

## Análise Qualitativa de Poluentes na Água das Chuvas em Lavras - MG

Ronaldo Fia\*, Sthefanny Sanchez Frizzarim\*, Fátima Resende Luiz Fia\*

ronaldofia@deg.ufla.br, sthefanny\_saf@hotmail.com, fatimarlf@deg.ufla.br

Recebido: 18/10/12 - revisado: 13/12/12 - aceito: 18/03/13

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica de poluentes na água das chuvas, e o aporte de nutrientes proveniente da chuva em Lavras-MG durante o ano hidrológico 2010/2011. Quarenta e uma amostras de água de chuva foram coletadas entre os meses de setembro de 2010 e agosto de 2011. Foram instalados dois coletores (funil de polietileno com 0,20 m de diâmetro, fixado a 3 m do solo e acoplado a um recipiente de polietileno com capacidade de 10 L) em dois diferentes pontos: no centro da cidade e na Universidade Federal de Lavras. Resultados da amostragem apresentaram valores médios, ponderados pelo volume, de pH, alcalinidade, ácido carbônico, nitrato, amônio e sulfato, respectivamente, para amostras coletadas no centro e na Universidade Federal de Lavras, iguais a 6,5 e 6,9, 37,3 e 76,2  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , 173,0 e 133,6  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , 3,8 e 4,6  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , 21,2 e 16,7  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , 42,8 e 43,0  $\mu\text{eq L}^{-1}$ . Nesse período houve um aporte médio de 3,67  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ , 4,82  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$  e 58,19  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{SO}_4^{2-}$ . As maiores concentrações de amônio, sulfato e acidez carbônica foram encontradas no centro da cidade, provavelmente pela maior contribuição da poluição gerada pelos automóveis. Fato que contribui para os menores valores de pH observados no mesmo local. No entanto, com base nos valores médios de pH observados e classificados como normais, as chuvas incidentes na região não apresentaram riscos imediatos de acidificação ambiental.

**Palavras-Chave:** poluição do ar; aporte de nutrientes; pH; qualidade de água.

### INTRODUÇÃO

O Brasil se encontra em situação privilegiada em termos de recursos hídricos. Entretanto, essa falsa noção de que o país tem água em abundância mascara a existência de regiões com baixos índices de produção hídrica, como a região nordeste do país, e o fato de ocorrerem períodos de prolongada estiagem em regiões mais úmidas, como a região sudeste, por exemplo (TOMASONI et al., 2009). Assim, nos últimos anos, tem-se evidenciado a necessidade de utilização de novas fontes de água, como a água da chuva, e do reuso de água devido ao aumento da demanda associada, principalmente, ao crescimento populacional nos centros urbanos e pelo aumento do consumo por habitante, além das condições naturais de escassez (HESPANHOL, 2002; FONSECA et al., 2007; HESPANHOL, 2008; PAES et al., 2010; SOUZA et al., 2011).

A captação e utilização da água de chuva é uma técnica milenar realizada para fins agrícolas e domésticos. Em alguns lugares, a utilização residen-

cial desta água foi sendo abandonada ao longo do tempo à medida que os sistemas de abastecimento de água se expandiram (ZERBINATTI et al., 2011). Nos últimos anos essa prática vem sendo retomada dando ênfase à conservação da água. Além de proporcionar economia de água potável, a utilização da água pluvial em residências pode reduzir os custos com a água do serviço de abastecimento e contribuir para a diminuição do pico de inundações nas cidades, quando aplicada em larga escala, de forma planejada em uma bacia hidrográfica (TOMAZ, 2003).

Diante destas circunstâncias, atenção tem sido dada à qualidade da água da chuva, pois várias atividades humanas são significantes fontes de emissões de elementos e compostos para a atmosfera, como a queima de combustíveis fósseis, emissões industriais, incineração de resíduos, agropecuária e minerações. Os compostos químicos gerados nas diferentes fontes citadas podem ser depositados no próprio local onde são gerados ou serem transportados por grandes distâncias como relatado por Monks et al. (2009).

Com o aumento das atividades industriais e a maior necessidade de produção de alimentos, tem-se observado acentuado aumento da emissão de poluentes e, conseqüentemente, alterações na composição química da atmosfera (BELO et al., 2012;

\*Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Lavras – MG

WISBECK et al., 2011; XAVIER et al., 2011; ZERBINATTI et al., 2011). O aumento das concentrações de poluentes na atmosfera tem causado transtornos diretos e indiretos à população e ao ambiente entre os quais se destacam: diversas doenças, danos à flora e à fauna, prejuízos à agropecuária, corrosão de estruturas, entre outros.

A transferência de poluentes entre os reservatórios atmosfera-hidrosfera, seu balanço de massa e os impactos causados estão no cerne da demanda por novos conhecimentos (QUEIROZ et al., 2007; GONÇALVES et al., 2010).

O monitoramento de espécies químicas de importância ambiental, presentes na atmosfera, é uma prática que tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, devido à crescente necessidade de se acompanhar o crescimento nos níveis de poluição encontrados centros urbanos, bem como evitar impactos negativos aos sistemas naturais. Assim, o conhecimento da composição química da água da chuva, juntamente com a análise das possíveis fontes de contribuição à deterioração da qualidade da água (naturais e antrópicas), como ferramenta de identificação de poluentes, é essencial para o entendimento e controle das atividades humanas sobre o meio ambiente (LEAL et al., 2004).

