



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - PPGEMA



ADRIANO FRANCISCO DOS REIS

ANÁLISE DA DISPERSÃO DE POLUENTES DE ORIGEM VEICULAR
NA BR-153 E SUA RELAÇÃO COM O USO DO SOLO EM ÁREA URBANA
DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA

Goiânia

2014

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **Dissertação** **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	ADRIANO FRANCISCO DOS REIS		
E-mail:	adriano2002@yahoo.com.br		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor	Servidor Público Federal - UFG		
Agência de fomento:	Fund. Apoio à Pesquisa de Goiás	Sigla:	FAPEG
País:	BRASIL	UF:GO	CNPJ: 08.156.102/0001-02
Título:	ANÁLISE DA DISPERSÃO DE POLUENTES DE ORIGEM VEICULAR NA BR-153 E SUA RELAÇÃO COM O USO DO SOLO EM ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA		
Palavras-chave:	Poluição do ar. Poluição sonora. Rodovias. Dispersão de poluentes. Goiânia. Planejamento urbano.		
Título em outra língua:	ANALYSIS OF THE DISPERSION OF POLLUTANTS FROM VEHICULAR SOURCE ON BR-153 HIGHWAY AND ITS RELATION TO LAND USE IN AN URBAN AREA OF GOIÂNIA CITY		
Palavras-chave em outra língua:	Air pollution. Noise pollution. Highways. Dispersion of pollutants. Goiânia City. Urban planning.		
Área de concentração:	Engenharia Sanitária e Ambiental		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	25/04/2014		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA		
Orientador (a):	Karla Emmanuela Ribeiro Hora		
E-mail:	karlaemmanuela@gmail.com		
Co-orientador (a):*	Emiliano Lôbo de Godoi		
E-mail:	emilianogodoi@gmail.com		

*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

3. Informações de acesso ao documento:

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Assinatura do (a) autor (a)

Data: ____ / ____ / ____

¹Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - PPGEMA



ADRIANO FRANCISCO DOS REIS

ANÁLISE DA DISPERSÃO DE POLUENTES DE ORIGEM VEICULAR
NA BR-153 E SUA RELAÇÃO COM O USO DO SOLO EM ÁREA URBANA
DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA, da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karla Emmanuela Ribeiro Hora

Coorientador: Prof. Dr. Emiliano Lôbo de Godói

Goiânia

2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)
GPT/BC/UFG**

Reis, Adriano Francisco dos..

R375a Análise da dispersão de poluentes de origem veicular na BR-153 e sua relação com o uso em área urbana do município de Goiânia [manuscrito] / Adriano Francisco dos Reis. - 2014.

130 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Karla Emmanuela Ribeiro Hora; Co-orientador: Prof. Dr. Emiliano Lôbo de Godoi.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2014.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, quadros, tabelas, abreviaturas, siglas e símbolos.

1. Poluição do ar – Rodovias – Goiânia (GO) 2. Poluição sonora – Rodovias – Goiânia (GO) 3. BR-153 – Poluição do ar – Goiânia (GO) 4. BR-153 – Poluição sonora – Goiânia (GO) I. Título.

CDU: 614.76+625.712(817.3)

ADRIANO FRANCISCO DOS REIS

**ANÁLISE DA DISPERSÃO DE POLUENTES DE ORIGEM VEICULAR
NA BR-153 E SUA RELAÇÃO COM O USO DO SOLO EM ÁREA URBANA
DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA da Universidade Federal de Goiás, em 25 de abril de 2014 pela seguinte Banca Examinadora.

Prof^ª. Dr^ª. Karla Emmanuela Ribeiro Hora
Universidade Federal de Goiás
Presidente da banca

Prof. Dr. Emiliano Lôbo de Godoi
Universidade Federal de Goiás
Examinador Interno

Prof. Dr. Eduardo Queija de Siqueira
Universidade Federal de Goiás
Examinador Interno

Dr. Sílvio Barbosa da Silva Júnior
Agência Nacional de Transportes Terrestres
Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Karla Emmanuela Ribeiro Hora, pela confiança, incentivo, compreensão e apoio. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Emiliano Lôbo de Godoi, por toda a sua disposição e desprendimento, ajudando-nos a encontrar os caminhos para a resolução dos problemas.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA – pelo companheirismo, auxílio e aprendizado que compartilhamos em tantos momentos, especialmente à Eng^a. Ambiental Aristela Rezende, pela ajuda na coleta de dados e na resolução dos problemas.

Ao Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro e todos os servidores do Laboratório de Análise Foliar e Solos, por sua disposição em efetuar as análises necessárias e por toda a orientação dispensada. Ao Dr. Sílvio Barbosa da Silva Jr. pelo interesse e cessão de material bibliográfico.

Ao Prof. Dr. Denílson Teixeira, pelo interesse e ajuda; ao Prof. Dr. Luís Baumann e ao Prof. Dr. Marley Saraiva pelo auxílio no tratamento estatístico dos dados. Ao fotógrafo Antônio Pugás, do DNIT, pelo material fotográfico; ao Prof. Saulo Bruno Silveira e Souza e à Meteorologista Sylvia Elaine Marques de Farias pela colaboração na interpretação e compreensão das relações entre clima e poluição; aos Tecnólogos em Geoprocessamento Hugo José Ribeiro e Natália Cristina Lino pelo auxílio na confecção dos mapas.

Aos colegas servidores do Centro de Gestão do Espaço Físico – CEGEF – pelo companheirismo; à Arq. Simone Buiatt, auxiliando-me nas ilustrações do trabalho. À Dr^a. Ludimila Cardoso pela ajuda na revisão do texto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás – FAPEG – por todo o apoio dado a este trabalho.

A toda a minha família e amigos, sem os quais nada do que foi feito seria possível. À minha esposa, em especial, pela ajuda e encorajamento.

A Deus, por todas as portas que se abriram.

RESUMO

A BR-153 tem 15 quilômetros de extensão dentro do perímetro urbano de Goiânia, portanto, a avaliação dos níveis de poluição do ar e sonora relacionados à presença da rodovia constitui-se objeto de notável importância. Para tal, foi analisada a situação de três variáveis relacionadas à degradação ambiental: a massa de material particulado atmosférico (MP) adsorvido em superfície foliar, a concentração de metais presentes nesse MP e a intensidade da pressão sonora. Em virtude de possuir parâmetros urbanísticos que vigoram na maior parte da macrozona construída - padrão de adensamento básico - escolheu-se a região do Setor Morais e da Vila Morais para efetuarem-se as medições e coletas, as quais foram feitas tanto às margens da rodovia como em pontos mais afastados, com o objetivo de se fazer uma análise de dispersão de tais agentes poluidores. O MP foi coletado da superfície de folhas de sete exemplares de monguba (*Pachira aquatica*), encontrados em diferentes distâncias a partir do eixo da rodovia: próximo ao eixo e a 100, 200 e 300 m do eixo da via, em ambos os lados; os dados relativos à concentração de metais foram obtidos a partir de análise por espectrometria de absorção atômica. Os dados relativos à poluição sonora foram coletados em quatro pontos: a 13, 50, 150 e 300 m a partir do eixo da rodovia, ao longo de uma via transversal, com o uso de decibelímetro tipo 2. A análise destes dados foi efetuada tendo-se por referência os parâmetros estipulados na NBR 10.151 para conforto sonoro. As coletas e medições foram feitas de julho a dezembro de 2013, acompanhadas de verificações de parâmetros climáticos, a fim de verificar a influência destes na dispersão dos possíveis poluentes. O valor mais alto referente à massa de MP foi de 19,1 $\mu\text{g}/\text{mm}^2$ de superfície foliar, detectado no mês de setembro. Não se observaram diferenças significativas na massa de MP e na concentração de metais entre as folhas das diferentes árvores. Observou-se decréscimo na massa de MP com maiores índices de pluviosidade, mas, para as concentrações de Zn, Ni e Fe, observou-se maior concentração em período chuvoso. Quanto à pressão sonora, observou-se inconformidade com os índices de conforto acústico nas proximidades da rodovia, em que os níveis atingiram 80,3 dB(A) em duas ocasiões. Em pontos mais afastados - a 150 e 300 m - observou-se que eventual inconformidade deve-se, principalmente, a fontes de ruído locais. Este trabalho sugere revisão de uso do solo permitido na área de estudo, associado à mudança na tipologia do tráfego da rodovia, para garantir menor risco de degradação ambiental à população.

Palavras-chave: Poluição do ar. Poluição sonora. Rodovias. Dispersão de poluentes. Planejamento urbano. Goiânia.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE DISPERSION OF POLLUTANTS FROM VEHICULAR SOURCE ON BR-153 HIGHWAY AND ITS RELATION TO LAND USE IN AN URBAN AREA OF GOIÂNIA CITY

The BR-153 is 15 kilometers long within Goiânia city, therefore, the evaluation of the levels of air pollution and noise related to the presence of the highway is an object of considerable importance. To this end, the situation in three variables related to environmental degradation was analyzed: the airborne particulate matter mass (PM) adsorbed on the leaf surface, the metals concentration presents in PM and the intensity of sound pressure. Due owning urban parameters that apply mostly in built macrozone - density basic standard - the region of Setor Morais and Vila Morais have been chosen to perform the measurements and the collections, which were done to both highway sides as for distant points, with the goal to make the dispersion analysis of such pollutants. The PM was collected from the leaves surface of seven copies of monguba (*Pachira aquatica*), which are found at different distances from the highway axis: near the axis and at 100, 200 and 300 meters from the track, on both sides; the metals concentration data were obtained from analysis by atomic absorption. Data on noise pollution were collected at four points: 13, 50, 150 and 300 m from the highway axis, along a cross-street, using type 2 sound level meter - the data analysis was performed with reference to the parameters set by NBR 10.151 for noise comfort. The collections and the measurements were made from July to December 2013, accompanied by checks climatic parameters in order to determine the influence of these parameters on the dispersion of possible pollutants. The highest value related to PM was $19.1 \mu\text{g}/\text{mm}^2$ of leaf surface, detected in September. No significant differences were observed in the mass PM and the metal concentration in the leaves of different trees. There was a decrease in the mass of PM with the highest rainfall, but for Zn, Ni and Fe concentrations, a higher concentration was observed in the rainy season. As for the sound pressure, nonconformity with acoustic comfort levels near the highway was observed, wherein the level reached 80.3 dB (A) on two occasions. For furthestmost points - at 150 and 300 m - was observed that possible shortcoming is due mainly to noise sources locations. This work suggests revision of the land use allowed in the study area, associated with the change in the type of highway traffic to ensure to ensure less risk of environmental degradation to the population.

Keywords: Air pollution. Noise pollution. Highways. Dispersion of pollutants. Goiânia City. Urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização: a BR-153 no Município de Goiânia. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.	21
Figura 2. Vista aérea da BR-153 e sua inserção na área urbanizada de Goiânia. Foto: Antônio Pugás, 26 maio 2010. Fonte: arquivo pessoal.	23
Figura 3. Expansão da área urbanizada de Goiânia entre 1961 (à esquerda) e 1975 (à direita). Fonte: Secretaria de Planejamento Municipal de Goiânia. Elaborado por REIS.	25
Figura 4. Expansão da área urbanizada de Goiânia entre 1989 (à esquerda) e 2009 (à direita). Fonte: Secretaria de Planejamento Municipal de Goiânia (1989) e Google Earth (2009). Elaborado por REIS.	25
Figura 5. Vista da área lindeira da BR-153, Vila Morais. Foto: A. REIS, 16 ago 2012. Fonte: arquivo pessoal.	27
Figura 6. Vista da área lindeira da BR-153, Jardim Goiás e Alto da Glória. Foto: A. REIS, 16 ago 2012. Fonte: arquivo pessoal.	28
Figura 7. Vista da BR-153, próximo ao Alto da Glória. Foto: Antônio Pugás, 22 fev 2009. Fonte: arquivo pessoal.	28
Figura 8. Esquema com os principais componentes dos veículos que contribuem na geração de poluentes. Fonte: BARBOSA; WHITEHEAD; ANTUNES, 2011.	29
Figura 9. Barreira acústica em aço e acrílico. Disponível em: < http://www.indac.org.br/imagens/barreiras_acusticas04.jpg/ >. Acesso em: 7 nov 2013.	42
Figura 10. Dispersão do som em locais com barreiras acústicas. Elaborado por REIS.	42
Figura 11. Monguba. Foto: Mauro Guanandi 1 fev. 2010. Disponível em: < http://www.flickrriver.com/photos/mauroguanandi/4322340030/ > . Acesso em: 3 maio 2013.	48
Figura 12. Mapa de localização: Setor Morais e Vila Morais, no Município de Goiânia. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.	51
Figura 13. Mapa de uso do solo: Setor Morais e Vila Morais. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.	52
Figura 14. Mapa de grau de incomodidade ambiental de atividades de comércio, indústria e prestação de serviço, de acordo com a Lei Municipal Nº 8617 de 9 jan 2008. Fonte: Mapa Urbano Digital de Goiânia – SIEG 2012. Elaborado por REIS.	53
Figura 15. Atividade de prestação de serviços associada ao tráfego rodoviário encontrada na área de estudo. Foto: A. REIS. 26 abr 2013. Fonte: arquivo pessoal.	54
Figura 16. Mosaico de fachadas de edifícios residenciais às margens da BR-153. Fotos: A. REIS, 31 mar 2012. Fonte: arquivo pessoal.	54
Figura 17. Mapa de localização de imóveis à venda em abr. 2013: Setor Morais e Vila Morais. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.	55
Figura 18. Mapa topográfico da área de estudo. Fonte: Levantamento a Laser do Município de Goiânia - 2011. Elaborado por REIS.	56
Figura 19. Mapa de rugosidade do tecido urbano e da cobertura vegetal, com a representação da altura em relação ao nível médio do mar, expressa em metros, de edifícios e cobertura vegetal. Fonte: Levantamento a Laser do Município de Goiânia - 2011. Elaborado por REIS.	57
Figura 20. Mapa de linhas do transporte público coletivo por ônibus. Fonte: Mapa Urbano Digital de Goiânia – SIEG 2012. Elaborado por REIS.	58

Figura 21. Mapa de localização de mongubas na área de estudo, com destaque às árvores selecionadas para o biomonitoramento. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.	60
Figura 22. Ortofoto com localização das mongubas na área de estudo. Fonte: Ortofoto 2006 - Prefeitura Municipal de Goiânia. Elaborado por REIS.....	61
Figura 23. Espectrofotômetro de absorção atômica marca PERKEN ELMER, modelo AAnalyst 100. Fonte: mediaexapro.com/perkinelmer.	62
Figura 24. Decibelímetro Classe 2 utilizado na pesquisa. Fonte:< http://magazone.com.br/config/imagens_conteudo/produtos/imagensSGRD/SGRD_28_6_DEC490trip2.jpg >.....	63
Figura 25. Mapa de localização dos pontos de coleta de dados referentes à pressão sonora.Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.	64
Figura 26. Diagrama das ações relativas a material e métodos adotados no trabalho. Elaborado por REIS.	67
Figura 27. Pluviosidade no Município de Goiânia entre 1 jul e 31 dez. Fonte: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET. Elaborado por REIS...	70
Figura 28. Umidade relativa do ar durante o período de coleta de dados na área de estudo. Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.....	73
Figura 29. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 20 jul 2013. Fonte: pesquisa de campo.	75
Figura 30. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 17 ago 2013. Fonte: pesquisa de campo.	75
Figura 31. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 7 set 2013. Fonte: pesquisa de campo.	75
Figura 32. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 5 out 2013. Fonte: pesquisa de campo.	76
Figura 33. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 9 nov 2013. Fonte: pesquisa de campo.	76
Figura 34. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 7 dez 2013. Fonte: pesquisa de campo.	76
Figura 35. Massa de material particulado por superfície foliar em período chuvoso e período seco. Fonte: pesquisa de campo.	77
Figura 36. Concentração de Zn em período chuvoso e período seco. Fonte: pesquisa de campo.	81
Figura 37. Concentração de Ni em período chuvoso e período seco. Fonte: pesquisa de campo.	82
Figura 38. Concentração de Fe em período chuvoso e período seco. Fonte: pesquisa de campo.	82
Figura 39. Concentração de Cd em período chuvoso e período seco. Fonte: pesquisa de campo.	82
Figura 40. Pressões sonoras instantâneas registradas em P13 - entre 22:04 e 22:07 h - e P150 - entre 22:30 e 22:33 h - em 5 ago 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.	94
Figura 41. Pressões sonoras equivalentes médias em 5 ago 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.	95
Figura 42. Pressões sonoras equivalentes médias em 11 set 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.	95
Figura 43. Pressões sonoras equivalentes médias em 15 set 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.	95

Figura 44. Pressões sonoras equivalentes médias em 14 nov 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.....	96
Figura 45. Pressões sonoras equivalentes médias em 15 nov 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de	96
Figura 46. Enterrio de via expressa urbana em Boston, Estados Unidos. Fonte: Höweler - Yoon Architecture. Disponível em: http://www.designboom.com/architecture/audi-urban-future-award2012/ . Acesso em: 12 dez 2013.	102
Figura 47. Linha Verde, em Curitiba. Foto: Albari Rosa/Gazeta do Povo. Fonte: http://www.gazetadopovo.com.br/economia/conteudo.phtml?id=940161 . Acesso em: 12 dez 2013.	103
Figura 48. Requalificação de via urbana em Saragoça, Espanha, associada à projeto de transporte de massa e ciclovia. Disponível em: http://hicarquitectura.com/2012/07/alday-jover-proyecto-de-integracion-urbana-del-tranvia-de-zaragoza/ . Acesso em: 7 abr. 2014....	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Poluentes mais comuns produzidos em rodovias e suas respectivas fontes primárias. Adaptado de DRAPPER; TOMLINSON; WILLIAMS, 2000.	34
Quadro 2. Comparação par a par das concentrações de metais nos meses da pesquisa. Fonte: Pesquisa de campo.	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A).	32
Tabela 2. Temperaturas e velocidade do vento máximas e mínimas nos pontos de coleta de dados de pressão sonora.	71
Tabela 3. Velocidade do vento nos pontos de coleta de folhas (m/s).....	72
Tabela 4. Massa de material particulado adsorvido em superfície foliar ($\mu\text{g}/\text{mm}^2$).....	74
Tabela 5. Concentração de metais (ppm).	78
Tabela 6. Resultados do teste de <i>Kruskal-Wallis</i> por árvore a cada coleta mensal (<i>p</i> -valor)..	79
Tabela 7. Comparação da concentração de metais por mês obtida em teste de <i>Kruskal-Wallis</i> (<i>p</i> -valor).	80
Tabela 8. Comparação da concentração de metais por período (chuvoso e seco) obtida em teste de <i>Mann-Whitney</i> (<i>p</i> -valor).	81
Tabela 9. Massa de material particulado por superfície foliar ($\mu\text{g}/\text{mm}^2$).	83
Tabela 10. Pressões sonoras verificadas em 5 ago 2013.	86
Tabela 11. Pressões sonoras verificadas em 11 set 2013.	87
Tabela 12. Pressões sonoras verificadas em 15 set 2013.	88
Tabela 13. Pressões sonoras verificadas em 14 nov 2013.....	89
Tabela 14. Pressões sonoras verificadas em 15 nov 2013.....	90
Tabela 15. Pressões sonoras verificadas em P150, no período noturno.	93
Tabela 16. Pressões sonoras em P13 com o uso de barreiras acústicas e conformidade com os NCA.....	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNH	Banco Nacional da Habitação
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EPA	United States Environmental Protection Agency
FHWA	Federal Highway Administration
IEC	International Electrotechnical Commission
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
L_{Aeq}	Nível de pressão sonora equivalente
L_{AeqM}	Nível médio de pressão sonora equivalente
LASF	Laboratório de Análise de Solos e Foliar
L_i	Nível de pressão sonora instantâneo
MP	Material particulado atmosférico
NBR	Norma Brasileira
NCA	Nível de Critério de Avaliação de Conforto Acústico
OMS	Organização Mundial da Saúde
PROCONVE	Programa de Controle de Emissões Veiculares
PTS	Partículas Totais em Suspensão
SIEG	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Ni	Níquel
P	Fósforo
Pb	Chumbo
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 GOIÂNIA E A BR-153	20
3.2 A RODOVIA COMO FONTE DE POLUENTES	29
3.3 DISPERSÃO DE POLUENTES.....	35
3.4 MITIGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL URBANA CAUSADA POR RODOVIAS.....	40
3.5 VEGETAÇÃO E QUALIDADE AMBIENTAL.....	44
4 MATERIAL E MÉTODOS	49
4.1 ELEIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	49
4.2 ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO.....	58
4.3 ANÁLISE DA PRESSÃO SONORA.....	63
4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
5.1 DADOS METEOROLÓGICOS	69
5.2 MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO	73
5.2.1 Análise quantitativa.....	73
5.2.2 Análise qualitativa.....	78
5.2.3 Interpretação dos resultados	83
5.3 PRESSÃO SONORA.....	85
5.3.1 Conformidade com níveis de conforto ambiental	85
5.3.2 Análise da dispersão.....	94
5.4 RECOMENDAÇÕES E PROPOSTAS	99
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	106
REFERÊNCIAS.....	107

1 INTRODUÇÃO

Segundo Teixeira Neto (2001, p.51), “as atuais rodovias de integração nacional e regional desempenharam – e sempre desempenharão – [...] papel fundamental no processo de ocupação, povoamento e urbanização do território”. Enquanto foi notável o papel das estradas de ferro na geração e desenvolvimento de cidades no interior do Brasil, a partir da segunda metade do século XIX até as três primeiras décadas do século seguinte, deste período em diante, a matriz de transporte no Brasil consolidou-se como predominantemente rodoviária. Já neste início de século XXI, calcula-se que 62% do transporte de carga sejam feitos por rodovias (BRASIL, 2011a).

Assim, são as rodovias que se colocam, hoje, como elementos de grande importância na análise da configuração urbana, tanto no que se refere à distribuição dos centros urbanos quanto no que se relaciona com características que os próprios centros urbanos podem adquirir. Tais características constituem-se como frutos do impacto de uma rodovia sobre o tecido urbano.

O estudo de tais impactos ainda é recente em nosso país e vem sendo feito, principalmente, por órgãos do Estado. O Departamento Nacional de Infraestruturas de Transporte (DNIT), por exemplo, reconhece a existência de "impactos negativos" associados à presença de rodovias em áreas urbanas (BRASIL, 2004). O uso do solo das áreas lindeiras altera-se e, não raro, manifesta-se conflito de usos com as ocupações originais ou próximas. Ao problema dos usos conflitantes soma-se a segregação espacial e as alterações na mobilidade urbana, como, por exemplo, no que se refere a viagens não motorizadas, em que o risco de atropelamento torna-se intenso. A intrusão visual e a interferência sobre a paisagem urbana também podem ser listadas dentro do universo dos impactos negativos, causando deterioração de sítios de valor paisagístico e arquitetônico (PARANÁ, 2000).

Dentre os efeitos deletérios causados pelas rodovias inseridas de forma inadequada em tecido urbano, encontram-se, também, aqueles relacionados à poluição e a processos de degradação ambiental. O estudo das relações entre a qualidade do meio ambiente urbano e as vias de tráfego intenso que os atravessam torna-se plenamente justificável, principalmente, no cenário da urbanização intensa pela qual a configuração demográfica de nossa população tem passado nos últimos 50 anos. A análise do meio ambiente urbano ao longo de rodovias tem valor inequívoco, uma vez que o crescimento populacional, aliado às políticas e às dinâmicas de ocupação de solo urbano, fez com que a área urbanizada de inúmeras cidades incorporasse as áreas ocupadas pelas rodovias (SILVA JÚNIOR, 2006).

A adequação de perfil técnico das rodovias aos volumes crescentes de tráfego torna-se trabalho difícil de realizar quando as mesmas encontram-se margeadas por tecido urbano, ainda mais quando sua faixa de domínio original encontra-se invadida por ocupações irregulares já consolidadas. E, mesmo quando a faixa de domínio original encontra-se preservada, frequentemente esta “reserva” de área *non-aedificandi* não se mostra suficiente para que se construam intercessões seguras ou se estabeleçam espaços adequados à transição entre o tráfego rodoviário e o tráfego local, bem como o exercício de seu importante papel na preservação do ambiente urbano. Além disso, a falta de articulação entre distintas esferas de governo e entre as entidades responsáveis pelo planejamento e gestão das infraestruturas urbana e de transporte rodoviário contribui para que soluções adequadas não sejam implantadas e mantidas.

Estudos do DNIT descrevem a natureza dos chamados “impactos negativos” da presença de rodovias em áreas urbanizadas (BRASIL, 2004). Ao problema dos usos conflitantes soma-se a segregação espacial e, naturalmente, os problemas ambientais. Poluição sonora, luminosa, da água e do ar, vibrações e produção de resíduos sólidos são igualmente elementos importantes a serem considerados na avaliação da qualidade do ambiente no espaço urbano. Aliás, de acordo com Silva Júnior (2008), foi com a agregação das variáveis ambientais nos estudos urbanos e de transportes que se passou a dar maior atenção aos impactos associados à presença de rodovias em áreas urbanizadas, sendo que os primeiros trabalhos específicos datam da década de 1990.

Também datam desta década a implantação de programas de controle e de estudo de poluição gerada por rodovias, especialmente a respeito da poluição das águas por escorrências rodoviárias. Nos Estados Unidos, por exemplo, a FHWA (Federal Highway Administration) elaborou uma legislação de política ambiental que a obrigou a submeter e interpretar sua regulação à política nacional de proteção ambiental. Desta forma, atualmente há, naquele país, a possibilidade de cada estado usar parte de sua cota de recursos que seriam destinados à União para a adoção de medidas de controle de poluição de rios e lagos causada pela presença de rodovias (EPA, 1995).

A poluição provocada pelas atividades de transporte tem merecido especial atenção de pesquisadores, principalmente no exterior. A associação entre as emissões de gases e particulados e o incremento da ocorrência de doenças respiratórias já está comprovada por uma série de estudos. Problemas cardiovasculares podem ser elencados dentre as complicações de saúde relacionadas à degradação ambiental do entorno de rodovia (BRUGGE; DURANT; RIOUX, 2007).

Uma rodovia se caracteriza como uma fonte poluidora não pontual, o que acarreta dificuldade na avaliação e controle de seu potencial degradante do ambiente. Como fonte não pontual, acaba por afetar uma população significativa que vem morar ou trabalhar às suas margens, além dos seus usuários. Estima-se que, nos Estados Unidos, 11% dos domicílios estejam a menos de 100 metros (m) de distância de vias com quatro faixas de rolamento, onde morariam mais de 30 milhões de pessoas (op. cit.).

Cidade criada por decreto para ser a nova capital do Estado de Goiás, Goiânia não tem sua origem relacionada diretamente com a presença de uma rodovia que, comunicando povoações pré-existentes, lhe atravessaria o território. Entretanto, é inegável a importância que tem a BR-153 para o desenvolvimento da cidade, tornando-se a mais importante ligação rodoviária da capital goiana com o restante do país, a qual acabou por constituir-se como uma das mais importantes rodovias do Brasil, cumprindo a vocação para a qual foi chamada à época de sua concepção. O entorno da BR-153 sofreu – e continua sofrendo – um processo de urbanização em ambas as margens, vindo a transformar-se em uma das mais importantes artérias de tráfego de Goiânia e da Região Metropolitana.

Em Goiânia, o aumento da frota e da ocupação e adensamento urbano das áreas lindeiras à BR-153 são fatores que tornam o estado do meio ambiente motivo de preocupação de dezenas de milhares de pessoas. A urbanização as margens desta rodovia já se encontra estabelecida em quase toda a sua extensão dentro do perímetro urbano, e o processo ainda continua.

