



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL PARTICULADO INALÁVEL MP10 EM ESPÍRITO SANTO DO PINHAL - SP

Ana Cláudia Camargo de Lima Tresmondi <sup>1</sup>; Euzébio Beli <sup>2</sup>; Edson Tomaz <sup>3</sup>;

Maristela Della Libera Reis Piccinini <sup>4</sup>

---

### RESUMO

Esse trabalho teve por objetivo o monitoramento de material particulado inalável MP<sub>10</sub>, na atmosfera de Espírito Santo do Pinhal, visando avaliar a qualidade do ar no município em relação a este parâmetro, comparativamente à legislação CONAMA 03/1990. Para monitoramento de MP<sub>10</sub> utilizou-se um amostrador de grandes volumes, dotado de um cabeçote com separador inercial de um estágio, com amostragem por 24 h. O monitoramento foi realizado no campus do UNIPINHAL, no período de abril a junho de 2005, e em um total de seis amostras os valores obtidos foram muito inferiores ao padrão de qualidade do ar, com máximo igual a 43,71 µg.m<sup>-3</sup>, indicando que no período monitorado o campus não foi influenciado significativamente por atividades emissoras de MP<sub>10</sub>. Em uma outra etapa a amostragem foi realizada no pátio do Centro Administrativo da Prefeitura Municipal, ao lado de uma avenida de intenso tráfego veicular, no período de setembro de 2005 a agosto de 2006. Em um total de dezenove amostras o menor valor foi igual a 15,86 µg.m<sup>-3</sup> e o maior valor obtido foi de 178,85 µg.m<sup>-3</sup>, o qual ultrapassou o padrão diário de qualidade do ar (150 µg.m<sup>-3</sup>). A concentração média no período foi de 57,53 µg.m<sup>-3</sup>, superior ao padrão anual estabelecido na legislação (50 µg.m<sup>-3</sup>) e indicando, portanto, que o local apresenta alterações na qualidade do ar. Supõe-se que a atividade veicular (queima de combustível e ressuspensão de partículas do solo) contribua para o aumento observado, uma vez que as concentrações mais baixas foram encontradas nos finais de semana, com menor tráfego veicular no local.

**Palavras-chave:** MP<sub>10</sub>, poluição atmosférica, qualidade do ar.

### CONCENTRATION OF INHALABLE PARTICLE MATTER PM<sub>10</sub> IN ESPÍRITO SANTO DO PINHAL - SP

#### ABSTRACT

This work had as objective the monitoring of inhalable particle PM<sub>10</sub>, in the city of Espírito Santo do Pinhal, to evaluate air quality in relation to the CONAMA 03/1990 legislation. For PM<sub>10</sub> monitoring it was used a high volume sampler, with an impactor stage, and 24 h sampling. The sampling was performed at UNIPINHAL University Campus, from April to June 2005. The obtained values in six samples were very inferior to daily air quality standard (150 µg.m<sup>-3</sup>). The maximum value was 43.71 µg.m<sup>-3</sup>, indicating that in the monitored period the campus was not significantly affected by activities causing PM<sub>10</sub> emissions. In another phase, from September 2005 to August 2006, samples were collected at City Hall Administrative Center, near to an avenue with intense vehicular traffic. In a total of nineteen samples, the lowest value was 15.86 µg.m<sup>-3</sup> and the highest was 178.85 µg.m<sup>-3</sup>, thus surpassing the daily standard. The average concentration in the period was 57.53 µg.m<sup>-3</sup>, higher than the annual standard (50 µg.m<sup>-3</sup>). This is an indication that this area presents alterations in air quality, probably caused by vehicular activity (combustible burning and soil particles resuspension). The lowest concentrations were observed during weekends, when vehicular traffic is low in this area.

**Keywords:** PM<sub>10</sub>, atmospheric pollution, air quality.

---

Trabalho recebido em 10/03/2008 e aceito para publicação em 14/04/2008.

