



X-017 – COMPARAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE MP₁₀ MONITORADAS NA CIDADE DE FLORIANÓPOLIS COM PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Cássia Scapini⁽¹⁾

Acadêmica em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Bolsista PIBIC/CNPq no Laboratório de Controle e Qualidade do Ar (LCQAr).

E-mail: cassia.scapini@yahoo.com.br

Marlon Brancher⁽²⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Doutorando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Bolsista CAPES no Laboratório de Controle e Qualidade do Ar (LCQAr).

E-mail: marlon.b@posgrad.ufsc.br

Henrique de Melo Lisboa⁽³⁾

Engenheiro Civil. Professor titular do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina (ENS/UFSC). Doutor em Poluição Atmosférica pela Université de Pau/Ecole des Mines d'Alès. E-mail: h.lisboa@ufsc.br

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima, Centro Tecnológico (CTC), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) – LCQAr. Trindade – Florianópolis, SC. CEP: 88040-970

RESUMO

Para avaliar a qualidade do ar na cidade de Florianópolis, amostragens de material particulado inalável (MP₁₀) foram realizadas utilizando um Amostrador de Grande Volume (AGV). O monitoramento apresentou data de 11 de agosto de 2011 a 22 de novembro de 2015, totalizando 197 coletas. Os procedimentos de amostragem foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 13.412/1995. As concentrações diárias e médias anuais foram comparadas com padrões de qualidade do ar nacionais (CONAMA, Estado de São Paulo) e internacionais (OMS, USEPA e União Europeia). A maior concentração diária de MP₁₀ registrada foi de 87 µg.m⁻³. Esse valor é inferior ao padrão de qualidade do ar atualmente em vigor no Brasil e o padrão da USEPA de 150 µg.m⁻³. No entanto, é superior ao recomendado pela OMS, meta final do padrão do estado de São Paulo e o padrão da União Europeia (i.e. 50 µg.m⁻³). Por outro lado, os padrões da OMS e União Europeia permitem que concentrações de 24 h de MP₁₀ ultrapassem o limite máximo em até 35 ocasiões durante um ano. Nos anos 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015 as médias anuais de MP₁₀ foram de 32 µg.m⁻³; 22 µg.m⁻³; 26 µg.m⁻³; 23 µg.m⁻³ e 23 µg.m⁻³, respectivamente. Portanto, a média anual máxima estabelecida pelo CONAMA, de 50 µg.m⁻³, não foi violada, assim como o padrão da União Europeia de 40 µg.m⁻³. O valor alvo recomendado pela OMS e a meta final estabelecida para o estado São Paulo, de 20 µg.m⁻³, foi ultrapassado em todos os anos do monitoramento. Baseado nos atuais padrões de qualidade do ar vigentes no Brasil, a qualidade do ar em Florianópolis está em conformidade com os limites máximos permitidos para MP₁₀.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição atmosférica, material particulado inalável (MP₁₀), padrões de qualidade do ar.

INTRODUÇÃO

A qualidade do ar na atmosfera é influenciada por vários fatores, incluindo ações naturais e processos antropogênicos. Entre os parâmetros estabelecidos para indicar níveis de qualidade do ar, o material particulado (MP) é um dos mais relevantes. Esse poluente é composto por partículas sólidas e gotículas líquidas que são dispersos na atmosfera, principalmente devido ao seu tamanho diminuto, geralmente inferior a 100 µm (RENOUX e BOULARD, 1988; SEINFELD e PANDIS, 2006; WHO, 2005).