Em Goiânia verifica-se, ainda, uma produção tímida de análises sobre a ambiência urbana local, destacando-se os seguintes estudos: Hora (2000); Mesquita; Luiz (2004), Pasqualetto (2002), Freiberg; Pasqualetto (2008). À carência de trabalhos existentes, soma-se o fato de que uma análise específica da influência da rodovia sobre tal ambiência, objeto desta proposta, ainda inexistente. A qualificação e quantificação dos agentes poluidores ainda carecem de levantamento. As características das vias, sua geometria e tipologia de tráfego (volume e velocidade de operação), aliadas às características variáveis dos tecidos urbanos lindeiros que podemos encontrar em nosso país, exigem levantamento específico e local da degradação ambiental para instrumentalizar futuras medidas a serem tomadas para a reversão do processo.

Assim, ainda se fazem necessários estudos e pesquisas acerca do nível de degradação e comprometimento da paisagem urbana apontando-se soluções urbanísticas adequadas para melhoria da qualidade de vida. Dadas tais circunstâncias, o presente estudo visa avaliar as condições de ambiência urbana no município de Goiânia nas áreas às margens da BR-153, sendo a ambiência urbana compreendida por meio da análise da morfologia

urbana e das condições que levam à degradação urbana e ao comprometimento da qualidade de vida nas cidades (MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J., 2009).

A qualidade do meio ambiente às margens da rodovia relaciona-se de forma inequívoca com a qualidade do meio ambiente urbano, não podendo ser analisada de forma separada, com o risco de não se desenhar um quadro em que medidas mitigadoras da degradação do meio ambiente urbano possam ser propostas. A avaliação qualitativa e quantitativa de agentes poluidores relacionados ao tráfego rodoviário só se torna possível analisando a presença destes mesmos agentes no tecido urbano mais afastado da rodovia. Desta maneira, o presente trabalho pretendeu analisar de forma comparativa os índices de poluição atmosférica e sonora presentes na BR-153 e no seu entorno urbano imediato, especificamente nos bairros Vila Morais e Setor Morais, situados na região leste de Goiânia. O estudo serviu para compor um quadro que apresenta a forma de dispersão dos poluentes associados ao tráfego rodoviário em tecido urbano adjacente: o material particulado atmosférico, coletado da superfície de folhas de árvores encontradas na área de estudo, as concentrações de zinco (Zn), manganês (Mn), chumbo (Pb), níquel (Ni), ferro (Fe), cromo (Cr), cobre (Cu) e cádmio (Cd) que se encontram nesse material, além dos índices de pressão sonora na área.

Tal análise se constitui como passo que deve preceder a adoção de medidas de mitigação e reversão de processos de degradação ambiental que afetem a cidade às margens de rodovias, comprometendo o bem-estar e a qualidade de vida das pessoas que ali habitam e trabalham. Ao lembrarmos que o Estatuto das Cidades “estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental” (BRASIL, 2001) e o Plano Diretor de Goiânia deve garantir "o direito à cidade sustentável, compatibilizando o crescimento econômico com a proteção ambiental" (GOIÂNIA, 2007a), encontramos o legítimo instrumento legal que justifica a avaliação da qualidade do espaço urbano, bem como a adoção, a partir daí, de medidas que permitirão aos seus habitantes a fruição da cidade de forma responsável e democrática.

Inicialmente, o trabalho apresenta um panorama histórico e geográfico da relação entre o Município de Goiânia e a BR-153, dando suporte à compreensão do problema que se associa à presença de rodovias em ambientes urbanos. A seguir, são delineados os diversos aspectos que a degradação do ambiente pode assumir com a ação do tráfego rodoviário, o comportamento de alguns dos poluentes produzidos, especialmente a sua dispersão e as ações mitigatórias que podem ser tomadas contra as ações deletérias sobre o meio ambiente urbano.

Propondo o trabalho com o uso de material biológico advindo da vegetação em área urbana, o trabalho prosseguirá apresentando algumas de suas características e dos trabalhos desta natureza possuem em comum. Em seguida, apresentam-se o material e os métodos do trabalho: a eleição da área de estudo, dentre todas as que se localizam dentro do perímetro urbano de Goiânia à margens da BR-153 e como foram feitas as coletas de material de pesquisa, análises do material particulado e da pressão sonora, além do levantamento de dados meteorológicos. O trabalho prossegue com a interpretação analítica dos dados, dedicando-se a apresentar os que são mais significativos, relacionando-os com dados meteorológicos e a ocupação do solo urbano da área.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é analisar o material particulado atmosférico (MP) e a pressão sonora nas proximidades de um trecho urbano da BR 153 no município de Goiânia caracterizando a dispersão de poluentes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Caracterização do tipo de uso e ocupação do solo existente visando avaliar a influência da rodovia sobre o ambiente urbano lindeiro;
- Avaliação dos níveis de MP, adsorvido em superfície foliar, e as concentrações de Zn, Mn, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu e Cd;
- Análise dos níveis de pressão sonora considerando os parâmetros estipulados na NBR 10.151 (ABNT, 2000) para conforto sonoro;
- Proposição de medidas de mitigação de dano ambiental.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GOIÂNIA E A BR-153

Cidade criada por decreto para ser a nova capital do Estado de Goiás, Goiânia não teve sua origem relacionada diretamente com a presença de uma rodovia ou ferrovia que, comunicando povoações pré-existentes, atravessar-lhe-ia o território. Entretanto, podemos desenhar um cenário que relacione a sua concepção, fundação e crescimento com a rede de viação que se desenvolveu no século XX no Estado de Goiás.

Ainda que a necessidade da mudança da capital de Goiás eventualmente fosse considerada desde a segunda metade do século XIX, foi somente após a Revolução de 1930 que medidas concretas para tal se concretizaram. Em 1932, Pedro Ludovico Teixeira, interventor do Estado de Goiás, criou uma comissão para a escolha do local onde seria erguida a nova capital do Estado. Todas as áreas pré-selecionadas para a seleção encontravam-se a leste da cidade de Goiás, mais próximas da Estrada de Ferro Goyaz, que, no início do século XX, havia logrado melhorar as condições de transporte até Minas Gerais e São Paulo.

Em 1938, foi regulamentado o Plano de Urbanização de Goiânia, de autoria do Engenheiro Armando de Godoy, um documento técnico elaborado a partir das ideias e desenhos iniciais do Arquiteto e Urbanista Atílio Correa Lima que trabalhara para Pedro Ludovico alguns anos antes. O plano previa a construção da nova cidade às margens de rodovia já implantada, que comunicava as cidades de Anápolis, Bonfim (atual Silvânia) e Campinas. Esta estrada atravessaria o centro comercial da cidade, no sentido leste-oeste, constituindo-se na atual Avenida Anhanguera.

Poucos anos depois, em 1940, o Plano Nacional de Rodovias do governo do Presidente Getúlio Vargas esboçava o traçado de importante rodovia que se estenderia de norte a sul do país, cruzando o território do estado de Goiás. A BR-14, a rodovia Transbrasiliana, hoje conhecida como BR-153, atravessaria o município de Goiânia, dispendo-se perpendicularmente às vias de acesso estabelecidas - a Av. Anhanguera e a Estrada de Ferro - a uma distância de, aproximadamente, três quilômetros (km) a leste do núcleo original da cidade (fig. 1). As obras de sua implantação iniciaram-se em 1958, no governo do Presidente Juscelino Kubitschek, sendo o asfaltamento do trecho entre São José do Rio Preto e Anápolis concluído em 1969.

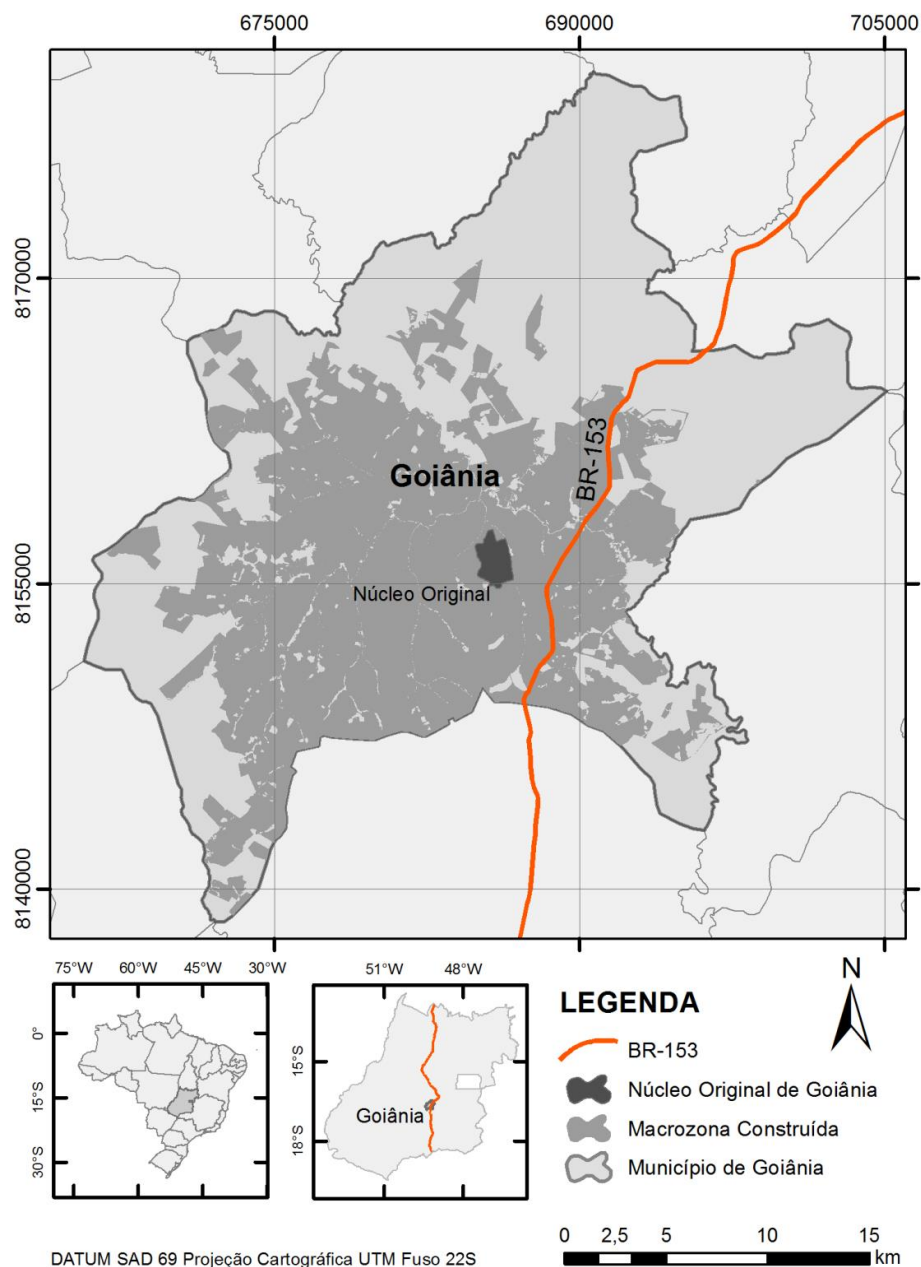


Figura 1. Mapa de localização: a BR-153 no Município de Goiânia. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.

Neste período, a população de Goiânia crescia de forma acelerada. A partir da década de 1950, a ação dos empreendedores do setor privado já era bastante destacada no parcelamento das glebas privadas em torno do núcleo original da cidade, destinando-as a novos loteamentos para abrigar a população crescente, no qual a configuração fundiária adequava-se à construção de habitações unifamiliares e pequenos estabelecimentos de comércio e prestação de serviços. Em 1951 iniciava-se o parcelamento das terras da família Moraes, a leste da cidade, na região que seria atravessada pela BR-153. Nasceram o Bairro

Água Branca, a Vila Morais e a Vila Bandeirante. A característica comum de empreendimentos como estes era a falta de infraestrutura - onde o máximo que era oferecido consistia-se em um arruamento aberto - e a distância do centro da cidade, sempre além de áreas desocupadas ou de baixíssima ocupação à época (GONÇALVES, 2002). O parcelamento das terras da família Morais prosseguia com o lançamento do Bairro Feliz e do Parque Industrial da Vila Morais. No final da década de 1950, anunciava-se o parcelamento do Jardim Novo Mundo.

A maioria desses novos bairros só contou com ocupação expressiva a partir da década de 1960, junto à implantação da nova rodovia. A Vila Morais seria cortada ao meio em seu eixo longitudinal. Uma de suas vias, a Avenida C, receberia em seu leito a BR-153, mediante desapropriação parcial dos lotes às suas margens. Cada lote perdeu 10 m em seu comprimento, com a finalidade de se obter uma faixa de domínio de 40 m de largura no trecho. A partir do centro da cidade, o Jardim Novo Mundo e os loteamentos próximos ao bairro Água Branca só poderiam ser alcançados cruzando-se a BR-153.

No final da década de 1960, surgiram em Goiânia os conjuntos habitacionais implantados a partir da política do Banco Nacional da Habitação - BNH. O primeiro deles - a Vila Redenção - foi implantado a sudeste, junto às terras de Lourival Louza, proprietário de grande gleba a leste da cidade, limítrofe às terras da família Morais. Sua localização, bem próxima da BR-153, estimularia o parcelamento urbano de terras adjacentes, incrementando a ocupação predominantemente residencial às margens da rodovia.

Novos conjuntos habitacionais, estabelecidos na década seguinte seguiriam o vetor de crescimento iniciado com a implantação da Vila Redenção. Tais conjuntos serviam de "pontos de indução ao crescimento da cidade, exatamente por situarem-se em locais estratégicos, nos limites urbanos" (GONÇALVES, 2002, p.170). A valorização das terras próximas - em virtude da implantação de infraestrutura urbana de saneamento, asfalto e transporte - atendiam aos interesses dos seus proprietários, que passaram a ter grandes ganhos com o seu parcelamento. Assim ocorreu em bairros como o Jardim Goiás e o Alto da Glória.

A cidade crescia a leste, a sudeste e a nordeste; o tecido urbano espalhava-se, a partir do centro original, para além da rodovia (fig. 2). Indústrias e estabelecimentos de distribuição de cargas aproveitariam a benéfica proximidade da rodovia para se instalarem às suas margens.

A partir da década de 1970, nas terras de Lourival Louza, um interessante fenômeno pode ser constatado, o qual marcaria a distribuição de importantes equipamentos urbanos e de áreas de interesse de tráfego da cidade. À doação de áreas para a construção do

Estádio Serra Dourada, do Autódromo Internacional e, já nos anos 1990, do Paço Municipal e outros prédios públicos, somar-se-ia a construção, em seus arredores, de centros de comércio e serviços importantes, como *shopping center*, hipermercados, universidades, centro cultural e condomínios residenciais horizontais. O acesso a estes importantes equipamentos incrementaria, sobretudo, o volume de tráfego na BR-153 e nas vias transversais, além de valorizar as áreas que permaneciam vazias entre o centro da cidade e tais edifícios. A morfologia urbana relacionada a tais estruturas constituiu-se de forma distinta daquela das primeiras áreas de ocupação ao longo da rodovia, com o parcelamento da terra em lotes de maiores dimensões. Nas décadas seguintes, nos lotes de menor tamanho dos parcelamentos originais, se estabeleceria um processo de verticalização e adensamento, especialmente no Jardim Goiás e no Alto da Glória, ampliando a mais-valia advinda dos novos empreendimentos que prosseguiram na década de 2000.



Figura 2. Vista aérea da BR-153 e sua inserção na área urbanizada de Goiânia. Foto: Antônio Pugás, 26 maio 2010. Fonte: arquivo pessoal.

Todo esse processo de crescimento da área urbanizada de Goiânia localizado às margens e, principalmente, a leste da BR-153, pode ser verificado na observação de ortofotos (fig. 3 e 4). A urbanização de suas margens já se encontra estabelecida em quase toda a sua extensão dentro do perímetro urbano. A rodovia tornou-se, assim, uma das mais importantes artérias de tráfego de Goiânia e da Região Metropolitana.

A BR-153 é considerada uma rodovia arterial da Classe I-A, de pista dupla, com controle parcial de acesso (BRASIL, 1999). Possui duas faixas de rolamento em cada sentido - dependendo do trecho, uma faixa adicional pode estar presente. As suas pistas são separadas entre si por canteiro central, com largura variável, com alguns trechos guarnecidos por defensas metálicas ou uso de mureta de concreto tipo *New Jersey*. Servindo aos maiores mercados consumidores do Centro-Oeste - a Região Metropolitana de Goiânia, Anápolis e o Distrito Federal - assiste à passagem de cargas tão distintas como gado, grãos, cimento, combustível e insumos para as indústrias situadas às suas margens, especialmente químico-farmacêuticas. Dados da Polícia Rodoviária Federal, publicados pela Secretaria de Estado de Infraestrutura, indicam que seu volume de tráfego situa-se entre 50 mil e 60 mil veículos por dia (GOIÁS, 2011).

A BR-153 estende-se por 15 quilômetros dentro do perímetro urbano de Goiânia e por mais sete quilômetros dentro do perímetro urbano de Aparecida de Goiânia - o segundo mais populoso município da Região Metropolitana. Assim, nesse trecho, aproximadamente 70% dos veículos que a utilizam efetuam viagens que têm como origem e destino pontos situados dentro desta própria região. Nota-se, também, que o tráfego na rodovia apresenta fenômenos típicos de vias urbanas, como variação no volume durante o dia, coincidentes com os "horários de pico" observados nas principais avenidas da cidade. Já há trechos que apresentam lentidão e até retenção no fluxo veicular em alguns horários do dia, especialmente no início da manhã e no final da tarde (op. cit.).

O Plano Diretor de Goiânia de 2007 adotou os parâmetros urbanísticos de determinadas glebas ou lotes considerando a capacidade de suporte representada pelo sistema viário que os atende. Assim, cada via da cidade passou a pertencer à determinada categoria e cada categoria admitia determinado padrão de ocupação e atividade econômica (GOIÂNIA, 2006).

A estrutura viária [...] é composta por um conjunto de vias hierarquizadas classificadas como Rede Viária Básica, formada pelas vias Expressas e arteriais. Há ainda, as Coletoras e Locais. A liberação para instalação de atividades econômicas submete-se a indicativos legais correspondentes às categorias viárias. (GOIÂNIA, 2006, p. 122).¹

¹Posteriormente, na Lei Nº 171, seriam incluídas as categorias de vias de pedestre e de ciclovias.



Figura 3. Expansão da área urbanizada de Goiânia entre 1961 (à esquerda) e 1975 (à direita). Fonte: Secretaria de Planejamento Municipal de Goiânia. Elaborado por REIS.

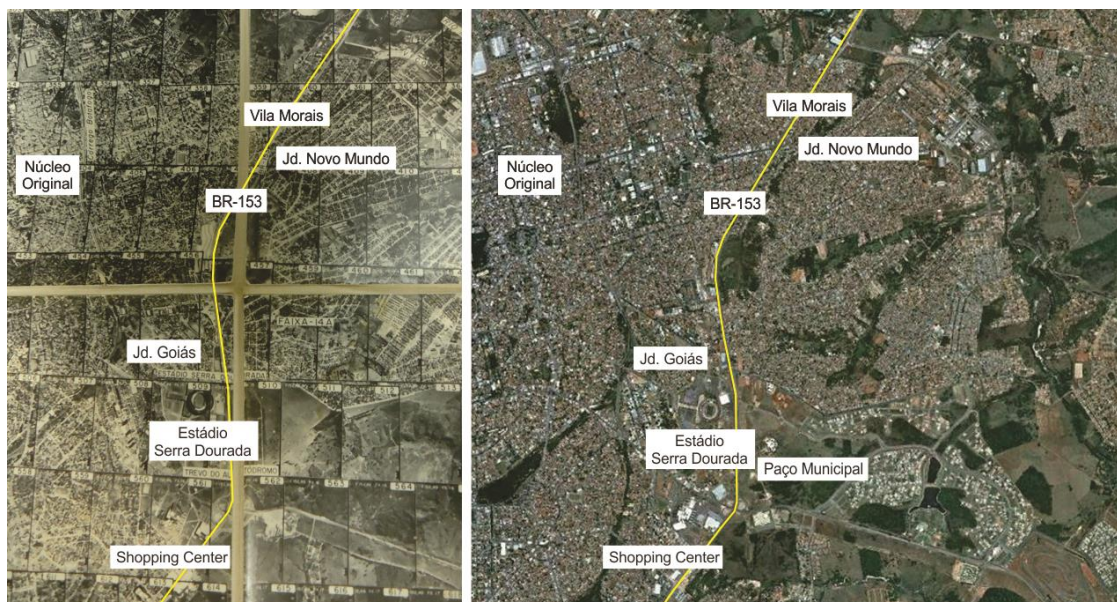


Figura 4. Expansão da área urbanizada de Goiânia entre 1989 (à esquerda) e 2009 (à direita). Fonte: Secretaria de Planejamento Municipal de Goiânia (1989) e Google Earth (2009). Elaborado por REIS.

Algumas vias, portanto, foram selecionadas para dar suporte a um tipo de ocupação específica em suas proximidades, constituindo-se nos chamados Eixos de Desenvolvimento. Especificamente, a BR-153, o Anel Rodoviário Metropolitano² e a Perimetral Norte compuseram os chamados Eixos Metropolitanos de Desenvolvimento Econômico, devido à sua configuração rodoviária original. “Nesse contexto, as rodovias funcionam como elemento de integração intrarregional e receptor de demandas que se articulam com o tecido urbano local, por meio do Anel Rodoviário Metropolitano. Desempenham, assim, o papel de articulação socioeconômica na relação hierárquica da cidade.” (op. cit., p. 119). Tanto a BR-153 quanto o Anel Viário pertencem à categoria de vias expressas, as quais se caracterizam pelo intenso fluxo de veículos em relação às demais, cumprindo função de ligação entre as regiões do Município, além de se prestarem à articulação das atividades metropolitana e regional. Em 2013, a Lei Complementar nº 246 alterou o artigo 116 do Plano Diretor de 2007, permitindo que vias locais, coletoras e arteriais próximas às vias expressas passem a receber os mesmos tipos de empreendimentos com idênticos graus de incomodidade já permitidos nessas vias, afirmando, inclusive, que os galpões que deverão abrigar tais atividades, em casos excepcionais, não teriam mais limites de altura (GOIÂNIA, 2013). Tal alteração foi, posteriormente, suspensa sob ação do Ministério Público Estadual e decisão do Tribunal de Justiça do Estado de Goiás, tomada em outubro do mesmo ano (GOIÁS, 2013).

A ocupação das glebas urbanas ao longo da rodovia apresenta, em grande parte de sua extensão, como na Vila Morais e Vila Redenção, baixa densidade edilícia e populacional em relação a outras áreas da cidade, mas um processo de adensamento com a construção de habitações coletivas pode ser notado nas regiões do Jardim Goiás e do Alto da Glória. Torna-se evidente que a ocupação das áreas lindeiras à BR-153 não se promoveu de forma homogênea, no que se refere à dimensão dos lotes, aos equipamentos urbanos e ao uso do solo (fig. 5, 6 e 7).

Para os próximos anos, aguarda-se a construção de mais um trecho do Anel Viário Metropolitano, o Contorno Leste. A execução desta obra faz parte do contrato de concessão estabelecido em 2013, assinado entre o governo federal e a empresa Triunfo Participações e Investimentos (BRASIL, 2013). Com a construção do Contorno Leste, parte do tráfego deverá ser retirada do traçado atual da BR-153. Entretanto, os problemas no meio ambiente urbano

²O Anel Rodoviário Metropolitano é uma obra inacabada. Apenas um trecho, dentro do Município de Aparecida de Goiânia – conhecido como Tramo Sul – foi concluído. No Município de Goiânia o Anel Rodoviário encontra-se em fase de projeto.

podem não ser reduzidos significativamente por conta do grande volume de viagens cuja origem e destino encontram-se na Região Metropolitana: a BR-153 deve tornar-se uma via urbana com um volume de tráfego ao qual permaneceriam associados os impactos ambientais preexistentes.



Figura 5. Vista da área lindeira da BR-153, Vila Morais. Foto: A. REIS, 16 ago 2012. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 6. Vista da área lindeira da BR-153, Jardim Goiás e Alto da Glória. Foto: A. REIS, 16 ago 2012. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 7. Vista da BR-153, próximo ao Alto da Glória. Foto: Antônio Pugás, 22 fev 2009. Fonte: arquivo pessoal.

3.2 A RODOVIA COMO FONTE DE POLUENTES

As rodovias são responsáveis por impactos sobre o ambiente natural e urbano, os quais se manifestam durante a fase de projeto (nas etapas de estudos e sondagens), durante a sua construção, após a conclusão da obra e entrega ao público (nas ações de conservação e restauração) e, naturalmente, durante a sua operação (BELLIA; BIDONE, 1993).

O Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambientais, elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (BRASIL, 2005), propõe que, dentre esses impactos, os principais relacionam-se com a poluição do ar, a poluição da água, o aumento dos níveis de ruído, o aumento dos níveis de vibrações e problemas de segurança da comunidade, usuária ou não da estrada.

A mais importante fonte de poluição é a emissão de substâncias advindas do tráfego veicular (fig. 8), geradas a partir do funcionamento dos motores a combustão interna, especialmente o monóxido de carbono, os hidrocarbonetos, os óxidos de nitrogênio, os óxidos de enxofre e o material particulado atmosférico (MP). Os veículos automotores consistem na maior fonte de poluição atmosférica dentre todas as atividades humanas, considerando o seu volume e a distribuição geográfica.

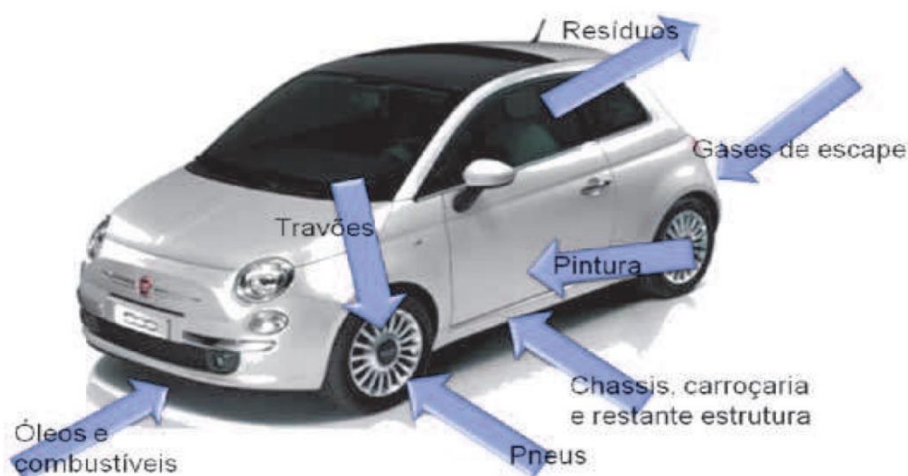


Figura 8. Esquema com os principais componentes dos veículos que contribuem na geração de poluentes. Fonte: BARBOSA; WHITEHEAD; ANTUNES, 2011.