<sup>1</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental, Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal – UNIPINHAL; Pesquisador colaborador voluntário – Faculdade de Engenharia Química- UNICAMP; Av. Hélio Vergueiro Leite, s/n, C.P.05, CEP13.990-000, Espírito Santo do Pinhal - SP e-mail: anatres@uol.com.br

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia Ambiental, UNIPINHAL, e-mail: euzébio.beli@gmail.com

<sup>3</sup> Docente da Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Av. Albert Einstein, 500- Barão Geraldo- Campinas – SP CEP13083-970 e-mail: etomaz@feq.unicamp.br

<sup>4</sup> Docente do Curso de Engenharia Ambiental, UNIPINHAL, e-mail: maristela@picci.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento dos níveis dos poluentes na atmosfera de uma região é fundamental para o entendimento de seus efeitos sobre o meio ambiente. O controle das emissões, as autorizações para implantação de novas fontes poluidoras e o gerenciamento urbano se baseiam muitas vezes em informações sobre a qualidade do ar.

Em geral, pessoas idosas e crianças são os mais afetados pelos níveis elevados de poluentes do ar. Entre os diferentes poluentes, os que mais têm merecido atenção por parte dos órgãos fiscalizadores no estado de São Paulo são o material particulado inalável (MP<sub>10</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>). Esses poluentes são os principais responsáveis pelas ultrapassagens dos padrões de qualidade do ar, segundo resultados de monitoramento efetuado pela CETESB na região metropolitana de São Paulo, Cubatão e interior do estado (CETESB, 2007).

As partículas inaláveis, denominação dada às partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm (MP<sub>10</sub>), resultam de emissões de uma grande variedade de fontes e são emitidas diretamente (aerossol primário) ou são formadas na atmosfera por processos de conversão gás-partícula (aerossol secundário) (TRESMONDI, 2003).

As principais fontes de emissão de aerossol primário são devidas à ressuspensão de partículas do solo, emissões provenientes de sal marinho, queima de combustíveis fósseis para geração de energia em atividades industriais, processos industriais que emitem partículas, uso de veículos (queima de combustível e por emissões dos pneus), atividades de queima de biomassa etc. O aerossol troposférico, formado por estas partículas, contém sulfato, amônio, nitrato, sódio, cloreto, traços de metal, material carbonáceo, material da composição da superfície terrestre e água. Alguns dos efeitos indesejáveis do aumento das emissões antrópicas de partículas inaláveis são os danos à saúde humana, redução na visibilidade, deposição ácida e alterações no balanço de radiação na Terra (SEINFELD E PANDIS, 1998).

Estudos associam a presença de partículas no ar a efeitos adversos à saúde (PAGANO et al., 1998).

Municípios de médio porte podem ser influenciados pelas emissões veiculares e por atividades de indústrias localizadas em sua área, mas no Brasil, uma grande contribuição ao aumento da concentração de material particulado na atmosfera deve-se à queima de biomassa. Gerab (1996) verificou na região de Alta Floresta (região Amazônica) que na estação de queimadas

as concentrações do particulado fino e grosso aumentam onze e cinco vezes, respectivamente.

Atividades de queima de biomassa (cana-de-açúcar; galhos secos etc.) liberam para a atmosfera uma grande quantidade de poluentes e material particulado. No Brasil, a prática de queima da biomassa é intensamente difundida e foge ao controle das autoridades responsáveis por sua fiscalização, principalmente em épocas de inverno, as quais estão associadas aos períodos de estiagem no país. Um dos principais propósitos desta prática é a “limpeza” de áreas com folhas e galhos secos. Algumas vezes o objetivo da queima é a redução de volume de lixo doméstico.

No interior do estado de São Paulo, onde há grande área rural dedicada à cultura de cana-de-açúcar, a prática de queimada é utilizada na pré-colheita para melhor rendimento do corte manual, evitar problemas com animais peçonhentos, muito comuns nas plantações, e auxiliar no preparo do terreno para novos plantios (EMBRAPA, 1999). Na estação seca as concentrações médias de material particulado com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5 µm são maiores do que as obtidas na estação úmida, grande parte devido às queimadas da cana-de-açúcar e às práticas agrícolas (LARA et al., 2005). É consenso que a queimada causa

desconforto à população exposta a ela, além dos impactos decorrentes das emissões de gases, tais como a intensificação do efeito estufa, associado aos diferentes poluentes emitidos nesta atividade (IPCC, 2007).

