



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá  
Brasil

Radünz Lazzari, Angela; Emilia Camargo, Maria; de Souza Schneider, Rosana de Cassia  
Análise de regressão múltipla das concentrações de PM10 em função de elementos meteorológicos  
para Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, em 2005 e 2006  
Acta Scientiarum. Technology, vol. 33, núm. 1, 2011, pp. 49-55  
Universidade Estadual de Maringá  
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226530008>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Análise de regressão múltipla das concentrações de $PM_{10}$ em função de elementos meteorológicos para Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, em 2005 e 2006

Angela Radünz Lazzari<sup>1\*</sup>, Maria Emilia Camargo<sup>1</sup> e Rosana de Cassia de Souza Schneider<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Matemática, Universidade de Santa Cruz do Sul, Av. Independência, 2293, 96815-900, Bairro Universitário, Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. <sup>2</sup>Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: angela@unisc.br

**RESUMO.** O ar é um meio eficiente de dispersão de poluentes atmosféricos e seu comportamento depende dos movimentos atmosféricos que ocorrem na troposfera. Em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, há um grande tráfego diário e uma concentração de indústrias que podem ser responsáveis por emissões atmosféricas. Neste trabalho, estudou-se o comportamento das concentrações diárias de material particulado ( $PM_{10}$ ) desta cidade, considerando a influência dos elementos meteorológicos. A análise dos dados foi realizada a partir de estatísticas descritivas, correlação linear e regressão múltipla. Os dados foram fornecidos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS (FEPAM) e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A partir das análises pôde-se verificar que: as concentrações de  $PM_{10}$ , medidos diariamente às 16h, não ultrapassaram os padrões nacionais de qualidade do ar; os elementos meteorológicos que influenciam nas concentrações de  $PM_{10}$  foram: a velocidade média diária do vento e a radiação média diária com relações negativas; as temperaturas médias diárias do ar e as direções, norte e noroeste, do vento, com relações positivas. As direções do vento que contribuem significativamente para diminuir as concentrações nos locais medidos são Leste e Sudeste.

**Palavras-chave:** poluição atmosférica,  $PM_{10}$ , estatística, direção dos ventos, meteorologia.

**ABSTRACT.** Multiple regression analysis of  $PM_{10}$  concentration concerning to meteorological elements for Porto Alegre, Rio Grande do Sul State, in 2005 and 2006.

Air is an efficient means of atmospheric pollutants dispersal and its behavior depends on the atmospheric movements that occur in the troposphere. In Porto Alegre, Rio Grande do Sul State, there is a large daily traffic and a concentration of industries that may be responsible for atmospheric emission. In the present work we studied the behavior of daily concentrations of particulate matter ( $PM_{10}$ ), in this city, considering the influence of meteorological variables. Data analysis was performed from descriptive statistics, linear correlation and multiple regressions. Data were provided by the State Foundation of Environmental Protection Henrique Luiz Roessler - RS and the National Institute of Meteorology. Based on the analysis it was possible to verify that: the concentration of  $PM_{10}$ , measured every day at 4:00 p.m., did not exceed national standards for air quality; meteorological elements that influenced on the concentrations of  $PM_{10}$  were the daily average wind speed and average daily radiation with negative relations; the daily average temperature of the air and the directions, north and northwest of wind, with positive relations. Wind directions which contribute significantly to lower concentrations on the measured places are east and southeast.

**Keywords:** atmospheric pollution,  $PM_{10}$ , statistics, wind direction, meteorology.

## Introdução

Atualmente, existe uma grande preocupação da opinião pública com relação aos impactos causados pelos poluentes no meio ambiente. Frequentemente veem-se reportagens mostrando cenários desastrosos, resultado da ação antrópica, demonstrando os efeitos nocivos dos poluentes que impactam negativamente o ambiente natural. O ar é apenas um dos recursos naturais que precisam ser

preservados em respeito às gerações atuais e futuras. Ele é um meio eficiente de dispersão de poluentes atmosféricos sendo que o comportamento deste depende dos movimentos atmosféricos que ocorrem na troposfera.

Grandes cidades sofrem com a concentração elevada de poluentes e carecem de ações de remediação e minimização dos problemas. Assim, o monitoramento das concentrações de poluentes do

ar, acompanhado de uma avaliação adequada, permite diagnosticar melhor a qualidade do ar, bem como seus agravantes, em uma determinada região.