Na Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) indica que o tráfego veicular é responsável por 90% da emissão de poluentes atmosféricos, sendo 29,5 mil toneladas (t)/ano de MP, 1,5 milhões de t/ano de monóxido de carbono, 365 mil t/ano de hidrocarbonetos, 339 mil t/ano de óxidos de nitrogênio e 8,2 mil t/ano de óxidos de enxofre (CETESB, 2007 apud NAKAGAWA; COMARÚ; TRIGOSO, 2010). Ainda que a emissão de poluentes nos

veículos tenha se reduzido através de desenvolvimento técnico aliado a programas, como o PROCONVE³, Programa de Controle de Emissões Veiculares, e o Programa de Inspeção Veicular, o sensível incremento da frota não possibilitou que tais avanços no controle da emissão veicular fossem acompanhados por uma significativa redução na quantidade dos poluentes lançados na atmosfera. A idade da frota, a tipologia de seus integrantes e as suas condições de operação e manutenção são variáveis que têm influência sobre a geração de poluentes. Apesar de constituírem 10% da frota, os veículos a diesel são responsáveis por 96% das emissões do MP advindo de fontes automotivas (BRASIL, 2011b); os mais recentes estudos realizados pela Universidade Carlos III, na Espanha, por exemplo, apontaram que apenas cinco por cento dos veículos - especificamente os mais velhos, mal conservados ou mal projetados - são responsáveis por 90% das emissões tóxicas (GRABAR, 2013).

Pesquisas feitas nos Estados Unidos e na Europa têm associado à presença de altos índices de poluição do ar ao tráfego rodoviário. Para BRUGGE, DURANT e RIOUX (2007), o MP, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e outros poluentes atingem índices de concentração nas proximidades das rodovias de forma que as pessoas que vivem dentro de uma faixa de 30 m de largura a partir de suas margens são suscetíveis de receber a exposição muito maior de poluentes do que pessoas que residem a uma distância de aproximadamente 200 m. Os autores, também, indicam um incremento na ocorrência de doenças cardiopulmonares e de câncer nas populações residentes ao longo das rodovias com volume de tráfego superior a 30 mil veículos por dia. Entretanto, o conhecimento científico que associa danos à saúde com o tráfego rodoviário ainda não permitiram, mesmo em países como os Estados Unidos, que se adotasse um marco regulatório de ocupação das áreas lindeiras às rodovias que possibilitem a mitigação de tais danos, salvo exceções, como a proibição, no Estado da Califórnia, de que estabelecimentos de ensino estejam situados a menos de 500 pés (aproximadamente 160 m) de rodovias.

O MP consiste de uma extensa variedade de substâncias orgânicas e inorgânicas, as quais variam de tamanho, densidade e composição físico-química e que podem ficar suspensas na atmosfera em diferentes concentrações e períodos de tempo (COSTA, E., 2011). O MP inalável é classificado em dois grupos: o chamado MP fino - com partículas de diâmetro aerodinâmico (d_p) entre 2,5 e 10,0 micrômetros (μm) - e o chamado MP grosso - com partículas de diâmetro aerodinâmico (d_p) maior que 10,0 μm . O MP compõe importante

³O PROCONVE - Programa de Controle de Emissões Veiculares - foi instituído em 1986 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) - Conselho Nacional do Meio Ambiente - o qual estabelece um cronograma para a redução de emissão de poluentes pelos veículos automotores em todo o país. Suas ações articulam-se em nível estadual e municipal com os Programas de Inspeção Veicular locais.

parte das partículas totais em suspensão na atmosfera (PTS), as quais são todas as partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 100 μm (BRASIL, 1990).

O tráfego veicular é importante fonte de MP graças à combustão incompleta de combustíveis e ao desgaste de peças metálicas, plásticos e pneus, além de promover a suspensão de material já depositado sobre o pavimento. No MP podem ser encontrados, dentre tantas substâncias, metais como Zn, Cu, Cd, Mn, Fe, Al, Ni e Cr (COSTA, E., 2011; RAMÍLIO; VIEIRA, 2008; ALBUQUERQUE, M; BARBOSA, A. E.; ALBUQUERQUE, A., 2006).

No Brasil, o CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente – estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar na Resolução Nº 3/90. Tal resolução prevê normas relacionadas a padrões primários e secundários a serem observadas em análises e avaliações. Os padrões primários se relacionam com as concentrações de poluentes máximas que, se ultrapassadas, podem afetar a saúde da população; os secundários estabelecem as concentrações em que se prevê o mínimo efeito adverso sobre a população humana, flora, fauna, materiais e o meio ambiente em geral (BRASIL, 1990). Em função da presença do PTS, estabeleceu-se, de acordo com o padrão primário, a concentração média geométrica anual de 80 microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de ar e que a concentração média de 24 horas (h) de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar não deve ser excedida mais de uma vez por ano. De acordo com o padrão secundário, estabeleceu-se concentração média geométrica anual de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar e que concentração média de 24 h, de 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar, não deve ser excedida mais de uma vez por ano. Tais concentrações devem ser determinadas com o uso do Método de Amostrador de Grandes Volumes ou equivalente, sobre o qual se estabeleceram normas em 1995 (ABNT, 1995).

A esse cenário soma-se uma das mais claras ações sobre o meio ambiente que vias de alto tráfego apresentam: a produção de ruídos e a intensificação da pressão sonora. Os níveis de geração de ruídos advindos da operação de rodovias variam muito em função do volume de tráfego, do tipo de veículo, do seu modo de operação, das condições da superfície de rolamento, o tipo de pavimento, estado e tipo de pneus e das condições de propagação sonora (COSTA, C. et al., 2013). Tais fatores têm importâncias distintas entre si como geradores de incômodo: em velocidades baixas (abaixo de 40 km/h), por exemplo, o ruído do funcionamento do motor é mais importante do que o ruído produzido pelo movimento do veículo; em casos específicos, a proibição da circulação de veículos ruidosos seria mais eficaz na redução do incômodo do que a redução do número total de veículos em circulação (CALIXTO, 2002).

Mesmo sendo o ruído produzido pelo tráfego veicular a fonte principal do incômodo sonoro nas cidades (LI, B.; TAO, S.; DAWSON, R. W, 2002), no Brasil não existe legislação que regulamente os níveis máximos de ruído que podem ser provocados pelas vias de tráfego em operação. As Resoluções N° 1/93 e N° 2/93 do CONAMA limitam-se a estabelecer o nível máximo de som ou ruído permitido para veículos, verificados a partir do ruído produzido pelos sistemas de escapamento destes veículos em aceleração e parados (BRASIL, 1993). Tais resoluções, que norteiam o Programa Nacional de Controle de Ruídos de Veículos, têm apresentado relativo sucesso, conseguindo redução na emissão de ruídos em todos os tipos de veículos fabricados depois do incremento do programa. Ainda assim, recomenda-se a adoção, nas ações de projeto rodoviário, de medidas mitigadoras que possam atenuar os efeitos nocivos relacionados à poluição sonora, atenuando e controlando sua propagação e preservando o conforto ambiental (BRASIL, 2005), uma vez que os parâmetros de conforto devem relacionar-se aos níveis máximos de pressão sonora permitidos em ambientes externos, expressos em decibéis em ponderação de frequência A - dB(A), que se encontram referenciados pela NBR 10.151 (ABNT, 2000)⁴, conforme tabela 1.

Tabela 1. Níveis de critério de avaliação (NCA) em dB(A) considerados como os níveis máximos de pressão sonora equivalente admitidos para ambientes externos.

TIPOS DE ÁREAS	DIURNO	NOTURNO
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000.

Além do meio atmosférico, os corpos hídricos também podem sofrer ação deletéria com a presença de rodovias nas suas proximidades. Nos Estados Unidos, especificamente, desde a década de 1970 têm-se direcionado esforços para a caracterização do potencial de contaminação do meio ambiente por tais resíduos, estabelecendo um quadro no

⁴Tanto as Resoluções do CONAMA quanto a NBR 10.151 norteiam as normas disciplinadoras do Código de Posturas do Município de Goiânia (GOIÂNIA, 2008).

qual, a qualidade das águas presentes nas escorrências rodoviárias se constitui em motivo de preocupação de grande significância para a gestão do meio ambiente (DRAPPER; TOMLINSON; WILLIAMS, 2000). Atualmente, as fontes de escorrências urbanas, incluindo as rodoviárias, são consideradas como “formidáveis obstáculos” para o alcance das metas de gestão dos recursos hídricos (EPA, 1993 apud WALSH et al., 1997).

Uma série de resíduos depositados sobre o leito das rodovias, tais como: graxas, óleos, partículas de borracha, de lonas e pastilhas de freios, podem ser arrastados para os corpos hídricos na ocorrência das chuvas. Em tais escorrências também podem ser encontrada grande variedade de metais, depositados diretamente sobre o leito ou precipitados com o material particulado em suspensão na atmosfera (RAMÍSIO; VIEIRA, 2006; ALBUQUERQUE, M; BARBOSA, A. E.; ALBUQUERQUE, A., 2006). A todos estes materiais somam-se os resíduos das cargas transportadas, os quais podem ser de inúmeros tipos, depositados acidentalmente ou não.

O movimento dos veículos sobre o pavimento e o funcionamento dos motores a combustão interna transmitem vibrações através do ar e do solo, propagando-se em todas as direções, à semelhança de ondas sísmicas. Movimentos bruscos, como o abrir e fechar das portas dos veículos e a passagem dos pneus por irregularidades no pavimento, também, constituem-se como fontes de vibrações, cuja intensidade e duração podem comprometer estruturas e trazer incômodos que inviabilizam atividades e causam distúrbios físicos e psicológicos.

A intensidade e a frequência das vibrações relacionam-se com as características dos veículos – peso e velocidade com que se deslocam – e, também, do pavimento sobre o qual transitam, pois há materiais que podem absorver ou dificultar a propagação das ondas.

Portanto, sobre o meio atmosférico, corpos hídricos e solo, as rodovias se constituem importante agente poluidor, com a geração de uma variada gama de substâncias deletérias, a qual pode ser vista no Quadro 1.

Poluente	Fontes primárias
Amianto	Embreagem, lonas de freios.
Bactérias patogênicas	Cargas vivas, tóxicas ou perigosas.
Borracha	Pneus.
Bromida	Sistemas de escapamentos.
Cádmio (Cd)	Pneus, inseticidas.
Chumbo (Pb)	Gasolina, pneus, óleos e graxas lubrificantes.
Cobre (Cu)	Lonas de freios, pinturas, peças de motores, fungicidas e inseticidas.
Cromo (Cr)	Pinturas, peças de motores, lonas de freios.
Ferro (Fe)	Ferrugem, aço de estruturas rodoviárias, peças de motores.
Manganês (Mn)	Peças de motores.
Níquel (Ni)	Óleo Diesel, gasolina, óleos lubrificantes, pinturas, lonas de freio, pavimento asfáltico.
Nitrogênio (N), Fósforo (P)	Fertilizantes, sedimentos.
Particulados	Pavimento, veículos, manutenção, abrasivos de gelo e neve, sedimentos.
Pesticidas	Manutenção, deposição atmosférica.
Petróleo	Derramamentos, vazamentos, óleos lubrificantes, fluidos hidráulicos, superfície asfáltica lixiviada.
Sódio (Na), Cálcio (Ca)	Graxas, sais anticongelantes.
Sulfato	Pavimento, combustíveis, sais anticongelantes.
Zinco (Zn)	Pneus, óleo para motor, graxas.

Quadro 1. Poluentes mais comuns produzidos em rodovias e suas respectivas fontes primárias. Adaptado de DRAPPER; TOMLINSON; WILLIAMS, 2000.

Além de constituírem-se como fonte de poluição, as rodovias constituem-se como um elemento de risco à segurança de usuários e moradores, especialmente, nas travessias urbanas. A segurança da comunidade relaciona-se ao universo de interações que ocorrem entre os veículos que utilizam a via, entre os veículos que compõem o tráfego de passagem e entre os pedestres que compõem o tráfego local (BRASIL, 2005). A ocorrência de acidentes,

como colisões, atropelamentos e invasão de imóveis por veículos desgovernados, compõem o quadro de eventos sob os quais o tráfego rodoviário encontra-se constantemente em risco. A esse risco soma-se a deposição de resíduos das cargas transportadas, os quais podem ser de inúmeros tipos. Aglomerações humanas e atividades industriais, comerciais ou de prestação de serviços, como postos de combustíveis e oficinas mecânicas, podem igualmente consistir em fontes de poluição.

O estudo de tais aspectos relacionados à qualidade do meio ambiente só recentemente tem alertado a comunidade científica para a necessidade de dedicar maior atenção aos impactos associados à presença de rodovias em áreas urbanizadas. Os primeiros trabalhos dedicados à sua investigação datam da década de 1990 (SILVA JÚNIOR; FERREIRA, 2008) e, em nosso país, ainda não são numerosos. As características das vias, sua geometria e tipologia de tráfego (volume e velocidade de operação), aliadas às características variáveis dos tecidos urbanos lindeiros, exigem, portanto, o levantamento específico e local da degradação ambiental para instrumentalizar futuras medidas a serem tomadas para a reversão do processo. Contudo, há uma quantidade tão notável de danos ao tecido urbano associados à presença de rodovias que estudiosos tem apontado como única solução razoável a retirada de vias expressas do interior das cidades.

Simplemente, as vias expressas são soluções viárias inadequadas para as cidades (...) as cidades são caracterizadas por redes viárias robustas e interconectadas. Quando as vias expressas de acesso limitado são forçadas sobre o tecido urbano, elas criam barreiras que acabam reduzindo uma característica essencial das cidades, a sua vitalidade. Quem sofre são os residentes, o comércio, os proprietários e os bairros adjacentes à rodovia urbana (ITDP, 2013, p. 8).

3.3 DISPERSÃO DE POLUENTES

A presença e a concentração de poluentes pode variar no tempo e no espaço, tanto em função de reações fotoquímicas quanto em função de fenômenos de transporte, de fatores meteorológicos e de características espaciais e de geografia física da região em que se encontram, como a topografia. Naturalmente, para cada tipo de agente poluidor, bem como para cada meio em que o mesmo se encontra (hídrico ou atmosférico, por exemplo), cada um dos fatores supracitados tem diferentes graus de importância em análises de dispersão (LISBOA, 2010).

De fato, a análise da dispersão de poluentes encontra-se como um dos mais destacados campos de estudo do meio ambiente, uma vez que determinados poluentes podem

afetar a qualidade do meio ambiente em áreas extensas e populosas. Sofisticadas ferramentas de análise são utilizadas para simular, em computador, o comportamento dos poluentes gerados por um empreendimento ainda por ser instalado, com a finalidade de se avaliar o impacto ambiental e que medidas podem ser mais adequadas à mitigação dos danos ambientais associados à sua dispersão.

Se, por um lado, a dispersão de poluentes pode tornar-se fator de dano a áreas e populações que se encontram, por vezes, a grandes distâncias da fonte poluidora, por outro, a dispersão pode garantir a diminuição das concentrações de substâncias perigosas para índices seguros à vida e ao meio ambiente. Considerando-se que a concentração é elemento-chave para estabelecer-se que determinada substância é poluente ou não, a avaliação da dispersão de tais substâncias é de grande importância. O transporte e dispersão de poluentes podem expô-los à degradação fotoquímica e à retenção por filtros naturais e biológicos.

No que diz respeito à poluição atmosférica, normalmente a descrição das condições meteorológicas e a topografia se incluem nos estudos de impacto ambiental. Mesmo com a manutenção do nível de emissão de poluentes, a qualidade do ar pode variar em função das condições meteorológicas, como temperatura e umidade relativa do ar, insolação, o regime dos ventos e a pluviosidade (LISBOA, 2010), os quais exercem mútua influência entre si. Os fenômenos meteorológicos devem ser estudados em escalas distintas para que a análise da dispersão seja criteriosa, especialmente no comportamento dos ventos e pluviosidade. Tais escalas variam desde a que se relaciona aos movimentos e interações de grandes massas de ar - conhecida como escala sinótica - até para escalas menores: em mesoescala - em que se percebem, por exemplo, variações diurnas e noturnas de velocidade e direção do vento e formação de brisas marítimas ou terrestres - e em microescala - que inclui, por exemplo, os movimentos resultantes dos efeitos aerodinâmicos da rugosidade dos terrenos, como a presença de edificações e cobertura vegetal (TORRES; MARTINS, 2005; LISBOA, 2010).

Em escala sinótica, consideram-se favoráveis à dispersão de poluentes atmosféricos as baixas pressões e a formação das chamadas frentes de ar, enquanto que a presença de altas pressões estacionárias - que reduzem a velocidade do vento - como a que ocorre no período com baixa incidência de chuvas no Centro-Oeste brasileiro (SCHNEIDER, 2004) exercem efeito contrário. Em mesoescala, a formação de inversões térmicas de baixa altitude⁵ dificulta sobretudo a dispersão de poluentes e a formação das chamadas ilhas de

⁵A inversão térmica ocorre quando uma camada de ar quente se sobrepõe a outra mais fria. Nessas condições, o ar superficial frio e poluído é impossibilitado de elevar-se e dar lugar ao ar superior mais limpo.

calor, fator normalmente associado à presença de grandes núcleos urbanos, é capaz de modificar as condições meteorológicas nas grandes cidades, alterando o regime de ventos, a temperatura e umidade relativa do ar e a intensidade das precipitações atmosféricas (TORRES; MARTINS, 2005). Em microescala, a topografia e a rugosidade da área, especialmente as edificações e cobertura vegetal, agem como fatores de grande importância na modificação da velocidade e direção dos ventos que atuam no transporte dos poluentes, principalmente sobre os que são gerados próximos ao solo, como os produzidos por tráfego veicular (LISBOA, 2010). A rugosidade do terreno pode favorecer a formação de turbulências e redemoinhos que podem suspender à atmosfera - em baixa altura - material poluente previamente já depositado sobre o solo.

Ainda que, de fato, a influência meteorológica sobre a dispersão de poluentes atmosféricos seja assunto matéria bastante complexa, pode-se afirmar, em uma primeira aproximação, que temperaturas maiores favorecem as taxas de emissão de poluentes a partir de sua fonte emissora, principalmente por evaporação, aumentando a concentração no ar de certos poluentes atmosféricos, notadamente aqueles originados por combustão e atrito. Em contrapartida, instabilidade na temperatura favorece a dispersão de poluentes, pois contribui para os movimentos de ar que diminuem sua concentração (ÁLVARES JÚNIOR; LACAVA; FERNANDES, 2002). De fato, a movimentação das massas de ar é o fator mais importante na dispersão de poluentes na atmosfera: maiores velocidades do vento contribuem decisivamente para melhorar a qualidade do ar (LISBOA, 2010). Ora, além do regime dos ventos e da temperatura, a umidade relativa do ar também atua sobre a dispersão aérea de poluentes, notadamente afetando a insolação e a concentração de substâncias passíveis de diluição em água. Maior umidade do ar também pode revelar a presença de núcleos de condensação (TORRES; MARTINS, 2005). Outro fator importante na dispersão dos poluentes é a precipitação em forma de chuvas, pois favorece a remoção de material particulado e dos gases que se encontram dissolvidos em água, mediante a chamada deposição úmida (ÁLVARES JÚNIOR, LACAVA, FERNANDES, 2002).

No que diz respeito à poluição sonora, pode-se afirmar que a dispersão de ruídos incômodos e insalubres segue, naturalmente, os padrões e leis físicas de propagação ondulatória. O som se constitui como uma percepção sensorial auditiva ou tátil de movimentos vibratórios que se propagam em meio material a partir de um corpo, produzindo zonas de variada compressão de partículas (ENGEL, 2012). Tal variação manifesta-se na forma de ondas que se propagam em distintas velocidades de acordo com a densidade desse

meio material. Assim, durante a sua propagação, pode-se perceber nas ondas sonoras fenômenos como:

- reflexão - quando as ondas sonoras retornam a energia ou parte da energia incidente sobre um obstáculo ao meio de origem;
- refração - quando as ondas sonoras alteram a velocidade de propagação em decorrência da mudança de características do meio material em que se propagam como, por exemplo, a velocidade do vento;
- difração - quando há uma mudança de direção na propagação do som, revelando seu poder de contornar obstáculos - à difração associam-se fenômenos secundários, como o espalhamento das ondas sonoras ou a formação de sombras acústicas;
- transmissão - que ocorre quando parte da onda sonora atravessa superfícies que separam distintos meios de propagação;
- absorção - que ocorre quando parte da onda sonora é atenuada ou distorcida pelo meio de propagação.

A intensidade sonora diminui proporcionalmente com o quadrado da distância da fonte. Usualmente, os níveis de ruído a partir de uma fonte pontual se reduz em 6 dB(A) para cada duplicação da distância do ponto de medição. Níveis de som para uma fonte linear, como uma rodovia, variam de forma diferente com a distância, porque as ondas de pressão sonora propagam-se ao longo da via, havendo sobreposição de ondas sonoras no ponto de medição, de forma que, em tese, haveria uma redução de 3 dB(A) no nível de som para cada duplicação da distância. No entanto, a evidência experimental tem mostrado que onde o som se propaga a partir de uma rodovia em área rural, a taxa de redução se eleva para 4,5 dB(A) por duplicação da distância (FHWA, 2011). Para grandes distâncias, estudos podem adotar a atenuação da ordem de 24 dB/km (ENGEL, 2012).

Fenômenos como esses devem ser considerados na análise da dispersão do som, especialmente importante na avaliação da poluição sonora e das possíveis medidas mitigatórias. Portanto, a distância percorrida pelas ondas sonoras, a quantidade, tipo e disposição dos obstáculos, variações na temperatura e o efeito do vento devem ser considerados no estudo. Estudos mais criteriosos devem avaliar a propagação de sons em diferentes frequências e considerar alterações na composição do meio atmosférico - como a umidade relativa do ar e a presença de poluentes (CDURP, 2011).

À dispersão do som também se associam os fenômenos meteorológicos, cujas características também devem ser estudadas em suas distintas escalas, especialmente em

mesoescala e em microescala. Condições atmosféricas atuam sobre a propagação e a velocidade do som. A temperatura do ar altera a densidade do meio: quanto menor a temperatura, maior a densidade do ar e mais rápido o som se propaga. A presença de camadas de ar a diferentes temperaturas podem agir sobre o som refletindo as ondas sonoras, favorecendo a sua propagação. Quanto maior for a umidade relativa do ar, maior será a velocidade do som e melhor a sua propagação. A presença de certos poluentes na atmosfera altera a propagação do som: o monóxido e o dióxido de carbono, por exemplo, absorvem a energia sonora.

A cobertura do solo urbano é fator importante, pois o solo tem a propriedade de refletir ou absorver as ondas sonoras - logo, cobertura vegetal, por exemplo, apresenta-se, em relação a pavimentos rígidos, como o asfalto, como fator mitigador da propagação do som.

Em meio urbano os obstáculos mais importantes e numerosos são as paredes ou fachadas das edificações. Os edifícios podem reduzir sobretudo os níveis de ruído transmitidos através de si; a reflexão que exercem sobre as ondas sonoras pode conduzi-las a maiores distâncias, principalmente em vias estreitas com edificações altas que se erguem próximo às calçadas em que sua disposição e altura podem refletir o ruído para as calçadas ou conduzindo-o por maiores distâncias, no chamado “efeito corredor” (op. cit.).

A vegetação arbórea ou arbustiva não apresenta importância como obstáculo a propagação de sons. GERGES (2000) concluiu que uma faixa densa de árvores com 20 m de largura a 10 m de uma fonte emissora de som a 1 quilohertz (kHz) consegue atenuar em apenas 2 dB a pressão sonora. Contudo, apesar da pequena atenuação que a vegetação consegue desempenhar na redução dos níveis de ruído, é interessante destacar que sua presença pode reduzir a percepção subjetiva do ruído, devido ao efeito visual que proporciona (WATTS; CHINN; GODFREY, 1999).

Sons de mais baixa frequência (mais graves) são mais difíceis de serem atenuados do que os sons de maior frequência (sons agudos). Os sons graves podem ser percebidos a maiores distâncias e apresentam melhor desempenho em contornar obstáculos - com melhor capacidade de difração.

Seguramente, a percepção de ruído, bem como de seu incremento ou redução, pode variar de pessoa para pessoa. Pela forma em que são apresentadas as grandezas de pressão sonora, uma diminuição na ordem de 10 dB(A) indica que intensidade original foi reduzida pela metade; na ordem de 20 dB(A), em três quartos. De acordo com a FHWA (2011), estudos apontam que apenas metade das pessoas pode perceber fraca redução nos

níveis de ruído quando há diminuição de 3 dB(A), enquanto que dois terços das pessoas podem apontar significativa redução nos níveis de ruído quando há diminuição de 5 dB(A).

3.4 MITIGAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL URBANA CAUSADA POR RODOVIAS

A mitigação de processos de degradação ambiental associada a rodovias envolve uma série de ações que podem ser tomadas desde o período de projeto quanto durante a construção e operação das rodovias. Ações sobre o tecido urbano lindeiro, relativas ao planejamento do uso e ocupação do solo podem ser bastante eficazes. É importante conhecê-las, uma vez que determinada medida mitigadora sobre determinado agente de risco ambiental pode incrementar a ação deletéria de outro, como, por exemplo, a instalação de obstáculos para redução de velocidade em áreas urbanizadas, a qual pode aumentar a segurança de pedestres e ciclistas em determinado ponto da rodovia, é capaz de aumentar a emissão de poluentes no ar e os níveis de ruído, em razão de alterações de velocidade dos veículos. Portanto, é indispensável a boa articulação de ações entre as esferas de governança, responsáveis por cada uma de tais ações.

A respeito da poluição do ar, é difícil conter a propagação dos gases, poeiras e MP produzidos pelo tráfego rodoviário, de modo que a sua concentração nas áreas vizinhas à estrada não se altere. Ainda que a vegetação tenha capacidade de retenção de MP (COSTA, E., 2011), sua ação sobre os gases emitidos é bem menos eficaz: em áreas dominadas por florestas, ANGOLD (1997) detectou a presença de elementos como estes até o limite de 200 m de rodovias. A dispersão de poluentes atmosféricos depende, naturalmente, de condições locais que possam favorecer-lá ou dificultá-la. O controle eficaz das emissões em suas fontes, ou seja, nos veículos, tem-se consagrado como medida mais adotada pelas esferas de governo, sendo limitado o monitoramento de emissões nas rodovias, mesmo em países desenvolvidos. Atualmente, há tecnologia disponível para se avaliar a emissão de determinados poluentes por veículo em movimento em determinado ponto de uma rodovia, a qual poderá tornar efetivas as ações de controle e fiscalização (GRABAR, 2013). Entretanto, tal tecnologia ainda encontra-se em estágio experimental, sendo mais comum o monitoramento da qualidade do ar com instalação de equipamentos às margens de rodovias, normalmente associados a programas de pesquisa (ELLERMANN et al, 2009). Ações como essas recomenda-se a complementar associação de soluções de projeto rodoviário em que se suavizem curvas e rampas, minimizando fortes acelerações e frenagens, diminuindo a frequência no número de trocas de marcha.

A minimização de variações na velocidade dos veículos também é recomendada para o controle da propagação de ruídos. Ora, as pressões sonoras médias em regiões às margens de vias expressas e rodovias de tráfego intenso podem atingir 85 dB(A), valor bem superior aos 55 dB(A) que a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda como limite em situações de exposição continuada para manutenção da saúde humana (ÁLVARES JÚNIOR, 2010). A redução do ruído originado pelo tráfego nas rodovias pode ser obtida também com atuação sobre a fonte sonora - ruído dos motores, da interação entre o pneu e o pavimento, ruído aerodinâmico - sobre os locais de recepção - como no isolamento de fachadas de edifícios - e no percurso da propagação do ruído - com a edificação de barreiras físicas (PEREIRA, 2010), as quais podem se constituir por elevações do terreno, taludes ou muros (BRASIL, 2005).