A parcela inalável é chamada de MP₁₀ por possuir diâmetro aerodinâmico menor que 10 µm. Quando o diâmetro aerodinâmico médio é inferior a 100 µm, o MP é chamado de particulado total em suspensão total (PTS). As partículas finas, com diâmetro menor do que 2,5 µm são chamadas de MP_{2,5}. Estudos têm estabelecido a ligação entre o tamanho das partículas e o tipo de intensidade do efeito adverso causado em seres humanos. A parcela fina do particulado (i.e. MP_{2,5}) está mais fortemente associada com a mortalidade e

morbidade, enquanto que as partículas grossas ($MP_{2,5-10}$) têm sido associadas a interações respiratórias. O MP_{10} pode ultrapassar barreiras oferecidas pelo trato respiratório e alcançar os alvéolos pulmonares, aumentando a probabilidade de doenças respiratórias e cardiovasculares (WHO, 2006; MINGUILLÓN *et al*, 2008). De fato, muitos estudos epidemiológicos têm comprovado os efeitos do MP na saúde humana. Portanto, as partículas são selecionadas como indicadores na avaliação da poluição do ar por diversas agências ambientais (AN *et al*, 2013).

Os níveis de qualidade do ar são divididos em padrões primários e secundários. Os padrões primários de qualidade do ar representam as concentrações de poluentes que poderão afetar a saúde da população se o valor limite for violado. Os padrões primários são estabelecidos em níveis máximos toleráveis de concentração de um determinado poluente atmosférico, constituindo-se em metas de curto e médio prazo. Os padrões secundários de qualidade do ar, por sua vez, são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como o mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Os padrões secundários são estabelecidos para contemplar níveis desejados de concentração de um determinado poluente, constituindo-se em uma meta de longo prazo (CONAMA, 1990). Portanto, dependendo da política pública aplicada em determinado país ou região, diferentes critérios de qualidade do ar podem ser estabelecidos.

O tráfego veicular é geralmente o maior emissor de MP em áreas urbanas. No entanto, nesse ambiente, a composição química, formação e origem do MP são variadas, além de existir grande alteração na sua concentração devido às reações atmosféricas e variações meteorológicas (CALLÉN *et al*, 2009). Estudos demonstram que a alta temperatura do ar, precipitação leve e ventos fracos favorecem altas concentrações de MP_{10} , sendo que essas variáveis meteorológicas são dependentes umas das outras e são acopladas dinamicamente (LEE *et al*, 2011). Por isso, é claramente entendido que a qualidade do ar não depende apenas de fontes de emissão, mas também mais decisivamente, sobre os elementos meteorológicos com características multifacetadas presentes em diversas escalas espaço-temporais (JUNENG *et al*, 2011).

Este trabalho reporta uma comparação de concentrações diárias e médias anuais de MP_{10} monitoradas na cidade de Florianópolis com padrões de qualidade do ar estabelecidos na legislação brasileira e no contexto internacional. O monitoramento de MP_{10} foi realizado entre 2011 e 2015, totalizando 197 amostragens.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição do local de monitoramento e amostragens

Amostras de MP foram coletadas em uma área urbana da cidade de Florianópolis, Estado de Santa Catarina, Brasil, no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A localização do AGV- MP_{10} no campus da UFSC e com respeito à cidade de Florianópolis pode ser visualizada na Figura 1.

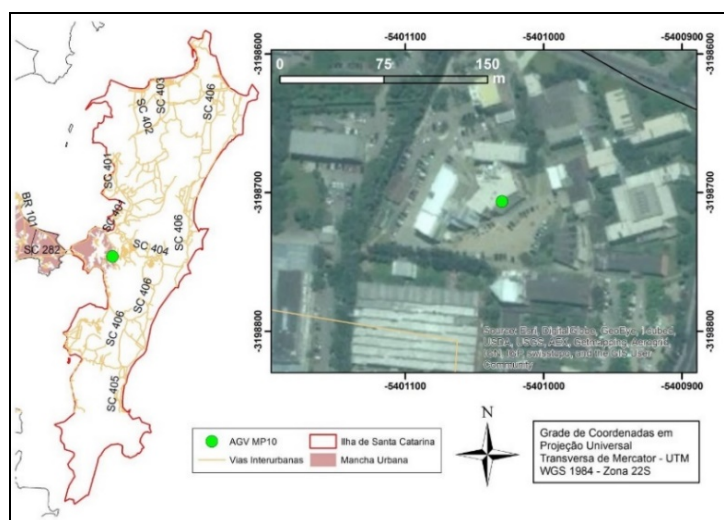


Figura 1: Localização do AGV- MP_{10} na cidade de Florianópolis e no campus da UFSC.
Fonte: De Barros (2014).

