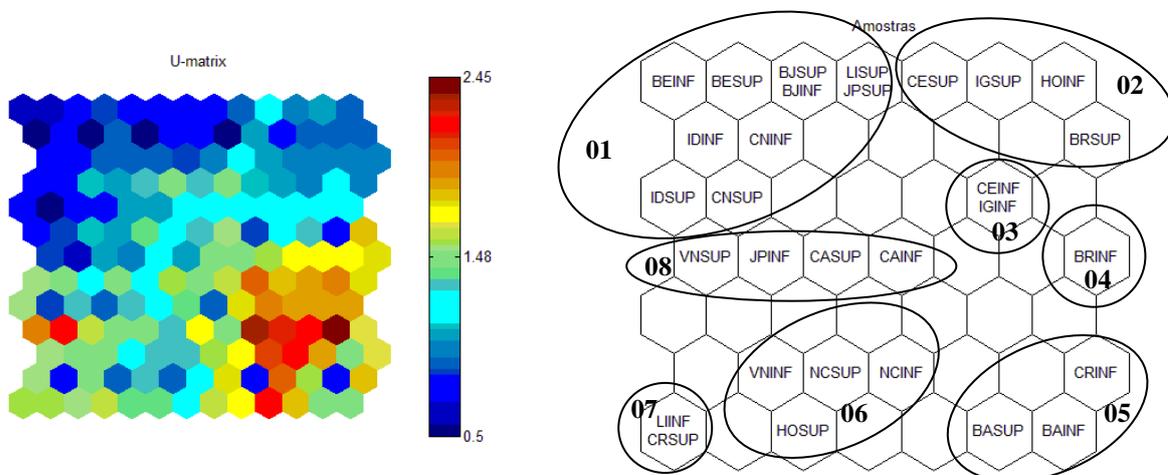


Figura 4. Perfil de distribuição de amostras do período seco após o tratamento com a rede neural de Kohonen. INF (Inferior)-para amostras expostas à altura de 1 m do solo e SUP (Superior)-para amostras expostas à 2m do solo.