Ao promover a limpeza da atmosfera, nos seus primeiros momentos de ocorrência, a chuva dissolve os contaminantes presentes no ar, que dependendo da sua natureza e concentração, podem afetar suas características naturais, e mesmo a acidificação da água (CAPE et al. 2011). A quantidade de substâncias carregadas da atmosfera pela chuva é influenciada por emissão de poluentes na atmosfera, altitude em relação ao nível do mar e condições meteorológicas como: intensidade e direção do vento, tamanho da gota de chuva e altura da camada de mistura onde se determina qual é o volume disponível de ar em que ocorrem fenômenos de turbulência e consequente dispersão dos poluentes na atmosfera (FLUES et al., 2003).

Sendo assim, a composição atmosférica pode ocasionar o fenômeno da chuva ácida (CUNHA et al., 2009; COELHO et al., 2011; DIAS et al., 2012; TIWARI et al., 2012). A acidificação da chuva está associada, principalmente, à presença de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ), oriundos de processos de combustão. Segundo Baird (2002), o pH natural da água das chuvas está em torno de 5,6, e ocorre naturalmente por causa do equilíbrio com a concentração de gás carbônico na atmosfera; e a ocorrência de chuva ácida só deve ser considerada quando pH for inferior a 5,0. O pH pode variar de acordo com a interação dos íons em

suspensão destacando-se, além das espécies carbonáticas, cátions e ânions inorgânicos.

É sabido que as regiões sul e sudeste do Brasil são áreas potencialmente problemáticas em termos de poluição atmosférica, devido às intensas atividades industriais. Porém, mesmo em áreas pouco industrializadas, mas com intensa atividade agrícola e que sofrem a ação direta dos ventos podem ser verificados aumentos nas concentrações de cátions e ânions na atmosfera (QUEIROZ et al., 2007; RODRIGUES et al., 2007; COELHO et al., 2011; CONCEIÇÃO et al., 2011).

Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a composição química das águas pluviais e a deposição atmosférica anual por meio da água da chuva na cidade de Lavras, localizada no sul de Minas Gerais, durante o ano hidrológico 2010/2011.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Lavras localizada na região sul de Minas Gerais, com altitude média de 919 m, precipitação anual de 1.530 mm e temperatura média anual de 19,4°C (DANTAS et al., 2007). O município possui cerca de 90.000 habitantes (IBGE, 2010) e tem sua economia baseada na produção agropecuária. O setor industrial é composto principalmente pelos setores têxtil, agroindustrial e metalúrgico.

Para coleta das amostras da água da chuva foram instalados dois coletores: um na região central da cidade (21°15'09" S; 45°00'12" W) e outro no campus da Universidade Federal de Lavras – UFLA (21°13'34" S; 44°58'42" W). Os pontos de coleta estão inseridos em ambiente urbano, sendo o campus da UFLA mais arborizado que o centro da cidade. Optou-se por estes locais de amostragem devido à distância dos pontos às possíveis fontes emissoras de poluentes atmosféricos, direção do vento em relação às possíveis fontes emissoras e, logística para realização das amostragens em dias de ocorrência de precipitação.

Utilizou-se como coletor um funil de polietileno com aproximadamente 0,20 m de diâmetro, fixado a 3 m do solo e acoplado a um recipiente de polietileno com capacidade de 10 L.

Quarenta e uma amostras de água de chuva foram coletadas entre os meses de setembro de 2010 e agosto de 2011; no entanto nos meses de julho e agosto de 2011 não ocorreram precipitações significativas para a coleta (> 7 mm). As amostras de águas pluviais foram acondicionadas em frascos de polieti-

leno e levadas ao Laboratório de Análise de Água (LAADEG) da UFLA para determinação das seguintes variáveis: pH (método eletrométrico – 4500-H<sup>+</sup> B); acidez carbônica - CO<sub>2</sub>, por titulometria; alcalinidade - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (método titulométrico – 2320B), nitrato (método espectrofotométrico UV – 4500-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> B); amônio (método espectrofotométrico – 4500-NH<sub>3</sub> F) e sulfato (método turbidimétrico – 4500-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> E) de acordo com APHA et al. (2005). A acidez livre (H<sup>+</sup>) foi obtida a partir dos valores de pH das amostras.

Todos os dias às 9 horas da manhã, durante o período da avaliação, foi verificada a ocorrência de chuvas. Sempre que havia precipitação de no mínimo 7 mm que gerava um volume de 0,20 L, suficiente para realização de todas as análises químicas, as amostras eram coletadas e levadas ao laboratório para determinação das variáveis.

O acompanhamento da quantidade precipitada foi feito a partir dos dados obtidos na estação meteorológica de superfície convencional monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no campus da UFLA, tendo em vista que o coletor utilizado não foi um pluviômetro padrão como aquele utilizado na estação meteorológica. O cálculo das concentrações médias ponderadas pelo volume (MPV) foi feito utilizando-se a Equação 1, de forma a padronizar as concentrações, pois a variação na quantidade precipitada altera a concentração das substâncias avaliadas nas amostras. Posteriormente, as concentrações foram convertidas para µeq L<sup>-1</sup>.

$$C_M = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (1)$$

em que: C<sub>M</sub> é a concentração média ponderada da variável (mg L<sup>-1</sup>); C<sub>i</sub> é a concentração da variável na i-ésima amostra (mg L<sup>-1</sup>); V<sub>i</sub> é a altura da lâmina d'água referente à precipitação total durante o evento que antecedeu a coleta da i-ésima amostra (mm).

O aporte ambiental das substâncias avaliadas foi obtido por meio da Equação 2.

$$A_M = \frac{C_i \times V_i}{1.000} \quad (2)$$

em que: A<sub>M</sub> é o aporte médio da variável (g m<sup>-2</sup>); C<sub>i</sub> é a concentração da variável na i-ésima amostra

(mg L<sup>-1</sup>); V<sub>i</sub> é a altura da lâmina d'água referente à precipitação total durante o evento que antecedeu a coleta da i-ésima amostra (mm).

