

ESTUDO SOBRE QUALIDADE DO AR NA CIDADE DE UBERLÂNDIA: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS

RENATA MATOS NICODEMOS¹, ADILSON JOSÉ DE ASSIS², MARCOS ANTÔNIO DE SOUZA BARROZO²

Resumo – O expressivo crescimento populacional de Uberlândia-MG, nas últimas quatro décadas, de forma desordenada e sem planejamento, pode causar sérios problemas na qualidade de vida da população. Um dos pontos mais preocupantes é a qualidade do ar atmosférico. Neste trabalho, a qualidade do ar em Uberlândia é definida em termos da concentração do material particulado com diâmetro menor que 10 μ m (MP10). A exposição a altas concentrações de MP10 está fortemente associada a graves problemas de saúde, principalmente dos sistemas respiratório e cardiovascular, conforme estudos da área de saúde pública. A concentração de um poluente no ar é o resultado final de processos complexos, sujeitos a vários fatores, que compreendem não só a emissão pelas fontes, como também suas interações físicas (dispersão) e químicas (reações). A capacidade de dispersão varia muito com a topografia e com as condições meteorológicas. Diante desse contexto, os objetivos deste trabalho foram: (a) analisar a relação entre variáveis meteorológicas e concentração de MP10 e (b) verificar o comportamento do número de atendimentos hospitalares por doenças do aparelho respiratório em função da concentração de MP10 e da temperatura e umidade relativa. Os resultados mostraram que a concentração de MP10 é correlacionada com todas as variáveis meteorológicas analisadas, com exceção da velocidade e direção do vento e temperatura. Além disso, os modelos de regressão múltipla mostraram que os meses Abril, Maio, Junho e Julho relacionaram-se significativamente com o número de atendimentos hospitalares.

Palavras-chave: MP10, qualidade do ar, variáveis meteorológicas, doenças respiratórias.

¹ Bolsista do PIBIC/CNPq – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K, Uberlândia-MG, CEP: 38408-100. E-mail: mnrenata@yahoo.com.br

² Professor Orientador – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K, Uberlândia-MG, CEP: 38408-100. E-mail: ajassis@ufu.br, masbarrozo@ufu.br

Abstract – The expressive population growth of Uberlândia-MG, in the last four decades, in a disordered way and without planning, it can cause serious problems in population life quality. One of the most concerning points it is the atmospheric air quality. In this work, the air quality in Uberlândia is defined as the concentration of particulate matter with diameter less than $10\mu\text{m}$ (PM10). Exposure to high concentrations of PM10 is strongly associated with serious health problems, especially respiratory and cardiovascular systems, as studies in the area of public health. The concentration of a pollutant in the air is the final result of complex processes, subject to several factors, which include not only the emission by sources, as well as their physical interactions (dispersion) and chemical (reaction). The ability of dispersion varies with the topography and weather conditions. In this context, the objectives of this study were: (a) to analyze the relationship between meteorological variables and concentrations of PM10 and (b) to verify the behavior of the number of hospital visits for diseases of the respiratory tract depending in function of the concentration of PM10 and temperature and relative humidity. The results showed that the concentration of PM10 is correlated with all the weather variables analyzed, except for wind speed and direction and temperature. Besides, the multiple regression models showed that the months April, May, June and July were significantly related to the number of hospital visits.

Keywords: PM10, air quality, meteorological variables, respiratory diseases.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é um tema extensivamente pesquisado nas duas últimas décadas e atualmente caracteriza-se como um dos fatores que mais contribuem para a qualidade de vida em áreas urbanas, especialmente em áreas densamente povoadas e industrializadas. A partir de 1970, Uberlândia teve um intenso e contínuo crescimento populacional, passando de 126.112 habitantes para 608.369 habitantes em 2007. Atualmente Uberlândia é a terceira cidade de Minas Gerais em população, atrás apenas de Belo Horizonte e Contagem. O expressivo crescimento populacional de Uberlândia, de forma desordenada e sem planejamento, pode causar sérios problemas na qualidade de vida da população. Um dos pontos mais preocupantes é a qualidade do ar.

A poluição atmosférica causa vários efeitos prejudiciais, diretos ou indiretos, sobre a saúde de seres humanos e animais, sobre a vegetação, sobre os materiais e as construções e sobre a atmosfera. Estes efeitos causam perdas econômicas pelo aumento da ocorrência de algumas doenças (aumentando o consumo de medica-mentos), diminuindo a produção agrícola, acelerando a taxa de corrosão dos metais e aumentando o custo de sua proteção, diminuindo o tempo de vida dos edifícios, construções e monumentos históricos, entre outros (Liu & Liptak, 1999).

O impacto da poluição atmosférica sobre o bem-estar humano tem sido a principal motivação para o seu estudo e controle. A poluição atmosférica tem afetado a saúde da população, mesmo quando seus níveis encontram-se aquém do que determina a legislação vigente (Martins *et al.*, 2001). A legislação vigente aponta o valor de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ como o máximo de material particulado em suspensão que não afeta a saúde humana (CONAMA, 1990). A poluição atmosférica afeta principalmente os sistemas respiratórios, circulatórios e oftalmológicos, sendo o sistema respiratório a principal via de entrada dos poluentes (Boubel *et al.*, 1994). Por meio da respiração, os poluentes atingem as vias respiratórias, das narinas aos alvéolos pulmonares, promovendo diferentes processos de inflamação que debilitam o sistema respiratório.

O material particulado é um termo genérico para uma grande classe de substâncias químicas existentes na atmosfera na forma de partículas. O diâmetro aerodinâmico dessas partículas varia de 0 a $100\mu\text{m}$, sendo aquelas com diâmetro inferior a $10\mu\text{m}$ (MP10) muito danosas para a saúde humana. A exposição a altas concentrações dessas partículas está fortemente associada a graves problemas de saúde, principalmente dos sistemas respiratório e

cardiovascular, conforme estudos da área de saúde pública (Nascimento *et al.*, 2006; Martins *et al.*, 2006; Medeiros & Gouveia, 2005; Bakonyia *et al.*, 2004; Martins *et al.*, 2002).

As principais fontes de emissão de material particulado são: queima incompleta de combustíveis e de seus aditivos, desgaste de pneus e freios, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar (Boubel *et al.*, 1994; Manahan, 2000).

A interação entre as fontes de poluição e as condições atmosféricas define a qualidade do ar em uma região. As condições atmosféricas determinam as características de dispersão dos poluentes, favorecem ou não reações entre substâncias presentes na atmosfera e promovem a remoção dos poluentes. Condições meteorológicas distintas, mas com idênticas emissões de poluentes, poderão resultar em concentrações atmosféricas completamente diferentes, sendo assim o nível de concentração de MP10 suspenso na atmosfera está fortemente relacionado com as condições meteorológicas.

Dessa forma pode-se afirmar que a dinâmica das massas de ar é, sem dúvida, o fator decisivo das condições meteorológicas de um local. Evidentemente, outros fatores são também importantes, a saber: latitude, altitude, forma e disposição do relevo, vegetação e outros.

A cidade de Uberlândia localiza-se na região do Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais, na intersecção das coordenadas geográficas 18° 55' 23" de latitude Sul e 48° 17' 19" de longitude Oeste de *Greenwich*, ocupando uma área de 219 km² dentro de um município de 4.115 km² (Silva & Assunção, 2004). O município de Uberlândia está situado no domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, recoberto pelo cerrado, apresentando extensas áreas com superfícies aplainadas, levemente onduladas, e com altitude média de 865 m (Mendes, 2001). O clima da região do Triângulo Mineiro, segundo a classificação climática de *Köppen*, é do tipo Aw, ou seja, possui inverno seco e verão chuvoso. A dinâmica atmosférica em Uberlândia está sob o controle principalmente dos sistemas intertropicais, cuja participação no transcorrer do ano é superior a 50%, completada com a atuação dos sistemas polares, cuja participação é pouco superior a 25%. As atuações desses sistemas de circulação ocasionam sobre Uberlândia a formação de um clima tropical alternadamente seco e úmido (Silva & Assunção, 2004).

Um dos objetivos deste trabalho foi analisar a correlação entre variáveis meteorológicas e concentração de MP10. A carência de informações no que se refere à relação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias na cidade de Uberlândia-MG instigou esta verificação. Segundo Dockery & Pope III (1994), ao se avaliar esse tipo de relação, deve-se levar em consideração também variáveis climáticas como temperatura e umidade relativa. Assim, este estudo também teve como objetivo verificar o comportamento do número de atendimentos hospitalares por doenças do aparelho respiratório em função da concentração de MP10 e da temperatura e umidade relativa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Dados de concentração de MP10

Os dados de concentração de MP10 foram obtidos pela Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQ/UFU) e são do período de 11 de Março de 2003 a 31 de Dezembro de 2007.