Espírito Santo do Pinhal é um município de médio porte, possui 394 km<sup>2</sup> de extensão, e até o presente trabalho não havia resultados de monitoramento de qualidade do ar em seu território. O município possui aproximadamente 45.000 habitantes e está situado no estado de São Paulo, na zona fisiográfica de São José do Rio Pardo e 5ª região administrativa de Campinas. Situa-se a 199 km da capital do Estado, pela Rodovia Campinas - Águas da Prata. A posição da sede do município está em 22° 11' 00" S de latitude e 46° 44' 00" W de longitude. A economia do município tem maior ênfase na agropecuária, sendo fortalecida pela indústria e pelo comércio. O café, dentro da produção agrícola, representa 62,55% do total e 39,46% de comércio da cidade. O setor industrial representa hoje 35,30% de participação na economia do município com indústrias de máquinas agrícolas, peças automotivas, confecções e outras. Devido ao número de habitantes e veículos em circulação, supõe-se que o município não sofra o impacto do tráfego de veículos. Porém, está localizado em uma região que possui indústrias cerâmicas, de papel e celulose e indústrias

químicas, podendo, portanto, receber o impacto das emissões de material particulado destas. Além disto, possui uma área de cultura de cana-de-açúcar, parte da qual é queimada na época da colheita.

Este trabalho teve por objetivo o monitoramento de material particulado inalável (MP<sub>10</sub>) na atmosfera de Espírito Santo do Pinhal, por meio de amostrador de grandes volumes (High-Vol), dotado de cabeçote para separação inercial, para que se conhecesse a concentração ambiente de MP<sub>10</sub> no município, em dois diferentes locais: campus do UNIPINHAL e Centro Administrativo da Prefeitura Municipal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o monitoramento do material particulado inalável foi utilizado o amostrador de grandes volumes (High-Vol). Este equipamento consiste basicamente de um moto-aspirador, que suga o ar através de um meio filtrante no qual o material particulado é retido (AMORIM, 2004). O equipamento utilizado para a coleta de MP<sub>10</sub> foi um PM<sub>10</sub> da marca Andersen/GMW, dotado de um cabeçote de separador inercial de um estágio. A vazão de operação foi mantida constante a  $1,13 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \pm 10\%$ , o que garante o diâmetro de corte de  $10 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$ . O material foi coletado em um filtro

de fibra de quartzo e foi analisado quanto à massa total amostrada.

A metodologia de amostragem é de 24 horas ininterruptas.

Para o amostrador de grandes volumes foram utilizados filtros de quartzo (QM-A 20,3 cm x 25,4 cm).

O monitoramento foi realizado em sua primeira etapa no campus do UNIPINHAL, junto à estação meteorológica Dr. Ângelo Paes de Camargo, no período de abril a junho de 2005. O local está distante de obstruções, assim como de fontes que emitem elevada quantidade de material particulado. Em sua segunda etapa, o monitoramento foi realizado no Centro Administrativo da Prefeitura Municipal, próximo a uma avenida de intenso tráfego veicular. Esta etapa foi realizada no período de setembro de 2005 a agosto de 2006, e teve o apoio da Prefeitura Municipal de Espírito Santo do Pinhal, que aprovou a instalação do equipamento do local, forneceu energia para o funcionamento do mesmo e possibilitou que não houvesse qualquer avaria ao equipamento, uma vez que há serviço de segurança no local.

A massa de material particulado amostrado foi determinada por análise gravimétrica (M) e os dados de volume (V) foram obtidos a partir dos dados do registrador do equipamento (tempo de

operação, em minutos), queda de pressão no filtro e dados de temperatura e pressão do dia da amostragem.

Dividindo-se a massa pelo volume total amostrado foi obtida a concentração.