Estão disponíveis no mercado da construção civil muros concebidos e projetados com a específica função de controlar a propagação de ruídos, os quais são conhecidos como barreiras acústicas (fig. 9). Nas barreiras acústicas a trajetória do som entre a fonte, situado na rodovia, e o receptor, situado às suas margens, é interrompida. Parte da energia sonora é refletida em direção à fonte, enquanto outra parte é absorvida pela própria barreira. A parte da energia sonora que atinge o receptor consiste na energia que consegue atravessar a barreira – transmitida através da mesma - ou na que é difratada pelo topo da mesma – transmitida em trajetória indireta. Cria-se, assim, a chamada sombra acústica para os sons transmitidos diretamente a partir da fonte (fig. 10). Características dos ruídos transmitidos diretamente ou refletidos dependem das propriedades do material que constitui a barreira, enquanto que, para ruídos difratados, são importantes a localização e a dimensão das barreiras (COSTA, C. et al, 2013).

A NBR 14.313 trata do assunto referente à construção das barreiras acústicas, recomendando resistência ao fogo, às intempéries, resistência estrutural e facilidade de manutenção (ABNT, 1999). Materiais como o concreto, o aço ou a alvenaria, associados ou não a isolantes acústicos - como lã de rocha - e até mesmo materiais mais leves, como o acrílico, podem ser empregados em sua construção.



Figura 9. Barreira acústica em aço e acrílico. Disponível em: http://www.indac.org.br/imagens/barreiras_acusticas04.jpg/. Acesso em: 7 nov 2013.

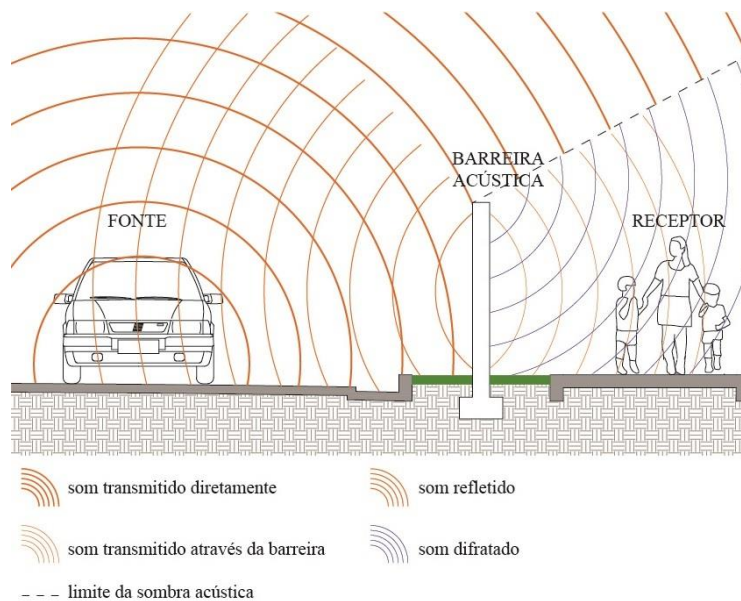


Figura 10. Dispersão do som em locais com barreiras acústicas. Elaborado por REIS.

A eficácia das barreiras acústicas depende de diversos fatores, como o material de sua construção, suas dimensões, geometria e localização. Observa-se que são capazes de diminuir a pressão sonora entre 10 e 15 dB(A) - reduções maiores dependem de barreiras bastante elaboradas e custosas. E, ainda que o seu desempenho na mitigação da propagação de ruídos seja bem superior, por exemplo, ao da vegetação, eventualmente as barreiras acústicas não garantem o conforto sonoro em áreas residenciais lindeiras sem a adoção de medidas complementares (COSTA, C. et al., 2013), como o isolamento das esquadrias das edificações

ou o controle de tráfego. Além disso, o som difratado reduz os seus benefícios à medida que se afasta da rodovia. Na Europa, por exemplo, tem-se recomendado investir em pesquisas por novos materiais para pneus e superfícies de rolamento, uma vez que os benefícios de tais investimentos, aliados aos programas de redução de ruído adotados na indústria automobilística, podem se estender a locais onde a instalação de barreiras acústicas não apresente desempenho satisfatório ou não seja recomendável por interferir na qualidade da paisagem urbana (BOER; SCHROTEN, 2007). Há inúmeros tipos de pavimentos com melhor desempenho acústico em estudo, obtendo mitigação na ordem de até 10 dB(A). Entretanto, o emprego de pavimentos dessa natureza ainda se encontra em fase experimental sob estudos de viabilidade técnico-econômica e de durabilidade (PEREIRA, 2010).

Com relação à propagação de vibrações, a principal medida mitigadora recomendada "é a de se manter a superfície de rolamento em bom estado de conservação ou serventia" (PARANÁ, 2000, p. 96). Outras medidas como controle de velocidade e desvio de tráfego de veículos pesados podem ser associadas, principalmente, em áreas mais sensíveis, como sítios históricos com edifícios que possam ser abalados por tais vibrações.

Sobre a poluição da água advinda das escorrências rodoviárias, pode-se afirmar que obras de controle de efluentes podem ser realizadas, tais como caixas desengordurantes - para separação de óleos e graxas - bacias de decantação e filtros - para contenção de resíduos e metais pesados. Já existem estudos técnicos que apresentam dados que possibilitam a elaboração de projetos que atenuem significativamente os efeitos danosos às águas (MENDES et al., 2011).

Com respeito à segurança, a presença de vias marginais em que se estabelece um controle no tráfego entre a rodovia e as vias urbanas pode ser conveniente, conforme o caso. Quanto ao trânsito de pedestres e ciclistas, considera-se que o risco de sua presença em deslocamentos paralelos à via deve ser criteriosamente estudado. Nas travessias, a construção de passagens em nível constitui um grande desafio, pois sempre deve estar associado à implantação de barreiras que impeçam a travessia fora das mesmas e à implantação de medidas que assegurem vigilância aos usuários.

Pedestres preferem caminhar no mesmo nível, evitando passagens subterrâneas e passarelas, por mais bem projetadas e seguras que sejam. Afinal, tais dispositivos são desvios dos seus trajetos naturais, frequentemente aumentando o tempo de percurso, a distância a percorrer e o dispêndio de energia. Além disso, passagens subterrâneas são potenciais áreas de crimes, o que reduz seu uso (BRASIL, 2010, p. 98).

O risco de evasão de veículos desgovernados pode ser evitado com a construção de gradis ou defensas entre as vias marginais e as pistas de rolamento da rodovia (PARANÁ, 2000).

Muros, gradis, taludes e barreiras de vegetação exigem, para sua implantação, de uma faixa de terreno livre ao longo da rodovia. Estabelecer uma distância entre a rodovia e o tecido urbano adjacente através desta faixa é recomendável, entretanto, as características variáveis são tantas que é difícil afirmar qual seria esta distância, mediante critérios técnicos. Dentre as variáveis temos o volume e as características do tráfego na rodovia, as características dos obstáculos e barreiras a serem instalados, o padrão de ocupação e de uso do solo urbano que deverá ser protegido, o clima da região - temperatura, regime de chuvas, direção e intensidade dos ventos.

Apesar disso, o DNIT tem recomendado a presença de uma área *non-aedificandi*, com pelo menos 50 m de largura, em nível ou sob a forma de taludes, eventualmente dotada de cobertura vegetal arbustiva e arbórea, a qual deverá contribuir para certa mitigação dos danos ambientais e paisagísticos que uma rodovia pode gerar, além de garantir espaço para a implantação de infraestrutura adequada à administração e gerenciamento do tráfego de pedestres e de veículos nas interseções (BRASIL, 2010). Esse espaço também deve possibilitar que, com o crescimento do tráfego rodoviário em travessias urbanas seja possível a duplicação de pistas, a construção de vias marginais e a construção de interseções com separação de níveis em rodovias previamente implantadas.

No entanto, os espaços disponíveis para tais ações, dentro da faixa de domínio das rodovias, normalmente não são adequados, uma vez que não foram previstos pelos projetistas originais ou encontram-se invadidos por edificações. À insuficiência de espaço alia-se o fato de que a desapropriação dos imóveis é quase sempre inviável (PARANÁ, 2000). A construção de túneis e viadutos, bem como o desvio do tráfego rodoviário para outras vias, como contornos e anéis viários, afastados dos centros urbanos, pode demandar muito tempo e vultosos recursos financeiros. Desta maneira, opta-se por adotar a realização de obras rodoviárias que afetam minimamente o parcelamento do espaço e os parâmetros urbanos originais às suas margens (SILVA JÚNIOR, 2006). Com uma faixa de domínio que varia entre 60 e 40 m de largura, a BR-153, dentro do perímetro urbano de Goiânia, ilustra com propriedade o quadro acima descrito.

3.5 VEGETAÇÃO E QUALIDADE AMBIENTAL

A presença de espécies vegetais em áreas urbanas, especificamente nos

logradouros públicos – ruas, avenidas, praças e parques – é um fenômeno recente na história do urbanismo no Ocidente, em um processo que se inicia no século XVIII, com a construção dos primeiros Passeios Públicos e bulevares em cidades europeias. Com o crescimento das cidades em consequência da Revolução Industrial, a inclusão de áreas verdes dentro dos tecidos urbanos ganha adquire valor inequívoco, presente até os dias de hoje (GOMES; SOARES, 2003).

Atualmente, comprova-se a extensa série de benefícios associada à presença da vegetação em meio urbano, como a regulação de temperatura, de umidade e ação purificadora do ar e do solo, a melhoria da paisagem urbana, suporte à fauna, entre outros (op. cit.).

A ação purificadora da atmosfera promovida pela vegetação faz-se por depuração bacteriana, a fixação de gases tóxicos, a reciclagem de gases mediante mecanismos fotossintéticos e, principalmente, pela fixação de poeiras e material particulado atmosférico (GUZZO, 1999). A fixação de MP faz-se por adsorção em superfície foliar. Assim, a vegetação, especialmente a arbórea, em virtude da grande área foliar e outras características físicas como forma e umidade, atua como “filtro biológico”, removendo da atmosfera grande quantidade de MP e conseqüente melhoria na qualidade do ar em ambientes poluídos (COSTA, E., 2011).

Tal benefício pode indicar a recomendação de plantio de árvores em torno de fontes poluidoras como as rodovias. Entretanto, no que diz respeito ao combate à poluição do ar, o uso da vegetação ainda é discutível, pois pode caracterizar, segundo SPENCER et al. (1988), exposição inadequada de formas de vida e não garantir destinação final adequada ao material adsorvido.

Ainda assim, a presença da vegetação ao longo de rodovias se constitui como importante elemento paisagístico, que pode agregar aspectos benéficos análogos aos que se tem em ambiente urbano, além de servir como obstáculo ao ofuscamento causado por faróis, elementos de referência como marcos identificadores de determinados pontos da rodovia, promover o isolamento da via de trânsito rápido à interferência de tráfego local de pedestres e veículos. Entretanto, a inclusão de vegetação ao longo de rodovias deve ser feita de forma bastante cuidadosa, a fim de não oferecer riscos de colisão, tornar-se obstáculo à visão dos usuários, causar dano a sinalização e sistemas de drenagem ou exercer especial atração sobre aves e pequenos mamíferos (SÃO PAULO, 2005).

Além dessas características, a vegetação pode se prestar perfeitamente como elemento auxiliar no diagnóstico da qualidade do meio ambiente urbano.

Quando as árvores não estiverem se dando bem numa cidade, com certeza as pessoas não estarão melhores. Uma forma humana e sensata de planejamento urbano deveria considerar as árvores como parâmetro de vida das pessoas na cidade (ECKBO, 1977, p. 6).

A contribuição das espécies vegetais ao monitoramento da qualidade ambiental vai além, pode também se prestar ao levantamento quantitativo e qualitativo de poluentes retidos, especialmente no MP adsorvido pelas folhas. O procedimento que utiliza organismos vivos em métodos de detecção de alterações no meio ambiente recebe a denominação de biomonitoramento.

O biomonitoramento apresenta, em relação a outros métodos de detecção de poluentes, baixo custo de instalação e acompanhamento, possibilidade de estudo em áreas extensas por períodos de tempo mais longos, além da viabilidade de qualificação e quantificação de elementos químicos presentes em baixas concentrações (CARNEIRO, 2004).

Entretanto, trabalhos de biomonitoramento enfrentam obstáculos. Não há parâmetros que utilizem dados levantados desta forma que estabeleçam claramente índices que indiquem, objetivamente, níveis de poluição do ar, como os que podem ser obtidos por instrumentos e métodos que atendam às normas, por exemplo, do CONAMA. Pesquisas que trabalham com material coletado tanto em meio natural como urbano enfrentam dificuldade complementar, pois tais ambientes e a exposição das plantas aos agentes poluidores não podem ser controlados. Além das variáveis ambientais concorrem para dificultar a determinação de dados de forma objetiva aspectos relacionados a muitos outros fatores não controlados, como o estado nutricional, a predisposição e a idade dos espécimes vegetais, além do impacto simultâneo de outros poluentes (KLUMPP et al, 2001).

Desta maneira, os dados obtidos por biomonitoramento devem ser comparados com informações dadas por métodos tradicionais de monitoramento ambiental (KLUMPP, 2001), como o Método de Amostrador de Grandes Volumes. Entretanto, outra abordagem dos dados pode ser feita mediante análise comparativa da concentração de determinados poluentes em organismos vivos - denominados, neste caso, de biomonitores - que estejam presentes em quantidades suficientes para os ensaios biológicos e químicos, sejam facilmente identificáveis e estejam distribuídos por diversas áreas (MARKERT, 1993 apud BRAIT, 2008). Assim, os dados podem ser comparados ao longo do tempo e mediante a distribuição espacial dos biomonitores.

Em espécies vegetais, o biomonitoramento tem sido feito, em muitos casos, mediante a análise foliar. A folha é o órgão vegetal que está mais sujeito a ação dos poluentes atmosféricos. Assim, é possível qualificar e quantificar a influência dos poluentes sobre as

plantas, incluindo o acúmulo de poluentes no tecido foliar (SILVA et al, 2000).

O trabalho de COSTA, E. (2011), realizado no Município de Goiânia, demonstra a viabilidade da prática do monitoramento das características físicas e químicas de MP retido em superfície foliar de quatro espécies de árvores – pata-de-vaca (*Bauhinia forficata*), sete-copas (*Terminalia catappa*), oitizeiro (*Licania tomentosa*) e monguba (*Pachira aquatica*). A escolha de tais espécies deveu-se à sua presença na arborização urbana de vias públicas no município, bem como por apresentarem folhas com superfície relativamente maior do que a encontrada em outras espécies. As amostras foram coletadas em diversos pontos da cidade durante as épocas chuvosa e seca, apresentando um abrangente quadro de caracterização do MP retido pelas árvores. O trabalho também apresentou comparação quantitativa entre os materiais adsorvidos pelas folhas de cada espécie, sendo que a espécie que apresentou maior capacidade de adsorção foi o oitizeiro, seguida pela monguba, sete-copas e pata-de-vaca.

A escolha da espécie para a realização de pesquisas e monitoramento é assunto que merece atenção. Espécies como a sete-copas e pata-de-vaca, ainda que presentes na arborização de Goiânia, não são perenifólias, apresentando importante perda de folhas na estação seca. O oitizeiro, ainda que, segundo COSTA, E. (2011), seja a espécie com melhor desempenho na retenção de MP entre as demais estudadas, apresenta penugem felpuda em suas folhas durante os estágios iniciais de seu desenvolvimento, o que pode alterar sua capacidade de adsorção de forma significativa e constituir-se como mais uma variável que dificulte a comparação de dados entre exemplares distintos.

A monguba, portanto, apresenta-se como uma espécie que pode se oferecer a pesquisas dessa natureza. Seu desempenho na adsorção de MP, ainda que inferior ao do oitizeiro pode ser considerado importante.

As concentrações de material adsorvido são tão significativas, do ponto de vista ambiental, que uma simples folha de monguba com área foliar de 105 centímetros quadrados (cm²) foi capaz de adsorver 178,2 miligramas (mg) de material particulado (...) é como se uma folha tivesse a capacidade de remover todo o particulado de 2 metros cúbicos (m³) de ar, com concentração máxima [de material particulado admitido pela Resolução CONAMA 03/90], por um dia em um ano. (COSTA, E., 2011, p. 125-126).

Em Goiânia, as mongubas foram introduzidas na década de 1960 para substituírem espécies plantadas durante os primeiros anos da história da nova capital do Estado. Seu plantio tornou-se sistemático no período: em levantamento realizado em 2006 por 70 bairros de Goiânia, foi possível determinar que as mongubas compõem cerca de 20% das árvores plantadas (GOIÂNIA, 2007b).

Nativa das Américas Central e do Sul, a monguba - também conhecida como munguba, mamorana, cacau-do-maranhão, entre outras denominações - é uma espécie vegetal da família *Bombacaceae*. Apresenta-se como uma árvore frondosa, com folhas compostas, pecioladas e digitadas, que apresentam de 5 a 9 folíolos de cor verde-escuro (fig. 11). Capaz de atingir 18 m de altura, ainda que raramente ultrapasse os 10 m, a monguba desenvolve-se naturalmente em solos úmidos e brejosos, ainda que possa desenvolver-se bem em solos mais secos (COSTA, E., 2011). Sua floração ocorre entre maio e junho, com frutificação ocorrendo em agosto e setembro.

Em virtude de sua idade, à infestação por insetos broqueadores - especialmente o coleóptero *Euchroma gigantea* - e à queda de seus frutos - os quais podem danificar veículos - muitos exemplares têm sido removidos das calçadas nos últimos anos. Espera-se que a constituição de um cenário de diversidade arbórea possa minimizar a incidência de pragas sobre os exemplares restantes (GOIÂNIA, 2007b).



Figura 11. Monguba. Foto: Mauro Guanandi 1 fev. 2010. Disponível em: <http://www.flickrriver.com/photos/mauroguanandi/4322340030/> . Acesso em: 3 maio 2013.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ELEIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A eleição da área destinada ao monitoramento dos dados foi feita através da análise da tipologia urbana ao longo da BR-153, dentre diversas tipologias encontradas, de forma que fosse possível posterior análise das relações entre o ambiente urbano, a rodovia e os impactos relacionados ao seu uso. Como foi visto a ocupação urbana lindeira à BR-153 desenvolveu-se desde a sua implantação, no final da década de 1950 e o cenário que se constituiu caracteriza-se por uma ocupação heterogênea, no que se refere à configuração do parcelamento urbano, à ocupação do solo urbano, à densidade populacional e à implantação de infraestrutura urbana.

Os critérios adotados para a escolha do local foram a sua representatividade, antiguidade e presença de sinais que indiquem degradação ambiental urbana. Considera-se tecido urbano representativo aquele que apresenta características de uso e ocupação comuns às que vigorem na maior área da macrozona construída de todo o município, enquanto que o critério de antiguidade fez-se importante por revelar relação do tecido urbano com a presença da rodovia por mais tempo dentro de recorte histórico. No que se refere aos sinais de degradação ambiental urbana, observou-se a presença de uso do solo conflitante, como a presença de indústrias e estabelecimentos de comércio e de prestação de serviços que apresentem incomodidade à vizinhança predominante residencial. Outro aspecto considerado foi a presença de sinais que indiquem desvalorização patrimonial, revelada por número de imóveis colocados à venda, especialmente em imóveis residenciais, situados nas proximidades da rodovia.

Definiu-se, assim, como área de estudo, o tecido urbano delimitado pelos bairros Setor Morais e Vila Morais (fig. 12). O Setor Morais possui uma área de 48,43 hectares (ha) e uma população estimada de 2644 pessoas. A Vila Morais, com população estimada de 3420 habitantes, ocupa área de 55,34 ha (GOIÂNIA, 2012)⁶. A área de estudo é delimitada a oeste pela Avenida Laurício Pedro Rasmussen, ao sul pela Avenida Anhanguera, a leste pelo Córrego Palmito e a norte pela faixa de domínio da Rede Ferroviária Federal, ao longo de ferrovia desativada. Nesta área puderam ser observadas as características que satisfaziam os critérios de seleção estabelecidos.

⁶ Dados censitários provenientes do Censo de 2010.

- **Antiguidade:** o parcelamento urbano conhecido originalmente como Vila Morais constituiu-se em 1951 (GONÇALVES, 2002), antes da construção da BR-153, iniciada em 1958. O bairro, a época pouco habitado, foi seccionado longitudinalmente, praticamente pelo meio, pela BR-153, com o alargamento de uma de suas vias – a Avenida C – obtido com a desapropriação parcial de seus lotes lindeiros, em ambos os lados, os quais perderam 10 m de comprimento. Estabelecia-se uma faixa de domínio de 40 m de largura para a rodovia, a qual se encontra, atualmente, quase toda ocupada pelas pistas de rolamento da rodovia e da Avenida C, que foi relegada ao papel de via marginal. O bairro original viria a ser, a partir de 1988, dividido em dois bairros distintos, separados pela rodovia: o Setor Morais, a oeste, e Vila Morais, a leste da rodovia.
- **Representatividade:** a área escolhida possui os parâmetros urbanísticos para a ocupação da BR-153 definidos pelo Plano Diretor dentro do padrão de adensamento básico, correspondente às áreas de baixa densidade, que permite a construção de edificações de até 9,00 m de altura, habitações unifamiliares ou coletivas (fração ideal de 90 m² para cada unidade imobiliária), abrigando quaisquer atividades econômicas (GOIÂNIA, 2006). É uma área em que predomina o uso residencial dos lotes, de acordo com levantamento de uso do solo por imóvel realizado em fevereiro de 2013 (fig. 13). Lotes com uso misto - comercial e residencial - são numerosos. A área de estudo não abriga estabelecimentos hospitalares ou clínicas, mas possui dois estabelecimentos de ensino público: o Colégio Estadual Professor Wilmar Gonçalves da Silva e a Escola Municipal Alice Coutinho - ambos a aproximadamente 150 metros do eixo da rodovia.
- **Degradação urbana ambiental:** mediante levantamento das atividades comerciais, industriais e de prestação de serviço, foi possível relacionar o uso do solo urbano existente com a legislação ambiental vigente no município, especificamente a Lei N° 8617 de 9 de janeiro de 2008, que estabelece que cada atividade econômica estabelece um distinto grau de incomodidade ambiental em sua vizinhança, graduado de forma crescente de 1 a 5 (GOIÂNIA, 2008). Assim, foi possível verificar que diversos lotes mais próximos à rodovia passaram, ao longo dos anos, a abrigar atividades econômicas associadas ao serviço de transportes, como borracharias, oficinas mecânicas e depósitos, às quais podem incrementar ou transmitir à vizinhança ações deletérias sobre o meio ambiente urbano, com a produção de poluição atmosférica, hídrica, sonora e vibrações, atuando sobre a sua dispersão (fig. 14 e 15). Além deste aspecto, destaca-se que a presença da rodovia, com seu elevado volume de tráfego interfere, de forma inequívoca, o tráfego local de pedestres e veículos, tanto ao longo de suas vias marginais como nas vias transversais, estabelecendo um quadro de risco pessoal e

patrimonial. É também notável a quantidade de imóveis colocados à venda, especialmente imóveis residenciais, nas quadras situadas imediatamente às margens da rodovia, em relação aos imóveis colocados à venda em quadras mais afastadas, conforme levantamento realizado em abril de 2013 (fig. 16 e 17).

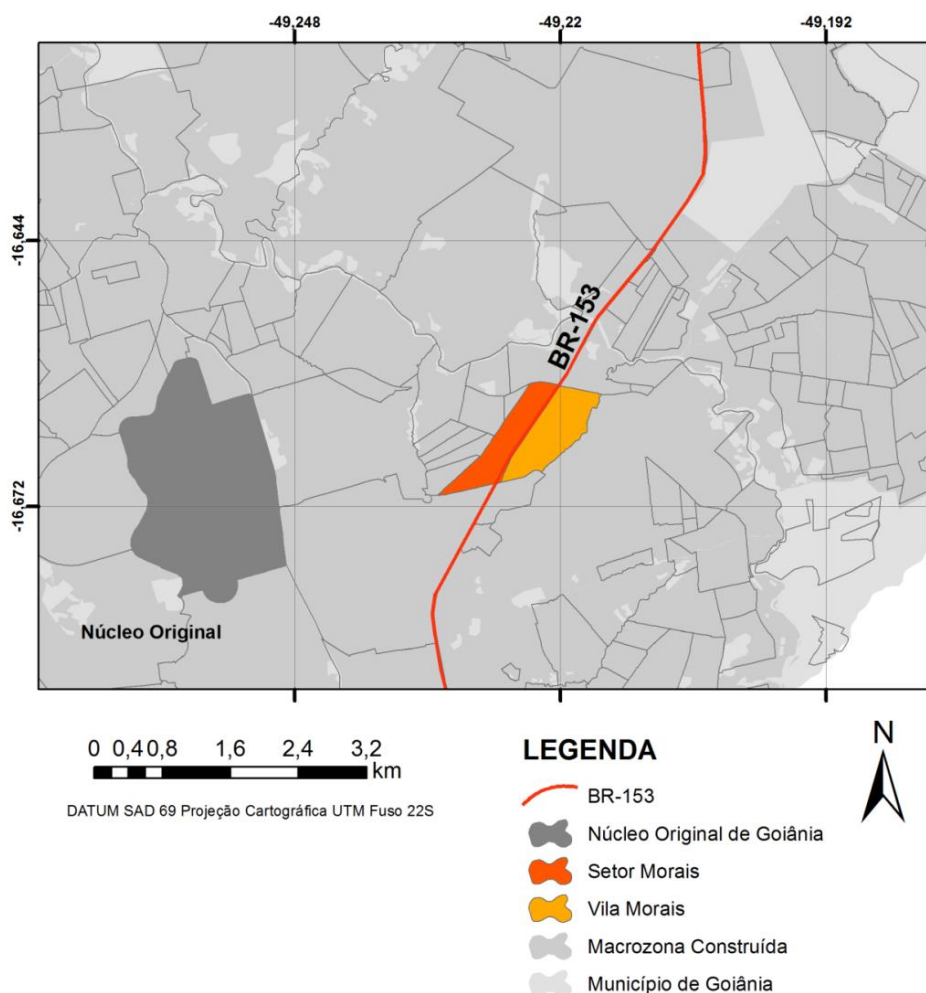


Figura 12. Mapa de localização: Setor Morais e Vila Morais, no Município de Goiânia. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.

Os dados que alimentaram a pesquisa foram coletados tanto em pontos imediatamente às margens da rodovia quanto em pontos afastados da rodovia, de forma a caracterizar o chamado *background*, o que permitiu análise comparativa dos dados e caracterização da dispersão de poluentes. A distância máxima para estas medições foi de 300 m a partir do eixo da rodovia, para cada um dos lados, uma vez que o Plano Diretor de Goiânia estabelece que, para o Anel Viário Metropolitano, futura via de contorno da Região Metropolitana que, conforme já vimos, deverá absorver parte das funções da BR-153, serão instituídas tais faixas lindeiras, para incentivar a instalação de atividades econômicas de

grande porte (GOIÂNIA, 2006), adequadas ao perfil rodoviário da via, incluindo centros de distribuição de mercadorias, depósitos e indústrias. O Setor Morais e a Vila Morais têm, de suas respectivas áreas totais, 89,5% (43,35 ha) e 65,8% (35,12 ha) dentro dessa faixa de 300 m de largura.