O equipamento utilizado na coleta do MP10 é um amostrador de grande volume (AGV) Andersen 1200 para partículas menores que $10\mu\text{m}$ (AGV-MP10). O equipamento é composto por um motor-aspirador a vazão constante e dotado de um cabeçote com separador inercial de um estágio, como mostrado na Figura 1.

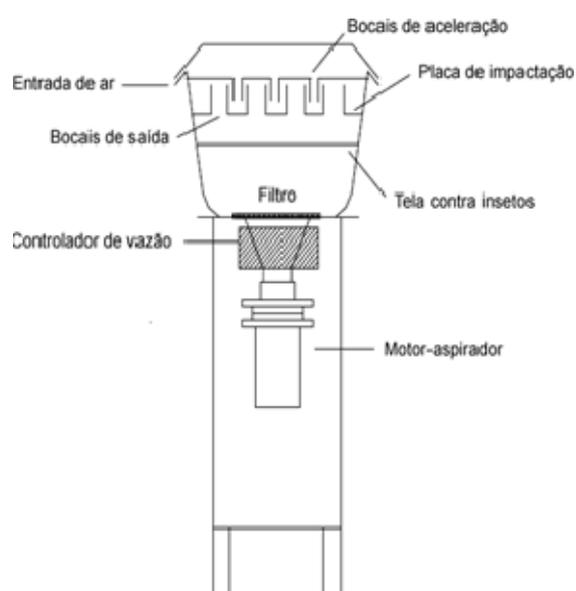


Figura 1 – Esquema do AGV-MP10.

O ar entra pelo cabeçote, que possui a região de entrada de 360° de forma que a amostragem seja feita independentemente da direção do vento. O escoamento é acelerado por 9 bocais que projetam o ar para a câmara de impactação inercial. Nesse local, o material particulado com diâmetro aerodinâmico superior a $10\mu\text{m}$ é retido em uma placa untada com graxa de silicone. Com a primeira separação executada, o ar segue por 16 bocais de saída até encontrar o filtro posicionado na base do cabeçote, onde o MP10 é retido. Os detalhes do AGV-MP10 podem ser visualizados na **Figura 2**.

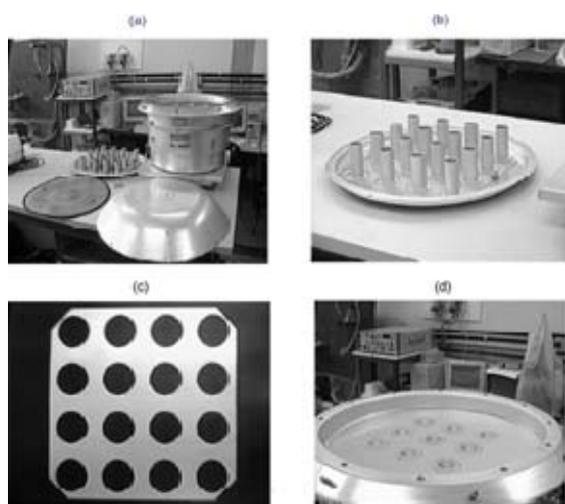


Figura 2 – Detalhes do cabeçote desmontado: (a) cobertura contra chuva e tela contra insetos, (b) parte inferior da câmara de impactação (16 bocais de saída), (c) placa de impactação e (d) entrada da câmara de impactação (9 bocais aceleradores).

O AGV-MP10 foi instalado no terminal rodoviário central da cidade de Uberlândia em 2003 (**Figura 3**) e permanece neste local até os dias atuais. O local escolhido para as amostragens levou em consideração a intensa movimentação de automóveis, ônibus e pedestres em torno desta região, além da disponibilidade de energia elétrica e proteção contra vandalismo.



Figura 3 – Amostradores de grandes volumes: AGV-PTS à direita e AGV-MP10 à esquerda.

As operações de calibração e manutenção do AGV-MP10 são realizadas conforme os procedimentos descritos no manual do equipamento (Energética, 1999) e na norma NBR 13412 (ABNT, 1995).

As amostragens de MP10 são realizadas em períodos de 24 horas, a cada três dias, de acordo com a norma NBR 13412 (ABNT, 1995). São utilizados filtros de fibra de vidro de dimensões 20,3 x 25,4cm, e com eficiência de coleta de 99% para 0,3 μ m. Antes da amostragem, o filtro é numerado próximo à borda e fica por, no mínimo, 24 horas em um recipiente contendo sílica gel para equilíbrio de umidade.

No início da amostragem, o filtro e a carta gráfica são colocados no equipamento. A carta gráfica tem a função de registrar eventuais anormalidades durante a operação de amostragem (como quedas de energia ou qualquer tipo de falha no motor) e, por esse motivo, é conhecida como registrador contínuo de eventos. Anota-se em um formulário o número de identificação do filtro, a leitura inicial do horâmetro, o nome do operador, a data e a hora inicial da amostragem. Liga-se o equipamento e, após cinco minutos de funcionamento (tempo suficiente para atingir equilíbrio térmico), anota-se também a pressão diferencial inicial através do filtro.

Alguns minutos antes de completar 24 horas de amostragem, a pressão diferencial final através do filtro é medida e anotada no formulário. Completadas 24 horas, desliga-se o equipamento e anota-se no formulário a data e hora final da amostragem e a leitura final do horômetro. O filtro e a carta gráfica são retirados do equipamento. A carta gráfica é anexada ao formulário. O filtro volta para o recipiente contendo sílica gel por, no mínimo, 24 horas e é, então, pesado novamente.

A concentração de MP10 (em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ padrão) é determinada pela razão entre a massa de material particulado retida no filtro e o volume padrão total de ar amostrado, como mostrado na Equação 1.

$$\text{Conc.MP10} = (10^6) \frac{(M_f - M_i)}{V_p} \quad (1)$$

sendo M_f a massa do filtro depois da amostragem (g), M_i a massa do filtro antes da amostragem (g), V_p o volume padrão total do ar amostrado (m^3) e 10^6 o fator de conversão de μg para g.

O volume padrão total de ar amostrado, por sua vez, é dado por:

$$V_p = \bar{Q}_p t \quad (2)$$

em que \bar{Q}_p é vazão volumétrica padrão média (m^3/min) e t é o tempo total da amostragem (min). A correção da vazão volumétrica média do período amostrado é uma exigência da norma NBR 13412.

As vazões volumétricas padrão (\bar{Q}_p) e real (\bar{Q}_a) são dadas pelas Equações 3 e 4, respectivamente.

$$\bar{Q}_p = \bar{Q}_a \left(\frac{P_m}{760\text{mmHg}} \right) \left(\frac{298\text{K}}{T_m} \right) \quad (3)$$

$$\bar{Q}_a = \frac{1}{a_2} \left(\frac{\bar{P}_0}{P_m} - b_2 \right) \sqrt{T_m} \quad (4)$$

sendo \bar{P}_0 a pressão de estagnação absoluta média durante o período de amostragem (mmHg), P_m a pressão ambiente média durante o período de amostragem (mmHg), T_m a temperatura ambiente média durante o período de amostragem (K), a_2 a inclinação da relação de calibração do amostrador e b_2 a intersecção da relação de calibração do amostrador.

A pressão de estagnação absoluta média durante o período de amostragem (\bar{P}_0) é dada por:

$$\bar{P}_0 = P_m - d\bar{H}_f \quad (5)$$

em que $d\bar{H}_f$ é a média aritmética das pressões diferenciais através do filtro do início e do fim da amostragem.

2.2. Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos usados neste estudo são do período de 2003 a 2007 e foram obtidos na Estação Climatológica da Universidade Federal de Uberlândia (altura do anemômetro: 12 metros). Os dados referentes à temperatura (°C), precipitação (mm), umidade relativa (%), nebulosidade (%), direção do vento (graus, 0 para norte) e velocidade do vento (m/s) são coletados diariamente, em três horários predeterminados, a saber: 9, 15 e 21 horas (horário de Brasília). Já os dados de insolação (h) referem-se ao acumulado do dia e são coletados diariamente no período da noite (às 21h). A variável insolação foi usada em substituição a variável radiação, uma vez que os dados utilizados neste trabalho são de uma estação manual que não possui dados de radiação. A estação localiza-se a aproximadamente dois quilômetros de distância do local de amostragem de MP10.