$$C = \frac{M}{V} \quad (1)$$

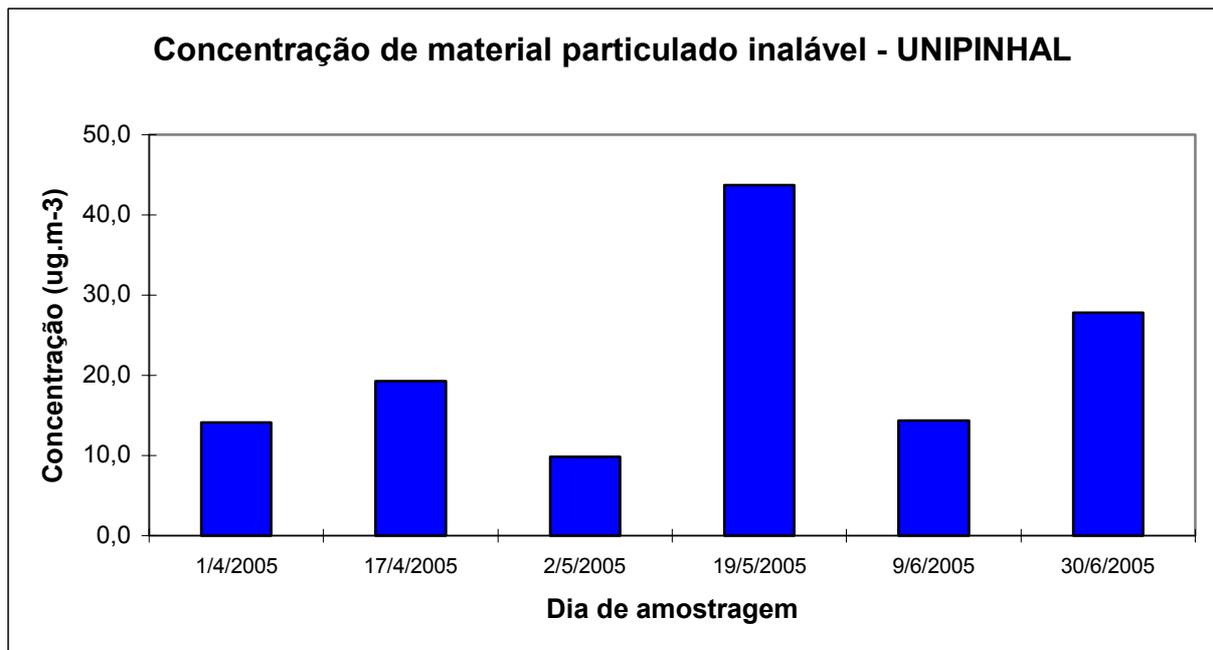
em que C é a concentração diária de material particulado na atmosfera ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ); M é a massa de material particulado amostrado no filtro durante as 24 h ( $\mu\text{g}$ ); V é o volume total de ar amostrado durante as 24 h ( $\text{m}^3$ ), corrigido das condições de amostragem (P, T) para as condições padrão de pressão (1 atm) e temperatura (298 K).

### 3.1 Campus do UNIPINHAL

As amostragens foram realizadas duas vezes por mês, ininterruptamente durante 24 h, no período de abril a junho de 2005, resultando em um total de seis amostras (dias 01/04, 17/04, 02/05, 19/05, 09/06 e 30/06/2005). Os resultados das concentrações de material particulado inalável são apresentados na Figura 1.

Nota-se que os valores obtidos são muito inferiores ao padrão de qualidade do ar de  $150 \mu\text{g m}^{-3}$  para média diária (BRASIL, 1990), sendo que o máximo valor obtido foi igual a  $43,71 \mu\text{g m}^{-3}$ . A concentração média do trimestre atingiu  $21,52 \mu\text{g m}^{-3}$ , e o mínimo valor encontrado foi igual a  $9,86 \mu\text{g m}^{-3}$ .

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO



**Figura 1.** Concentrações médias diárias de MP<sub>10</sub> obtidas no campus do UNIPINHAL.

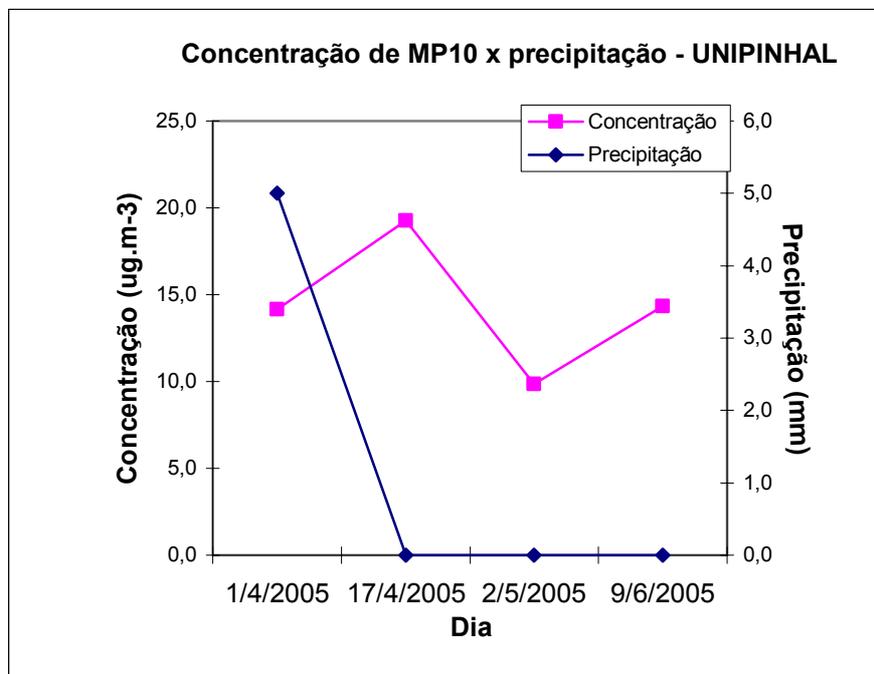
Considerando-se que os meses mais frios do ano são os mais desfavoráveis para a dispersão dos poluentes, e que a queima da cana-de-açúcar coincide com este período (abril a setembro), pode-se afirmar que o campus no UNIPINHAL não recebe os impactos provenientes dessa prática, nem é influenciado significativamente por outras atividades emissoras de MP<sub>10</sub>.