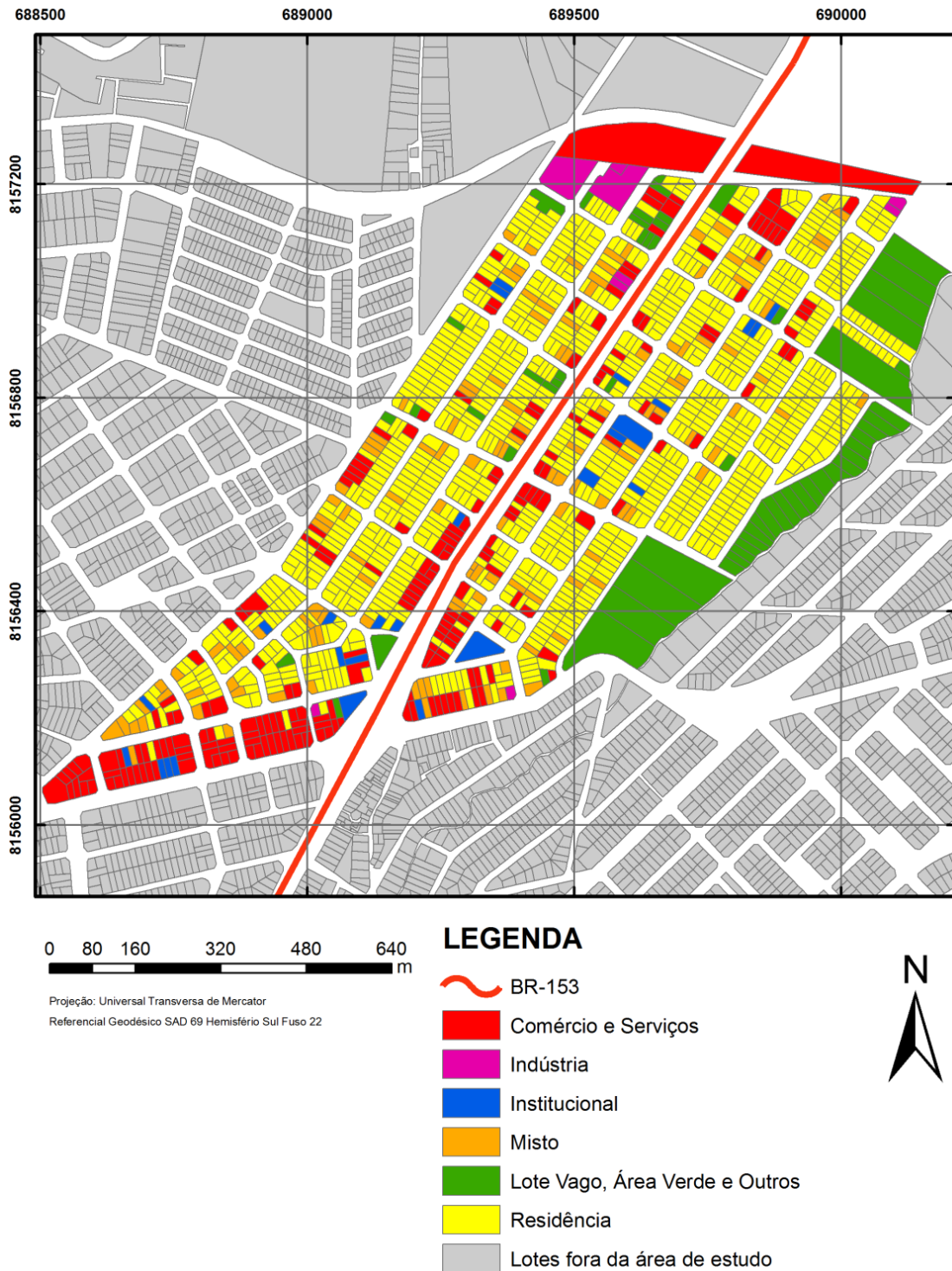


Figura 13. Mapa de uso do solo: Setor Morais e Vila Morais. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.

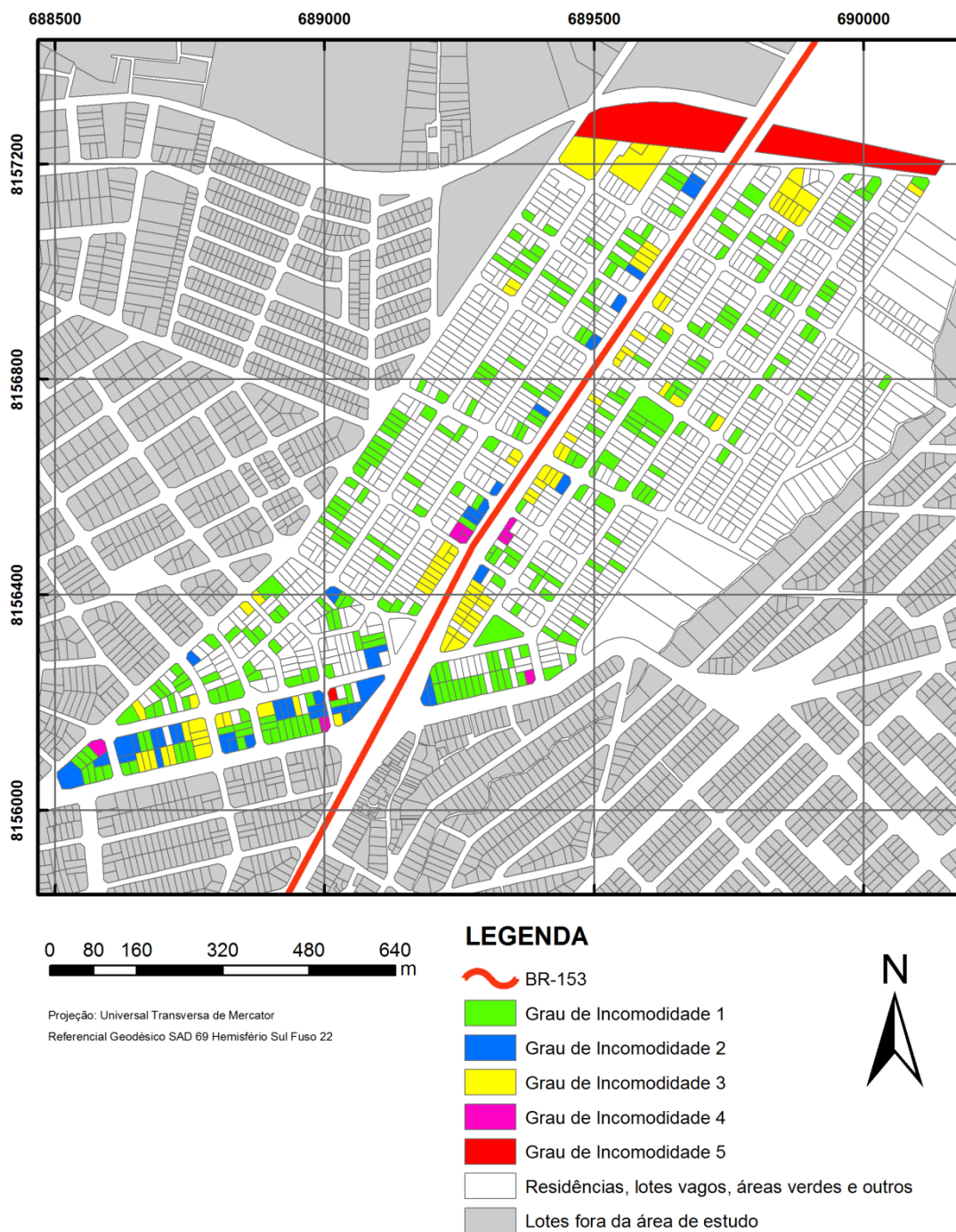


Figura 14. Mapa de grau de incomodidade ambiental de atividades de comércio, indústria e prestação de serviço, de acordo com a Lei Municipal Nº 8617 de 9 jan 2008. Fonte: Mapa Urbano Digital de Goiânia – SIEG 2012. Elaborado por REIS.



Figura 15. Atividade de prestação de serviços associada ao tráfego rodoviário encontrada na área de estudo. Foto: A. REIS, 26 abr 2013. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 16. Mosaico de fachadas de edifícios residenciais às margens da BR-153. Fotos: A. REIS, 31 mar 2012. Fonte: arquivo pessoal.

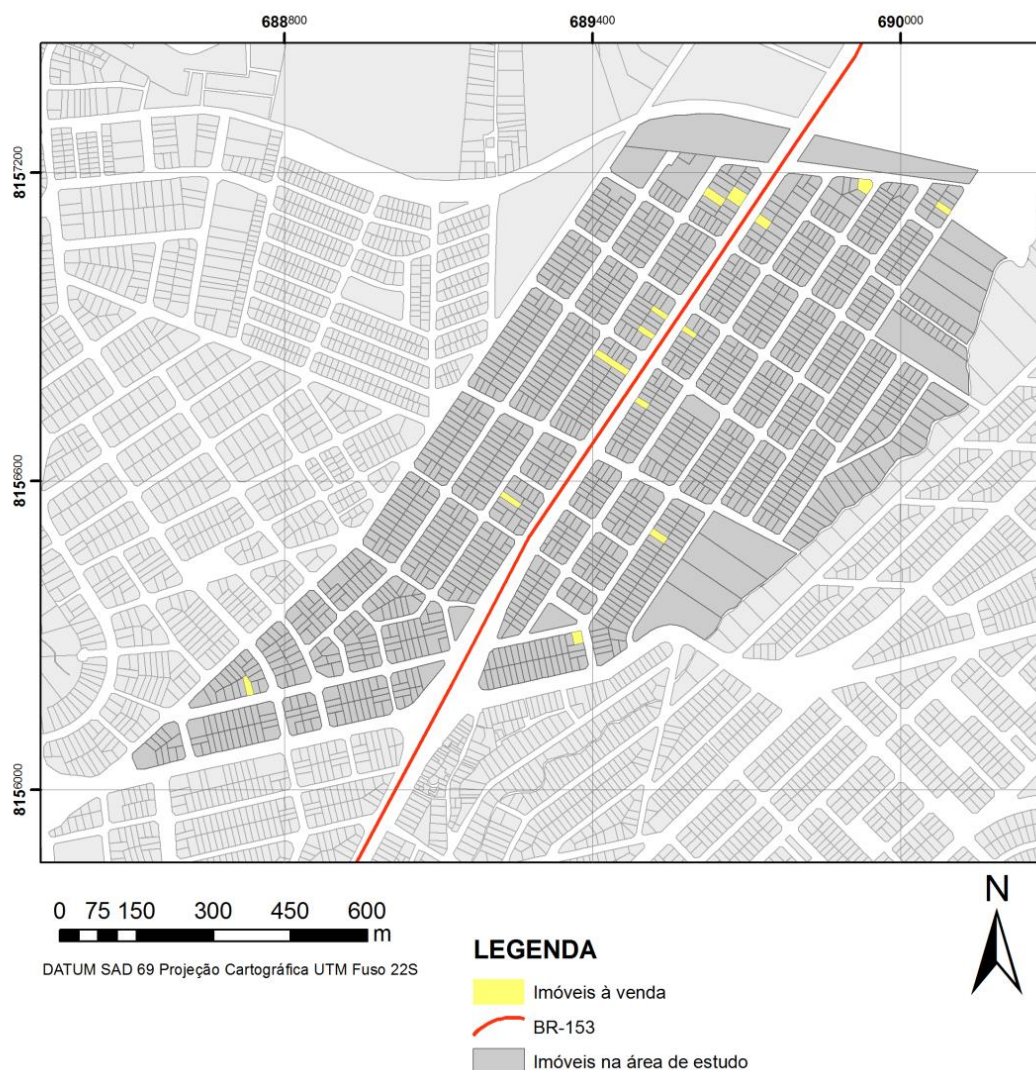


Figura 17. Mapa de localização de imóveis à venda em abr. 2013: Setor Morais e Vila Morais. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.

A área de estudo assenta-se sobre um terreno que apresenta leve declividade na direção SO-NE, no mesmo sentido em que se estende a rodovia, em direção ao Rio Meia Ponte, que corre um pouco mais a norte de seus limites. A partir de seu limite a oeste, o terreno apresenta elevação até as proximidades da faixa de domínio da BR-153; após a rodovia as cotas diminuem, apresentando declividade mais intensa próxima ao Córrego Palmito, seu limite a leste. Grosso modo, pode-se considerar que a BR-153 se posiciona ao longo da crista mais elevada do terreno em grande parte de seu traçado dentro da área de estudo (Fig. 18).

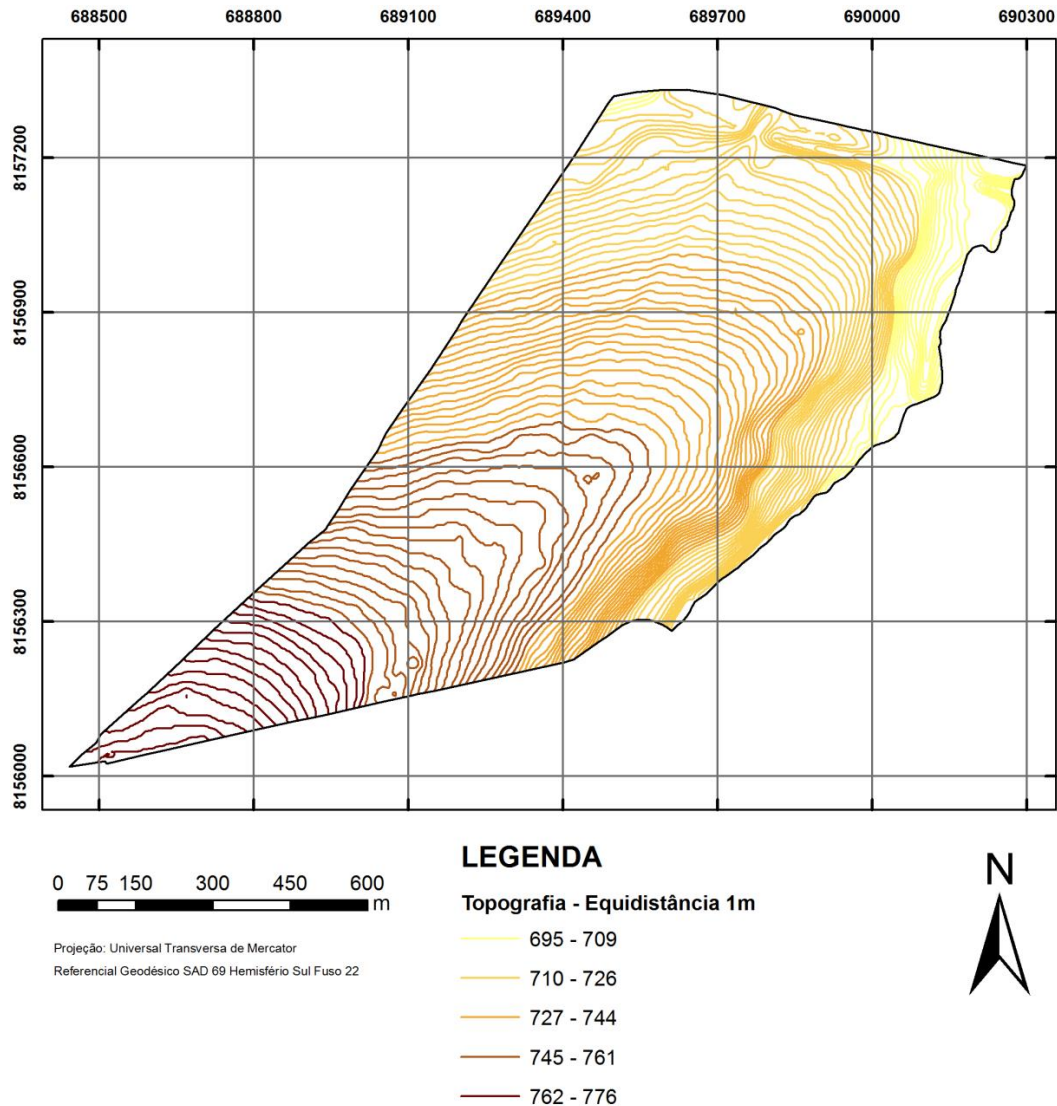


Figura 18. Mapa topográfico da área de estudo. Fonte: Levantamento a Laser do Município de Goiânia - 2011. Elaborado por REIS.

A predominância de edificações de único pavimento se evidencia na representação da rugosidade do tecido urbano que apresenta a área de estudo, conforme a figura 18 na qual se representam as elevações existentes em relação ao perfil natural do terreno, constituídas notadamente pelas edificações e pela cobertura vegetal, consistindo-se em uma representação altimétrica mais detalhada. Como se pode perceber, não raro são encontradas árvores mais altas que as edificações lindeiras. A rugosidade na área de estudo deve ser considerada na análise da dispersão de poluentes, pois se constituem como obstáculos, modificando fluxos, como o vento e a propagação de ondas sonoras.

Constituindo-se como tecido urbano predominantemente residencial e de padrão básico de densidade, a rodovia BR-153 é, sem dúvida, a via de tráfego veicular mais intenso, de onde, conforme se justifica a pesquisa, espera-se que se emane a grande maioria dos

poluentes associados ao tráfego. As demais vias da área de estudo, notadamente as que se localizam próximas aos pontos de coleta de dados, apresentam baixo volume de tráfego, servindo basicamente ao uso local e como via de retorno e manobras para veículos que entram e saem das empresas, incluindo caminhões. Algumas outras vias são servidas por linhas de ônibus urbano convencionais; a Av. Anhanguera, limite sul da área de estudo, é servida por linha de ônibus tronco-alimentada, denominada Eixo Anhanguera, principal linha do transporte público coletivo da cidade (fig. 20). A via que delimita a área a oeste, a Avenida Laurício Pedro Rasmussen, apresenta características de via coletora, com tráfego regular de ônibus e caminhões.

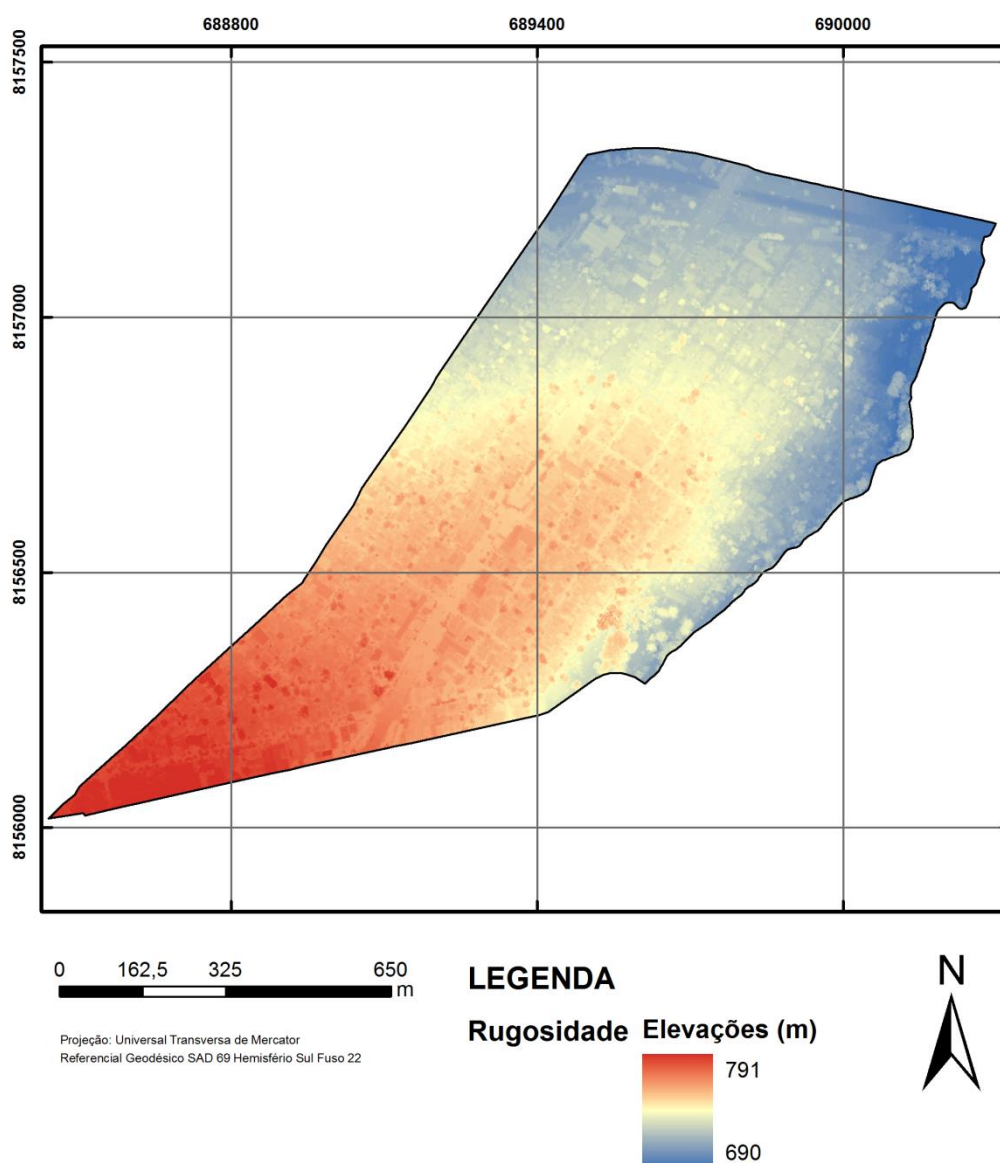


Figura 19. Mapa de rugosidade do tecido urbano e da cobertura vegetal, com a representação da altura em relação ao nível médio do mar, expressa em metros, de edifícios e cobertura vegetal. Fonte: Levantamento a Laser do Município de Goiânia - 2011. Elaborado por REIS.

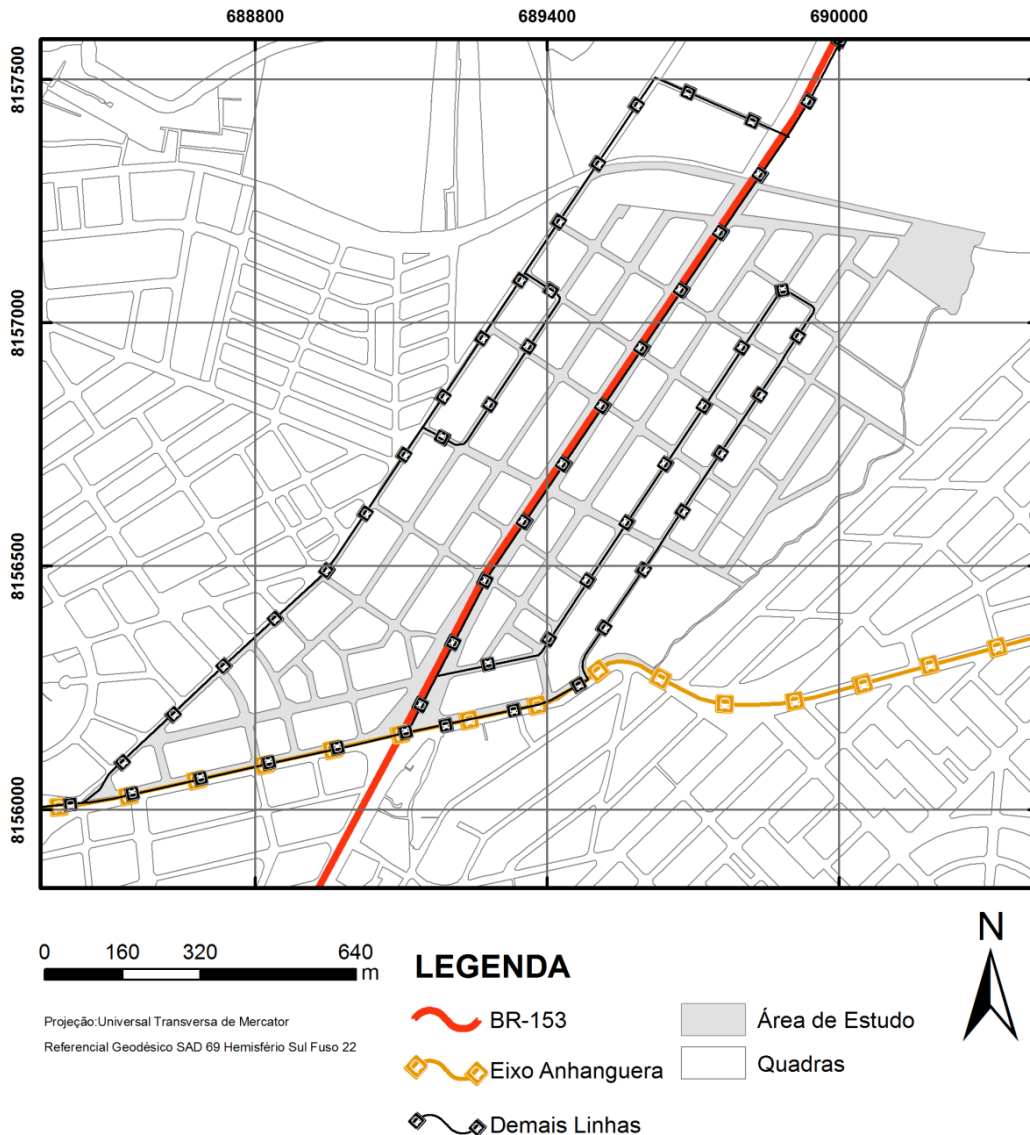


Figura 20. Mapa de linhas do transporte público coletivo por ônibus. Fonte: Mapa Urbano Digital de Goiânia – SIEG 2012. Elaborado por REIS.

4.2 ANÁLISE DO MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO

A análise do MP nas regiões selecionadas objetivou determinar a sua quantidade em relação à superfície das folhas em que se encontra adsorvido e as respectivas concentrações de Zn, Mn, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu e Cd. A emissão de tais elementos, conforme foi visto, é de comprovada associação ao tráfego veicular; além disso, sua detecção e quantificação são serviços disponíveis em equipamentos que podem ser encontrados em boa parte dos laboratórios, tanto privados quanto os que estão ligados à instituições de ensino e pesquisa.

A coleta de folhas foi feita em exemplares de monguba (*Pachira aquatica*), situados na área de estudo. De todos os exemplares encontrados no local, selecionaram-se sete

para a coleta, localizados conforme a figura 15, estabelecidas como mongubas biomonitoras. Como é possível observar, os exemplares encontram-se às margens da rodovia, em ambos os lados, situados dentro da faixa de domínio da BR-153 e a distâncias aproximadas de 100, 200 e 300 m do eixo da rodovia, representadas na figura em forma de faixas. A árvore localizada próximo ao eixo da BR-153 foi denominada E, as árvores situadas a oeste da rodovia foram denominadas O100, O200, O300 e as árvores a leste, L100, L200 e L300 (fig. 21). A seleção das árvores foi feita mediante possibilidade de coleta das folhas sem o auxílio de escadas, com a finalidade de verificação da presença dos poluentes à altura próxima da estatura humana. Não foi possível observar colinearidade entre os exemplares, graças à distribuição das árvores na área de estudo. Todavia, todos os exemplares selecionados localizam-se em meio de quadra, e não ao longo de vias transversais pelas quais o carregamento de MP a partir da rodovia possa se constituir em variável interferente na concentração de poluentes adsorvidos pelas folhas.

Na Vila Morais, buscou-se efetuar a coleta em exemplares situados mais ao norte do bairro, em distância equivalente a que possuem os exemplares situados no Setor Morais em relação à via que limita a área de estudo ao sul - a Avenida Anhanguera, que possui grande movimento de ônibus. Pode-se observar, também, que os exemplares selecionados apresentam-se em locais nos quais a presença de outras árvores varia, aspecto a se considerar na interpretação dos dados obtidos em pesquisa de campo, que pode ser demonstrada mediante ortofoto (fig. 22).