Um amostrador de grandes volumes equipado com cabeça de corte de entrada para MP₁₀ (Energética, AGV-MP₁₀, Rio de Janeiro, Brasil) foi utilizado para recolher o poluente em filtros de fibra de vidro (GE Healthcare/Whatman, 203 x 254 mm). Os procedimentos de amostragem seguiram as diretrizes da norma brasileira ABNT NBR 13.412/1995 (ABNT, 1995). O período de monitoramento apresentado nesse trabalho foi compreendido entre 11 de agosto de 2011 e 22 de novembro de 2015, totalizando 197 coletas.

Princípio de funcionamento do AGV-MP₁₀

O funcionamento do equipamento consiste na sucção de ar ambiente propiciada por um motoaspirador, o qual é direcionado a cabeça de separação para fracionamento do particulado. Posteriormente, somente a parcela contendo o MP₁₀ é conduzida ao filtro de fibra de vidro a uma vazão constante durante um período de 24 horas. A vazão é regulada por um Controlador de Vazão Volumétrica (CVV) do tipo Venturi. O tempo de amostragem é medido com um horômetro acoplado ao AGV-MP₁₀ e controlado por um programador de tempo (*timer*) com exatidão em torno de aproximadamente 15 minutos (Figura 2). O AGV-MP₁₀ é concebido para operar com um fluxo controlado de aproximadamente 1,13 m³.min⁻¹ em condições de temperatura e pressão reais. O fluxo de projeto pode variar, em teoria, entre 1,02 a 1,24 m³.min⁻¹. No entanto, devido a garantia de qualidade, a variação aceita é reduzida para 1,05 a 1,21 m³.min⁻¹. O tempo de amostragem do MP₁₀ foi de 24 h.

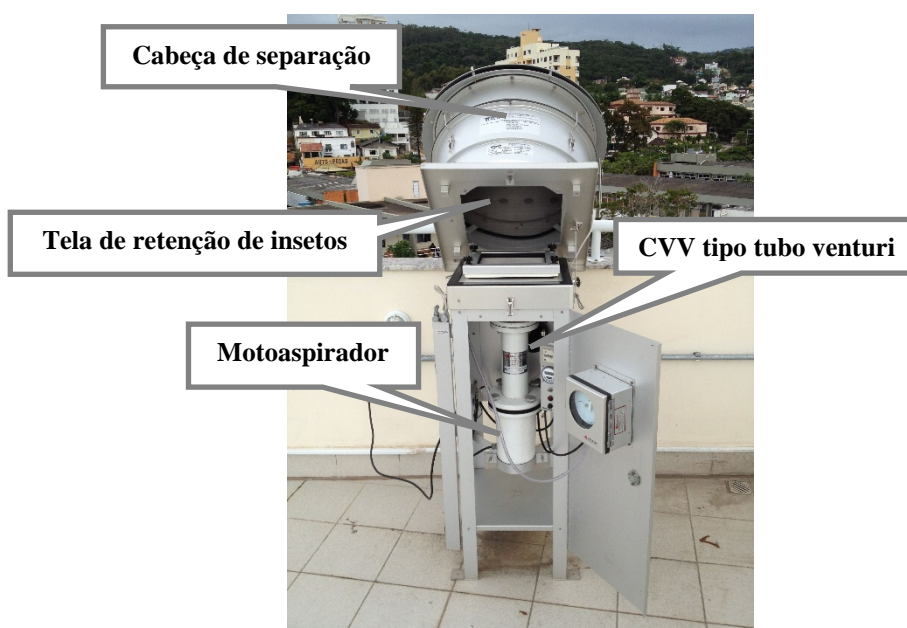


Figura 2: Componentes principais do AGV-MP₁₀.