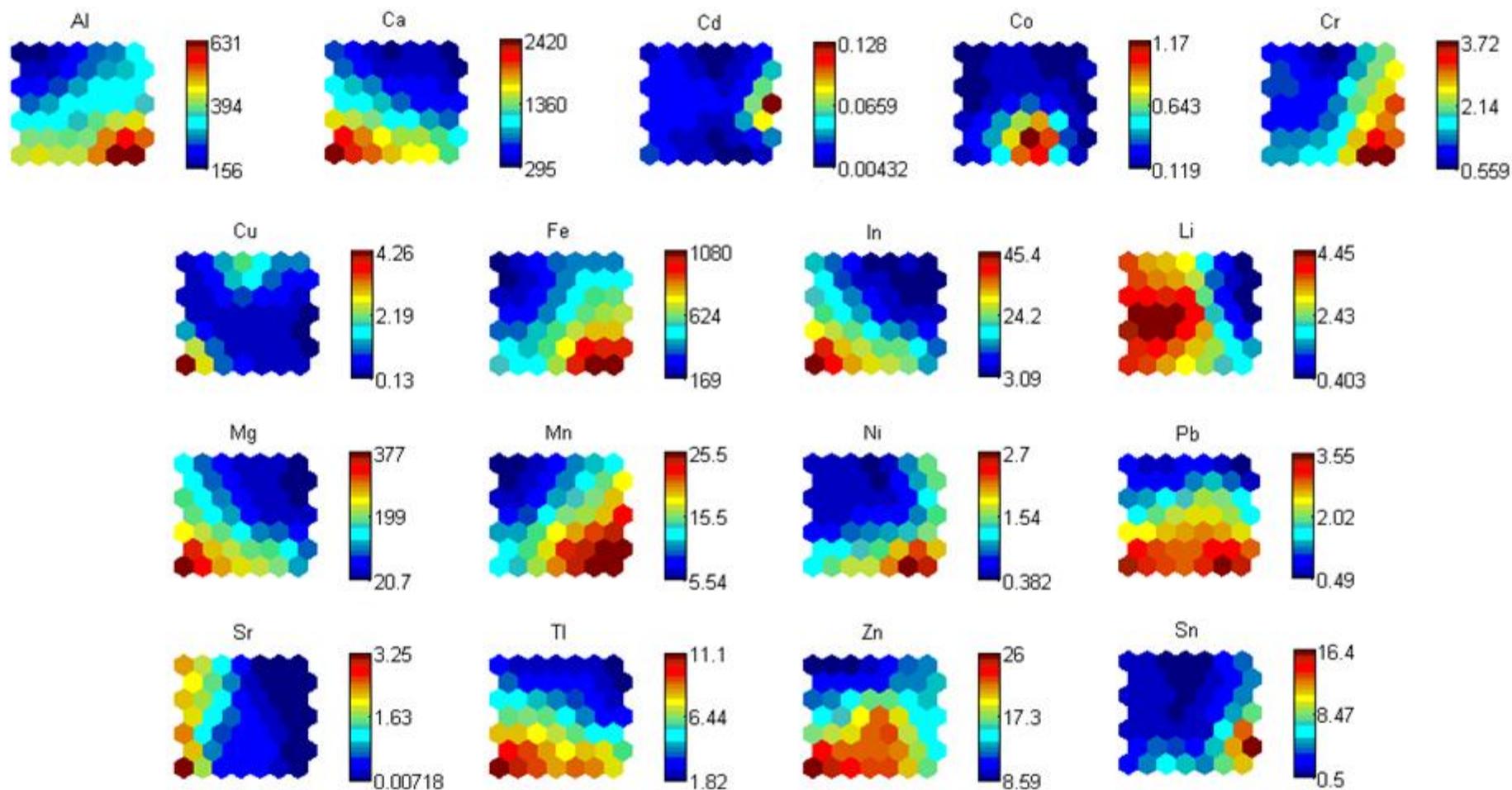


Figura 5. Mapas de distribuição individual das variáveis (concentração em $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) utilizadas no tratamento pela rede de Kohonen, dos dados obtidos pelo biomonitoramento *moss bag*, realizado no período seco, em Ipatinga/MG, 2010.

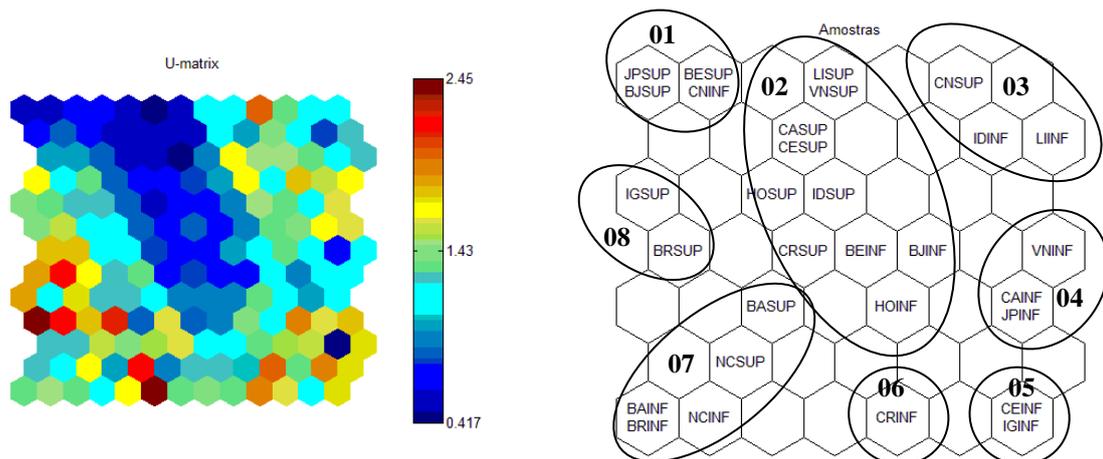


Figura 6. Perfil de distribuição de amostras do período chuvoso após o tratamento com a rede neural de Kohonen. INF (Inferior)-para amostras expostas à altura de 1 m do solo e SUP (Superior)- para amostras expostas à 2m do solo.