Foram coletadas folhas em manhãs de sábado, entre 8:00 e 10:00 h, mensalmente, entre julho e dezembro de 2013: dias 20 de julho, 17 de agosto, 7 de setembro, 5 de outubro, 9 de novembro e 7 de dezembro. O município de Goiânia encontra-se em uma região com clima do tipo Aw (clima tropical com estação seca de inverno), segundo a classificação de Köppen, a qual apresenta precipitações médias anuais entre 1.200 e 1.800 milímetros (mm), com período chuvoso de novembro a março e o período seco, de junho a agosto, com abril, maio e setembro representando os meses de transição pluviométrica. Assim, a coleta das folhas efetuou-se em período de tempo que abrange os distintos regimes de chuvas.

De cada árvore foram coletadas três folhas, denominadas A, B e C, todas da parte inferior das copas, a altura máxima de 2,4 m do solo. Foram acondicionadas individualmente em caixas plásticas rígidas com tampa, a fim de evitar que o atrito da superfície anterior da folha com a sua embalagem pudesse provocar perda excessiva do MP.

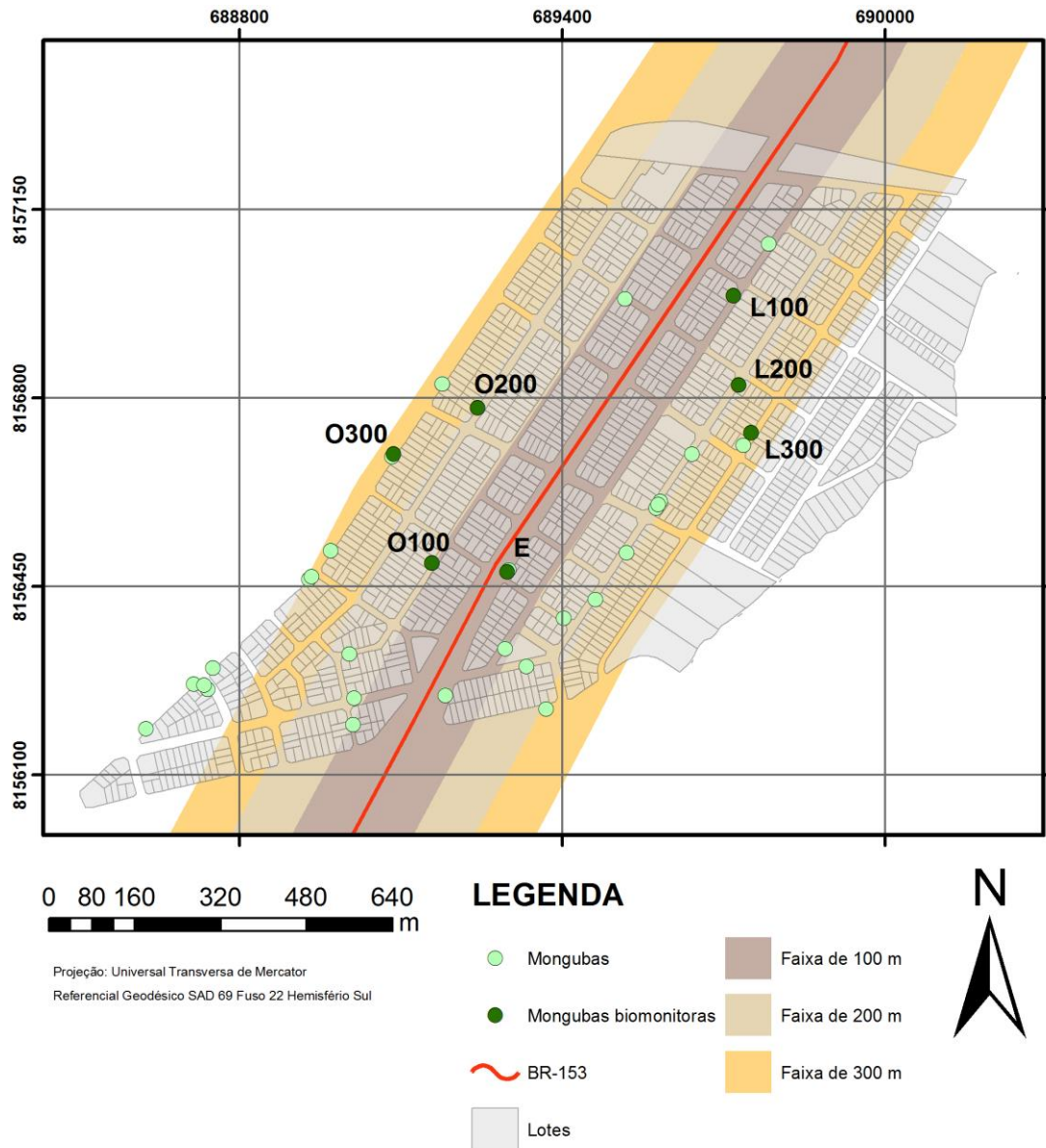


Figura 21. Mapa de localização de mongubas na área de estudo, com destaque às árvores selecionadas para o biomonitoramento. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.

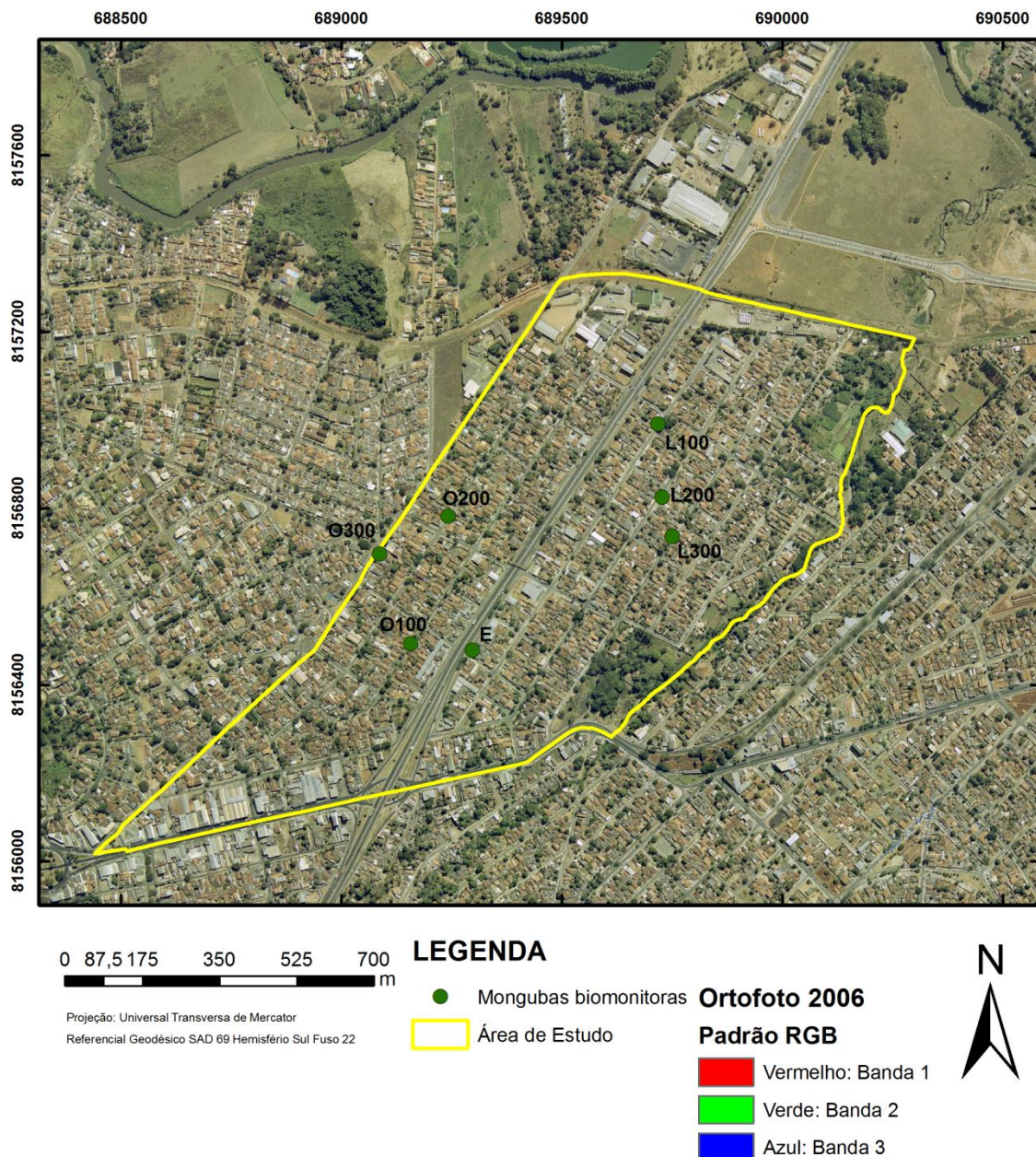


Figura 22. Ortofoto com localização das mongubas na área de estudo. Fonte: Ortofoto 2006 - Prefeitura Municipal de Goiânia. Elaborado por REIS.

As folhas coletadas foram encaminhadas na segunda-feira subsequente ao Laboratório de Análises de Solos e Foliar (LASF), da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia. Em laboratório, era extraído de cada folha o folíolo que, sob exame visual, apresentava maior quantidade de MP em sua superfície superior. Os folíolos eram, então, pesados em balança analítica da Marca KERN, modelo 400, com precisão de 0,1 mg. Um pequeno chumaço de algodão seco, com massa aproximada de 0,01 g, era pesado e, em seguida, utilizado para recolher parte do MP aderido à

sua superfície superior, com auxílio de pinça. O chumaço sujo passava por nova pesagem, determinando-se a massa de MP destinada à análise da concentração de metais. Este chumaço era colocado em tubo de ensaio seco, devidamente rotulado. Com chumaço maior de algodão seco, toda a superfície superior do folíolo era limpa manualmente; então, novamente pesava-se o folíolo, determinando a quantidade total de MP que estava adsorvida. O folíolo tinha a sua imagem digitalizada e, com auxílio de software AutoCAD[®], sua superfície era medida. Assim, obtinha-se a relação entre a massa de MP e a área de deposição, expressa em $\mu\text{g}/\text{mm}^2$. Semelhante técnica foi utilizada recentemente por COSTA, E. (2011) para monitoramento de metais em MP adsorvido em superfície foliar no município de Goiânia. Assim, obtiveram-se os dados para análise quantitativa do MP.

Os pequenos chumaços de algodão com o MP retirado do folíolo, os quais foram colocados nos tubos de ensaio, eram submetidos, então, à digestão nitroperclórica, com o objetivo de eliminar matéria orgânica; o material restante era conduzido à análise por espectrometria de absorção atômica em aparelho da marca PERKIN ELMER, modelo AAnalyst 100, com a finalidade de se obterem dados referentes à concentração de Zn, Mn, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu e Cd, obtendo-se resultados em mg/kg, os quais encontram-se expressos em parte por milhão (ppm) (fig. 23). Desta forma, obtiveram-se os dados para análise qualitativa do MP.



Figura 23. Espectrofotômetro de absorção atômica marca PERKIN ELMER, modelo AAnalyst 100.

Fonte: mediaexapro.com/perkinelmer.

4.3 ANÁLISE DA PRESSÃO SONORA

A análise da pressão sonora foi feita tendo-se por referência os parâmetros estipulados na NBR 10.151 para conforto sonoro. As medições foram realizadas num analisador de ruído - um decibelímetro classe 2 (norma IEC 61672-1) da marca INSTRUTHERM, modelo DEC 490 - em ponderação de frequência A, ponderação de tempo lenta (SLOW) e nível de escala entre 30 e 130 dB, obtendo valor único a 1.000 Hz (fig. 24). O circuito de ponderação na curva A foi adotado devido à semelhança das curvas à audibilidade humana, corrigindo muito as baixas frequências e pouco as altas frequências. Apesar de a ponderação de tempo rápida (FAST) ser mais próxima da resposta ao estímulo que ocorre no ouvido humano, a ponderação lenta associa-se a maioria das leituras relativas à saúde ocupacional (GERGES, 2000). O equipamento era posicionado a 1,2 m do solo e entre 1,0 e 2,0 m de qualquer superfície refletora. Determinaram-se quatro pontos para a coleta de dados: o primeiro situado imediatamente às margens da rodovia, dentro de sua faixa de domínio, afastado aproximadamente 13 m do eixo da BR-153; os demais situados a 50, 150 e 300 m de distância do eixo da rodovia, (fig. 25). Os pontos se distribuíram ao longo de uma rua transversal à rodovia, sem que houvessem barreiras edificadas entre si. O ponto situado a 50 m está nas proximidades de lotes em que funcionam uma oficina mecânica para veículos pesados e um borracharia que também oferece serviços de recapagem de pneus. A 150 m, localizam-se residências, enquanto que a 300 m encontram-se estabelecimentos comerciais e de prestação de serviço, incluindo bares e lanchonetes, às margens da Avenida Laurício Pedro Rasmussen. Com a disponibilidade de apenas um aparelho, as leituras não foram feitas simultaneamente.



Figura 24. Decibelímetro Classe 2 utilizado na pesquisa.

Fonte: <http://magazone.com.br/config/imagens_conteudo/produtos/imagensSGRD/SGRD_28_6_DEC490trip2.jpg>.

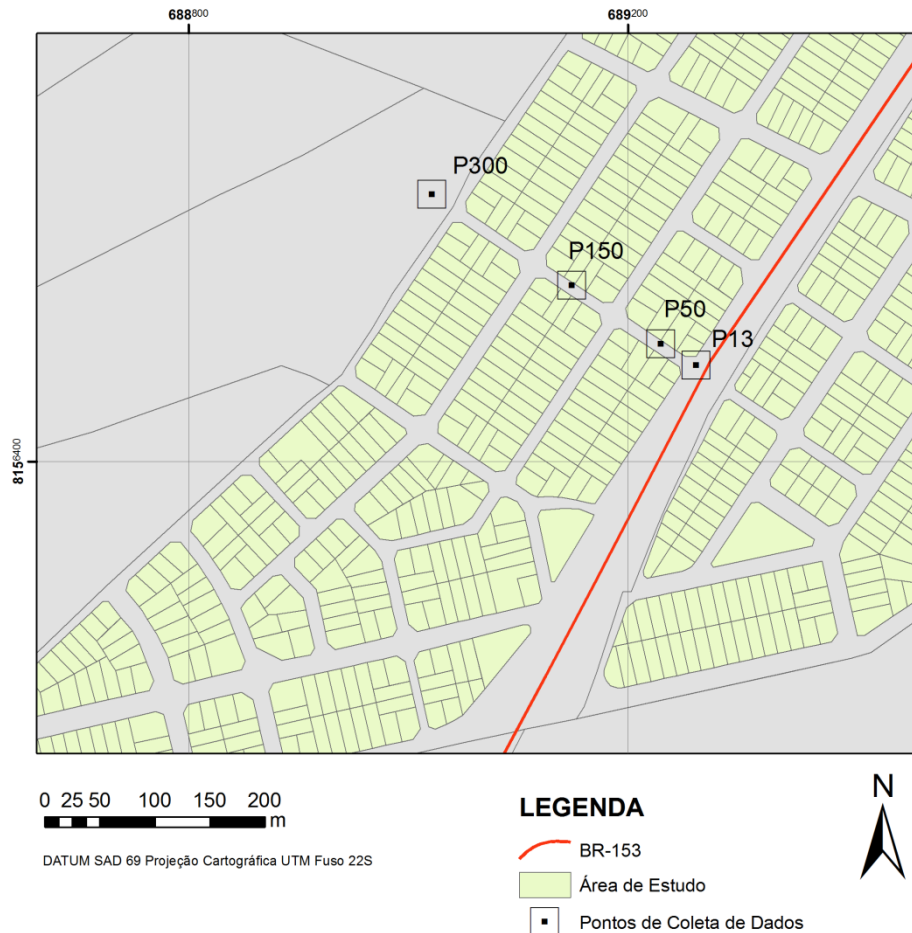


Figura 25. Mapa de localização dos pontos de coleta de dados referentes à pressão sonora. Fonte: Base Cartográfica do Estado de Goiás Escala 1:1.000.000 – SIEG 2012. Elaborado por REIS.

A duração da leitura em cada um dos pontos foi de nove minutos, composta por três períodos de três minutos cada, separados entre si por intervalos de um minuto. O tempo de medição, portanto, foi superior ao tempo mínimo de oito minutos necessário para que se admita acurácia estatística (FHWA, 2011). Em cada dia de coleta de dados, as medições ocorreram entre 12:00 e 13:00 h, entre 18:00 e 19:00 h e entre 22:00 e 23:00 h. Assim, as leituras foram feitas em horários adequados ao hábito da população de ir almoçar em casa e o horário de volta do trabalho no fim do dia (ZANNIN; DINIZ; BARBOSA, 2002), bem como em horário noturno – o qual se estende, de acordo com a NBR 10.151, entre 22:00 e 7:00 h (ABNT, 2000). As leituras foram realizadas em dias úteis (segundas e quartas-feiras - nos dias 5 de agosto, 11 de setembro), domingo (dia 15 de setembro), véspera de feriado prolongado (14 de novembro) e feriado (15 de novembro). As coletas foram feitas em horários sem chuva. Os resultados das medições apresentados pelo aparelho são expressos em valores máximos e

mínimos de pressão sonora em cada intervalo de leitura, bem como o seu nível de pressão sonora equivalente no período (L_{Aeq}), sendo:

(Equação 4.3)

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{Li}{10}}$$

onde:

Li é o nível de pressão sonora, em decibéis ponderados na curva A – dB(A) - lido a cada segundo, durante o tempo de medição;

n é o número total das leituras feitas pelo aparelho durante o tempo de medição.

Os níveis de pressão sonora equivalente foram, então, confrontados o nível de critério de avaliação de conforto acústico (NCA), expresso na Tabela 1. Para os pontos de coleta de dados foram estabelecidos NCA distintos, em função de características do uso do solo, a saber:

- Área predominantemente industrial para P13, para verificar a conformidade dos níveis de pressão sonora ao uso do solo proposto para as margens das vias expressas, conforme o Plano Diretor do Município de Goiânia;
- Área mista, com vocação comercial, para P50 e P300, verificando a conformidade da pressão sonora ao uso do solo existente nos locais;
- Área estritamente residencial, para P150, em virtude das características do uso do solo, onde a predominância do número de residências é muito grande, e a presença de estabelecimentos comerciais e de prestação de serviço se faz, na maioria dos casos, em lotes de uso misto. A presença de uma escola de ensino fundamental do outro lado da rodovia, mas na distância correspondente também justifica a adoção desse padrão de NCA em P150.

Durante todo o processo de coleta de folhas e de medições de pressão sonora avaliaram-se alguns parâmetros meteorológicos, tais como a temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos - parâmetros que, conforme vimos, podem ter influência na dispersão de poluentes. Tais dados - relativos à avaliação meteorológica em microescala - devem complementar as informações obtidas em estação meteorológica, com a finalidade de subsidiar a interpretação do fenômeno da dispersão de poluentes, como, por exemplo, o MP, especialmente sensível à rugosidade do tecido urbano e da presença da vegetação. Assim, aproveitaram-se as visitas à área de estudo para compor um quadro mais

fiel de suas condições meteorológicas, no impedimento que houve de se instalarem estações nos pontos de coleta.

Os dados referentes a temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos em campo foram obtidos com o uso de multímetro digital da marca INSTRUTEMP, modelo MS6300. A estação meteorológica que forneceu os dados foi a Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Goiânia, do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), a aproximadamente três km de distância. Tal estação foi a única fonte de dados referentes à pluviosidade.

A figura 26 ilustra o fluxo das ações realizadas no presente trabalho.

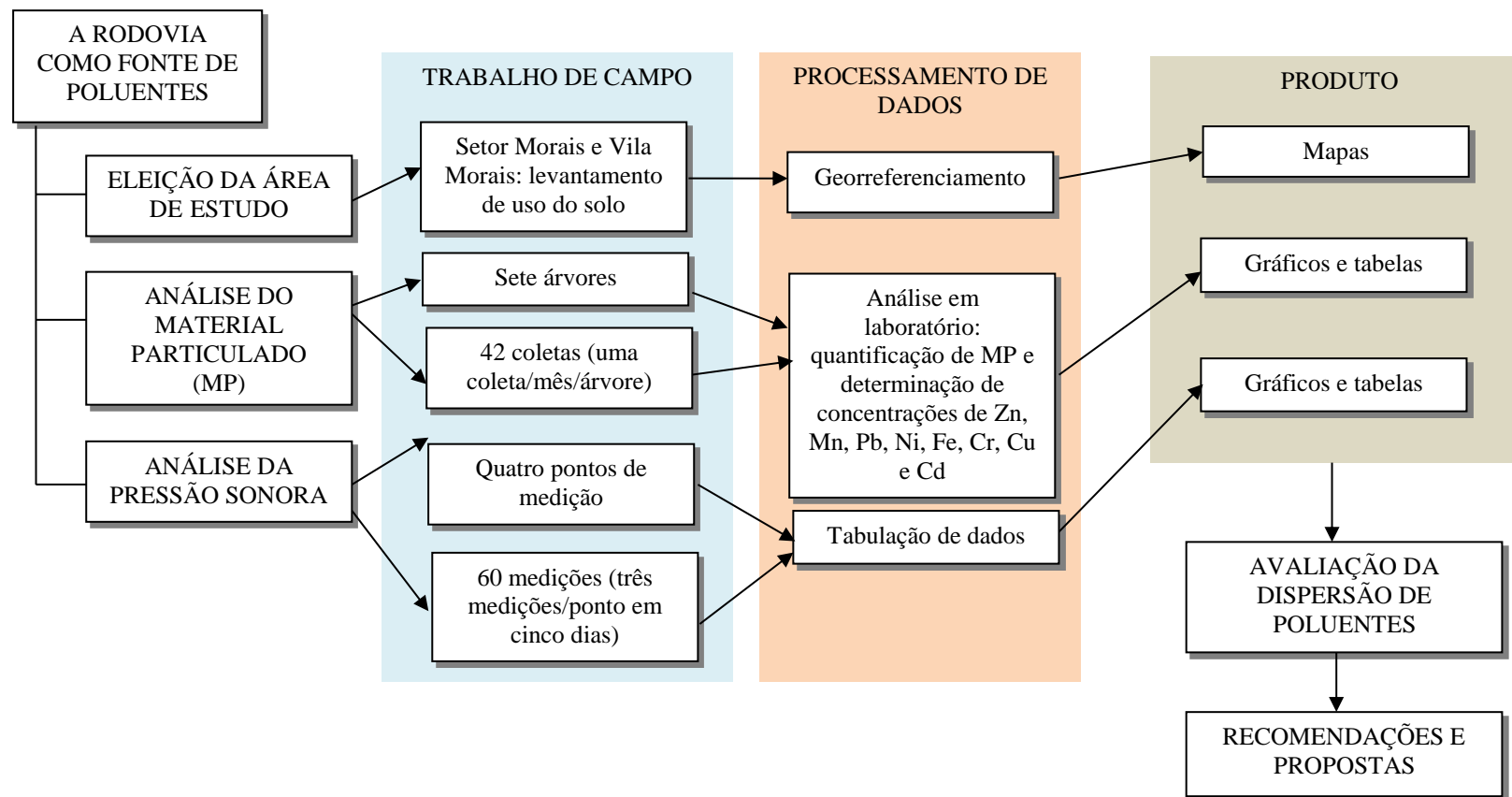


Figura 26. Diagrama das ações relativas a material e métodos adotados no trabalho. Elaborado por REIS.

4.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento dos dados referentes à massa de material particulado e às concentrações dos metais estudadas foi feito com a submissão dos resultados do trabalho de campo a um tratamento estatístico, pois, conforme foi visto, a presença de um grande número de fatores não controlados dificulta a interpretação dos dados obtidos em biomonitoramento.

Para cada árvore foram feitas três coletas, uma por mês, totalizando 21 resultados. Em função da distância do eixo da rodovia, a leste e a oeste, apresentam-se, de forma similar, 21 resultados a cada mês. Para comparação dos resultados entre si os dados foram submetidos aos testes de *Kruskal-Wallis* e *Mann-Whitney* (HOLLANDE; WOLFE, 1973); quando o resultado destes testes indicaram diferenças entre as árvores, foi feito o teste de comparações múltiplas (SIEGEL; CASTELLAN, 1988) para identificar qual árvore apresentou dados diferentes das demais. Em ambos os testes o nível de significância adotado foi de 10%.

Os resultados encontram-se exibidos em tabelas e gráficos do tipo *box-plot*, nos quais, quando apresentam mais de três valores, representam a mediana, os valores máximo e mínimo e o desvio interquartil, em que o nível superior é estabelecido pelo terceiro quartil e o nível inferior é estabelecido pelo primeiro quartil e entre os quais estão ordenados 50% dos valores.

No que diz respeito à pressão sonora, o delineamento dos dados foi feito em dois níveis: determinação dos níveis de pressão sonora instantânea (L_i) e equivalente em cada período de três minutos de medição (L_{Aeq}), realizados, como vimos, pelo próprio decibelímetro. Para comparação dos dados entre si, estabeleceu-se um valor médio aritmético para cada conjunto de três medições feitas em cada ponto, com o objetivo de se avaliar sua conformidade com o nível de critério de avaliação de conforto acústico (NCA). Este valor - L_{AeqM} - é o que foi inserido como resultado das leituras em algumas das tabelas e gráficos utilizados como base para as discussões. A utilização de média aritmética para relacionar diferentes leituras de L_{Aeq} encontra suporte em instrução técnica da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (SÃO PAULO, 1992). Os resultados encontram-se exibidos na forma de tabelas e gráficos de dispersão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DADOS METEOROLÓGICOS

Antes de apresentar e discutir os resultados relativos aos poluentes eleitos para serem pesquisados no presente trabalho, faz-se necessário apresentar os dados meteorológicos coletados. A observação de suas características é indispensável para entender os fenômenos relacionados à dispersão de material particulado atmosférico e dos ruídos, associados, em uma primeira observação, ao tráfego na BR-153.

Os dados meteorológicos dividem-se em três grupos de acordo com a natureza dos dados, os locais de sua coleta e dos períodos de tempo a que se relacionam. O primeiro grupo apresenta dados referentes à pluviosidade entre os meses de julho e dezembro de 2013, obtidos da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de Goiânia, do INMET; o segundo grupo apresenta os dados obtidos durante a coleta das folhas; o terceiro grupo é composto dos dados coletados nas ocasiões em que se mediram os índices de pressão sonora. Um quarto grupo é composto da combinação de dados obtidos durante a coleta de folhas e leituras de pressão sonora. Dentre todos os dados obtidos, apresentam-se nesta parte do trabalho aqueles que contribuíram para a interpretação e análise dos fenômenos relacionados à dispersão dos poluentes estudados.

O regime pluviométrico do período é apresentado na fig. 27, com os índices referentes à pluviosidade a cada dia. A distância entre a estação meteorológica e a área de estudo é de aproximadamente dois quilômetros, significando que o regime pluviométrico possa ser distinto, tanto na frequência quanto na intensidade das chuvas. Assim, os dados abaixo devem ser interpretados como indicativos do regime pluviométrico em escala sinótica - expressando características do clima da região.