2.3. Dados de atendimentos por doenças respiratórias

Os dados de número de atendimentos diários por doenças do aparelho respiratório foram obtidos junto à direção do Hospital das Clínicas de Uberlândia e são do mesmo período dos dados de concentração de MP10, isto é, de 11 de Março de 2003 a 31 de Dezembro de 2007.

2.4. Coeficientes de correlação de Pearson

A fim de investigar as relações entre a concentração de MP10 e as variáveis meteorológicas, foram calculados coeficientes de correlação de Pearson. O coeficiente de correlação varia de -1 a +1, dependendo do grau da relação entre as variáveis e da forma com

que se relacionam (direta ou inversamente). Adotou-se 5% como valor nominal de significância.

2.5. Modelos de regressão múltipla

A regressão linear múltipla é uma metodologia estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas para que uma variável seja predita a partir das outras, de acordo com a seguinte equação:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i x_i \quad (6)$$

em que y é a variável predita, x_i são as variáveis independentes, b_i são os coeficientes das variáveis x_i e b_0 é uma constante.

A verificação da qualidade de ajuste foi feita por meio do p-valor e do coeficiente de determinação (R^2). Adotou-se para os modelos de regressão o valor de 20% para a significância nominal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variáveis meteorológicas

Na análise apresentada a seguir foram calculadas médias diárias para a temperatura (T), umidade relativa (UR), nebulosidade (Neb), direção (Dv) e velocidade do vento (Vv). No caso da precipitação (Pr), somaram-se os valores dos dois últimos períodos do dia anterior e o primeiro do dia em questão, obtendo-se um valor total diário. Já no caso da insolação (Ins), o valor já é o acumulado do dia.

A temperatura média no período de 2003 a 2007 foi de 23,7°C. No ano de 2007, registrou-se a maior média anual (24,2°C) e, em 2004, a menor média anual (23,4°C). A temperatura média desse período é superior à média encontrada em um estudo sobre o clima da cidade de Uberlândia realizado por Silva & Assunção (2004), que consideraram o período de 1981 a 2003. No trabalho citado a temperatura média do período foi de 22,3°C. A **Figura 4** exhibe as temperaturas médias mensais do período abordado. Os meses de setembro e outubro foram os mais quentes, com temperatura média igual ou superior a 25,1°C. Por outro lado, os meses mais frios foram junho e julho, com temperatura média inferior a 21,4°C.

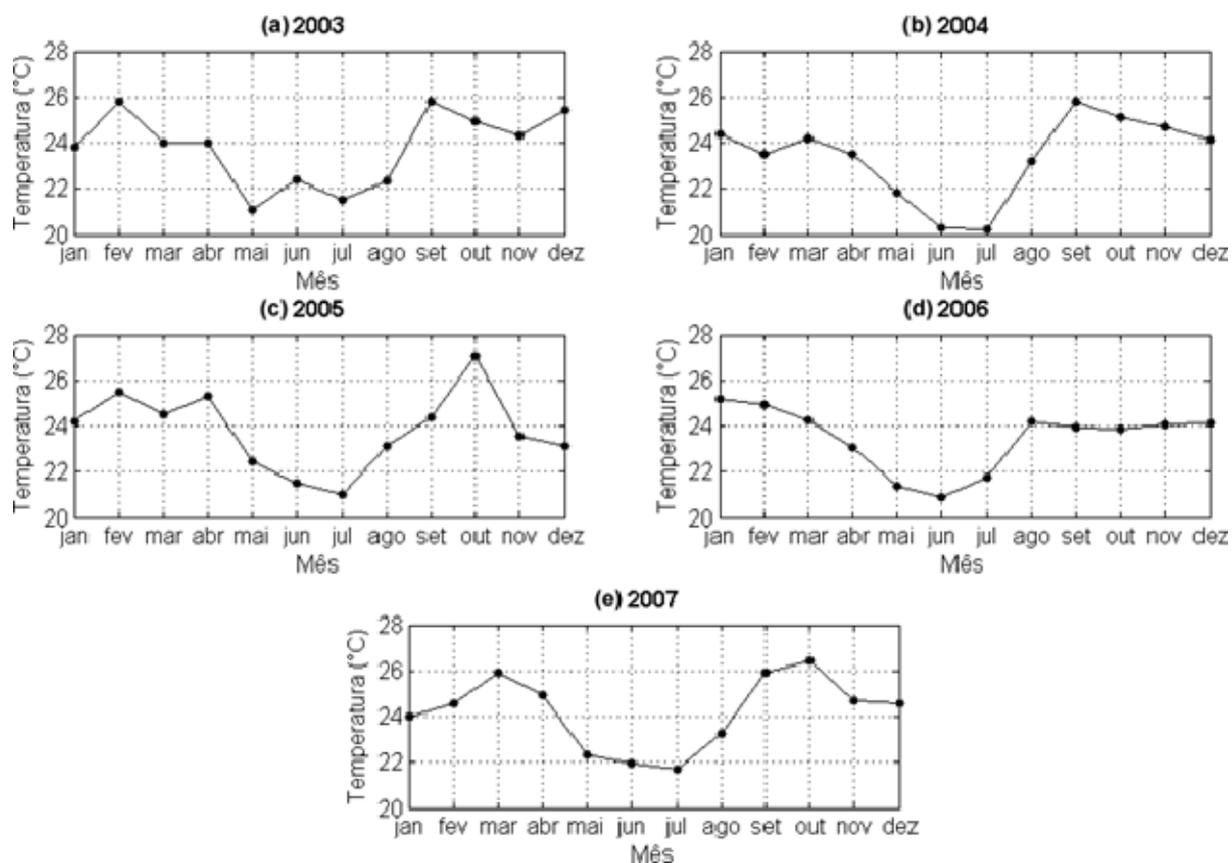


Figura 4 – Temperatura: média mensal de 2003 a 2007.

A análise dos dados de precipitação demonstra nitidamente um período chuvoso e outro seco, como mostra a **Figura 5**. As chuvas concentraram-se de outubro a março (período chuvoso), representando 84% do total da precipitação anual, e os meses de maio a setembro (período seco) representam os outros 16%. O mês com maior precipitação total média foi janeiro (382mm), seguido por dezembro (320mm). Os meses com menores médias foram julho e agosto, com 13mm e 7mm, respectivamente. A precipitação total média do período de 2003 a 2007 foi de 1.709mm. Esse valor é maior do que a precipitação total média encontrada por Silva & Assunção (2004), que foi de 1.584mm. Todavia, esse aumento na média do período foi devido principalmente à precipitação total do ano de 2006 (2.090mm). As precipitações totais médias dos anos de 2004, 2005 e 2007 ficaram próximas da média encontrada por Silva & Assunção (2004). Observa-se também um período seco mais prolongado em 2007, comparado aos demais anos.