A composição do ar atmosférico, ao nível do mar, apresenta, aproximadamente, 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, 0,03% de gás carbônico e o restante de outros gases (SMAM, 2000; MOZETO, 2001). De acordo com Branco e Murgel (1997), o ar atmosférico é considerado poluído quando existe uma alteração na sua composição ou propriedades, como resultado de emissões de poluentes em concentrações nocivas e inconvenientes à saúde e ao meio ambiente, por ações antrópicas.

Os principais poluentes que podem estar presentes na atmosfera são: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), material particulado (PM<sub>10</sub>), hidrocarbonetos gasosos e outros compostos voláteis em menor concentração (SMAM, 2000; SHIRMER; LISBOA, 2008).

Este trabalho focou seu estudo no material particulado de até 10 µm (PM<sub>10</sub>), poluente constituído de partículas de tamanho inferior ou igual a 10 µm, também denominado de partículas inaláveis, são compostas de diversos componentes. Estes componentes podem ser: sulfatos, sais, metais, partículas de carbono e sílica finamente divididas (SHIRMER; LISBOA, 2008). Uma das razões pelas quais elas causam preocupação é o fato de que, mesmo em baixas concentrações, podem levar a efeitos nocivos e o prejuízo a saúde depende de sua composição e de seu potencial carcinogênico (FEPAM, 2003). Os efeitos nocivos à saúde humana são problemas respiratórios, pulmonares, asma e alergia. As principais fontes são as indústrias, veículos automotores, queimadas intencionais, poeira de rua, atividades de construção, além de outros (BAILEY; SOLOMON, 2004; BRANIS et al., 2009; FEPAM, 2003; YORKS et al., 2009).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1990) estabelece padrões nacionais de qualidade do ar, através da Resolução n. 3 de 28/6/1990. Ele define os padrões primários de qualidade do ar, que poderão afetar a saúde da população se ultrapassados e os padrões secundários de qualidade do ar, em que se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população e ao meio ambiente. Para o PM<sub>10</sub>, estes padrões são de 150 µg m<sup>-3</sup>, primários e secundários, (não devendo ser ultrapassado mais que uma vez por ano) para o tempo de amostragem de 24h, e para a média aritmética anual eles são de 50 µg m<sup>-3</sup>.

De acordo com a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA, 2007) e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, Estado do Rio Grande do Sul (FEPAM, 2003), o monitoramento da qualidade do ar é realizado para determinar o nível de concentração dos poluentes presentes na atmosfera. Seus resultados permitem um acompanhamento sistemático da qualidade do ar, na área monitorada, como também constituem elementos básicos para elaboração de diagnóstico da qualidade do ar, subsidiando ações governamentais para o controle das emissões, bem como advertir a população em casos de risco à saúde e ao bem-estar geral.

Segundo Sales (2007) e Santos et al. (2009), os principais fatores que influenciam a qualidade do ar, em uma escala local, são o vento e a estabilidade atmosférica (ocorre quando há ausência de ventos, podendo ter a presença de nevoeiros e precipitação leve e contínua). A dispersão dos poluentes de uma fonte depende da turbulência na atmosfera próxima. A velocidade do vento pode afetar a sua concentração. Quanto maior a velocidade, maior será a dispersão de contaminantes em uma determinada área.

Moreira e Tirabassi (2004) salientam que a estrutura urbana tem uma importante influência sobre o campo de vento. Sua velocidade, em geral, diminui com o atrito produzido pela superfície, pois edifícios de uma área urbana colocam mais resistência ao fluxo do vento comparativamente à área rural. Grandes cidades com topografia complexa, com vales ou cadeias montanhosas, a princípio, experimentam elevadas concentrações de contaminantes do ar.

Outro fator determinante na dispersão dos poluentes é a frequência das precipitações pluviométricas. Local que chove regularmente tem a remoção do material particulado além de interação com alguns poluentes facilitando a sua deposição seca ou úmida (SALES, 2007).

Para auxiliar na correlação dos aspectos meteorológicos com a presença e concentração de poluentes atmosféricos visando identificar fatores que interferem na concentração, são utilizadas ferramentas estatísticas como: regressão linear múltipla e análise descritiva. A regressão linear múltipla é uma técnica de análise de dados amplamente utilizada para analisar uma variável dependente (quantitativa) relacionada com duas ou mais variáveis independentes (quantitativas). O objetivo desta é prever as mudanças na variável dependente como resposta a mudanças nas variáveis independentes (HAIR JR. et al., 2009).