Os dados foram analisados e as médias comparadas pelo teste de Tukey, em nível significação de 1%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de amostragens verificou-se uma distribuição irregular das chuvas caracterizando uma estação chuvosa, entre setembro e março, com veranico em janeiro (17 a 29) e fevereiro (1 a 25) de 2011; e uma estação seca, com precipitação reduzida nos meses de abril (54 mm), maio (9 mm), junho (35 mm), julho (6 mm) e agosto de 2011 (6 mm) (Figura 1A). Comparando-se os valores mensais de precipitação ocorridos durante o período de amostragem e os valores médios observados na série histórica - 1961 a 1990 (DANTAS et al., 2007) para a região, nota-se que houve déficit para os meses de setembro de 2010 e fevereiro, abril, maio, julho e agosto de 2011 (Figura 1B). A precipitação total entre setembro de 2010 e agosto de 2011 foi de 1.596 mm; próximo à média histórica de 1.530 mm observada na região.

O valor médio de pH da água da chuva no centro da cidade (Tabela 1) foi inferior ao obtido nas amostras coletadas na UFLA (Tabela 2), apesar de não haver diferença estatística (p>0,01). Diferença mais evidente pode ser visualizada analisando-se a concentração de H<sup>+</sup> (p<0,01).

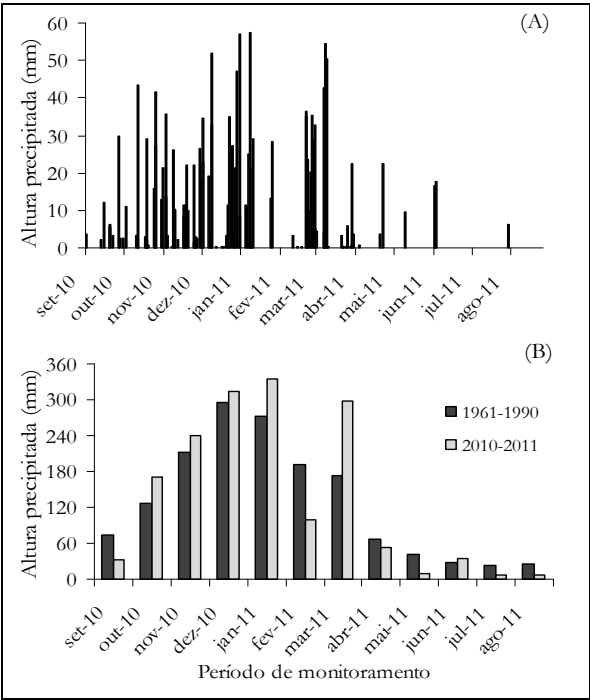
**Tabela 1 - Composição química das águas da chuva, em µeq L<sup>-1</sup>, coletadas no centro da cidade de Lavras-MG entre setembro de 2010 e agosto de 2011.**

Variável	Média	Máximo	Mínimo	MPV
pH <sup>1</sup>	6,4	7,0	4,7	6,5
H <sup>+</sup>	1,74	19,50	0,10	1,16
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	33,7	85,11	0,46	37,3
CO <sub>2</sub>	182,1	591,6	35,2	173,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4,7	29,0	0,2	3,8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	22,4	61,9	5,2	21,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	49,2	302,8	8,1	42,8

<sup>1</sup>unidade de pH; MPV - Média ponderada pelo volume.

A natureza ácida ou alcalina da água da chuva é resultado de um balanço entre íons ácidos e alcalinos provenientes de diferentes ambientes. Os valores de pH obtidos indicam que a precipitação

foi considerada normal em todas as amostras coletadas no campus da UFLA e em 93% das amostras coletadas no centro de Lavras (considerando 5,6 como o pH normal da chuva onde ocorre o equilíbrio com o CO<sub>2</sub> atmosférico) (BAIRD, 2002; TIWARI et al., 2012); indicando grande alcalinidade nos eventos de precipitação.



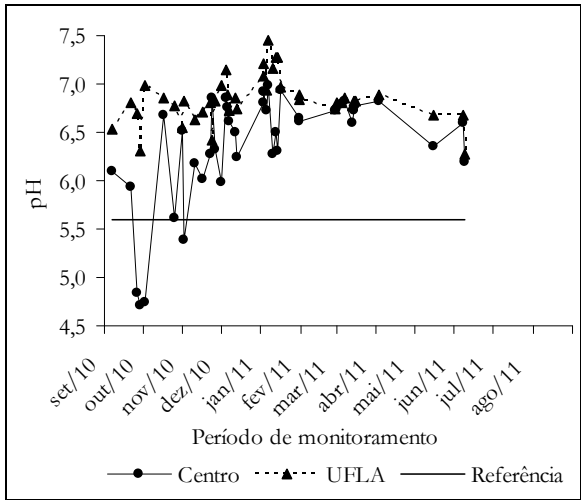
**Figura 1 - (A) Altura precipitada diária em Lavras-MG entre setembro de 2010 e outubro de 2011; (B) Comparação entre a precipitação mensal durante o período de setembro de 2010 e agosto de 2011 e a série histórica para a região (1961-1990).**

**Tabela 2 - Composição química das águas da chuva, em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , coletadas no campus da UFLA na cidade de Lavras-MG entre setembro de 2010 e agosto de 2011.**

Variável	Média	Máximo	Mínimo	MPV
pH <sup>1</sup>	6,8	7,4	6,3	6,9
H <sup>+</sup>	0,17	0,54	0,04	0,16
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	71,45	251,19	16,6	76,2
CO <sub>2</sub>	142,3	348	35,2	133,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5,8	28,6	0,5	4,6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	19,0	80,1	1,2	16,7
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	44,3	199,7	8,1	43,0

<sup>1</sup>unidade de pH; MPV - Média ponderada pelo volume.