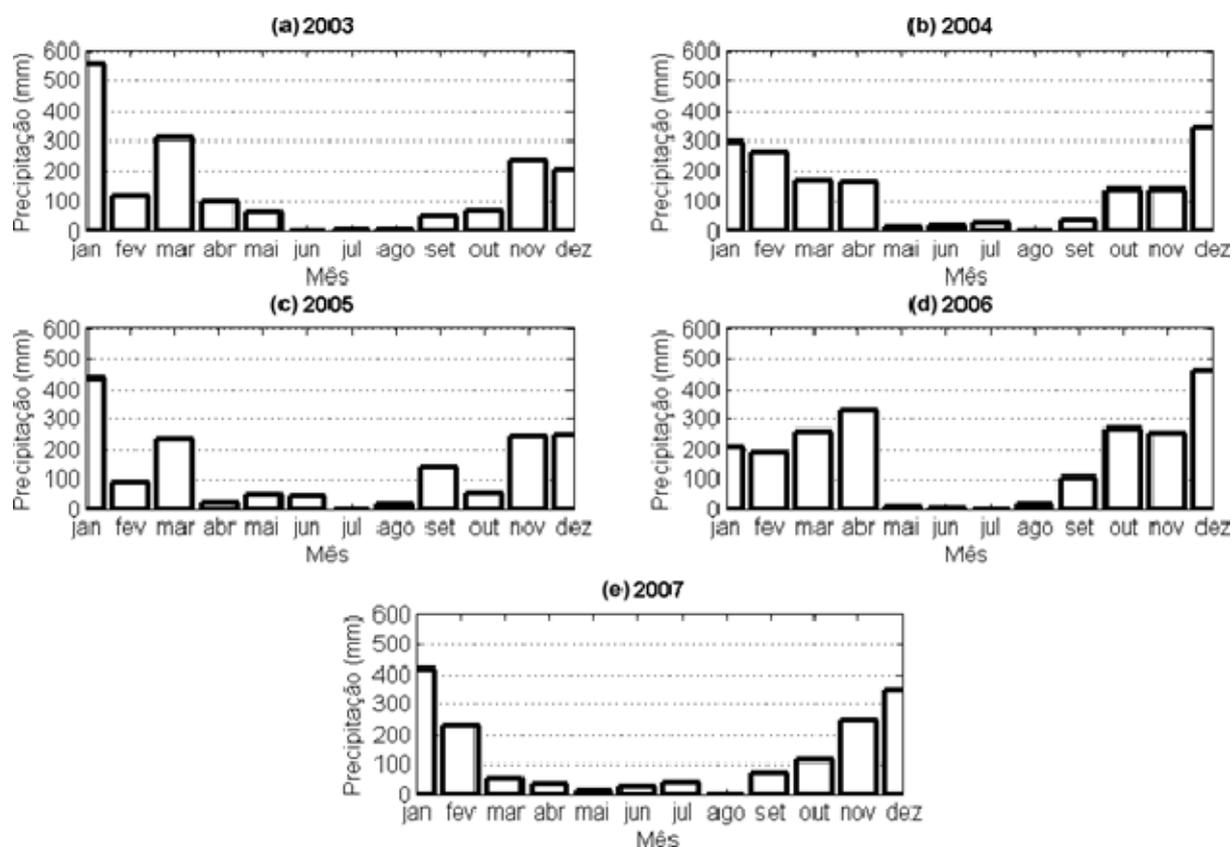


Figura 5 – Precipitação: média mensal de 2003 a 2007.

A apreciação dos dados referentes à umidade relativa do ar demonstrou que os maiores índices foram alcançados no período chuvoso, conforme mostra a Figura 6, com destaque para os meses de janeiro e dezembro que registraram uma umidade relativa média superior a 77%. Em contraste, os meses de agosto e setembro apresentaram menores valores de umidade relativa média (51% e 52%, respectivamente). A média anual da umidade relativa apresentou pouca variação, sendo a menor em 2007 (65%) e a maior em 2005 (68%). Em 2007, como consequência de um período sem chuvas mais prolongado, houve também um período maior com baixos índices de umidade relativa. A umidade relativa média no período foi de 67%, valor esse menor do que o encontrado por Silva & Assunção (2004) que foi de 71%. Essa diminuição na umidade relativa pode estar associada ao aumento da temperatura no mesmo período. É importante destacar que, nessa análise da umidade relativa, são utilizadas médias mensais e que na cidade de Uberlândia são frequentemente registrados índices inferiores a 30%, principalmente nos meses junho, julho e agosto no período da tarde.

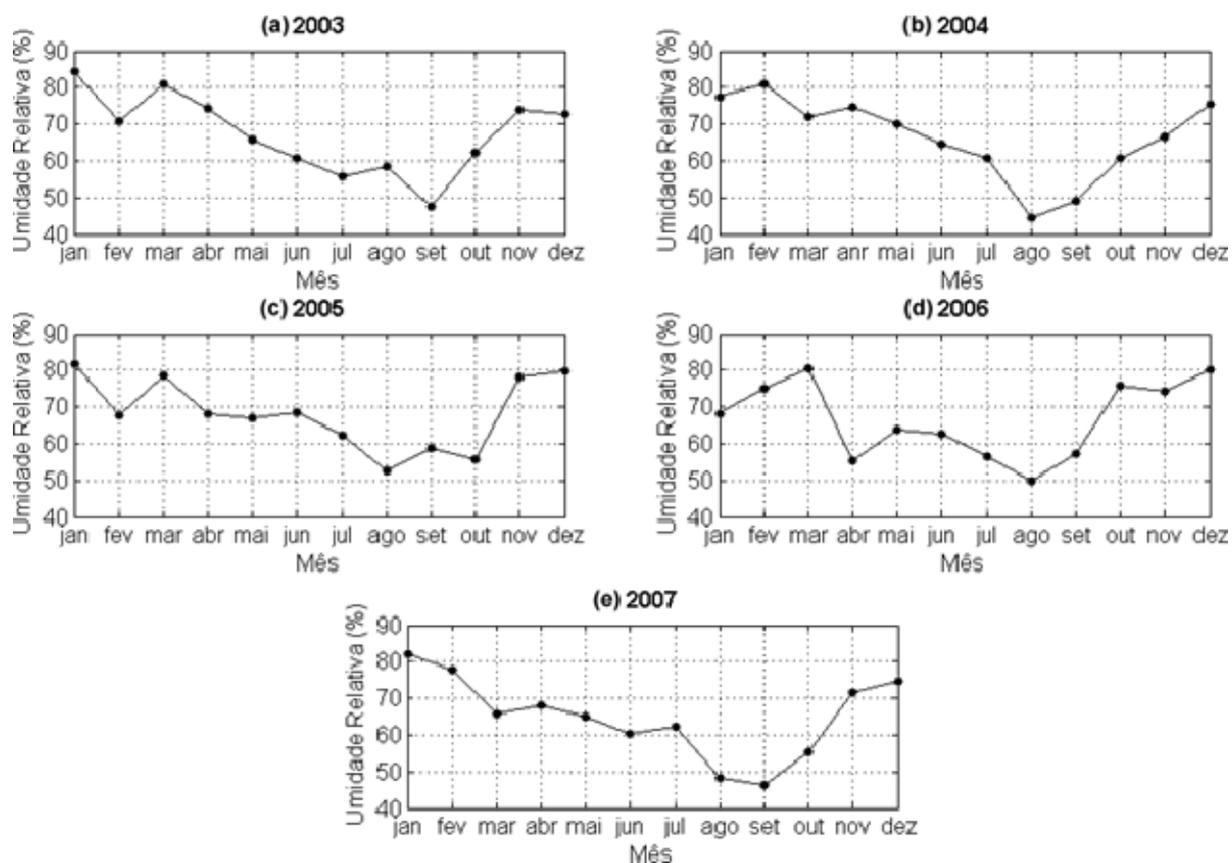


Figura 6 – Umidade relativa: média mensal de 2003 a 2007.

A **Figura 7** mostra as nebulosidades médias mensais do período de 2003 a 2007. A nebulosidade média do período foi 48%. O ano de maior nebulosidade foi 2005 com 53% e o de menor nebulosidade foi 2007 com 39%. Esses resultados são próximos aos encontrados por Silva & Assunção (2004). As maiores médias mensais ocorreram nos meses de dezembro (69%) e janeiro (75%). A menor nebulosidade média ocorreu no mês de agosto (22%), com destaque para agosto de 2007 (8%), mesmo ano em que foi registrada a maior temperatura média do período analisado. Segundo Silva & Assunção (2004), a baixa nebulosidade contribui para acentuar a incidência de radiação solar, responsável por aumentar a temperatura no período do inverno.