Como resultados tem-se trabalhos como em Begun et al. (2009) onde realizaram determinações de  $PM_{10}$  em diferentes ambientes da zona rural de Bangladesh. Nos resultados encontrados puderam concluir que a variação encontrada no material particulado estava relacionada à queima de combustível e dispersão dos poluentes, uma vez que os experimentos foram realizados em ambientes internos.

Também Torres e Martins (2005) analisou fatores que influenciam nas concentrações de material particulado na cidade de Juiz de Fora, Estado de Minas Gerais. Utilizou técnicas estatísticas descritivas para analisar dados e concluiu que os fatores que influenciam nas altas concentrações são: o fluxo de veículos, direção e velocidade do vento.

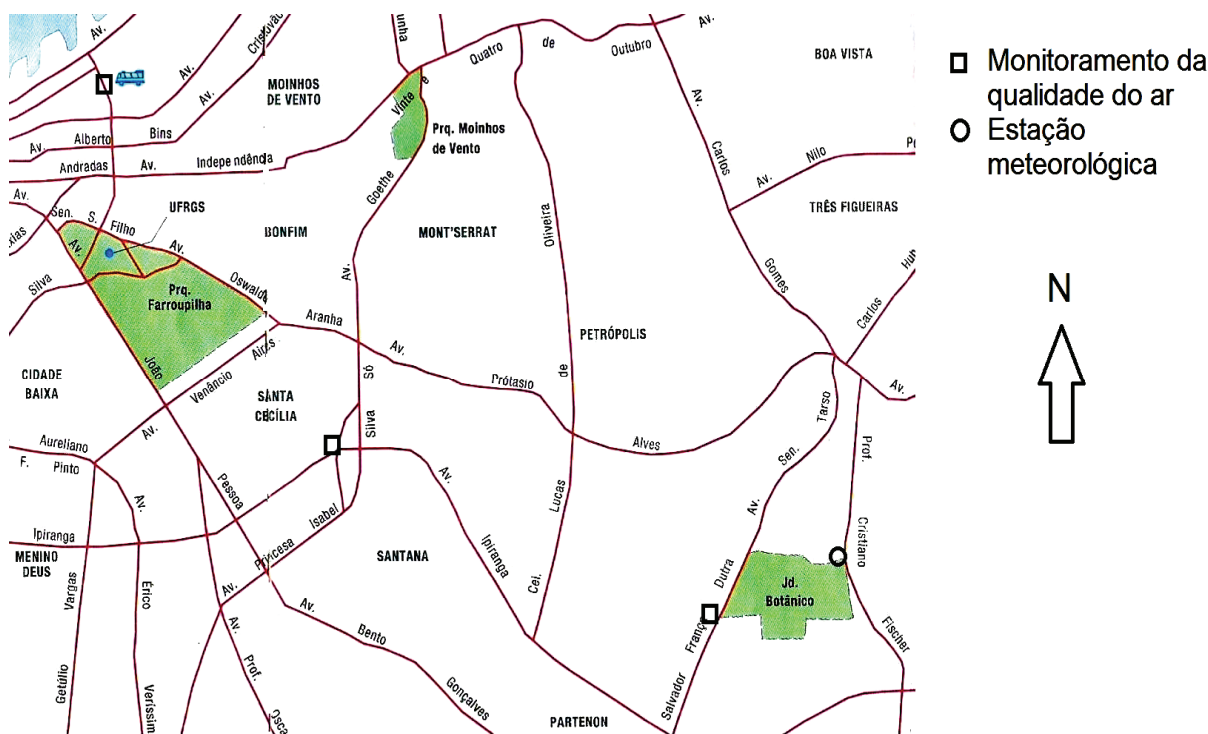
O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento das concentrações diárias de  $PM_{10}$  da cidade de Porto Alegre, procurando identificar os elementos meteorológicos que possam estar influenciando nestas concentrações, servindo, assim, de modelo para a avaliação do plano diretor de Porto Alegre visando a redução do impacto causado pelos poluentes atmosféricos, orientando a construção de edifícios, de indústrias e, também, o tráfego de veículos.