O AGV-MP₁₀ possui uma cabeça de separação para estabelecer um ponto de corte, que impede a passagem de partículas maiores do que 10 µm para o filtro. Para isso, o ar aspirado é direcionado através de nove boqueiras de aceleração para a câmara de impactação, onde ocorre a retenção das partículas maiores que 10 µm em uma placa untada com silicone. Finalmente, o ar composto por partículas de MP₁₀ é direcionado para o meio filtrante (ENERGÉTICA, 2012). A Figura 3 ilustra um filtro de fibra de vidro após a realização de uma amostragem.

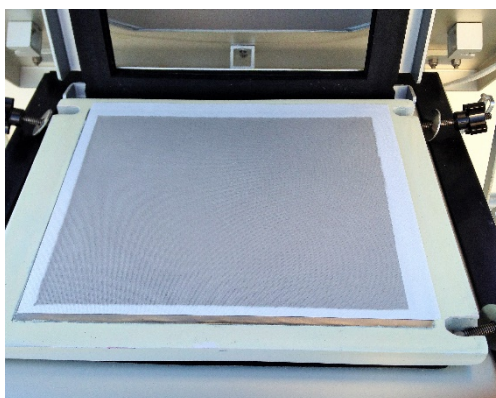


Figura 3: Detalhe do porta-filtros com filtro após amostragem.

Determinação das concentrações de MP₁₀

Os filtros devem ser equilibrados em um ambiente condicionado, por pelo menos 24 horas, antes e após as amostragens. A NBR 13.412/1995 (ABNT, 1995) recomenda que a umidade relativa seja mantida na faixa de 20% a 45%, com uma variação não maior do que 5% durante todo o período de condicionamento. Portanto, os filtros de fibra de vidro foram acondicionados no interior de um dessecador posicionado em um ambiente com temperatura e umidade controladas durante 24 h. Em seguida, os filtros foram pesados utilizando uma balança analítica (Shimadzu, AY220) com precisão de 0,0001 g. A concentração de material particulado inalável é obtida pela razão entre o ganho de massa dos filtros (em equilíbrio) e o volume total de ar amostrado, corrigido para condição padrão (25°C, 760 mm Hg), através da seguinte equação:

$$C_{MP_{10}} = \frac{M_L}{V_p} \times 10^6 \quad \text{Equação 1}$$

onde,

$C_{MP_{10}}$ = concentração de MP₁₀ em ar ambiente [$\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$]
 M_L = ganho líquido de massa no filtro após amostragem [g]
 V_p = volume de ar amostrado em 24 h [m^3]

Para determinar a vazão operacional, primeiramente a pressão de estagnação é calculada para um ponto localizado abaixo do filtro. A pressão de estagnação é dada pela diferença entre a pressão atmosférica local e a pressão diferencial (medida com um manômetro acoplado ao AGV-MP₁₀). A pressão diferencial corresponde à perda de carga imposta pelo filtro ao fluxo de ar.

Padrões de qualidade do ar

Os critérios de qualidade do ar utilizados como referência nesse trabalho foram a Resolução CONAMA 003 (CONAMA, 1990); meta final estabelecida no Decreto nº 59.113 para o estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2013); *National Ambient Air Quality Standards* (NAAQS) para os Estados Unidos da América (USEPA, 2012); e Organização Mundial da Saúde - OMS (WHO, 2006). Os valores alvo e máximo permitidos por essas referências estão citadas na Tabela 1.

Tabela 1: Valores alvo ou máximo permitidos em diferentes padrões de qualidade do ar em $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$.

Poluente	Tempo de média	OMS	USEPA	União Europeia	CONAMA	Estado de SP
MP ₁₀	MAA*	20	-	40	50	20
	Máxima Média diária	50	150	50	150	50

*MAA = média aritmética anual

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concentrações diárias

A Figura 4 apresenta a comparação entre a série temporal das concentrações diárias de MP_{10} ao longo de período de monitoramento (11 de agosto de 2011 a 22 de novembro de 2015) com os padrões de qualidade do ar utilizados como referência.