Entre os dias 26 de setembro e 2 de outubro de 2010 ocorreram três precipitações em que o pH das amostras coletadas no centro da cidade apresentou valores entre 4,7 e 4,8 (Figura 2).



**Figura 2 - Variação dos valores de pH nas amostras de chuva coletadas no campus da UFLA e no centro da cidade de Lavras-MG entre setembro de 2010 e agosto de 2011.**

De acordo com a classificação do pH da água das chuvas em normal ( $\geq 5,6$ ), levemente ácido (de 5 a 5,6) e ácido ( $\leq 5$ ) (CUNHA et al., 2009), o pH foi normal para as amostras coletadas na UFLA e variou entre ácido e normal nas amostras coletadas no centro da cidade. Acredita-se que, por se tratar das primeiras chuvas, havia na atmosfera maiores concentrações de íons que proporcionaram a redução nos valores de pH, principalmente aqueles advindos das emissões veiculares. Pois, valores reduzidos de pH, como estes, não foram observados nas amostras coletadas no campus da UFLA, onde o trânsito de veículos é menor.

Os maiores valores de pH observados podem ser atribuídos às maiores quantidades de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> encontrados nas amostras de chuva comparados aos íons H<sup>+</sup>. Tiwari et al. (2012) obtiveram para uma região com características rurais no norte da Índia, próximo ao Himalaia, valor médio de pH de 5,26 e relação entre HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> e H<sup>+</sup> da ordem de 3, inferior à obtida neste trabalho. Os valores de pH também estão diretamente relacionados às concentrações de dióxido de carbono na atmosfera e consequentemente da acidez carbônica e da alcalinidade no meio. Mantendo a mesma tendência dos valores de pH, as amostras coletadas na UFLA apresentaram

menor acidez carbônica e maiores valores de alcalinidade.

Souza et al. (2006) verificaram que o pH da água da chuva variou de 4,34 a 6,30 na Ilha Grande, localidade situada entre o município do Rio de Janeiro (100 km) e o município de São Paulo (250 km), fazendo com que haja, segundo os autores, influência de poluentes atmosféricos gerados nestes grandes centros urbanos. Conceição et al. (2011) obtiveram para a região da bacia do Alto Sorocaba no estado de São Paulo, onde há intensa atividade agrícola, além de atividades minerárias e cimenteiras, valores de pH entre 5,1 e 6,9, sendo os maiores valores obtidos no período chuvoso.

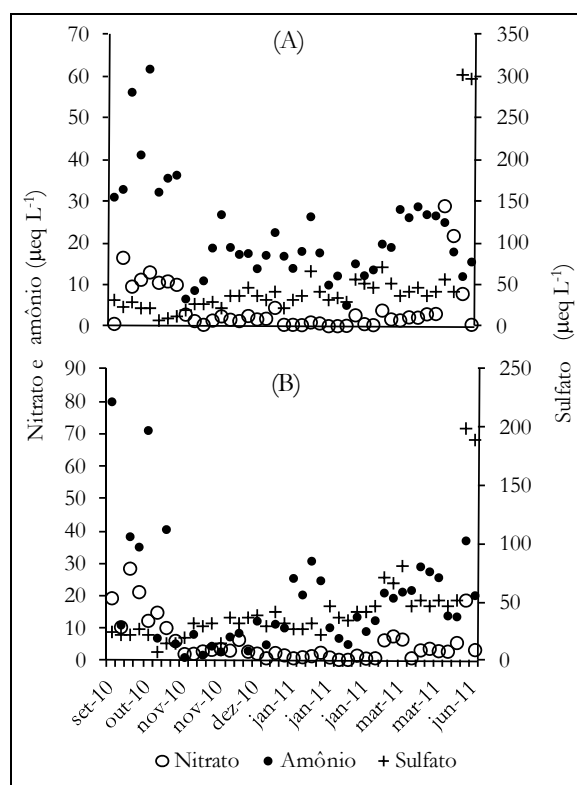
Os valores de pH obtidos neste trabalho estão acima dos limites mínimos encontrados na literatura, por se tratar de uma região não industrializada. É esperado que nas cidades metropolitanas ocorram eventos de chuvas ácidas, pois geralmente associados a elas, encontram-se grandes parques industriais que liberam significativas quantidades de efluentes atmosféricos que podem concorrer para a redução dos valores de pH.

As maiores concentrações de compostos de nitrogênio (nitrato e amônio) foram obtidas quando das menores quantidades precipitadas entre os meses de setembro e outubro em ambos os pontos de amostragem coincidindo com os menores valores de pH (Figura 3). Dependendo da disponibilidade de amônia, o ácido sulfúrico é neutralizado formando, por exemplo, sulfato e bissulfato de amônio. A pressão de saturação de vapor do ácido nítrico é muito maior que a do ácido sulfúrico, dependendo da concentração de amônia, umidade relativa e temperatura. Por esta razão as concentrações de nitrato de amônio são tipicamente maiores no inverno quando as temperaturas são menores, comparadas as do verão (MONKS et al., 2009).