## Material e métodos

Para analisar as concentrações de  $PM_{10}$  com os fatores que afetam a dispersão dos mesmos foram utilizados dados fornecidos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler, Estado do Rio Grande do Sul, (FEPAM), referentes às concentrações diárias de  $PM_{10}$ , de 2002 a 2006, e dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes às variáveis meteorológicas, de 2005 a 2006.

Os dados referentes às concentrações de  $PM_{10}$  foram medidos pela Rede de Monitoramento Automático da Qualidade do Ar da FEPAM, em três estações automáticas localizadas no município de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul. A localização destas estações são as seguintes: no Centro de Porto Alegre, próximo à Estação Rodoviária (1); no Bairro Santana, junto à Escola de Bombeiros de Porto Alegre (2); e no Bairro Jardim Botânico, junto à Escola de Educação Física (ESEF), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (3). Elas estão apresentadas na Figura 1.

Quanto aos dados meteorológicos de Porto Alegre disponíveis para a realização do trabalho, provêm da estação de superfície automática do INMET, localizada na Rua Prof. Cristiano Fischer, no Bairro Jardim Botânico.



Fonte: FEPAM (2003) e INMET (2007).

**Figura 1.** Localização das estações automáticas de monitoramento do ar e meteorológica na cidade de Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul.

As variáveis meteorológicas horárias disponibilizadas foram: temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ); umidade relativa do ar (%); temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ); pressão atmosférica (hPa); velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ); direção do vento (graus); radiação solar ( $\text{kJm}^{-2}$ ) e precipitação pluviométrica (mm). Para se fazer uma análise relacionando dados meteorológicos com os de concentrações de poluentes, deve-se ter dados com a mesma dimensão de tempo. Como os dados de concentrações eram diários, sempre referentes às 16h, optou-se por médias diárias dos dados meteorológicos, por darem uma representatividade melhor das informações do dia, até às 16h. Para a variável relacionada à direção do vento, por ser qualitativa, optou-se por utilizar a direção das 16h. Quanto à precipitação pluviométrica, foi utilizado o valor acumulado do dia, de zero às 16h.

Para a análise dos dados, foram utilizadas as seguintes metodologias estatísticas: correlação linear de Pearson (verificar correlações entre as variáveis) e regressão linear múltipla (como o objetivo de criar um modelo que indique quais as variáveis meteorológicas se relacionam com a concentração de  $\text{PM}_{10}$ ). O software utilizado nas análises foi o Statistica.

## Resultados e discussão

### Análise descritiva dos dados

Em primeiro lugar, foi realizada uma análise descritiva do  $\text{PM}_{10}$ , para a compreensão do seu comportamento. Na Tabela 1 são apresentadas as estatísticas descritivas das concentrações de  $\text{PM}_{10}$  para cada local e cada ano fornecido.

Para as concentrações de  $\text{PM}_{10}$ , verificou-se que as médias anuais não ultrapassaram os padrões nacionais de qualidade do ar, primários e secundários de  $50 \mu\text{g m}^{-3}$ , em nenhum dos locais. O valor máximo observado foi de  $137,74 \mu\text{g m}^{-3}$ , no local próximo a Rodoviária. As concentrações de  $\text{PM}_{10}$ , medidas às 16h diariamente, não ultrapassaram os padrões da qualidade do ar, primários e secundários de  $150 \mu\text{g m}^{-3}$ .

Os valores médios anuais do  $\text{PM}_{10}$ , apresentados

na Tabela 1, para uma cidade como Porto Alegre, que em 2006 apresentava uma população de aproximadamente 1.441.000 habitantes, podem ser considerados bons. São valores próximos aos ocorridos em Curitiba, Estado do Paraná, cidade que apresentou uma população próxima a 1.800.000 habitantes no ano de 2007, apresentando valores entre  $24,8$  e  $27 \mu\text{g m}^{-3}$ .

### Análise de regressão múltipla

Para analisar o comportamento do  $\text{PM}_{10}$  com relação aos elementos meteorológicos, fez-se uma análise de regressão múltipla para cada local de coleta do mesmo, considerando as concentrações de  $\text{PM}_{10}$  como variável dependente e os elementos meteorológicos como variáveis independentes.

Primeiramente, foi feita uma avaliação da multicolinearidade com as variáveis independentes. Os resultados apresentaram um grau elevado de multicolinearidade nas seguintes variáveis: Temperatura média do ar, temperatura média do ponto de orvalho e umidade média relativa do ar. Em consequência disto, optou-se em utilizar apenas a temperatura média do ar, por ter maior correlação com as concentrações de  $\text{PM}_{10}$ .