O gráfico ilustra a natureza do regime de chuvas na região, com inverno seco, primavera e verão chuvosos. A indicação diária de chuva permite concluir que não houve registro de chuva antes da primeira e da segunda coleta de folhas, dias 20 de julho - na realidade, o último registro foi no dia 3 de junho. Não há registro de nenhuma outra até o dia da segunda coleta, em 17 de agosto. Antes da coleta de 7 de setembro registrou-se uma precipitação de 2 mm em 18 de agosto, enquanto que antes da coleta do dia 5 de outubro registraram-se precipitações de 21 mm em 1º de outubro, 8 mm em 3 de outubro e 3 mm em 4 de outubro, dentre outras em dias anteriores. Registraram-se chuvas de 11 mm em 5 de novembro e de 30 mm em 6 de novembro, às vésperas da coleta do dia 9 de novembro. Antecederam a coleta de 7 de dezembro chuvas em 4 de dezembro (11 mm) e 6 de dezembro

(34 mm). Naturalmente não é a ocorrência de determinada precipitação, com determinada intensidade, que deverá ter influência decisiva sobre a quantidade do MP adsorvido pelas folhas. O fenômeno de adsorção é complexo e o número de fatores não-controlados, conforme vimos, é muito grande, como a idade de folha, seu tamanho, posição na copa e posição em relação às outras folhas, sendo difícil, por exemplo, determinar por quanto tempo uma folha mantém o MP sobre a sua superfície. Uma determinada chuva, mesmo que intensa, pode não lavar o MP em certa folha. A leitura pluviométrica da área de estudo incide sobre a presença do MP na atmosfera, sendo a avaliação da massa adsorvida na superfície foliar um meio para se estudar tal presença, e não um fim *per se*.

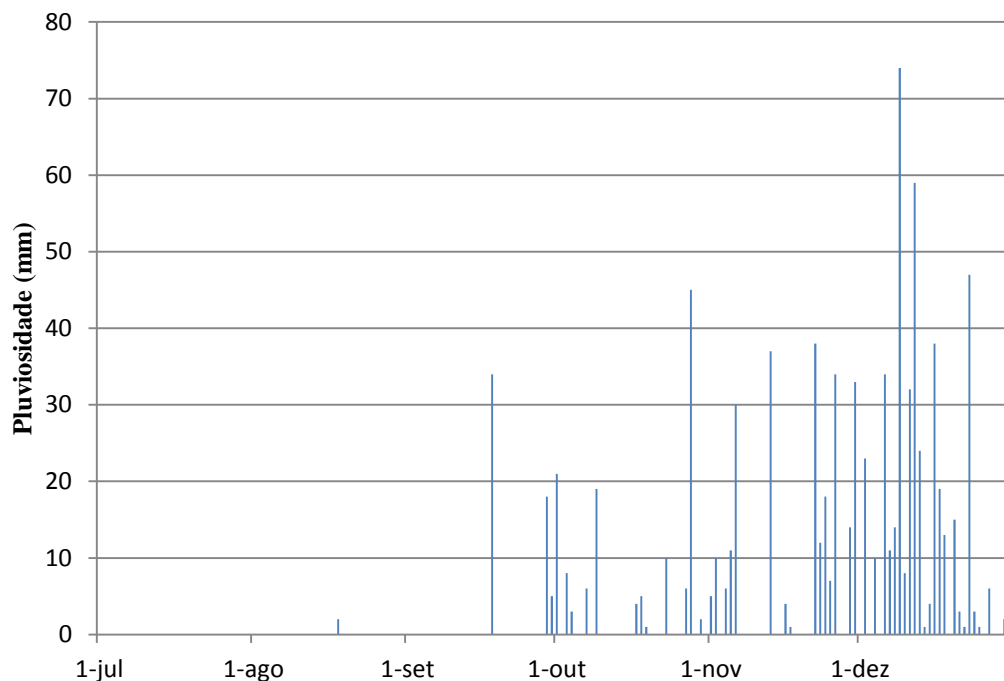


Figura 27. Pluviosidade no Município de Goiânia entre 1 jul e 31 dez. Fonte: Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática do INMET. Elaborado por REIS.

Do segundo grupo de dados, coletados durante as medições dos níveis de pressão sonora, serão apresentadas, para cada ponto de coleta, a maior temperatura registrada durante o dia e a temperatura registrada durante a noite, bem como a maior velocidade do vento registrada durante o dia e a que foi registrada à noite (tab. 2). Como vimos, alterações na temperatura e na velocidade do ar podem influenciar na propagação do som. Como é de particular interesse da NBR 10.151 estabelecer distintos NCA para os períodos diurno e noturno, a apresentação dos dados desta forma foi a mais significativa.

Tabela 2. Temperaturas e velocidade do vento observadas nos pontos de coleta de dados de pressão sonora.

Ponto	Dia	TEMPERATURA		VELOCIDADE	
		MÁXIMA OBSERVADA DURANTE O DIA (°C)	TEMPERATURA OBSERVADA À NOITE (°C)	DO VENTO MÁXIMA OBSERVADA DURANTE O DIA (m/s)	VELOCIDADE DO VENTO OBSERVADA À NOITE (m/s)
P13	5 ago	31,6	25,8	3,5	0,3
	11 set	31,2	27,9	3,2	0,4
	15 set	34,6	27,9	3,2	0,7
	14 nov	32,1	28,2	5,8	1,4
	15 nov	30,4	28,2	3,6	1,4
P50	5 ago	33,4	25,6	1,7	0,1
	11 set	33,0	27,3	1,6	0,0
	15 set	34,4	27,3	1,6	0,4
	14 nov	33,2	27,5	2,8	0,0
	15 nov	31,5	27,5	2,5	0,0
P150	5 ago	34,8	25,7	1,6	0,1
	11 set	35,4	27,1	1,2	0,0
	15 set	34,4	27,1	0,0	0,0
	14 nov	36,1	26,9	1,7	0,0
	15 nov	34,4	26,9	1,7	0,0
P300	5 ago	36,4	25,1	0,0	0,2
	11 set	33,2	25,8	3,9	0,0
	15 set	33,6	25,8	0,6	0,0
	14 nov	37,2	26,6	2,2	0,0
	15 nov	31,8	26,6	1,8	0,0

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

O terceiro grupo de dados apresenta dados relativos à velocidade dos ventos nos pontos de coleta de folhas. A tabela 3 mostra preponderância de ventos mais rápidos na faixa

de domínio da rodovia - em E - e em O100; também mostra melhor distribuição os ventos ao longo do período de estudo em L200. O período de seca apresentou registros mais numerosos de movimentação do ar em relação ao período chuvoso. A preponderância dos ventos em E, que se manifesta de forma discreta, evidencia-se ao se considerarem os dados da tabela 2, demonstrando que o período vespertino apresenta ventos mais intensos, sendo que, à noite, os ventos mais intensos se apresentaram no período chuvoso.

Tabela 3. Velocidade do vento nos pontos de coleta de folhas (m/s).

Árvore	20 jul	17 ago	7 set	5 out	9 nov	7 dez
O300	0,4	0,1	0,2	0,5	0,0	0,0
O200	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,6
O100	0,4	0,2	2,0	0,0	0,0	0,0
E	0,0	1,0	0,6	1,2	0,6	0,0
L100	0,0	0,5	0,9	0,0	0,0	0,0
L200	0,1	0,0	0,7	0,3	0,0	0,2
L300	0,4	0,1	1,2	0,0	0,0	0,0

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

O quarto grupo de dados expressa o comportamento da umidade relativa do ar, apresentando-se na seguinte forma: leituras máxima e mínima registradas em cada leitura de pressão sonora e durante a coleta de folhas (fig. 28). Observou-se que a umidade relativa do ar na área de estudo apresentou comportamento semelhante ao expresso nos registros da estação meteorológica, no que se refere à variação sazonal, sendo que os índices superiores de 17 de agosto e 7 de setembro em relação aos de 11 e 15 de setembro encontram correspondência com seus dados. Estes dados, associados aos de pluviosidade, apontam claramente que as três

primeiras coletas de folhas foram feitas em estação seca, enquanto as três seguintes foram feitas já em estação chuvosa. As medições locais não apresentam predominância de níveis de umidade relativa do ar maiores ou menores em determinado ponto de coleta, nem durante o período de seca quanto no período chuvoso.

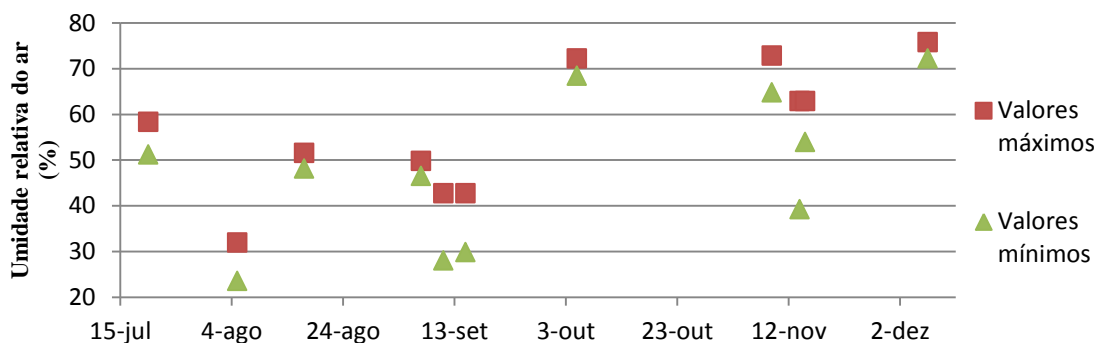


Figura 28. Umidade relativa do ar durante o período de coleta de dados na área de estudo. Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

5.2 MATERIAL PARTICULADO ATMOSFÉRICO

Conforme foi visto, os dados referentes ao MP obtidos em pesquisa de campo e análise laboratorial foram submetidos à análise quantitativa - avaliando a presença do MP em superfície foliar nas diferentes árvores da área de estudo, cujas folhas foram coletadas em datas distintas ao longo do segundo semestre de 2013 – e à análise qualitativa - avaliando as concentrações de Zn, Mn, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu e Cd encontradas no MP.

5.2.1 Análise quantitativa

A variação quantitativa do MP adsorvido na superfície dos folíolos selecionados apresenta-se na tabela 4, na qual a quantidade do material se expressa na relação entre a sua massa e a superfície de cada um dos três folíolos selecionados em cada uma das árvores, em $\mu\text{g}/\text{mm}^2$. Os dados também podem ser expressos na forma de gráficos (figuras 29 a 31), que apresentam a variação da quantidade de MP encontrada nas árvores em julho, agosto e setembro, meses nos quais os índices de pluviosidade foram mais baixos. As figuras seguintes (32 a 34) apresentam variação da quantidade de MP encontrada em outubro, novembro e dezembro, meses em que os níveis de pluviosidade foram mais altos. As barras verticais referentes a cada árvore apresentam a quantidade de MP em cada folíolo, sendo o menor valor encontrado indicado por sua borda inferior, o maior valor por sua borda superior e o valor intermediário indicado pela linha horizontal dentro da barra.

As distintas quantidades de MP adsorvido podem ser analisadas, inicialmente, a partir de sua distribuição ao longo do período de estudo: se foram observadas variações significativas a cada coleta mensal, especialmente entre os meses que apresentaram distintos regimes de chuva. Assim, é possível verificar se há influência do regime pluviométrico sobre a quantidade de MP adsorvida nas folhas, indicando que o biomonitoramento pode ser considerada uma ferramenta eficaz que confirmou a retirada de partículas em suspensão do meio atmosférico sob ação das chuvas, conforme indica a revisão da Literatura, em que se utilizam outros métodos.

Tabela 4. Massa de material particulado adsorvido em superfície foliar ($\mu\text{g}/\text{mm}^2$).

Árvore	Dia de coleta					
	20 jul	17 ago	7 set	5 out	9 nov	7 dez
O300	7,66	8,71	6,06	4,33	1,60	0,35
	2,01	4,86	6,39	2,24	0,48	1,73
	4,51	5,60	2,63	1,80	1,24	1,33
O200	1,56	5,04	5,22	1,47	1,47	1,10
	2,99	5,40	3,17	0,89	3,53	0,97
	3,79	1,79	3,12	2,56	1,57	1,15
0100	1,25	3,96	5,78	0,89	5,37	0,67
	0,00	3,93	2,74	0,97	1,58	0,62
	1,63	1,50	4,68	4,49	0,90	0,35
E	2,77	1,37	10,8	1,19	1,43	2,66
	3,92	4,04	2,83	1,15	1,07	0,97
	2,51	5,93	5,39	1,92	2,36	1,55
L100	2,52	1,94	3,88	1,79	0,45	2,68
	3,62	0,22	4,70	0,84	1,21	0,57
	1,27	19,1	2,10	1,16	1,14	0,59
L200	1,44	4,73	3,08	0,89	1,14	0,69
	2,00	1,62	1,49	1,50	0,30	0,40
	1,44	2,25	2,18	2,26	0,88	0,80
L300	1,35	5,71	4,58	6,30	1,27	2,32
	0,14	4,16	4,20	1,71	0,26	0,42
	2,56	4,96	2,31	1,56	1,12	0,34

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

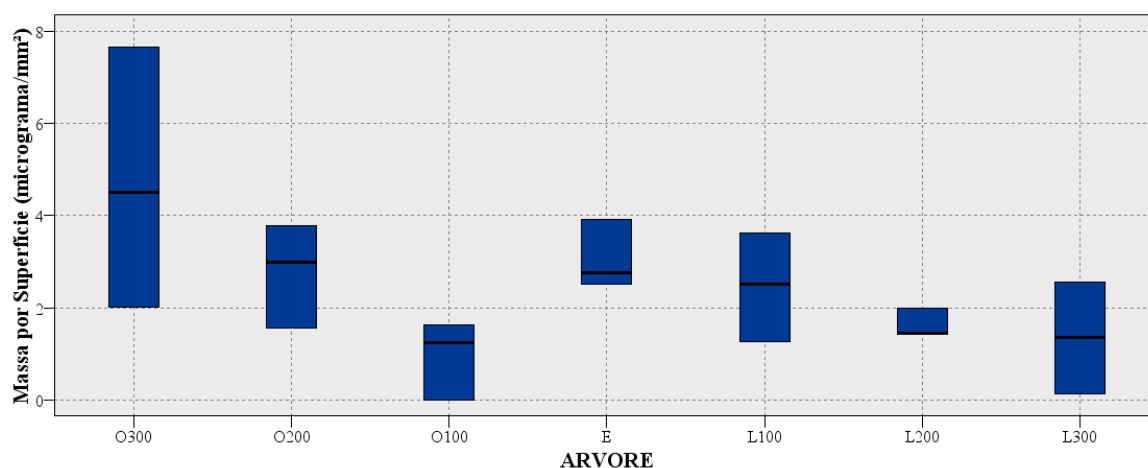


Figura 29. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 20 jul 2013.
Fonte: pesquisa de campo.

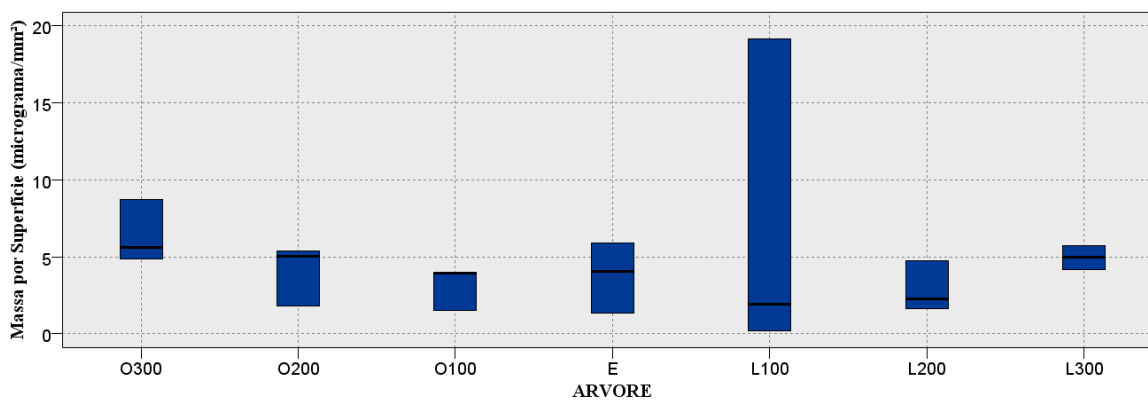


Figura 30. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 17 ago 2013.
Fonte: pesquisa de campo.

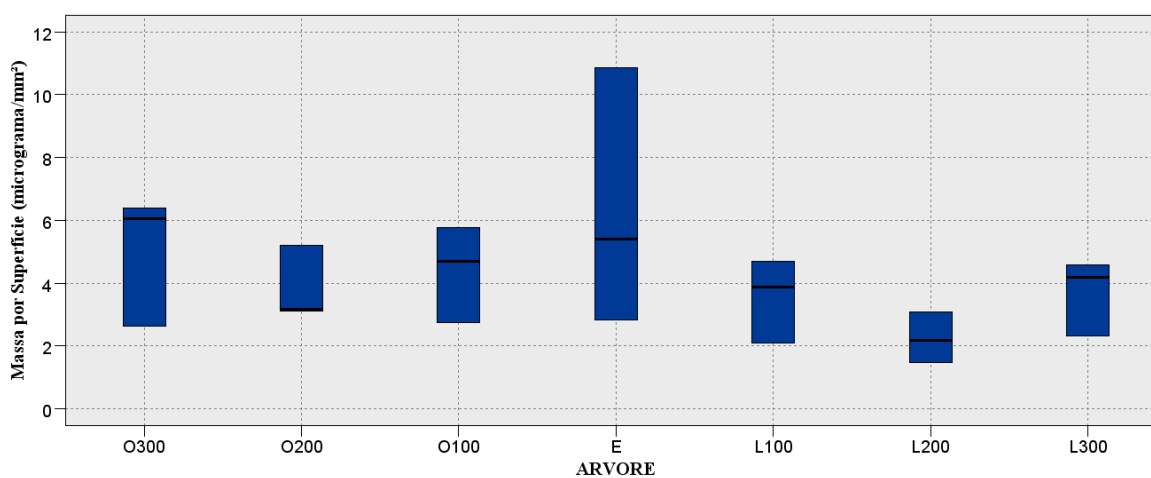


Figura 31. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 7 set 2013. Fonte: pesquisa de campo.

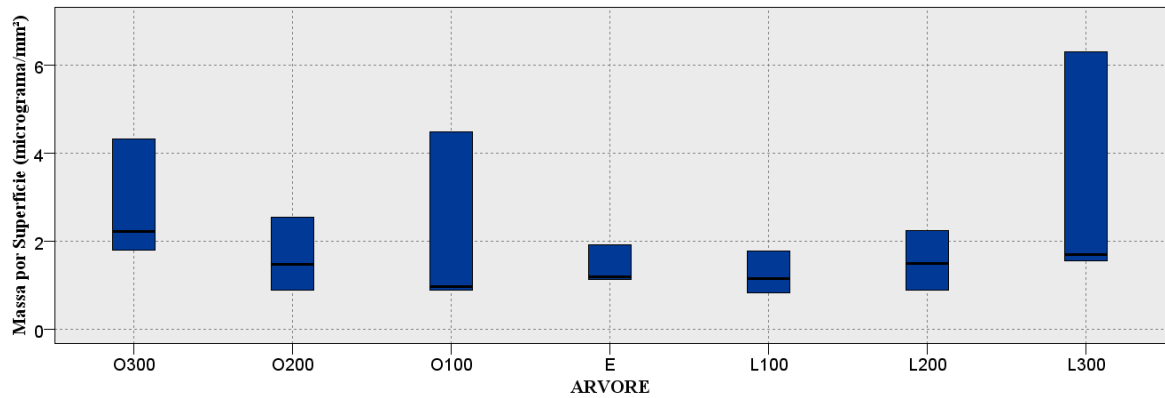


Figura 32. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 5 out 2013. Fonte: pesquisa de campo.

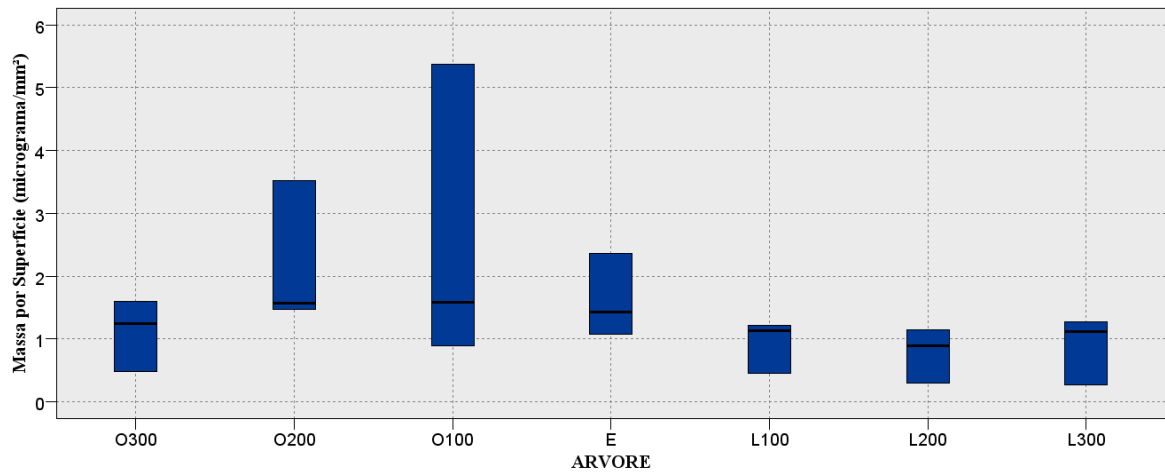


Figura 33. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 9 nov 2013. Fonte: pesquisa de campo.

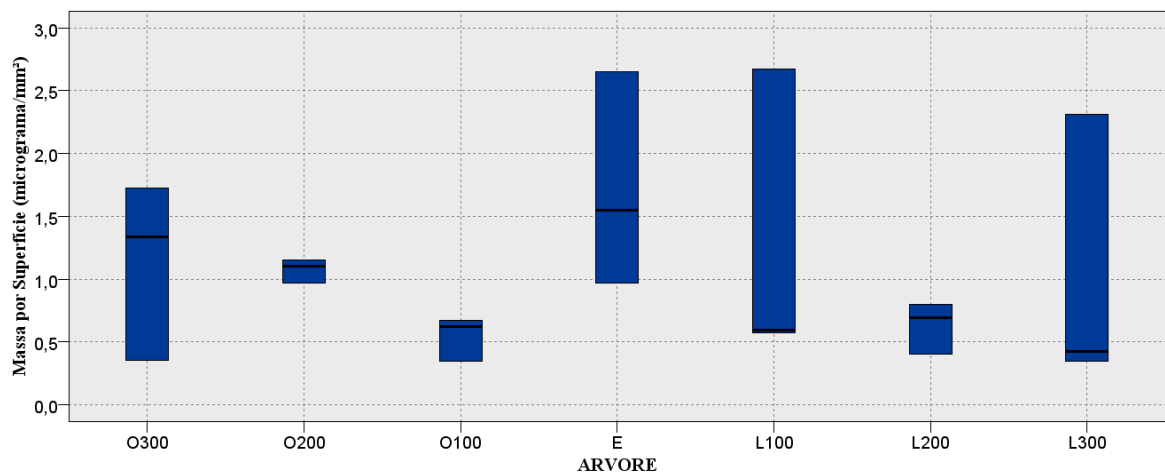


Figura 34. Massa de material particulado por superfície foliar - coleta de 7 dez 2013. Fonte: pesquisa de campo.

Foi possível verificar queda significativa na quantidade do MP já sob as primeiras chuvas, em que os níveis de MP/superfície foliar apresentam, nos gráficos, intervalos bem distintos. Separados em dois grupos - de período chuvoso e de período seco - os dados foram submetidos ao teste de Mann-Whitney (HOLLANDER; WOLFE, 1973), indicando que há diferença significativa entre si - p-valor igual a $1,398 \times 10^{-10}$. Tal distinção encontra-se expressa no gráfico do tipo *box-plot* mostrado na figura 35. Assim, como em COSTA, E., 2011, o biomonitoramento foi ferramenta eficaz para avaliar a ação das chuvas sobre a quantidade de MP em suspensão.

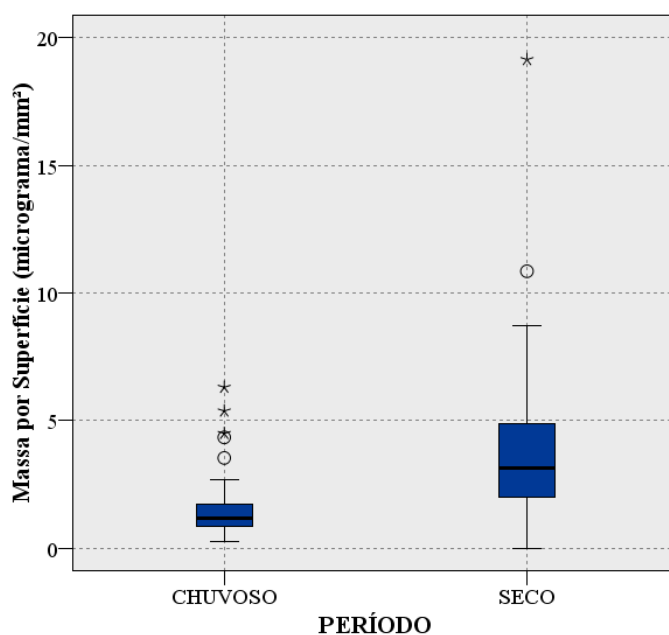


Figura 35. Massa de material particulado por superfície foliar em período chuvoso e período seco. Fonte: pesquisa de campo.

A análise prosseguiu com o estudo da dispersão do MP que, em tese, seria produzido pelo intenso tráfego veicular na BR-153. Para tal foram comparados os dados que cada uma das árvores apresentou em relação às demais, verificando se há influência da distância a partir da rodovia sobre a quantidade de MP adsorvido em superfície foliar. Após o tratamento estatístico dos dados, mediante o teste de *Kruskal-Wallis*, observou-se que foram detectadas diferenças significativas entre as massas de MP adsorvidas em superfície foliar encontradas nos folíolos das árvores da área de estudo apenas no mês de julho, em destaque na tabela 6 (*p*-valor menor que 10%). A observação dos valores encontrados pode indicar que a diferença está associada à árvore O300. Entretanto, o teste de comparações múltiplas não detectou qualquer diferença significativa entre os pares de árvores, incluindo os pares

formados com O300 no mês de julho, não sendo possível afirmar que as amostras procedam de populações com características distintas.

5.2.2 Análise qualitativa

A apresentação da concentração de Zn, Mn, Pb, Ni, Fe, Cr, Cu e Cd, que consta da tabela 5, se limitará à apresentação dos maiores índices detectados, acompanhados do local e do mês em que tais leituras foram obtidas. Em caso de leituras iguais em maiores concentrações, prevaleceu a concentração obtida no folíolo com menor massa/superfície. As menores concentrações não foram apresentadas na tabela abaixo, uma vez que foram comuns os menores resultados iguais a zero, especialmente para Cr, Cu e Cd. Interessante destacar a ausência da árvore E dentre as que apresentaram maiores concentrações de metais em MP.

Tabela 5. Concentração de metais (ppm).

Metal	maior concentração (ppm)	árvore	mês
Fe	639,1	L300	dez
Ni	250,0	L100	ago
Mn	140,0	L300	jul
Cr	96,8	L100	dez
Cu	73,3	L300	nov
Zn	43,8	O100	dez
Pb	31,2	O300	dez
Cd	5,0	O100	ago

Fonte: Pesquisa de campo.

As concentrações de metais encontradas em todos os folíolos, ao serem submetidas ao teste de *Kruskal-Wallis*, apresentaram diferenças significativas em maior número do que o MP nas comparações entre os dados obtidos por árvore em cada mês, exibidas em destaque na tabela 6, demonstrando concentrações distintas entre as árvores de Mn em setembro e dezembro, de Ni em novembro e de Fe em julho e agosto.