As concentrações de sulfato (Figura 3) foram superiores no período chuvoso. Semelhante ao obtido neste trabalho, Conceição et al. (2011) observaram maiores valores de sulfato no período chuvoso. Marques et al. (2006) também verificaram, bem como neste trabalho, que a concentração de sulfato não teve correlação com os valores de pH, pois teoricamente, teores mais elevados de sulfatos tendem a revelar valores mais baixos de pH. Estudos evidenciaram que o ozônio ( $O_3$ ) é o agente oxidante predominante do  $SO_2$  em  $SO_4^{2-}$  quando o pH da água é maior que 5 (MARTINS & ANDRADE, 2002). E que elevadas concentrações de  $O_3$  têm sido observadas principalmente no verão, mesmo em áreas rurais ou pouco urbanizadas (DALLAROSA et al., 2006). Assim, a maior concentração de  $O_3$  no verão

(não avaliado neste trabalho) pode ter contribuído para o aumento da formação de sulfato nas águas da chuva.

Outro fator foi evidenciado na Grécia que altas concentrações de sulfato estavam correlacionadas com valores de pH superiores a 7, e que o principal fator que controla o pH da chuva é a concentração de  $Ca^{2+}$  (não avaliado neste trabalho) e não as concentrações de nitrato e sulfato (ANATOLAKI & TSITOURIDOU, 2009). Isto sugere que a maioria dos sais de sulfato e nitrato está presente nas águas da chuva como sais neutros ( $(NH_4)_2SO_4$  e  $NH_4NO_3$ ) e não como ácidos dissociados (RASTOGI & SARIN, 2005; MONKS et al., 2009).



**Figura 3 - Concentração média de nitrato, amônio e sulfato nas águas pluviais obtidas no centro da cidade de Lavras-MG (A) e no campus da UFLA (B) entre setembro de 2010 e agosto de 2011.**

Conceição et al. (2011) obtiveram para região onde há intensa atividade agrícola concentrações médias de sulfato entre 57 e 71  $\mu eq L^{-1}$ , e entre 20 e 32  $\mu eq L^{-1}$  de nitrato. Chuvas incidentes sobre a cidade do México, coletadas no campus da Universidade Nacional Autônoma do México, durante 16 anos (1992-2007), apresentaram concentrações médias de sulfato, nitrato e amônio de 65,6, 44,6 e 90,3

$\mu\text{eq L}^{-1}$ , respectivamente (BAÉZ et al., 2009). Os autores verificaram forte variação das concentrações ao longo dos anos de monitoramento. Coelho et al. (2011) verificaram a influência da queima da cana de açúcar na qualidade do ar na cidade de Ribeirão Preto – SP. Durante o período da colheita foram observadas concentrações de 2 a 3 vezes superiores às observadas no período sem colheita da cana de açúcar. Os valores médios de sulfato, nitrato e amônio foram de 7,0, 12,8 e 16,4  $\mu\text{eq L}^{-1}$  (valores calculados).

Na região central da cidade de São Paulo foram observados valores médios de sulfato, nitrato e amônio de 24,8, 21,2 e 37,6  $\mu\text{eq L}^{-1}$  (valores calculados) (LEAL et al., 2004), os quais são superiores aos obtidos neste trabalho, exceto para o sulfato. No Parque Nacional da Serra dos Órgãos -PARNASO (Teresópolis-RJ), foram obtidos 22,0, 8,7 e 20,9  $\mu\text{eq L}^{-1}$  de sulfato, nitrato e amônio (valores calculados) em amostras de água de chuva (RODRIGUES et al., 2007).

Na Tabela 3 estão apresentados valores médios (ponderados pelo volume) de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  de amostras de águas de chuva coletadas em diferentes regiões, onde existem diferentes influências antrópicas no ambiente, como relatado anteriormente.

**Tabela 3 - Composição química média (média ponderada pelo volume) em  $\mu\text{eq L}^{-1}$  de amostras de águas de chuva de diversas regiões.**

Íons	1 <sup>§</sup>	2*	3	4	5*	6*	7*
$\text{SO}_4^{2-}$	42,9	22,0	65,6	57 a 71	7,0	70	24,8
$\text{NO}_3^-$	4,2	8,7	44,6	20 e 32	12,8	13	21,2
$\text{NH}_4^+$	19,0	20,9	90,3	-	16,4	30	37,6

1<sup>§</sup> valores médios obtidos neste trabalho nos dois pontos amostrados; 2 - PARNASO – Parque nacional da Serra dos Órgãos - Teresópolis-RJ (Rodrigues et al., 2007); 3 - Cidade do México (Baéz et al., 2009); 4 - Bacia do Alto Sorocaba – SP (Conceição et al., 2011); 5 - Ribeirão Preto – SP (Coelho et al., 2011); 6 - Figueira – PR (Flues et al., 2003); 7 - São Paulo-SP (Leal et al., 2004); \*valores expressos pelos autores em  $\mu\text{mol L}^{-1}$  e convertidos em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ .

Observa-se grande variabilidade entre os valores de sulfato, nitrato e amônio obtidos neste trabalho e aqueles observados em diversas regiões do Brasil e na Cidade do México. Desta forma, confirma-se que as condições ambientais de uso e ocupação do solo, e provavelmente as condições atmosféricas, têm forte influência na geração e na disper-

são de poluentes e, consequentemente, na composição química da água da chuva que incide sobre determinada região. Mesmo em regiões preservadas, como o Parque nacional da Serra dos Órgãos, houve maior concentração média na água da chuva das formas de nitrogênio avaliadas. Em Ribeirão Preto-SP, região com intensa atividade agrícola, as concentrações de nitrato foram superiores às observadas neste trabalho. No entanto, maiores concentrações de sulfato foram verificadas em Lavras comparadas às observadas em São Paulo, região de intensa atividade industrial e de grande frota veicular.