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise de regressão múltipla para o local próximo à rodoviária (1). A variação da variável dependente  $\text{PM}_{10}$  tem uma explicação de 47% pelas variáveis incluídas no modelo. Através do coeficiente padronizado Beta, pôde-se comparar o peso de cada coeficiente no modelo de regressão. Portanto, as variáveis que apresentam maiores contribuições ao modelo, por terem valores maiores de Beta são: a velocidade média do vento, com relação negativa, a temperatura média diária, com relação positiva, e a direção norte do vento, com relação positiva. Contribuem, também, as direções noroeste e nordeste do vento, com relação positiva, e a radiação solar média e a precipitação, com relações negativas. A relação positiva é aquela em que as variáveis crescem ou decrescem conjuntamente, já a negativa, a relação é inversa, à medida que uma variável cresce a outra decresce.

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas para o  $\text{PM}_{10}$ , nos três locais com estação automática de monitoramento do ar, em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, de 2002 a 2006.

Período	Local 1			Local 2			Local 3			Média dos 3 locais
	$\bar{X}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	S ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	max ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	$\bar{X}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	S ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	max ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	$\bar{X}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	S ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	max ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	
2002	33,32	15,1	132,78	20,41	13,54	93,07	13,63	10,66	46,81	22,45
2003	33,51	17,23	122,44	24,26	13,6	81,15	9,65	5,48	31,67	22,47
2004	41,45	20,83	132,96	20,2	11,89	60,51	23,57	14,15	72,46	28,41
2005	44,93	22,01	137,74	22,9	15,31	66,36	21,89	14,03	85,68	29,91
2006	41,42	12,63	73,01	15,98	11,01	66,52	22,69	12,97	68,27	26,70

**Tabela 2.** Análise de regressão múltipla para as partículas inaláveis inferiores a 10 µm, observadas no local próximo à Rodoviária, em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, em 2005 e 2006.

Variáveis	Coef. Estimados	Coef. Padronizado Beta	p-valor
Intercepto	42,91		0,0000
Veloc vento	-12,44	-0,44	0,0000
Vento norte	17,86	0,25	0,0000
Temperatura	1,19	0,26	0,0000
Vento noroeste	12,17	0,19	0,0000
Radiação	-0,01	-0,19	0,0000
Precipitação	-0,37	-0,14	0,0004
Vento nordeste	6,93	0,09	0,0125

Regressão para a variável dependente PM<sub>10</sub>R. R<sup>2</sup> ajustado = 0,4679; p < 0,0000.

O segundo local de coleta (2) está apresentado na Tabela 3 e os resultados da análise de regressão múltipla para este local que fica próximo à Escola de Bombeiros corresponderam a um ajustamento em que a variação da variável dependente PM<sub>10</sub> tem uma explicação de 31%, pelas variáveis incluídas no modelo. Destas, as que apresentaram maiores contribuições, verificadas pelo coeficiente Beta, foram: a velocidade do vento e a radiação solar, com relação negativa. Tiveram contribuições, também, as direções do vento, noroeste, norte e oeste, e temperatura média do ar, com relação positiva, e a precipitação, com relação negativa.

**Tabela 3.** Análise de regressão múltipla para as partículas inaláveis inferiores a 10 µm, observadas no local próximo à Escola de Bombeiros, em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, em 2005 e 2006.

Variáveis	Coef. Estimados	Coef. Padronizado Beta	p-valor
Intercepto	26,39		0,0000
Veloc vento	-6,48	-0,33	0,0000
Radiação	-0,01	-0,24	0,0000
Vento noroeste	9,41	0,22	0,0000
Vento norte	12,34	0,22	0,0000
Vento oeste	2,78	0,08	0,0284
Temperatura	0,29	0,10	0,0156
Precipitação	-0,18	-0,09	0,0189

Regressão para a variável dependente PM<sub>10</sub>B. R<sup>2</sup> ajustado = 0,3070; p < 0,0000.