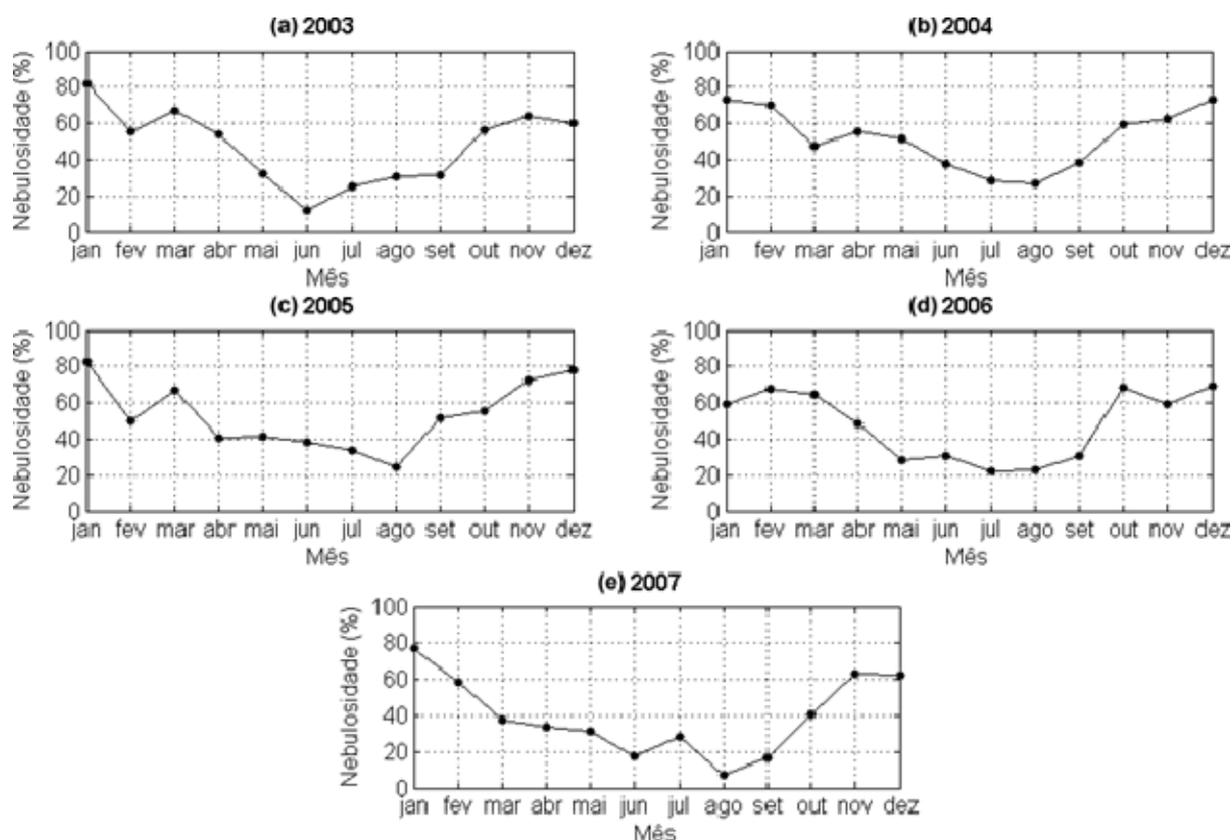


Figura 7 – Nebulosidade: média mensal de 2003 a 2007.

A insolação média do período estudado foi de 2.567 horas, que é maior do que a média encontrada por Silva & Assunção (2004). A **Figura 8** mostra a insolação acumulada por mês. As maiores médias mensais registradas ocorreram nos meses de julho (267h) e agosto (281h), e as menores nos meses de janeiro (145h) e dezembro (167h). A maior insolação total anual foi em 2007 com 2.765 horas, devido à menor nebulosidade ocorrida nesse mesmo ano. E a menor insolação total anual foi em 2004 com 2.484 horas. De acordo com Silva & Assunção (2004), a insolação é maior no período seco, quando o tempo se apresenta claro e estável, ocorrendo uma diminuição no período chuvoso, quando o tempo permanece por vários dias instável e nublado.

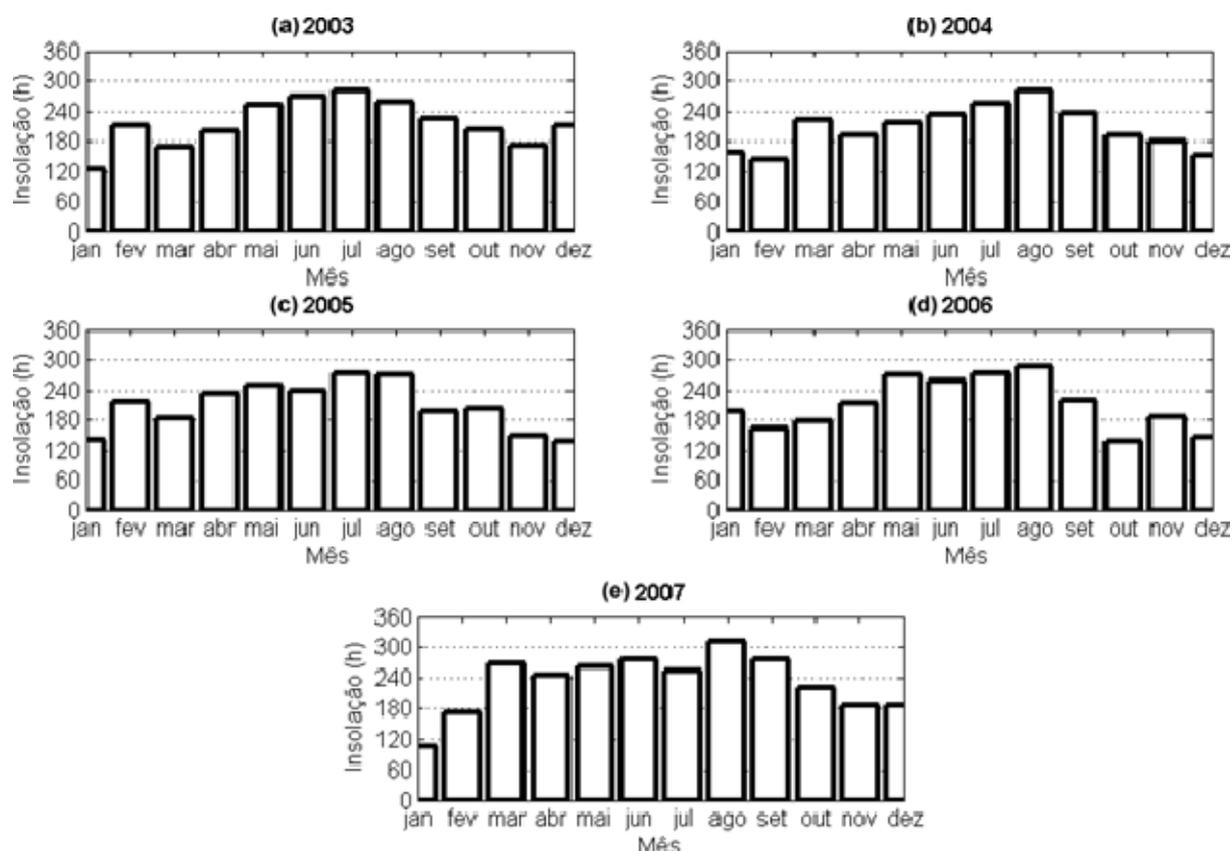


Figura 8 – Insolação: média mensal de 2003 a 2007.

A **Figura 9** mostra as rosas-dos-ventos das médias mensais do período de 2003 a 2007. Observou-se uma predominância de vento NE (nordeste) e ENE (leste-nordeste), com velocidade na faixa 2-3m/s. O fato de a velocidade do vento ser baixa é prejudicial à dispersão de poluentes, contudo isso também significa que haverá um menor arraste de material particulado, principalmente nos períodos sem chuva. A característica do vento local com direção predominante é igualmente prejudicial à dispersão de poluentes, pois uma mesma área próxima à fonte emissora é exposta continuamente a poluição. Por outro lado, o centro da cidade de Uberlândia (local do monitoramento do MP10) é pouco afetado pelas emissões originadas no setor industrial, localizado ao norte da cidade.