Em termos de uso de água da chuva, verifica-se que o valor de pH médio nos dois pontos amostrados (6,6) e as concentrações médias das substâncias avaliadas (1,8  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NO}_3^-$ ; 1,3  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_4^+$ ; e 24,1  $\text{mg L}^{-1}$  de  $\text{SO}_4^{2-}$ ) não superaram as concentrações estabelecidas na Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914 (BRASIL, 2012) para potabilidade da água, apesar de a NBR15.527 (ABNT, 2007) normatizar o uso não potável da água de chuva, tendo em vista que as águas de chuvas coletadas em telhados podem conter contaminação, principalmente microbiológica (XAVIER et al., 2011), pelo acesso de animais e folhagens de árvores. Tal fato é mais evidente na água proveniente das primeiras chuvas após período de estiagem.

Os valores das variáveis observadas ao longo das amostragens também não suplantaram os padrões das águas doces superficiais classe 1 estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005). Nesta Resolução é evidenciado que as águas classe 1 podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após a realização de processo de desinfecção para remoção de organismos patogênicos.

Com base nas concentrações observadas na água da chuva e na quantidade precipitada, estimou-se a quantidade aportada ao solo dos íons  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (Tabela 4). Como não houve diferença estatística entre as concentrações de nitrato, amônio e sulfato monitoradas nos dois pontos de coleta ( $p>0,01$ ) são apresentados valores médios de aporte.

Com base nos dados apresentados na Tabela 4, e os aportes de nitrato, amônio e sulfato relatados na literatura (Tabela 5), nota-se que o aporte de sulfato em Lavras foi relativamente elevado ficando acima dos valores obtidos em uma região agrícola (Ibiúna-SP) e pouco abaixo dos valores observados nas cidades de Candiota e Cubatão. Nestas duas últimas cidades há extensiva queima de combustível fóssil em termoelétricas e indústrias, respectivamente, as quais são as principais e permanentes fontes de óxidos de enxofre para a atmosfera. O processo

de produção de cimento em uma cimenteira situada entre os municípios de Lavras e Ijaci que utiliza combustível fóssil (coque) nos fornos para a calcinação do calcário pode explicar os níveis de sulfato encontrados nas águas de chuva da região.

**Tabela 4 - Valores médios do aporte de nitrato, amônio e sulfato pela água da chuva na região de Lavras durante o período de setembro de 2010 a agosto de 2011.**

Período	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
	g m <sup>-2</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	g m <sup>-2</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	g m <sup>-2</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
Set/10	0,04	0,42	0,03	0,29	0,11	1,05
Out/10	0,10	1,03	0,09	0,91	0,20	2,00
Nov/10	0,04	0,39	0,05	0,45	0,76	7,58
Dez/10	0,02	0,24	0,04	0,38	0,55	5,53
Jan/11	0,02	0,23	0,09	0,87	1,21	12,10
Fev/11	0,02	0,23	0,03	0,26	0,49	4,93
Mar/11	0,07	0,66	0,14	1,43	1,53	15,30
Abr/11	0,02	0,22	0,01	0,08	0,11	1,13
Mai/11	0,01	0,08	0,00	0,03	0,04	0,44
Jun/11	0,02	0,16	0,01	0,13	0,81	8,12
Jul/11	-	-	-	-	-	-
Ago/11	-	-	-	-	-	-
Total	0,37	3,67	0,48	4,82	5,82	58,19

**Tabela 5 - Aporte médio de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) em kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> via água da chuva em diferentes regiões do Brasil.**

Íons	1	2	3	4	5	6	7	8
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3,2	3,5	10,7	34,6	45,5	75,4	79,7	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	10,6	70,9	21,1	19,9	40,2	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	32	-	-	-	-	-	-	0,07*

\* g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>. 1- PARNASO – Parque nacional da Serra dos Órgãos - Teresópolis-RJ (Rodrigues et al., 2007); 2 - Santa Maria-RS (Osório Filho et al., 2007); 3 - Londrina-PR (Pelicho et al., 2006); 4 - Rio Claro-SP (Conceição & Bonotto, 2004); 5 - Ibiúna-SP (Conceição et al., 2011); 6 - Cubatão-SP (Dancelon & Moreira-Nordemann, 1991); 7- Candiota-RS (Migliavacca et al., 2005); 8 - Centro da cidade de São Paulo (Leal et al., 2004).

O aporte das formas de nitrogênio (nitrato e amônio) em Lavras foram inferiores aos obtidos nas diferentes regiões brasileiras comparadas. O aporte de amônio foi semelhante, em alguns meses, aos obtidos na cidade de São Paulo, onde parte do

amônio deve ter sido convertida em nitrato (0,14 g m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>) (LEAL et al., 2004).

Acredita-se que por Lavras não possuir um grande parque industrial, os automóveis e a cimenteira localizada próxima à cidade tenham sido, provavelmente, os principais fontes de poluentes atmosféricos. Além disso, poeiras de solos agrícolas, onde há uso de fertilizantes, podem ser os maiores responsáveis taxas de deposição atmosférica de compostos de nitrogênio, tal como observado por Conceição et al. (2011). Outro fator que pode ter contribuído foi a movimentação atmosférica e o transporte de compostos químicos pelo vento de locais industrializados da região sudeste do país, tal como observado por Souza et al. (2006).

## CONCLUSÕES

Pode-se concluir que as águas de chuva em Lavras apresentaram valores de pH médio entre 6,4 e 6,8, sendo os menores valores observados no centro da cidade, onde entre o final de setembro e início de outubro de 2010 foi obtido valor de pH igual 4,75, caracterizando a chuva como ácida. De forma geral, com base nas concentrações médias dos valores de pH, as chuvas incidentes na região não apresentaram riscos imediatos de acidificação ambiental.