Já os resultados da análise de regressão múltipla para a estação de monitoramento da qualidade do ar instalada na Escola de Educação Física (3) são apresentados na Tabela 4. Para estes dados, a variação da variável dependente PM<sub>10</sub> tem uma explicação de 25% pelas variáveis incluídas no modelo. As variáveis que apresentaram maiores contribuições foram: a velocidade do vento, com relação negativa, e a temperatura média do ar, com relação positiva. Contribuem ainda com o modelo: a radiação solar com relação negativa e os ventos com as direções norte, noroeste e oeste, com relações positivas.

O que se observa nas regressões anteriores é que, em todas elas, tem-se a velocidade média do vento, até as 16h, como a variável mais importante e com relação negativa, indicando que quanto maior a

velocidade do vento, menores serão as concentrações de PM<sub>10</sub>. A radiação solar média diária também contribuiu com relação negativa, indicando que dias com menos radiação (nublados) levam a maiores concentrações de PM<sub>10</sub>. As demais contribuições comuns nos três locais foram: a temperatura média diária e as direções, norte e noroeste, dos ventos com relações positivas, indicando que maiores temperaturas e presença dos ventos norte e noroeste contribuem para maiores concentrações. Portanto, as maiores concentrações de PM<sub>10</sub> ocorrem nos dias quentes, com pouco vento e nublado, ou seja, quando a estabilidade do ar é alta. Esse resultado vem ao encontro do que Sales (2007) escreveu indicando que os principais fatores que podem influenciar nas concentrações de poluentes são: o vento e a estabilidade atmosférica.

**Tabela 4.** Análise de regressão múltipla para as partículas inaláveis inferiores a 10 µm, observadas no local próximo à ESEF (UFRGS), em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, em 2005 e 2006.

Variáveis	Coefficientes Estimados	Coef. Padronizado Beta	p-valor
Intercepto	22,49		0,0000
Veloc vento	-7,13	-0,36	0,0000
Temperatura	0,60	0,20	0,0000
Radiação	-0,01	-0,15	0,0002
Vento norte	7,79	0,15	0,0001
Vento noroeste	6,06	0,14	0,0002
Vento oeste	2,75	0,08	0,0302

Regressão para a variável dependente PM<sub>10</sub>E. R<sup>2</sup> ajustado = 0,2549; p < 0,0000.

Estas regressões, apesar de apresentarem um poder explicativo baixo, foram suficientes para verificar o objetivo do estudo que era o de encontrar relação entre as concentrações de PM<sub>10</sub> com elementos meteorológicos. A análise de resíduos indicou que os mesmos se distribuem normalmente. Portanto, estes modelos podem ser melhorados, pois existem outros fatores influenciando estas concentrações, que não incluem o foco deste estudo, principalmente, as quantidades de PM<sub>10</sub> emitidos diariamente, que não foram analisados aqui.

Além disso, nos modelos acima, observa-se uma contribuição para maiores concentrações de PM<sub>10</sub>, da direção do vento Norte e Noroeste. Devido a isso, para analisar a influência da direção dos ventos na concentração dos poluentes foi feita uma análise de correlação entre as direções às 16h e as concentrações, também medidas às 16h (Tabela 5). Nesta tabela, verifica-se que as direções que contribuem significativamente para o aumento das concentrações são Norte e Noroeste e as que contribuem significativamente para

diminuir as concentrações, nos locais medidos, são Leste e Sudeste. Concluindo assim, os ventos que contribuem para o aumento das concentrações são provenientes do norte e noroeste em direção ao sul e sudeste. Esses ventos são originários de regiões muito industrializadas e com fluxo intenso de veículos. Já os ventos provenientes do Leste e Sudeste contribuem para a dispersão ou diminuição das concentrações dos poluentes.

**Tabela 5.** Correlações entre partículas  $PM_{10}$  e a direção dos ventos (variável dummy) às 16h, em Porto Alegre, Estado do Rio Grande do Sul, em 2005 e 2006.

Direção do vento	$PM_{10}$ ( $\mu g\ m^{-3}$ )		
	1	2	3
norte	0,3079 p = 0,000	0,2789 p = 0,000	0,2567 p = 0,000
nordeste	0,0668 p = 0,215	0,0085 p = 0,875	0,0489 p = 0,365
leste	-0,1877 p = 0,000	-0,1881 p = 0,000	-0,148 p = 0,006
sudeste	-0,141 p = 0,009	-0,1575 p = 0,003	-0,1328 p = 0,013
sul	-0,0819 p = 0,128	-0,0562 p = 0,298	-0,0695 p = 0,197
sudoeste	-0,0837 p = 0,120	-0,098 p = 0,069	-0,0794 p = 0,140
oeste	-0,0633 p = 0,240	-0,0293 p = 0,587	-0,0539 p = 0,318
noroeste	0,2901 p = 0,000	0,3281 p = 0,000	0,2688 p = 0,000