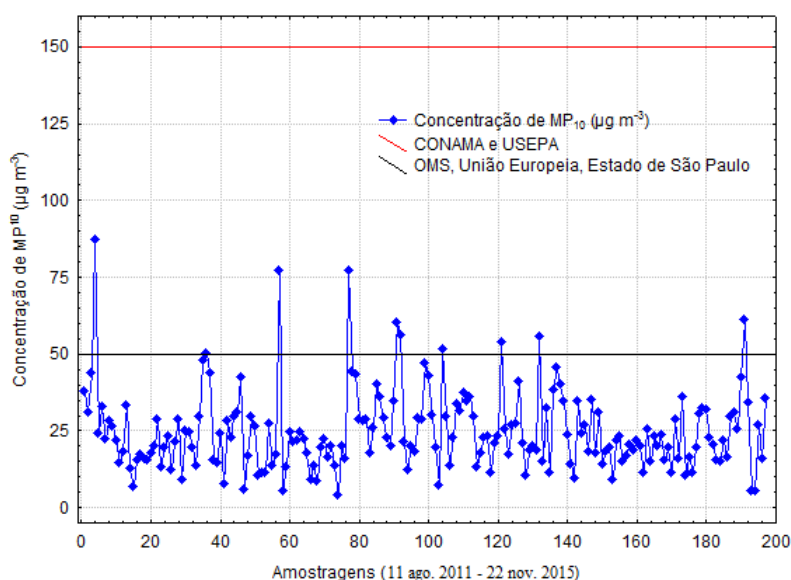


Figura 4: Comparação das concentrações diárias de MP_{10} na cidade de Florianópolis com padrões de qualidade do ar do CONAMA, estado de São Paulo, União Europeia, USEPA e OMS.

Em aproximadamente quatro anos e meio de monitoramento, a máxima concentração média diária de MP_{10} registrada foi de $87 \mu\text{g.m}^{-3}$. Esse valor foi observado em 13/09/2011, correspondente à quarta amostragem da série de concentrações. Portanto, de acordo com a Resolução CONAMA 003 (CONAMA, 1990) o padrão nacional máximo diário de $150 \mu\text{g.m}^{-3}$ para MP_{10} não foi ultrapassado no local do monitoramento. A legislação norte-americana (USEPA, 2012) estabelece que o padrão primário e secundário para MP_{10} não deva exceder $150 \mu\text{g.m}^{-3}$ mais de uma vez por ano em média sobre 3 anos. Dessa forma, o padrão norte-americano para MP_{10} também não foi violado. Na China o número de dias durante um ano em que o padrão de $150 \mu\text{g.m}^{-3}$ é atendido é um importante índice para avaliar a política ambiental dos governos locais. Em Pequim, por exemplo, o número de dias de cumprimento do padrão aumentou de 100 em 1998 para 286 em 2012. No entanto, ainda assim houve 79 violações da concentração diária máxima permitida de MP_{10} em 2012 (CHEN, 2016).

A recomendação da OMS (WHO, 2006) e o padrão europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2008) para concentrações máximas de 24 h (ambos iguais a $50 \mu\text{g.m}^{-3}$) permitem que o valor da concentração diária ultrapasse o limite máximo em até 35 ocasiões durante um ano. Por consequência, a análise da Figura 5 mostra que durante o monitoramento a concentração diária de MP_{10} ultrapassou o padrão em dez ocasiões distribuídos em uma ultrapassagem em 2011, uma em 2012, sete em 2013 e uma em 2015.