Os mecanismos de remoção de material particulado da atmosfera são a deposição seca sobre a vegetação ou matérias, e a deposição úmida, por meio de interceptação nas nuvens (“wash-out”) ou abaixo das nuvens (“rain-out”). Buscou-se, portanto, avaliar a precipitação nos dias de

amostragem, o que resultou na Figura 2, indicando que mesmo em dias sem chuva os valores são baixos. Portanto, as baixas concentrações não são função apenas de mecanismos de remoção úmida.

#### 4.2 Centro Administrativo da Prefeitura Municipal

A Tabela 1 apresenta as datas das 19 amostragens realizadas no Centro Administrativo da Prefeitura e as respectivas concentrações. Nota-se que em apenas um dia (16/01/2006) ocorreu a ultrapassagem do padrão diário de qualidade do ar, o qual está apresentado em negrito na tabela.



**Figura 2.** Concentração de MP<sub>10</sub> em função de precipitação no campus do UNIPINHAL.

**Tabela 1.** Datas de monitoramento e concentrações de MP<sub>10</sub> no Centro Administrativo da Prefeitura de Espírito Santo do Pinhal, em 2005 e 2006.

Data	Concentração (ug.m <sup>-3</sup> )	Dia da semana
27/09/2005	15,86	terça
14/10/2005	63,49	sexta
22/10/2005	25,30	sábado
18/11/2005	29,00	sexta
15/12/2005	136,23	quinta
16/01/2006	<b>178,85</b>	segunda
29/03/2006	18,37	quarta
13/04/2006	21,49	quinta
27/04/2006	79,73	quinta
16/05/2006	61,48	terça
31/05/2006	83,64	quarta
20/06/2006	34,60	terça
29/06/2006	39,55	sexta
05/07/2006	56,28	quarta
13/07/2006	58,01	quinta
21/07/2006	33,54	sexta
01/08/2006	32,73	terça
10/08/2006	58,61	quinta
01/09/2006	66,34	domingo
<b>Média</b>	<b>57,53</b>	