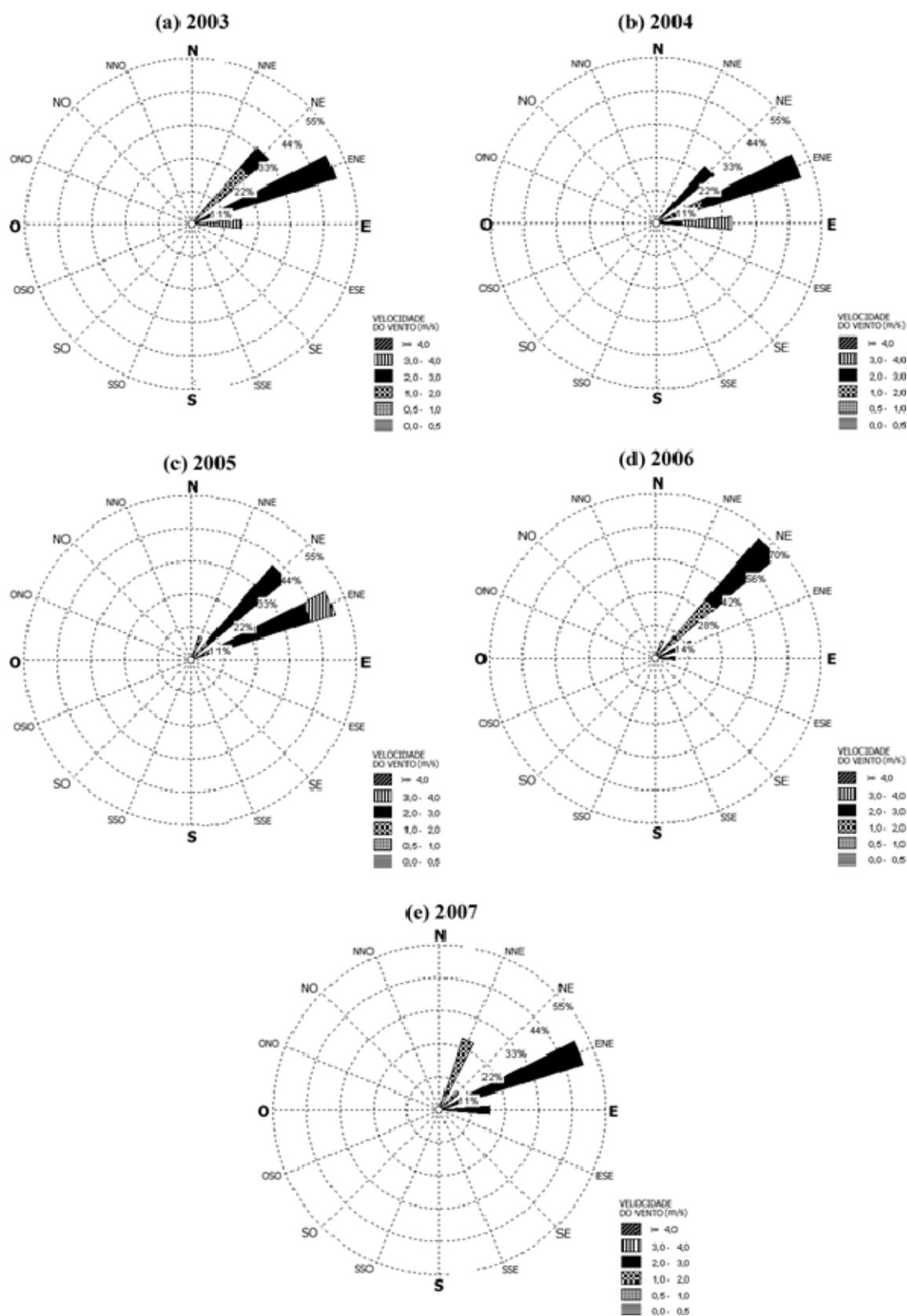


Figura 9 – Velocidade e direção do vento: média mensal de 2003 A 2007.

3.2. Concentração de MP10

Os dados de concentração de MP10 são do período de 11 de março de 2003 a 31 de dezembro de 2007. De um total de 357 dados de concentração de MP10, verificou-se que sete eram *outliers*. *Outliers* são remoção de pontos extremos, que não seguem a tendência do conjunto de dados. A **Figura 10** mostra as concentrações médias de MP10 obtidas em períodos de 24 horas. De modo geral, as maiores concentrações de MP10 foram obtidas no período do inverno quando as condições meteorológicas são desfavoráveis à remoção e dispersão de poluentes da atmosfera

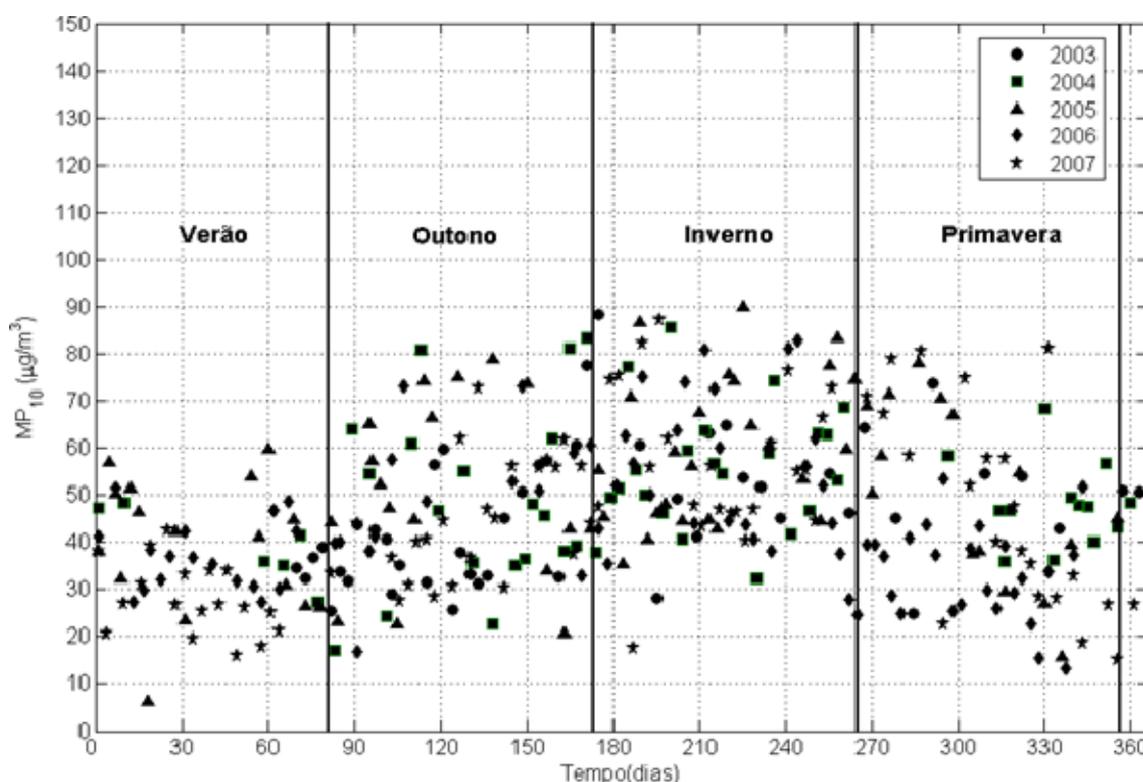


Figura 10 – Concentração média diária de MP10 de 2003 a 2007.

As concentrações médias anuais de MP10 foram 47,8, 50,1, 51,5, 44,9 e 44,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente, para os anos de 2003, 2004, 2005, 2006, e 2007. Houve um aumento progressivo nas médias anuais de 2003 a 2005, e em 2004 e 2005 o padrão primário de qualidade do ar para MP10 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foi ultrapassado. Em 2006, ocorreu uma redução significativa na média anual, e essa redução coincide com a redução no fluxo de veículos próximo ao local de amostragem de MP10. Em 2007, mesmo com condições atmosféricas desfavoráveis, houve uma redução na concentração média de MP10. Ou seja, a redução do fluxo de veículos no local de amostragem foi decisiva para o menor valor da concentração média anual de MP10.

3.3. Análises de correlação entre variáveis meteorológicas e concentração de MP10

Na **Tabela 1** estão os coeficientes de correlação de Pearson com os respectivos p-valores das variáveis analisadas. Os coeficientes de correlação que apresentaram significância estatística estão em negrito. A concentração de MP10 apresenta correlação inversa com umidade relativa e precipitação; correlação direta com insolação; e não correlação com temperatura, velocidade do vento e direção do vento. As variáveis em ordem decrescente de intensidade de correlação são precipitação, insolação e umidade relativa. Observa-se também que algumas variáveis meteorológicas são correlacionadas entre si, como, por exemplo, umidade relativa e precipitação.

Tabela 1 – Coeficientes de correlação de Pearson com os respectivos p-valores para as variáveis analisadas*.

	MP10	T	UR	Pr	Vv	Dv	Neb	Ins
MP10	1,000 (0,000)	0,084 (0,116)	-0,268 (0,000)	-0,494 (0,000)	-0,018 (0,743)	-0,013 (0,812)	-0,361 (0,000)	0,296 (0,000)
T	0,084 (0,116)	1,000 (0,000)	-0,029 (0,591)	-0,242 (0,005)	-0,146 (0,006)	-0,049 (0,365)	-0,038 (0,478)	0,174 (0,001)
UR	-0,268 (0,000)	-0,029 (0,591)	1,000 (0,000)	0,394 (0,000)	-0,037 (0,493)	-0,052 (0,331)	0,358 (0,000)	-0,374 (0,000)
Pr	-0,494 (0,000)	-0,242 (0,005)	0,394 (0,000)	1,000 (0,000)	-0,136 (0,011)	0,049 (0,359)	0,731 (0,000)	-0,738 (0,000)
Vv	-0,018 (0,743)	-0,146 (0,006)	-0,037 (0,493)	-0,136 (0,011)	1,000 (0,000)	0,030 (0,574)	-0,030 (0,578)	0,046 (0,394)
Dv	-0,013 (0,812)	-0,049 (0,365)	-0,052 (0,331)	0,049 (0,359)	0,030 (0,574)	1,000 (0,000)	-0,050 (0,352)	0,124 (0,021)
Neb	-0,361 (0,000)	-0,038 (0,478)	0,358 (0,000)	0,731 (0,000)	-0,030 (0,578)	-0,050 (0,352)	1,000 (0,000)	-0,800 (0,000)
Ins	0,296 (0,000)	0,174 (0,001)	-0,374 (0,000)	-0,738 (0,000)	0,046 (0,394)	0,124 (0,021)	-0,800 (0,000)	1,000 (0,000)

*Valores na parte superior são os coeficientes de correlação e os valores entre parênteses são p-valores.