Maiores concentrações de nitrato e amônio foram obtidas no período de menor altura precipitada; ao contrário, os maiores valores de sulfato nas águas da chuva foram observados durante o período de maior pluviosidade. As concentrações de nitrato e amônio ficaram abaixo dos valores observados em regiões de preservação permanente e regiões que sofrem influência de áreas industriais. As concentrações de sulfato se aproximaram dos valores observados em regiões industrializadas e áreas de intensa atividade agrícola.

Como reflexo da concentração de sulfato na água da chuva, o aporte deste nutriente via água de chuva foi de 58,19 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, superior aos aportes de nitrato e amônio iguais a 3,67 e 4,82 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR15.527 - Água de chuva -Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 8p.

ANATOLAKI, C.; TSITOURIDOU, R. Relationship between acidity and ionic composition of wet precipitation: a two years study at an urban site, Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Research*, v.92, p.100-113. 2009.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21<sup>th</sup> ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005, [s.n.].

BAEZ, A.P.; BELMONT, R.D.; GARCÍA, R.M.; PADILLA, H.G.; TORRES, MC.B. Trends in Chemical Composition of Wet Precipitation in Mexico City, Mexico: 1992–2007. *The Open Atmospheric Science Journal*, v.3, p.187-195, 2009.

BAIRD, C. *Química ambiental*. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BELO, M.S.S.P.; PIGNATI, W.; DORES, E.F.G.C.; MOREIRA, J.C.; PERES, F. Uso de agrotóxicos na produção de soja do estado do Mato Grosso: um estudo preliminar de riscos ocupacionais e ambientais. *Rev. bras. Saúde ocup.*, v.37, n.125, p.78-88, 2012.

BRASIL. Portaria nº 2.914 do Ministério da Saúde, de 12 dez. 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, n.3, 4 jan. 2012. sec. 1. pt. 1.

BRASIL. Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, de 17 mar. 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, n.53, p.58, 18 mar. 2005. sec. 1. pt. 1.

CAPE, J.N.; CORNELL, S.E.; JICKELLS, T.D.; NEMITZ, E. Organic nitrogen in the atmosphere - Where does it come from? A review of sources and methods. *Atmospheric Research*, v.102, p.30-48, 2011.

COELHO, C. H.; ALLEN, A. G.; FORNARO, A.; ORLANDO, E. A.; GRIGOLETTO, T. L. B.; CAMPOS, M. L. A. M. Wet deposition of major ions in a rural area impacted by biomass burning emis-

sions. *Atmospheric Environment*, v.45, p.5260-5265, 2011.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M.; Weathering rates and anthropogenic influences in a sedimentary basin, São Paulo State, Brazil. *Applied Geochemistry*, v.19, p.575-591, 2004.

CONCEIÇÃO, F.T.; SARDINHA, D.S.; NAVARRO, G.R.B.; ANTUNES, M.L.P.; ANGELUCCI, V.A. Composição química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do alto Sorocaba (SP). *Química Nova*, v.34, n.4, p.610-616, 2011.

CUNHA, G.R.; SANTI, A.; DALMAGO, G.A.; PIRES, J.L.F.; PASINATO, A. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo, RS. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.4, p.339-346, 2009.

DALLAROSA, J.B.; TEIXEIRA, E.C.; ALVES, R.C. M. Application of numerical models in the formation of ozone and its precursors in areas of influence of coal-fired power station - Brazil. *Water, Air and Soil Pollution*, v.178, p.385-399, 2006.

DANELON, O.M.; MOREIRA-NORDEMANN, L.M. Ocorrência natural e antropogênica de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  na bacia do Rio Quilombo (Cubatão - SP). *Revista Brasileira de Geociências*, v.21, n.1, p.96-106, 1991.

DANTAS, A.A.A.; CARVALHO, L.G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.6, p.1862-1866, 2007.

DIAS, V.R.M.; SANCHES, L.; ALVES, M.C.; NOGUEIRA, J.S. Spatio-temporal variability of anions in wet precipitation of Cuiabá, Brazil. *Atmospheric Research*, v.107, p.9-19, 2012.

FLUES, M.; HAMA, P.; FORNARO, A. Avaliação do nível da vulnerabilidade do solo devido à presença de termelétrica a carvão (Figueira, PR- Brasil). *Química Nova*, v.26, n.4, p.479-483, 2003.

FONSECA, A.F.; HERPIN, U.; PAULA, A.M.; VICTÓRIA, R.L.; MELFI, A.J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, v.64, n.2, p.194-209, 2007.

GONÇALVES, F.L.T.; MASSAMBANI, O. Uma análise do coeficiente de remoção de poluentes em função do espectro de gotas de chuva em diferentes



localidades no Brasil e Alemanha. *Química Nova*, v.33, n.5, p.1027-1033, 2010.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.7, n.4, p.75-95, 2002.

HESPANHOL, I. A new paradigm for water resource management. *Estudos Avançados*, v.22, n.63, p.131-157, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2010*. Brasília: Imprensa Nacional/Diário Oficial da União, nº 211, Seção 1, 2010. p.110.

LEAL, T.F.M.; FONTENELE, A.P.G.; PEDROTTI, J.J.; FORNARO, A. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. *Química Nova*, v.27, n.6, p.855-861, 2004.

MARQUES, R.; ZAMPARONI, C.A.G.P.; SILVA, E.C.; BARBOSA, A.M.; ARRUDA, D.; EVANGELISTA, S.; MAGALHÃES, A. Ensaios preliminares para o monitoramento da acidez da chuva em Cuiabá-MT. *Caminhos de Geografia*, v.21, n.17, p.225-236, 2006.