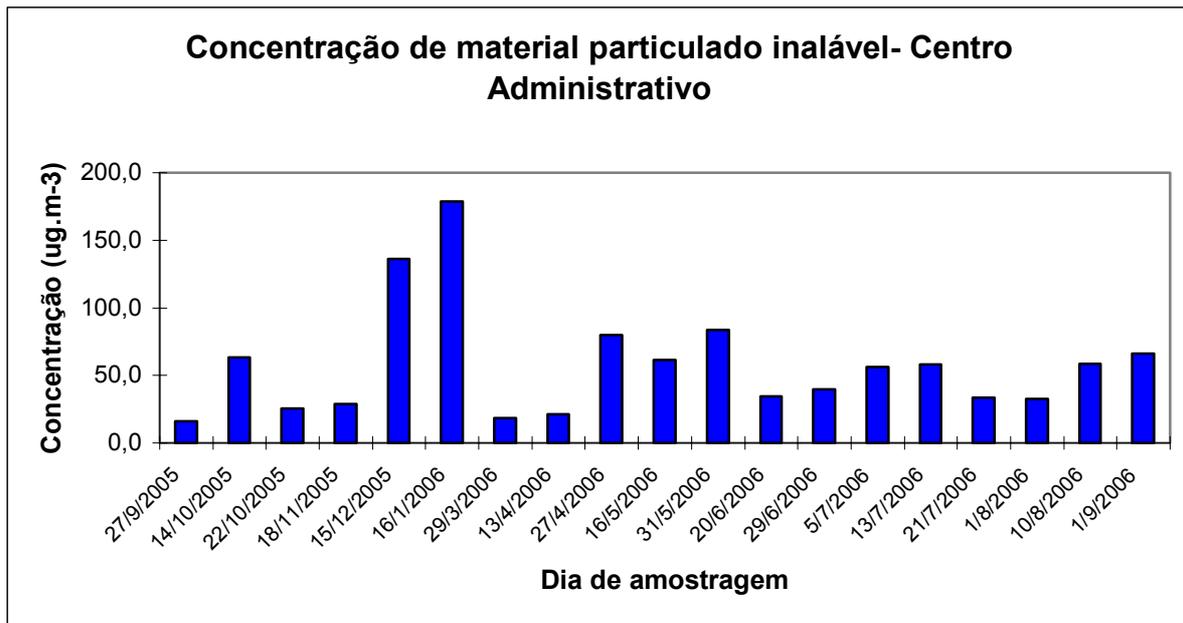
O padrão diário de qualidade do ar é de 150 µg m<sup>-3</sup> e o valor encontrado em 16/01/2006 foi de 178,85 µg m<sup>-3</sup>. Nota-se que para o período de monitoramento no Centro Administrativo a média anual foi igual a 57,53 µg. m<sup>-3</sup> e, portanto, houve ultrapassagem do padrão anual, que é de 50 µg. m<sup>-3</sup>.

A Figura 3 apresenta os valores das concentrações médias diárias obtidas no período de um ano de monitoramento. Nota-se que, excetuando-se os dias 16/12/2005 e 16/01//2006, os meses de maior precipitação pluviométrica são os

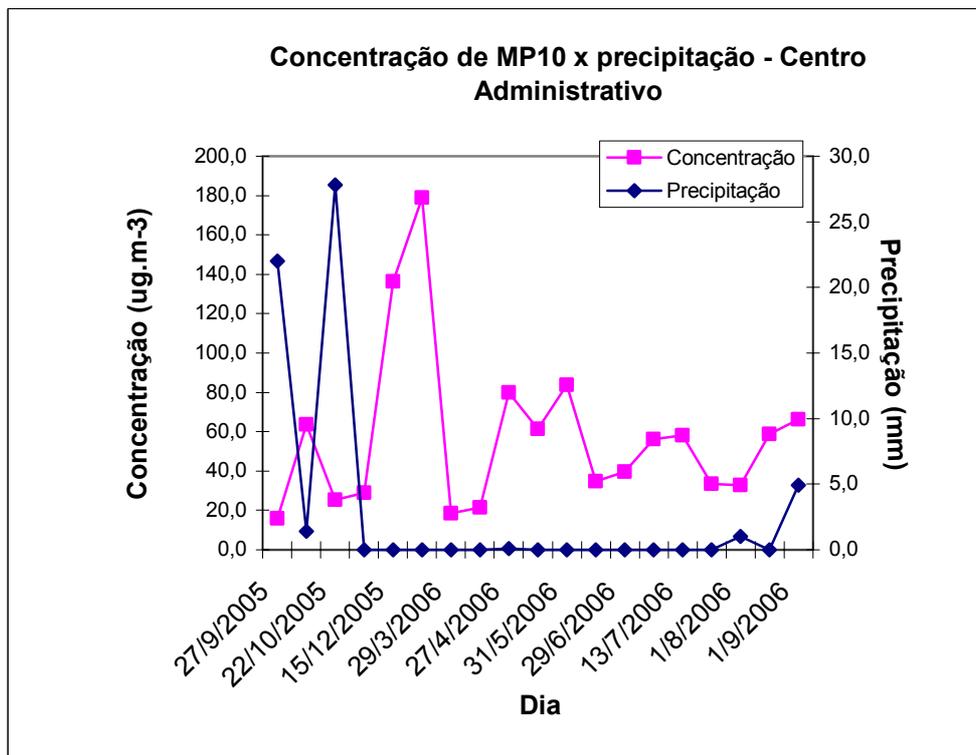
que apresentam as menores concentrações de MP<sub>10</sub>.