Mesmo apresentando significância estatística, todas as correlações identificadas são consideradas fracas. É importante ressaltar que o coeficiente de correlação mede a intensidade da relação linear entre as variáveis. Mesmo não havendo correlações, ou sendo elas fracas, pode haver relações não lineares fortes entre as variáveis estudadas.

3.4. Análise da relação entre número de atendimentos hospitalares por doenças do aparelho respiratório e concentração de MP10

Antes de iniciar qualquer procedimento de análise estatística, foi feito um gráfico do tipo *boxplot* para identificar os *outliers* nos dados de atendimento hospitalares por doenças do aparelho respiratório (**Figura 11**). O ideal é aplicar o modelo estatístico em dados sem valores discrepantes (*outliers*). Ao usarmos dados distantes de um grupo padronizado, podemos desenvolver um modelo com maiores erros, além de aumentar a dificuldade em encontrar um modelo que englobe todos os dados. Os *outliers* foram retirados e substituídos por dados interpolados.

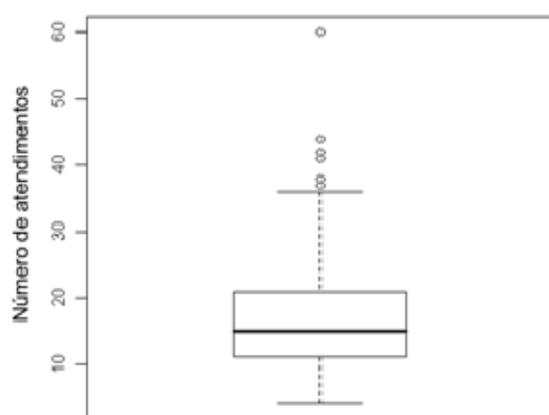


Figura 11 – *Boxplot* para identificação de *outliers* nos dados de atendimento.

A **Tabela 2** apresenta a estatística descritiva dos dados de atendimentos hospitalares por doenças do aparelho respiratório. Observa-se que o número médio de atendimentos diminuiu ao longo do período estudado, porém a variabilidade desse número foi praticamente constante, pois os valores dos desvios padrões apresentaram pouca oscilação.

Tabela 2 – Estatística descritiva dos dados de atendimentos hospitalares por doenças do aparelho respiratório.

Ano	2003	2004	2005	2006	2007
Média	20	21	15	16	13
Desvio padrão	7	7	7	7	6
Mínimo	9	6	4	4	4
Máximo	34	34	35	35	35

Antes de implementar os modelos de regressão múltipla, foram realizadas análises de variância para os atributos, considerando o ano e o mês como fator para verificar, respectivamente, tendência e sazonalidade nos dados. A Tabela 3 mostra os p-valores para o teste de variância.

Tabela 3 – P-valores para o teste de variância.

	Atend	MP10	T	UR
Ano	0,0000	0,0257	0,0881	0,0752
Mês	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Nota-se que as variáveis: número de atendimentos hospitalares por doenças do aparelho respiratório (Atend), MP10, temperatura (T) e umidade relativa (UR) se relacionam significativamente com a variável mês (p -valor $< 0,05$); e que apenas as variáveis Attend e MP10 tem correlação com o ano. Estes resultados explicam a sazonalidade, ligada aos meses, e tendência, ligada ao ano, dos dados. O fato de os p -valores entre ano e as variáveis meteorológicas serem superiores a 0,05 indica que não ocorre tendência nessas variáveis, o que é aceitável, já que a variação crescente ou decrescente de temperatura e umidade relativa ao passar dos anos é praticamente inexistente e quando ocorre não é visível em apenas 5 anos.

Foram feitos 4 modelos de regressão múltipla, a título de comparação. No primeiro modelo (Modelo 1), desconsiderou-se a sazonalidade e a tendência proveniente dos meses e ano, respectivamente. Foi utilizado um total de 350 dados de atendimentos hospitalares por doenças do aparelho respiratório e os respectivos valores de concentração de MP10, temperatura e umidade relativa. Os resultados do Modelo 1 estão na **Tabela 4**.

Tabela 4 – Estimativas do Modelo 1 sem a inclusão dos meses e ano.

	Coefficiente	Erro padrão	p-valor
Intercepto	36,0867	5,43536	0,0000
MP10	0,0372	0,02491	0,1363
T	-0,7762	0,16909	0,0000
UR	-0,0480	0,03069	0,1184

Adotando $\alpha=0,20$, obteve-se valores de significância satisfatórios neste modelo, apesar do valor de R^2 , indicador estatístico adotado, ser relativamente baixo, $R^2 = 0,0753$. Sendo válida a variação das variáveis MP10, temperatura e umidade relativa apenas no intervalo entre os valores mínimos e máximos observados no período.

No segundo modelo (Modelo 2), utilizou-se os 350 dados, como no modelo anterior, e implementou-se mais duas variáveis: o ano e o mês. Neste modelo, a constante que acompanha o coeficiente referente ao ano varia de 2003 a 2007 (de acordo com o ano da estimativa) e a constante que acompanha o coeficiente do mês varia de 1 a 12, sendo Janeiro igual a 1 e Dezembro igual a 12. Os resultados do Modelo 2 são mostrados na **Tabela 5**.

Tabela 5 – Estimativas do Modelo 2 com a inclusão dos meses e ano.

	Coefficiente	Erro padrão	p-valor
Intercepto	3839,815	507,641	0,000
Ano	-1,896	0,253	0,000
Mês	-0,389	0,109	0,000
MP10	0,032	0,023	0,167
T	-0,664	0,155	0,000
UR	-0,064	0,028	0,025

Ainda considerando $\alpha=0,20$, tem-se que todas as variáveis adotadas no modelo influenciam a predição dos atendimentos. Foi obtido o valor de $R^2= 0,2307$.

No terceiro modelo (Modelo 3) foi utilizado o banco de dados completo (350 dados) e no lugar da variável mês foi adotado mais 12 variáveis, equivalentes a cada mês do ano. Ao implementar os meses dessa forma, pode-se analisar de forma mais clara a sazonalidade. Os resultados do Modelo 3 estão na **Tabela 6**.

Tabela 6 – Estimativas do Modelo 3 com a inclusão dos meses, um a um, e ano.

	Coefficiente	Erro padrão	p-valor
Intercepto	3310,581	479,742	0,000*
Ano	-1,645	0,239	0,000*
MP10	0,027	0,023	0,233
T	0,064	0,214	0,765
UR	-0,008	0,036	0,831
Janeiro	-2,172	1,946	0,265
Fevereiro	-0,696	2,035	0,733
Março	1,556	1,820	0,393
Abril	5,123	1,801	0,005*
Maio	5,618	1,999	0,005*
Junho	8,118	2,056	0,000*
Julho	4,057	2,078	0,052*
Agosto	-1,756	2,053	0,393
Setembro	-2,172	1,949	0,266
Outubro	-0,642	1,911	0,737
Novembro	-1,246	1,799	0,489
Dezembro	-1,923	1,457	0,188*

*Valores significativos

Adotando $\alpha= 0,20$, observou-se que apenas o ano e os meses de Abril, Maio, Junho, Julho e Dezembro são significativos para o modelo. Isto é, dentre todas as variáveis, estas são as que mais influenciam no número de atendimentos. O R^2 obtido para este modelo foi equivalente a 0,3798.

A forma final para cálculo deste modelo é mais simples já que, por exemplo, quando se deseja calcular o número de atendimentos específico no mês de Janeiro, a variável Janeiro

recebe o valor 1 e as outras variáveis equivalentes aos outros meses equivalem a 0. A **Figura 12** mostra os valores de atendimentos previstos pelo Modelo 3 e os valores de atendimentos reais em relação aos valores experimentais de MP10. Observa-se que o Modelo 3 subestima o número de atendimentos hospitalares por doenças do aparelho respiratório.