MARTINS, C.R.; ANDRADE, J.B. Química atmosférica do enxofre (IV): emissões, reações em fase aquosa e impacto ambiental. *Química Nova*, v.25, n.2, p.259-272, 2002.

MIGLIAVACCA, D.M.; TEIXEIRA, E.C.; MACHADO, A.C.M.; PIRES, M.R. Composição química da precipitação atmosférica no sul do Brasil - estudo preliminar. *Química Nova*, v.28, n.3, p.371-379, 2005.

MONKS, P.S.; GRANIER, C.; FUZZI, S.; et al. Atmospheric composition change - global and regional air quality. *Atmospheric Environment*, v.43, p.5268-5350, 2009.

OSÓRIO FILHO, B.D.; RHEINHEIMER, D.S.; SILVA, L.S.; KAMINSKI, J.; DIAS, G.F. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.37, n.3, p.712-719, 2007.

PAES, R.P.; SILVA, G.C.O.; PRIANTE, J.C.R.; LIMA, E.B.N.R.; PRIANTE FILHO, N. Aplicação de tecnologias de conservação do uso da água através do

reuso — Estudo de caso Cuiabá, MT. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.15, n.3, p.97-107, 2010.

PELICHIO, A.F.; MARTINS, L.D.; NOMI, S.N.; SOLCI, M.C. Integrated and sequential bulk and wet-only samplings of atmospheric precipitation in Londrina, South Brazil (1998–2002). *Atmospheric Environment*, v.40, p.6827-6835, 2006.

QUEIROZ, P.G.M.; JACOMINO, V.M.F.; MENEZES, M.A.B.C. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. *Química Nova*, v.30, n.5, p.1233-1239, 2007.

RASTOGI, N.; SARIN, M.M. Chemical characteristics of individual rain events from a semi-arid region in India: Three-year study. *Atmospheric Environment*, v.39, p.3313-3323, 2005.

RODRIGUES, R.A.R.; MELLO, W.Z.; SOUZA, P.A. Aporte atmosférico de amônio, nitrato e sulfato em área de floresta ombrófila densa montanha na Serra dos Órgãos, RJ. *Química Nova*, v.30, n.8, p.1842-1848, 2007.

SOUZA, P.A.; MELLO, W.Z.; MALDONADO, J.; EVANGELISTA, H. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. *Química Nova*, v.29, n.3, p.471-476, 2006.

SOUZA, S.H.B.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, S.M.; PESSOA, S.G.S.; NÓBREGA, R.L.B. Avaliação da qualidade da água e da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de águas de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.16, n.3, p.81-93, 2011.

TIWARI, S.; CHATE, D.M.; BISHT, D.S.; SRIVASTAVA, M.K.; PADMANABHAMURTY, B. Rainwater chemistry in the North Western Himalayan Region, India. *Atmospheric Research*, v.104-105, p.128-138, 2012.

TOMASONI, M.A.; PINTO, J.E.S.; SILVA, H.P. A questão dos recursos hídricos e as perspectivas para o Brasil. *GeoTextos*, v.5, n. 2, p.107-127, 2009.

TOMAZ, P. *Aproveitamento de Água de Chuva*. São Paulo: Navegar, 2003. 183 p.

WISBECK, E.; SANDRI, E.K.; SOARES, A.L.M.; MEDEIROS, S.H.W. Desinfecção de água de chuva por

radiação ultravioleta. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.16, n.4, p.337-342, 2011.

XAVIER, R.P.; SIQUEIRA, L.P.; VITAL, F.A.C.; ROCHA, F.J.S.; IRMÃO, J.I.; CALAZANS, G.M.T. Microbiological quality of drinking rainwater in the inland region of Pajeú, Pernambuco, northeast Brazil. *Rev. Inst. Med. Trop. São Paulo*. v.53, n.3, p.121-124, 2011.

ZERBINATTI, O.E.; SOUZA, I.U.L.; PEREIRA, A.J.; SILVA, A.B.; REINATO, R.A.O. Qualidade da água proveniente da chuva coletada em diferentes tipos de telhados. *Engenharia Ambiental*, v.8, n.3, p.19-37, 2011.

### ***Qualitative Analysis Of Rainfall Pollutants In Lavras-MG***

#### **ABSTRACT**

*The objective of this study was to evaluate the dynamics of rainfall pollutants and nutrient input from rainfall in Lavras-MG in 2010-2011. Forty-one samples of rainfall were collected at two different points: downtown and at the Federal University of Lavras. Results of sampling showed average values, weighted by volume, of pH, alkalinity, carbonic acid, nitrate, ammonium and sulfate, respectively for samples collected downtown and at the Federal University of Lavras, equal to 6.5 and 6.9, 37.3 and 76.2  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , 173.0 and 133.6  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , 3.8 and 4.6  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , 21.2 and 16.7  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , 42.8 and 43.0  $\mu\text{eq L}^{-1}$ . During this period there was an average contribution of 3.67  $\text{kg ha}^{-1} \text{NO}_3^-$ , 4.82  $\text{kg ha}^{-1} \text{NH}_4^+$  and 58.19  $\text{kg ha}^{-1} \text{SO}_4^{2-}$ . The highest concentrations of ammonium, sulphate and carbonic acid were found downtown, probably due to the greater contribution of pollution generated by automobiles. This contributes to the lower pH values observed downtown. However, the rainfall events in the region showed no immediate risk of environmental acidification.*

**Key-words:** air pollution; nutrient input; pH; water quality.