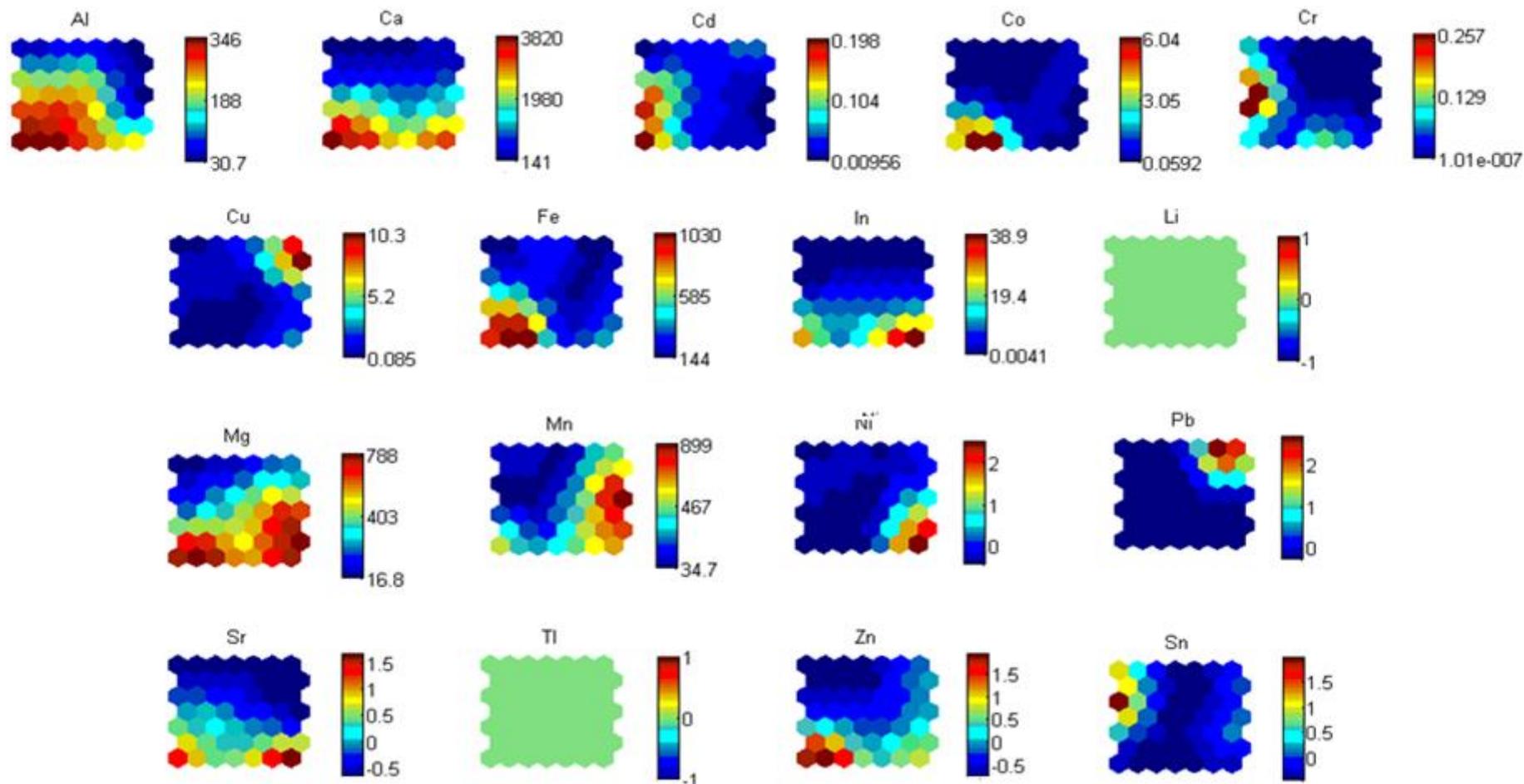


Figura 7. Mapas de distribuição individual das variáveis (concentração em $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) utilizadas no tratamento pela rede de Kohonen, dos dados obtidos pelo biomonitoramento *moss bag*, realizado no período chuvoso, em Ipatinga/MG, 2010.