Concentrações médias anuais

A Figura 5 apresenta os diagramas de caixa com a distribuição das médias aritméticas anuais (MAA) de MP_{10} em suspensão no ar e indicação para o desvio padrão e valores mínimos e máximos. Nos anos 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015 as MAA foram de $32 \mu\text{g.m}^{-3}$; $22 \mu\text{g.m}^{-3}$; $26 \mu\text{g.m}^{-3}$; $23 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $23 \mu\text{g.m}^{-3}$, respectivamente. Portanto, a MAA máxima estabelecida pelo CONAMA 003 (CONAMA, 1990), de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ para MP_{10} em suspensão no ar, não foi ultrapassada. O padrão da União Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2008), correspondente a $40 \mu\text{g.m}^{-3}$, também não foi ultrapassado. No entanto, o valor de referência recomendado pela

OMS (WHO, 2006), de $20 \mu\text{g.m}^{-3}$, foi ultrapassado em todos os anos do monitoramento. Esse valor é a meta final estabelecida no Decreto nº 59.113 para o estado São Paulo.

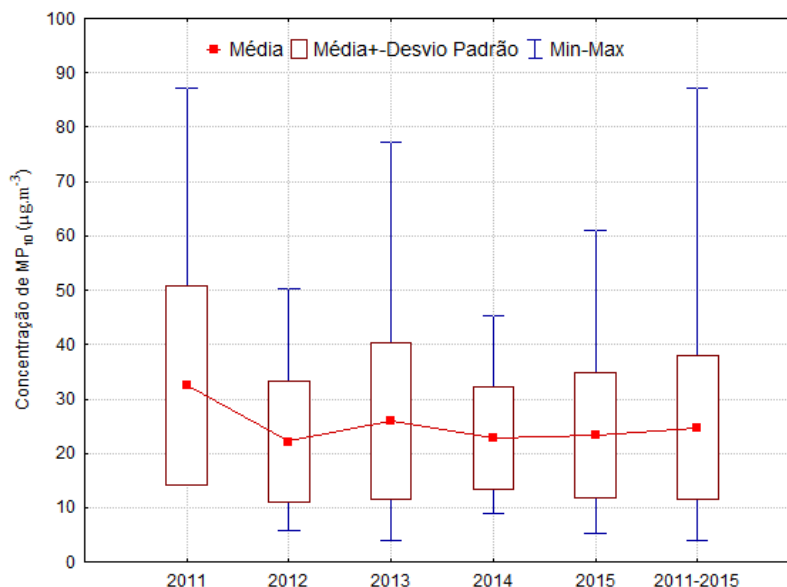


Figura 5: Concentrações médias anuais de MP_{10} em suspensão no ar ($\mu\text{g.m}^{-3}$) entre 2011 e 2015 na cidade de Florianópolis com indicação para o desvio padrão e valores mínimos e máximos do período.

CONCLUSÃO

Concentrações diárias de material particulado (MP_{10}) foram monitoradas na cidade de Florianópolis entre 11 de agosto de 2011 a 30 de março de 2016 utilizando um amostrador de grande volume. Durante esse período, um total de 197 coletas foram realizadas. As concentrações médias de 24 h e anuais foram comparadas com padrões de qualidade do ar nacionais e internacionais (i.e. CONAMA, Estado de São Paulo, OMS, USEPA e União Europeia).

A maior concentração média diária de MP_{10} registrada foi de $87 \mu\text{g.m}^{-3}$. Esse valor é inferior ao padrão de qualidade do ar atualmente em vigor no Brasil e o padrão da USEPA de $150 \mu\text{g.m}^{-3}$. No entanto, é superior ao recomendado pela OMS, meta final do padrão do estado de São Paulo e o padrão da União Europeia, correspondente a $50 \mu\text{g.m}^{-3}$. Por outro lado, os padrões da OMS e a União Europeia permitem que a concentrações diárias de MP_{10} violem o nível permitido em até 35 ocasiões durante um ano.