A Figura 4 apresenta os valores das concentrações relacionadas ao volume de precipitação do mês. Observa-se que a diminuição da intensidade de precipitação está relacionada ao aumento na concentração de MP<sub>10</sub>, exceto para os meses de dezembro de 2005 e janeiro de 2006.

Supõe-se que devido ao tráfego veicular próximo ao local de monitoramento possa haver forte influência nos resultados de concentração.



**Figura 3.** Concentrações médias diárias de MP<sub>10</sub> obtidas no Centro Administrativo da Prefeitura de Espírito Santo do Pinhal, em 2005 e 2006.



**Figura 4.** Relação entre os eventos de precipitação e a concentração de MP<sub>10</sub> no Centro Administrativo da Prefeitura de Espírito Santo do Pinhal, em 2005 e 2006.

Foi, portanto, avaliada a concentração média em cada dia da semana, as quais estão apresentadas na Figura 5. Não foram realizadas amostragens aos domingos e a única amostragem efetuada na segunda-feira coincidiu com o dia de maior concentração, portanto, optou-se por não representá-la nesta análise.

Nota-se que, em média, as quintas-feiras apresentaram concentração mais elevada que os demais dias da semana, e que aos sábados a concentração média foi próxima à concentração dos demais dias.

Não se conseguiu uma explicação para o valor elevado das quintas-feiras, porém aos sábados possivelmente o movimento se deve a veículos de passeio de moradores no centro do município, diferentemente dos demais dias nos quais se sabe que há intensa movimentação de ônibus para o transporte de alunos para a faculdade.

Buscando-se analisar as possíveis causas para eventos de concentração elevada de MP<sub>10</sub> foi avaliado o número mensal de focos de queimada no estado de São Paulo, uma vez que parte do material particulado em suspensão provém da queima de biomassa.

Os valores são apresentados na Tabela 2 e associados aos meses de

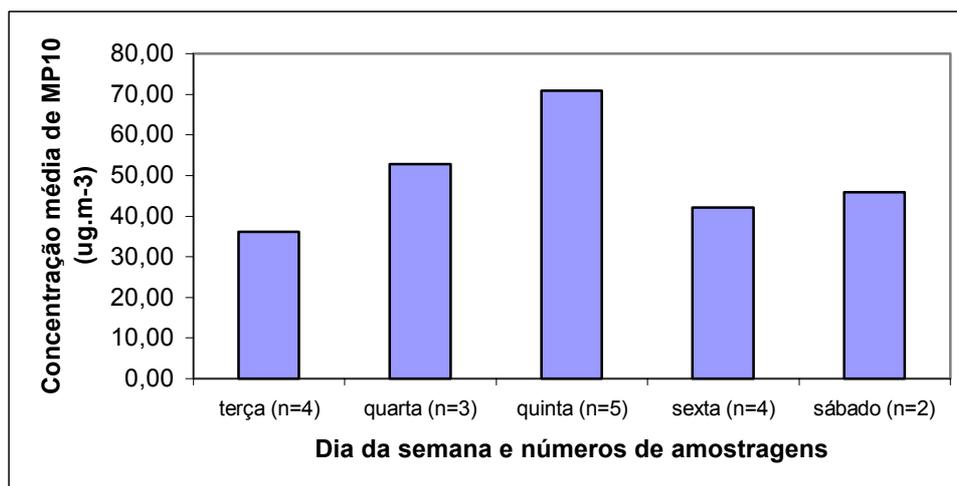
monitoramento no Centro Administrativo da Prefeitura Municipal.

Observa-se que nos meses de dezembro a março há uma queda acentuada nos focos, o que pode estar associado à entressafra da cana-de-açúcar e também ao maior número de eventos de precipitação. Dessa forma, parte das concentrações elevadas nos meses de outono e inverno pode estar associada aos eventos de queimada.

Deve-se ressaltar que as queimadas nas cidades do sul de Minas Gerais também influenciam na qualidade do ar em Espírito Santo do Pinhal, mas supõe-se que haja um comportamento similar ao apresentado na Tabela 2, especialmente nas regiões em que se tenha plantio de cana. Com base nestes dados não se conseguiu explicação para o evento de ultrapassagem do padrão diário.

Na tentativa de uma melhor explicação para o fenômeno de ultrapassagem do padrão diário em 16/01/2006, se buscou a distribuição de focos de queimada ao longo do mês de janeiro de 2006.