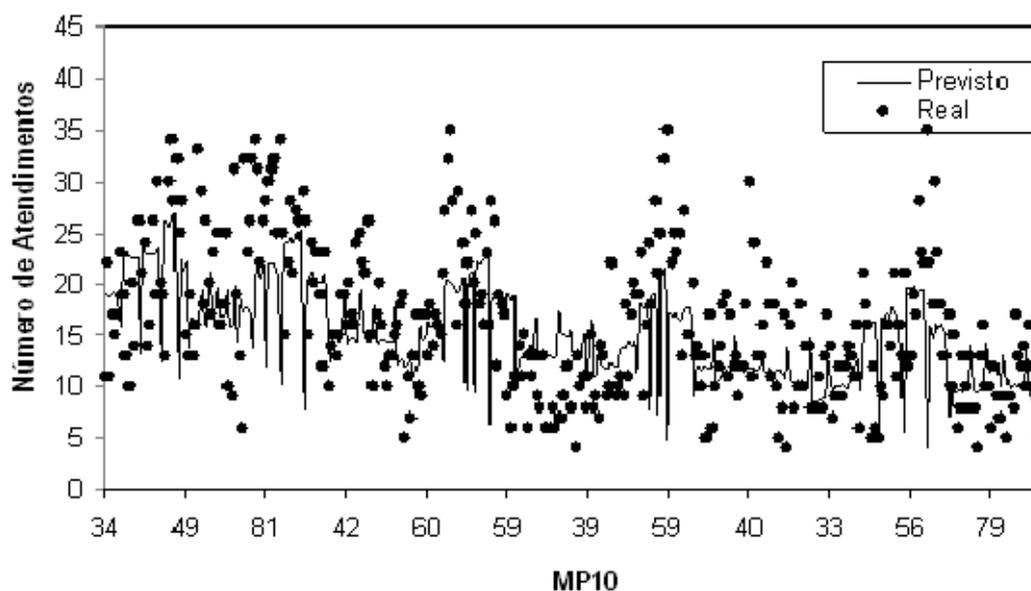


Figura 12 – Valores previstos pelo Modelo 3 e valores reais dos atendimentos hospitalares por doenças respiratórias.

Foi observado que os valores de R^2 obtidos nos três modelos anteriores foram inferiores a 50%. Uma explicação possível para isso seria o número de dados utilizados (350). A chance de se encontrar uma curva que se adapte a certo número de dados é inversamente proporcional a quantidade de dados utilizados.

Foi feito um quarto modelo (Modelo 4) usando a concentração máxima de MP10 mensal, no lugar dos dados de concentração diária, a temperatura e umidade relativa do dia em que ocorreu a emissão máxima mensal de MP10 e a média mensal dos atendimentos hospitalares. No total, utilizou-se 58 dados. A **Tabela 7** mostra o teste de variância e a **Tabela 8** as estimativas do Modelo 4.

Tabela 7 – P-valores para teste de variância para $MP10_{máx}$ mensal e média mensal de atendimentos.

	Atend	$MP10_{Máx}$	T	UR
Ano	0,0000	0,2702	0,0314	0,4628
Mês	0,0002	0,0000	0,0001	0,0053

Adotando $\alpha=0,20$, as variáveis significativas são: ano, Abril, Maio, Junho e Julho, e o R^2 foi igual a 0,6370, que é melhor do que os obtidos nos modelos anteriores como era esperado.

De acordo com Schwartz (1999), em um estudo dessa relação, caso exista, deve-se considerar que as causas nem sempre se dão no mesmo dia em que ocorre o atendimento, ou seja, o número de atendimentos ocorridos num determinado dia pode ser consequência das condições meteorológicas ou de poluição atmosférica de vários dias anteriores. Assim, recomenda-se um estudo mais aprofundado dessas relações considerando esse tempo de defasagem.

Tabela 8 – Estimativas para o Modelo 4 considerando MP10 máximo mensal e média mensal de atendimentos.

	Coefficiente	Erro padrão	p-valor
Intercepto	4116,529	837,2000	0,0000*
Ano	-2,050	0,4171	0,0000*
MP10 _{máx}	0,000	0,0536	0,9948
T	0,013	0,4155	0,9745
UR	0,075	0,0694	0,2836
Janeiro	1,463	3,1938	0,6494
Fevereiro	1,285	3,4887	0,7146
Março	3,775	3,0439	0,2221
Abril	7,974	3,1507	0,0154*
Maio	10,070	3,5960	0,0078*
Junho	12,558	4,2168	0,0049*
Julho	7,237	4,6480	0,1273*
Agosto	3,089	4,1071	0,4564
Setembro	3,301	3,6097	0,3659
Outubro	3,409	3,2666	0,3029
Novembro	1,468	3,2077	0,6497
Dezembro	-0,406	2,4138	0,8673

*Valores significativos.

4. CONCLUSÕES

De modo geral, as maiores concentrações de MP10 foram obtidas no período do inverno, quando as condições atmosféricas são desfavoráveis à dispersão e remoção de poluentes da atmosfera. Houve um aumento progressivo nas concentrações médias anuais de MP10 de 2003 a 2005. A partir de 2006, ocorreu uma redução significativa na média anual, e essa redução coincide com a redução no fluxo de veículos próximo ao local de amostragem de MP10.

Observou-se que as variáveis meteorológicas são fortemente correlacionadas entre si, como era de se esperar, e que a concentração de MP10 é correlacionada com todas as variáveis analisadas, com exceção das variáveis velocidade e direção do vento e temperatura.

Nos modelos apresentados, houve apenas significância da concentração de MP10 com os atendimentos nos Modelos 1 e 2, nos quais ainda não havia sido implementado as variáveis relacionadas a tendência e sazonalidade. Acredita-se que as variáveis meteorológicas, temperatura e umidade relativa, de alguma forma possam estar mascarando a relação dos atendimentos com o MP10, já que as primeiras se correlacionam com mais intensidade com o número de atendimentos hospitalares.

Os três primeiros modelos apresentaram valores de ajuste (R^2) muito baixos, o que pode estar relacionado ao grande número de dados utilizados na modelagem estatística. Outro fator que pode ter interferido no desenvolvimento de um modelo mais fiel é a descontinuidade dos dados de amostragens. Em alguns meses ocorreram apenas 3 amostragens e em outros meses 10.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, foi possível notar a sazonalidade apontando que nos meses de Abril, Maio, Junho e Julho (equivalente ao período de inverno) ocorrem os maiores números de atendimentos por problema do aparelho respiratório. Observou-se também a tendência indicando um decréscimo da concentração de MP10 ao longo dos anos. Isso é explicado pela diminuição do fluxo de veículos próximo ao local de amostragem de MP10 a partir de 2006.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de iniciação científica, ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (IG-UFU) e Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia (HC-UFU) pelo fornecimento dos dados utilizados no trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. *NBR 13412: Material suspenso na atmosfera – Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas*. Rio de Janeiro, junho, 1995.

BAKONYIA, S. M. C. et al. Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR. *Revista de Saúde Pública*, v. 38, p. 695–700, 2004.

BOUBEL, R. et al. *Fundamentals of Air Pollution*. 3. ed. San Diego, CA: Academic Press, 1994.

CONAMA (1990). Resolução CONAMA 03, de 28 de junho de 1990.

DOCKERY, D. W.; Pope III, C. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review Public Health*, v. 15, p. 107–132, 1994.

ENERGÉTICA. *AGV MPI0: Manual de operação*. Rio de Janeiro, 1999.

LIU, D. H. F.; LIPTAK, B. G. *Environmental Engineers' Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.

MANAHAN, S. E. *Environmental chemistry*. 7. ed. New York: CRC Press LLC, 2000.

MARTINS, L. et al. Relação entre poluição atmosférica e atendimentos por infecção de vias aéreas superiores no município de São Paulo: avaliação do rodízio de veículos. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 4, p. 220–229, 2001. MARTINS, L. et al. Poluição atmosférica e atendimentos por pneumonia e gripe em São Paulo, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v. 36, p. 88–94, 2002.

MARTINS, L. C. et al. Efeitos da poluição do ar nas doenças cardiovasculares: estruturas de defasagem. *Revista de Saúde Pública*, v. 40, p. 677–683, 2006.

MEDEIROS, A.; GOUVEIA, N. Relação entre baixo peso ao nascer e a poluição do ar no município de São Paulo. *Revista Saúde Pública*, v. 39, p. 965–972, 2005.

MENDES, P. C. *A gênese espacial das chuvas na cidade de Uberlândia – MG*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001.

NASCIMENTO, L. F. C. et al. Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. *Revista de Saúde Pública*, v. 40, p. 77–82, 2006.

SILVA, E.; ASSUNÇÃO, W. O clima na cidade de Uberlândia. *Sociedade & Natureza*, v. 16, n. 30, p. 91–107, 2004.

SCHWARTZ, J. Air pollution and daily mortality in Birmingham, Alabama. *American Journal of Epidemiology*, v. 137, p. 1136–1147, 1999.