Nos anos 2011, 2012, 2013, 2014 e 2015 as médias anuais de MP_{10} foram de $32 \mu\text{g.m}^{-3}$; $22 \mu\text{g.m}^{-3}$; $26 \mu\text{g.m}^{-3}$; $23 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $23 \mu\text{g.m}^{-3}$, respectivamente. Dessa forma, a média anual máxima estabelecida na Resolução CONAMA 003/1990 de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ não foi violada, assim como o padrão da União Europeia (i.e. $40 \mu\text{g.m}^{-3}$). O valor recomendado pela OMS e a meta final estabelecida para o estado São Paulo para médias anuais (ambos de $20 \mu\text{g.m}^{-3}$) foi ultrapassado em todos os anos do monitoramento.

A concentração de MP_{10} não ultrapassou os padrões nacionais em vigor, tanto em termos de concentração diária máxima quanto de concentração média anual no local monitorado. Baseado nos atuais padrões de qualidade do ar vigentes no Brasil, a qualidade do ar em Florianópolis está em conformidade com os níveis máximos permitidos para MP_{10} .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AN, X.; HOU, Q.; LI, N.; ZHAI, S. **Assessment of human exposure level to PM₁₀ in China.** Atmospheric Environment, v. 70, p. 376-386, 2013.
2. ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (ALESP). **Decreto nº 59.113 – estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas.** São Paulo: Secretaria Geral Parlamentar, 2013. 17p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13412: **Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método dos amostradores de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas.** Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
4. CALLÉN, M.S.; DE LA CRUZ, M.T.; LÓPEZ, J.M.; NAVARRO, M.V.; MASTRAL, A.M. **Comparison of receptor models for source apportionment of the PM₁₀ in Zaragoza (Spain).** Chemosphere.v. 76, p.1120-1129, 2009.
5. CHEN, W.; TANG, H.; ZHAO, H. **Urban air quality evaluations under two versions of the national ambient air quality standards of China.** Atmospheric Pollution Research, v. 7, n. 1, p. 49-57, 2016.
6. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução Nº 003, de 01/1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.** Brasília, DOU, agosto de 1990.
7. De BARROS, Lucas Vincent Lopes. **Avaliação da relação entre parâmetros meteorológicos e concentrações de material particulado inalável (MP₁₀) no campus da UFSC,** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2014, 88p.
8. ENERGÉTICA. **Manual de Operação do Amostrador de Grandes Volumes.** Disponível em: www.energetica.com.br. Acesso em 15.dez.2015.
9. EUROPEAN COMMISSION – ENVIRONMENT. **Directive 2008/50/EC of the european parliament and of the council – on ambient air quality and cleaner air for Europe.** 2008.
10. JUNENG, L.; LATIF, M. T.; TANGANG, F. **Factors influencing the variations of PM₁₀ aerosol dust in Klang Valley, Malaysia during the summer.** Atmospheric Environment, v. 45, n. 26, p. 4370-4378, 2011.
11. LEE, S.; HO, C.-H.; CHOI, Y.-S. **High-PM₁₀ concentration episodes in Seoul, Korea: Background sources and related meteorological conditions.** Atmospheric Environment, v. 45, n. 39, p. 7240-7247, 2011.
12. MINGUILLÓN, M. C.; ARHAMI, M.; SCHAUER, J. J.; SIOUTAS, C. **Seasonal and spatial variations of sources of fine and quasi-ultrafine particulate matter in neighborhoods near the Los Angeles–Long Beach harbor.** Atmospheric Environment, v. 42, n. 32, p. 7317-7328, 2008.
13. RENOUX, A.; BOULARD, D. **Les aérosols. Physique et Métrologie.** Paris: Lavoisier Technique & Documentation, 1988.
14. SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric Chemistry and Physics From Air Pollution to Climate Change.** 2 ed. New Jersey: Wiley: 2006. 1205 p.
15. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Air Quality Criteria for Particulate Matter,** 2012.
16. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for air quality,** WHO, Genebra, 2005.
17. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Air quality guideline.** Global update 2005. Copenhagen: WHO regional Office for Europe; 2006.