Pode-se observar, pela Tabela 3, que na data anterior ao dia de ultrapassagem houve grande número de focos, o que pode ter resultado em um transporte de poluentes de longa escala para o município de Espírito Santo do Pinhal.



**Figura 5.** Avaliação da influência do dia da semana na concentração de MP10 em Espírito Santo do Pinhal, em 2005 e 2006.

**Tabela 2.** Número de focos mensais de queimada no Estado de São Paulo. (www.cptec.inpe.br/queimadas)

Mês	Número de focos de queimada
setembro/05	419
outubro/05	424
novembro/05	355
dezembro/05	54
janeiro/06	36
fevereiro/06	11
março/06	48
abril/06	330
maio/06	490
junho/06	605
julho/06	568
agosto/06	550

**Tabela 3.** Número de focos diários de queimada no Estado de São Paulo em janeiro de 2006 (www.cptec.inpe.br/queimadas).

Dia	Número de focos de queimada
6/1/2006	1
14/1/2006	1
15/1/2006	22
23/1/2006	12

Deve-se ainda considerar a hipótese de influência industrial local (falha no processo ou em equipamento de controle de poluição), uma vez que usualmente as condições meteorológicas (elevada precipitação, alta camada de mistura, temperaturas elevadas) no mês de janeiro são favoráveis para a dispersão de poluentes.

#### 4. CONCLUSÕES

Os valores obtidos para o material particulado inalável MP<sub>10</sub> no campus do UNIPINHAL são muito inferiores ao padrão diário de qualidade do ar estabelecido na legislação nacional, enquanto que no Centro Administrativo houve ultrapassagem de padrão diário e padrão anual.

As condições de dispersão são mais desfavoráveis nos meses mais frios, sendo as alturas de inversão térmica mais baixas que no restante do ano. Pode-se dizer que, no período monitorado, não foram observadas influências significativas da atividade de queima de biomassa ou outras, de forma a impactar a qualidade do ar em relação a MP<sub>10</sub> no campus. Todavia, houve impactos na região do Centro Administrativo, uma vez que os padrões foram ultrapassados tanto para a média de curto período (diária) quanto para a média anual.

A realização de novas campanhas de monitoramento, de forma a confirmar ou não o problema de qualidade do ar para MP<sub>10</sub>, assim como um inventário detalhado das fontes de emissão industriais, associadas à presença ou não de equipamentos de controle de poluição, e avaliação das fontes veiculares de MP<sub>10</sub>, permitirão um estabelecimento de metas para o gerenciamento de material particulado inalável no município.

#### REFERÊNCIAS

- AMORIM, W. B. **Monitoramento da concentração e caracterização do material particulado suspenso na atmosfera**. Tese de doutorado. UNICAMP. Campinas, 165 p., 2004.
- BRASIL. Portaria normativa no 348 de 14 de março de 1990. Estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar. 1990.
- CETESB, **Relatório da qualidade do ar no Estado de São Paulo 2006**. São Paulo. 167 p., 2007
- EMBRAPA, **Emissão de Gases de Efeito Estufa Provenientes da Queima de Resíduos Agrícolas no Brasil**, 60 p., 1999.
- GERAB, F. **Técnicas analíticas nucleares aplicadas à medida em larga escala de aerossóis atmosféricos na região Amazônica**. São Paulo: Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 1996, 203 p. Tese (Doutorado).
- IPCC **Climate Change 2007**. Summary for Policymakers. Disponível em [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_spm.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_spm.pdf). Acesso em 03/04/2008.

- LARA, L. L.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; CAMARGO, P. B.; VICTORIA, R. L.; FERRAZ, E. S. B. Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil, **Atmospheric Environment**, 39, 4627-4637, 2005
- PAGANO, P., DE ZAIACOMO, T., SCARCELLA, E., BRUNI, S., CALAMOSCA, M.,. Mutagenic activity of total and particle-sized fraction of urban particulate matter. **Environmental Science and Technology**, v. 30, p. 3512–3516, 1998.
- SEINFELD, J. H; PANDIS, S.N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate changes**. New York: John Wiley & Sons, 1998. 1326 p.
- TRESMONDI, A. C. C. L. **Qualidade do ar na área de influência do pólo industrial de Paulínia-SP: 2000-2002**. Tese de doutorado. UNICAMP. Campinas. 303 p., 2003