N=346

## Conclusão

Os elementos meteorológicos que influenciam nas concentrações de  $PM_{10}$  em Porto Alegre são: a velocidade do vento e a radiação solar, com relações negativas, a temperatura do ar e as direções do vento, norte e noroeste, com relações positivas. Logo, as maiores concentrações de  $PM_{10}$  ocorrem em dias quentes, com pouco vento e nublados, sendo que, os ventos Norte e Noroeste corroboram para este aumento.

Foi possível constatar que, para os padrões nacionais de qualidade do ar estabelecidos pelo Conama, as concentrações do  $PM_{10}$ , medidos diariamente às 16h e as médias aritméticas anuais, não ultrapassaram os padrões primários e secundários.

## Agradecimentos

Ao FAP-Unisc pelo apoio à pesquisa e à Fepam (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS) e Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) pela liberação dos dados para análise.

## Referências

- BAILEY, D.; SOLOMON, G. Pollution prevention at ports: clearing the air. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 24, n. 7-8, p. 749-774, 2004.
- BEGUM, B. A.; PAUL, S. K.; HOSSAIN, M. D.; BISWAS, S. K.; HOPKE, P. K. Indoor air pollution from particulate matter emissions in different households in rural areas of Bangladesh. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 898-903, 2009.
- BRANCO, S. M.; MURGEL, E. **Poluição do ar**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004.
- BRANIS, M.; SAFRANEK, J.; HYTYCHOVA, A. Exposure of children to airborne particulate matter of different size fractions during indoor physical education at school. **Building and Environment**, v. 44, n. 6, p. 1246-1252, 2009.
- CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 3, de 28/6/1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>> Acesso em: 30 mai. 2007.
- FEEMA-Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. **Apresenta informações sobre a qualidade do ar**. Disponível em: <<http://www.feema.rj.gov.br/qualidade-ar.asp?cat=65>>. Acesso em: 26 mar. 2007.
- FEPAM-Fundação Estadual de Proteção Ambiental. **Qualidade do ar 2001-2002**. Porto Alegre: Fepam, 2003. (CD-ROM).
- HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. **Apresenta informações sobre a qualidade do ar**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>> Acesso em: 23 maio 2007.
- MOREIRA, D.; TIRABASSI, T. Modelo matemático de dispersão de poluentes na atmosfera: um instrumento técnico para a gestão ambiental. **Ambiente e Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 159-171, 2004.
- MOZETO, A. A. Química atmosférica: a química sobre nossas cabeças. **Química Nova na Escola**, n. 1, p. 41-49, 2001.
- SALES, J. A. **Os poluentes do ar e os aspectos meteorológicos**. MMA. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.meioambiente.gov.br/port/sqa/atmosfera/index.cfm?submenu=4#>>. Acesso em: 16 maio 2007.
- SANTOS, J. M.; GRIFFITHS, R. F.; REIS JR., N. C.; MAVROIDIS, I. Experimental investigation of averaging time effects on building influenced atmospheric dispersion under different meteorological stability conditions. **Building and Environment**, v. 44, n. 6, p. 1295-1305, 2009.
- SCHIRMER, W. N.; LISBOA, H. M. Química da atmosfera: constituintes naturais, poluentes e suas reações. **Tecno-Lógica**, v. 12, n. 2, p. 37-46, 2008.
- SMAM-Secretaria Municipal do Meio Ambiente. A poluição atmosférica. In: ZURITA, M. L. L.; TOLFO, A. Maringá, v. 33, n. 1, p. 49-55, 2011.

M. (Org.). **A qualidade do ar em Porto Alegre**. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000. p. 17-27.

TORRES, F. T. P.; MARTINS, L. A. Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 16, p. 23-39, 2005.

YORKS, J. E.; THOMPSON, A. M.; JOSEPH, E.; MILLER, S. K. The variability of free tropospheric ozone over Beltsville, Maryland (39N, 77W) in the summers

2004-2007. **Atmospheric Environment**, v. 43, n. 11, p. 1827-1838, 2009.

*Received on March 12, 2010.*

*Accepted on June 22, 2010.*

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.