Tabela 6. Resultados do teste de *Kruskal-Wallis* por árvore a cada coleta mensal (*p*-valor).

Parâmetro	Dia de coleta					
	20 jul	17 ago	7 set	5 out	9 nov	7 dez
Massa por superfície	<u>0,092</u>	0,420	0,380	0,539	0,209	0,438
Zn	-	0,163	0,298	0,353	0,615	0,255
Mn	0,246	0,208	<u>0,071</u>	0,456	0,593	<u>0,093</u>
Pb	0,615	0,510	0,468	0,423	-	0,677
Ni	0,615	0,162	0,252	0,497	<u>0,094</u>	0,490
Fe	<u>0,095</u>	<u>0,035</u>	0,442	0,709	0,407	0,321
Cr	0,423	0,262	0,181	0,395	-	0,547
Cu	0,615	-	0,353	0,227	0,156	0,217
Cd	-	0,121	-	-	-	-

Fonte: Pesquisa de campo.

Contudo, sob comparação par a par, só se detectou diferença significativa na concentração de Fe em O300 no mês de julho, em relação à concentração encontrada no mesmo período em L300, do lado oposto à rodovia. Assim, conclui-se, portanto, que não há evidências de que os valores sejam diferentes entre as árvores. Reafirma-se a conclusão de que não há diferenças significativas entre as árvores em cada um dos meses do estudo, quadro similar ao que obtivemos com a análise estatística da massa de MP.

No que diz respeito à distribuição dos metais ao longo do período de estudo, comparando-se os dados obtidos mês a mês, o teste de *Kruskal-Wallis* demonstrou haver diferenças significativas (tab. 7), as quais se confirmaram nas comparações feitas par a par (quadro 2).

Tabela 7. Comparação da concentração de metais por mês obtida em teste de *Kruskal-Wallis* (*p*-valor).

Parâmetro	p-valor
Zn	$1,322 \times 10^{-17}$
Mn	$1,308 \times 10^{-10}$
Pb	$2,159 \times 10^{-9}$
Ni	$8,948 \times 10^{-15}$
Fe	$1,315 \times 10^{-11}$
Cr	$2,289 \times 10^{-17}$
Cu	$1,199 \times 10^{-20}$
Cd	$9,380 \times 10^{-3}$

Fonte: Pesquisa de campo.

Par	Zn	Mn	Pb	Ni	Fe	Cr	Cu	Cd
ago-dez	diferentes	diferentes	diferentes	diferentes	diferentes	diferentes	diferentes	iguais
ago-jul	diferentes	diferentes	iguais	diferentes	diferentes	iguais	iguais	iguais
ago-nov	diferentes	diferentes	iguais	iguais	diferentes	iguais	diferentes	iguais
ago-out	iguais	diferentes	iguais	iguais	diferentes	iguais	diferentes	iguais
ago-set	iguais	diferentes	iguais	iguais	diferentes	iguais	iguais	iguais
dez-jul	diferentes	iguais	diferentes	diferentes	iguais	diferentes	diferentes	iguais
dez-nov	diferentes	iguais	diferentes	diferentes	iguais	diferentes	iguais	iguais
dez-out	iguais	iguais	diferentes	iguais	iguais	diferentes	diferentes	iguais
dez-set	diferentes	iguais	iguais	diferentes	iguais	diferentes	diferentes	iguais
jul-nov	iguais	diferentes	iguais	diferentes	iguais	iguais	diferentes	iguais
jul-out	diferentes	iguais	iguais	diferentes	iguais	diferentes	diferentes	iguais
jul-set	diferentes	iguais	iguais	diferentes	iguais	iguais	iguais	iguais
nov-out	diferentes	iguais	iguais	iguais	iguais	diferentes	diferentes	iguais
nov-set	diferentes	iguais	iguais	iguais	iguais	iguais	diferentes	iguais
out-set	iguais	iguais	iguais	iguais	diferentes	iguais	diferentes	iguais

Quadro 2. Comparação par a par das concentrações de metais nos meses da pesquisa. Fonte: Pesquisa de campo.

Para verificar se havia diferenças entre as concentrações dos metais e de massa por superfície por período seco ou chuvoso, os dados foram submetidos ao teste de *Mann-Whitney*, cujos resultados estão na tabela 8. Com exceção do Mn e Pb, os metais apresentam diferenças significativas por período seco ou chuvoso, indicando que as concentrações no período chuvoso são maiores do que no período seco para Zn, Ni e Fe (fig. 36, 37 e 38). É importante ainda destacar o Cd, que, em geral, foi medido como zero, apresentando apenas

três leituras diferentes, sendo estas no mês de agosto - duas na árvore O100 e uma na árvore O200.

Tabela 8. Comparação da concentração de metais por período (chuvoso e seco) obtida em teste de *Mann-Whitney* (*p*-valor).

Parâmetro	<i>p</i> -valor
Zn	0,0014
Mn	0,5981
Pb	0,1777
Ni	$1,970 \times 10^{-10}$
Fe	$6,295 \times 10^{-5}$
Cr	$4,289 \times 10^{-5}$
Cu	$1,842 \times 10^{-21}$
Cd	0,0824

Fonte: Pesquisa de campo.

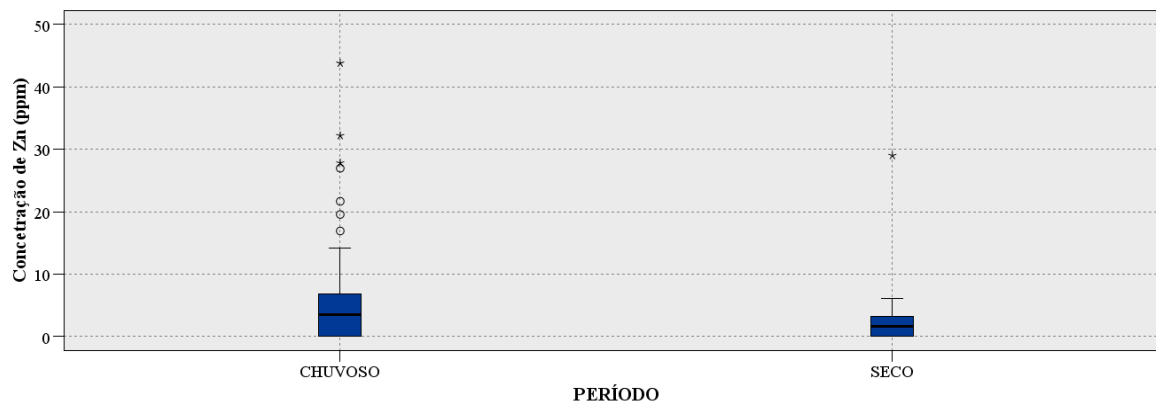


Figura 36. Concentração de Zn em período chuvoso e período seco. Fonte: pesquisa de campo.

5.2.3 Interpretação dos resultados

A análise dos dados encontrados pode conduzir a discussão para o confronto entre duas interpretações possíveis:

- A BR-153 não representa uma fonte de MP que mereça maior destaque na área urbana de Goiânia: a qualidade do ar, no que se refere às concentrações de MP, apresenta características semelhantes tanto em áreas próximas como em áreas distantes da rodovia;
- Pelo menos até a distância de 300 m, não se observou decréscimo nos níveis de MP significativos; o MP encontra condições para se dispersar por áreas maiores do que as imediações da BR-153.

Em favor da primeira interpretação, podemos recorrer a dados obtidos em trabalho anterior, especificamente o de Costa, E. (2011). Suas leituras foram feitas em outros locais da cidade, nos quais, de cada monguba, foram coletadas dez folhas mensalmente, entre junho e dezembro de 2010, buscando determinar a média aritmética dos índices de massa de MP/superfície foliar.

Dentre tais locais, podemos destacar o Jardim América, na região oeste da cidade, especificamente à Rua C-107 esquina com Rua C-126, área de ocupação predominantemente residencial e de baixa densidade, área com uso e ocupação do solo, dentre os locais de sua pesquisa, a que apresenta características mais próximas da que temos em nosso presente estudo. Outro local a destacar é a da Avenida Goiás, na região central da cidade, com intenso tráfego de veículos - especialmente automóveis, ônibus e motocicletas - com muitos estabelecimentos de comércio e prestação de serviços em edificações de múltiplos pavimentos, tanto de uso comercial quanto residencial. Podemos, assim, comparar os dados apresentados por Costa, E. (2011) com os maiores valores obtidos na área de estudo deste presente trabalho, em cada um dos meses (tab. 9).

Tabela 9. Massa de material particulado por superfície foliar ($\mu\text{g}/\text{mm}^2$).

Local	jul	ago	set	out	nov	dez
Jd. América (COSTA, E.)	7,51	11,05	11,34	3,21	2,58	1,25
Av. Goiás (COSTA, E.)	6,91	15,92	15,41	3,31	2,64	2,41
Área de estudo	4,73	7,10	6,36	3,19	2,62	1,72

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo e dados de Costa, E. (2011).

Os dados acima, da forma como foram apresentados, indicam que outras áreas da cidade apresentariam níveis de MP maiores do que os encontrados na área de estudo às margens da BR-153, especialmente nos meses menos chuvosos.

Outro aspecto a ser considerado em favor da primeira interpretação é o que se refere à massa de MP encontrada na área de estudo no mês de julho em O300, cujo valor pode, mediante o resultado do teste de *Kruskal-Wallis*, indicar certa diferença significativa em relação às demais. Tal discrepância, encontrada nos pontos mais afastados da rodovia denota que outras fontes de MP são importantes em O300, possivelmente associadas ao tráfego veicular mais intenso, especialmente de ônibus e caminhões, e a condições de dispersão de poluentes piores do que as encontradas na faixa de domínio da BR-153.

Em favor da segunda interpretação, deve-se admitir que as comparações entre o presente trabalho e o de Costa E. (2011) são grosseiras, pois têm como base distintos material e métodos utilizados, confrontando-se dados de fontes distintas - médias aritméticas e valores absolutos. Os dados não sofreram tratamento estatístico similar e as discrepâncias significativas entre as leituras no Jardim América e na área de estudo, nos meses de seca, também indicam que a veracidade da interpretação não se sustenta sem a realização de estudos complementares. A respeito da quantidade de MP em O300 no mês de julho, deve-se reconhecer a ação deletéria que o tráfego veicular local causa sobre a qualidade do ar. Contudo, não é possível discriminar as fontes do metal encontrado, se são locais ou pertencentes a outras áreas, bem como discriminar o grau de contribuição de cada fonte sobre a quantidade de MP, a ponto de se descartar a importância da BR-153. Além disso, a discrepância em O300 foi detectada em apenas uma das seis coletas realizadas e, sob o teste de comparações múltiplas, não se constituiu como verdadeira.

Ainda concorre a favor da segunda interpretação a presença de condições favoráveis à dispersão de MP na rodovia, especialmente a presença dos ventos, os quais, como vimos, apresentaram-se mais intensos na faixa de domínio, especialmente durante as leituras feitas à tarde à noite. A presença de ventos mais intensos pode ser creditada à faixa de terreno sem barreiras importantes em que se constitui a faixa de domínio da rodovia, ao padrão de ocupação urbana na área de estudo e arredores - que ainda não sofreram o fenômeno de verticalização de edificações - à presença de grandes glebas desprovidas de edificações e de matas, bem como à topografia - a rodovia, como vimos, situa-se em uma crista do terreno. Tais condições acabam por favorecer a distribuição do MP originado pelo tráfego veicular na BR-153 por áreas maiores.

Além de tudo, conforme foi visto, há amplo suporte na Literatura sobre a importância que vias similares à BR-153 têm como fonte de MP. Portanto, ainda que ações de controle de poluição do ar que tenham maior alcance sobre outras áreas da cidade sejam de extrema importância e inadiáveis - como os programas de controle de emissão veicular - não se pode dispensar a rodovia de um tratamento específico na avaliação da qualidade do ar nas suas imediações.

O estudo também possibilitou verificar que os índices pluviométricos exerceram distintas influências sobre as concentrações de metais encontradas no MP adsorvido. Para Mn e Pb, a ação das chuvas não apresentou alteração significativa entre os valores obtidos nos períodos seco e chuvoso, indicando que a quantidade de tais elementos decai proporcionalmente em função da diminuição da quantidade de MP que se observa sob ação das chuvas. estação seca e a chuvosa. Entretanto, as concentrações de Zn, Ni e Fe encontradas em período chuvoso foram maiores do que as de período seco, indicando que a menor quantidade de MP no período estaria com uma quantidade relativamente maior desses metais, fenômeno que merece estudo específico.

5.3 PRESSÃO SONORA

5.3.1 Conformidade com níveis de conforto ambiental

O trabalho com os dados referentes à pressão sonora constituiu-se de forma que fosse possível tanto comparar os dados entre si - tendo como variáveis a data e a hora da coleta, além da posição do ponto de coleta de dados, estabelecidos em função de diferentes distâncias da rodovia - bem como comparar os dados com os NCA que se encontram na NBR 10.151, conforme a Tabela 1.

Para análise da conformidade dos índices de pressão sonora aos NCA, apresentam-se as seguintes tabelas, em que se adicionaram os valores máximo e mínimo de pressão sonora e os L_{AeqM} obtidos em cada ponto de coleta. Os L_{AeqM} das tabelas 10 a 14 expressam a média aritmética dos L_{Aeq} de cada uma das três leituras de aproximadamente três minutos cada realizadas em cada ponto.

Tabela 10. Pressões sonoras verificadas em 5 ago 2013.

Ponto	Período	PRESSÃO SONORA MÁX. [dB(A)]	PRESSÃO SONORA MÍN. [dB(A)]	L_{AeqM} [dB(A)]	NCA [dB(A)]	conformidade (S/N)
P13	12-13 h	90,5	70,6	79,9	70	N
	18-19 h	92,9	74,7	79,6	70	N
	22-23 h	97,6	65,1	77,1	60	N
P50	12-13 h	80,7	56,7	65,0	60	N
	18-19 h	74,5	57,5	62,4	60	N
	22-23 h	76,1	49,3	58,5	55	N
P150	12-13 h	76,5	46,0	51,3	50	N
	18-19 h	76,1	49,4	54,3	50	N
	22-23 h	77,5	44,0	50,4	45	N
P300	12-13 h	73,9	49,0	59,2	60	S
	18-19 h	88,5	52,3	61,9	60	N
	22-23 h	68,7	50,7	55,4	55	N

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

Tabela 11. Pressões sonoras verificadas em 11 set 2013.

Ponto	Período	PRESSÃO	PRESSÃO	L _{AeqM} [dB(A)]	NCA [dB(A)]	conformidade (S/N)
		SONORA MÁX. [dB(A)]	SONORA MÍN. [dB(A)]			
P13	12-13 h	97,6	69,2	79,6	70	N
	18-19 h	92,3	71,8	80,1	70	N
	22-23 h	93,1	63,5	75,9	60	N
P50	12-13 h	77,8	52,5	63,4	60	N
	18-19 h	85,3	59,7	65,1	60	N
	22-23 h	74,7	52,7	61,5	55	N
P150	12-13 h	87,4	46,1	54,5	50	N
	18-19 h	72,2	48,0	54,9	50	N
	22-23 h	65,2	42,5	47,7	45	N
P300	12-13 h	79,0	51,3	59,5	60	S
	18-19 h	83,3	50,4	59,7	60	S
	22-23 h	68,3	50,7	54,9	55	S

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

Tabela 12. Pressões sonoras verificadas em 15 set 2013.

Ponto	Período	PRESSÃO SONORA MÁX. [dB(A)]	PRESSÃO SONORA MÍN. [dB(A)]	L_{AeqM} [dB(A)]	NCA [dB(A)]	conformidade (S/N)
P13	12-13 h	92,9	67,1	77,8	70	N
	18-19 h	114,0	69,4	78,0	70	N
	22-23 h	90,5	60,6	72,0	60	N
P50	12-13 h	80,6	50,7	60,6	60	N
	18-19 h	73,4	53,4	60,5	60	N
	22-23 h	69,8	49,7	57,0	55	N
P150	12-13 h	73,0	43,7	50,5	50	N
	18-19 h	75,7	44,6	53,1	50	N
	22-23 h	57,7	41,8	46,3	45	N
P300	12-13 h	75,4	45,2	55,1	60	S
	18-19 h	72,8	54,6	64,7	60	N
	22-23 h	68,3	49,0	55,4	55	S

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

Tabela 13. Pressões sonoras verificadas em 14 nov 2013.

Ponto	Período	PRESSÃO	PRESSÃO	L _{AeqM} [dB(A)]	NCA [dB(A)]	conformidade (S/N)
		SONORA MÁX. [dB(A)]	SONORA MÍN. [dB(A)]			
P13	12-13 h	93,3	69,8	79,2	70	N
	18-19 h	98,9	72,6	80,3	70	N
	22-23 h	88,7	68,2	77,1	60	N
P50	12-13 h	79,2	54,6	64,6	60	N
	18-19 h	84,8	59,6	64,7	60	N
	22-23 h	73,7	50,9	58,7	55	N
P150	12-13 h	48,0	40,9	54,8	50	N
	18-19 h	83,7	52,0	56,2	50	N
	22-23 h	48,0	40,9	44,9	45	S
P300	12-13 h	80,4	50,6	60,5	60	N
	18-19 h	83,2	52,3	59,7	60	S
	22-23 h	73,0	51,4	57,1	55	N

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

Tabela 14. Pressões sonoras verificadas em 15 nov 2013.

Ponto	Período	PRESSÃO	PRESSÃO	L_{AeqM} [dB(A)]	NCA [dB(A)]	conformidade (S/N)
		SONORA MÁX. [dB(A)]	SONORA MÍN. [dB(A)]			
P13	12-13 h	90,5	74,5	79,5	70	N
	18-19 h	95,6	66,7	77,8	70	N
	22-23 h	91,3	60,7	74,0	60	N
P50	12-13 h	77,3	53,4	61,7	60	N
	18-19 h	76,8	51,2	60,6	60	N
	22-23 h	77,7	49,0	57,3	55	N
P150	12-13 h	80,8	44,3	52,2	50	N
	18-19 h	86,4	47,4	54,6	50	N
	22-23 h	72,2	39,9	48,5	45	N
P300	12-13 h	84,2	49,3	58,3	60	S
	18-19 h	84,2	52,3	59,5	60	S
	22-23 h	80,1	51,5	58,1	55	N

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

Observa-se, ao se analisarem todos os resultados, que há evidente preponderância de resultados não conformes (80%) sobre os conformes (20%). Entretanto, nota-se que as proporções se alteram em função da distância da rodovia, do dia e dos horários de medição.

No ponto mais próximo à rodovia - P13 - diretamente relacionados ao tráfego rodoviário, 100% dos resultados apresentam-se não conformes ao NCA admitido para o uso do solo, mesmo quando se considera que o uso do solo imediatamente às margens da rodovia caracteriza-se como industrial. Convém lembrar, de acordo com o levantamento de uso do solo dos lotes lindeiros, que tal cenário não corresponde ao real; a ocupação industrial adotada associa-se ao uso do solo permitido para áreas lindeiras às vias expressas no Município de Goiânia. Caso seja admitido para os lotes lindeiros o uso misto, predominantemente comercial, com presença de residências - cenário este verificado hoje na área de estudo - a não conformidade entre os índices de pressão sonora e o NCA torna-se ainda maior: sequer os níveis mínimos de pressão sonora que foram registrados seriam adequados.

Os níveis apresentam pouca variação entre os dias de medição. Na véspera de feriado - 14 de novembro - foram registrados os maiores índices de pressão sonora equivalente para o período diurno - 80,3 dB(A) - e para o período noturno - 77,1 dB(A) - possivelmente associados ao incremento no volume de tráfego. A gravidade do problema da poluição sonora no local se evidencia mesmo se fossem consideradas as pressões sonoras mínimas registradas como índices para verificação de conformidade: sequer tais índices são conformes, sendo próximos do NCA apenas no período noturno do domingo - 15 de setembro - e do feriado - 15 de novembro - indicando menor volume de tráfego, com curtos períodos de intermitência.

A não conformidade dos índices encontrados em P50 também se observa em 100% das medições. Entretanto, é interessante notar que nas medições feitas em período noturno dos dias úteis (5 de agosto, 11 de setembro e 14 de novembro), os índices apresentaram queda proporcionalmente maior do que os índices referentes ao P13. Tal fenômeno pôde ser observado também nas medições feitas no domingo (15 de setembro) e no feriado (15 de novembro), a ponto de os índices se posicionarem muito próximos do nível de conformidade. Tal queda indica que há influência da atividade econômica no local, com graus de incomodidade 3 e 4, potencialmente determinante sobre o conforto acústico em residências próximas em uma área urbana de uso misto.

Em P150, apenas um dos 15 níveis equivalentes de pressão sonora apresentou conformidade ao NCA. A exceção ocorreu no período noturno de 14 de novembro, véspera de feriado. Os maiores índices ocorreram no período entre 22:00 e 23:00 h do dia 5 de agosto e no período entre 18:00 e 19:00 h de 14 de novembro, esta associada a pressão sonora máxima registrada acima dos 80 dB(A), mesma data em que, no período noturno, o L_{AeqM} registrado foi o mais baixo neste ponto.

Em P300, 60% dos níveis equivalentes apresentaram conformidade. Se considerarmos apenas os períodos noturnos, a proporção cai, sob clara influência dos bares e lanchonetes instalados no local. Como o NCA considerado para o ponto é de área de uso misto, com uso predominantemente comercial, o desempenho dos índices pode ser avaliado como insatisfatório. Tal desempenho, entretanto, não está diretamente associado diretamente ao tráfego na rodovia, consistindo-se em problema local.

Assim, verifica-se que, em relação aos períodos diurno e noturno, a não conformidade dos índices aferidos ocorre na razão de 60% e 65%, respectivamente. Mesmo considerando que a diferença entre tais percentuais não seja expressiva - e ainda menor, caso desprezemos as leituras em P300, dissociadas do ruído produzido na BR-153 - é notável que

durante o período noturno a poluição sonora do local é problema mais grave (PIMENTEL-SOUZA, 1992). As diferenças entre os registros de pressão sonora máxima e mínima durante a noite, claramente relacionados ao tráfego veicular intermitente - fenômeno que pôde ser observado na BR-153 em dias úteis e, principalmente, no feriado e no domingo - são especialmente preocupantes. Tal preocupação encontra suporte na constatação que, para ruídos intermitentes, o nível do ruído e o número de eventos ruidosos são mais importantes na incidência de distúrbios do sono do que o nível equivalente de pressão sonora (ÖIRSTRÖM, 1995).

Em P150, as leituras apresentaram, como foi visto, quase que total exclusividade de índices não conformes. Entretanto, algumas leituras se apresentaram bem próximas do limiar de conformidade, de maneira que, se considerássemos para o ponto um NCA adequado para áreas de uso misto, predominantemente residencial - 55 dB(A) para o período diurno e 50 dB(A) para o noturno - o cenário apresentaria franca predominância de índices conformes, na proporção de 13/2. Tal fato torna recomendável análise mais acurada das medições feitas no local. Deve-se, inicialmente, observar os níveis de pressão sonora equivalente para cada uma das leituras de três minutos, as quais serviram para a determinação do nível de pressão sonora equivalente de cada ponto com que se tem trabalhado até o momento.

Foram feitas 15 leituras de aproximadamente três minutos cada durante o período noturno, conforme tabela 15. Observe-se que o nível de pressão sonora apresentado a seguir é o de cada período de três minutos (L_{Aeq}):

Tabela 15. Pressões sonoras verificadas em P150, no período noturno.

Dia	Horário	L_{Aeq} [dB(A)]	NCA [dB(A)]	conformidade (S/N)
5 ago	22:25 h-22:28 h	49,5	45	N
	22:30 h- 22:33 h	51,5	45	N
	22:34 h- 22:37 h	50,3	45	N
11 set	22:25 h-22:28 h	46,9	45	N
	22:29 h-22:32 h	48,4	45	N
	22:33 h-22:35 h	47,8	45	N
15 set	22:25 h-22:28 h	46,8	45	N
	22:29 h-22:32 h	45,3	45	N
	22:33 h-22:35 h	46,7	45	N
14 nov	22:26 h-22:29 h	44,2	45	S
	22:30 h-22:33 h	46,6	45	N
	22:34 h-22:37 h	44,0	45	S
15 nov	22:26 h-22:29 h	46,0	45	N
	22:30 h-22:33 h	50,2	45	N
	22:34 h-22:37 h	49,3	45	N

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

O exame dos L_{Aeq} de cada leitura de três minutos apresenta um quadro ainda menos favorável no ponto em relação ao NCA, pois há não conformidade em treze das quinze leituras efetuadas – 84,6% dos resultados.

Todavia, ainda restam por serem observados os picos ruidosos no período. Para isso, devem ser examinadas novamente as leituras dos níveis de pressão sonora a cada segundo. A figura 40 representa os níveis de pressão sonora instantâneos (L_i) da leitura da noite de 5 de agosto, entre 22:30 e 22:33 h - a que apresentou maior L_{Aeq} entre todas as medições em P150 dentre todas as leituras de aproximadamente três minutos - e a leitura no período noturno em P13 - com o L_{Aeq} mais alto, entre 22:04 e 22:07 h, de 76,6 dB(A). Ainda que não houvesse simultaneidade nas leituras, podemos observar características que permitem chegar a certas conclusões.

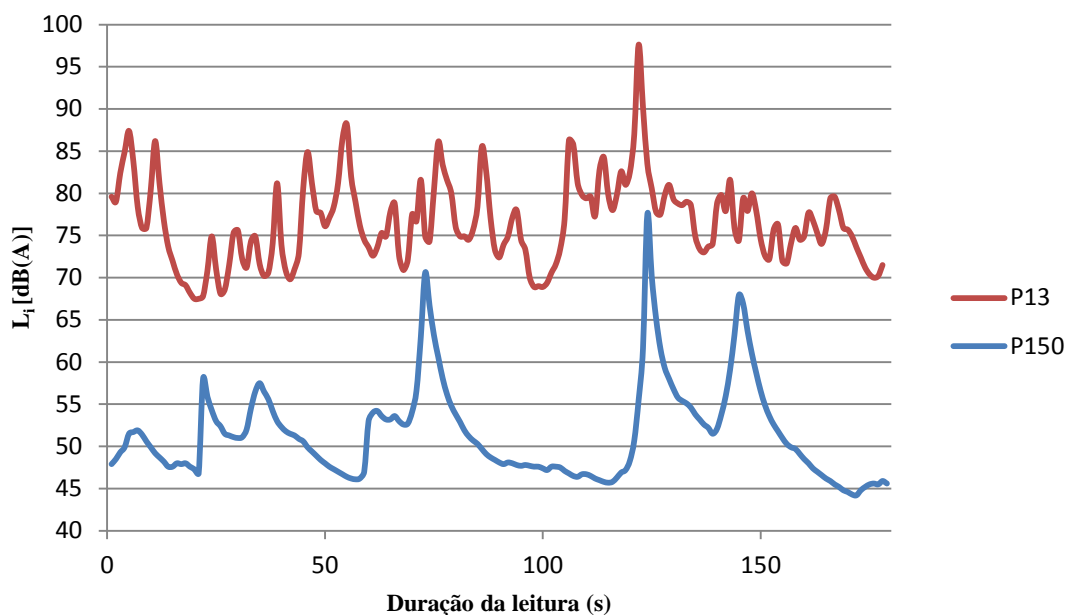


Figura 40. Pressões sonoras instantâneas registradas em P13 - entre 22:04 e 22:07 h - e P150 - entre 22:30 e 22:33 h - em 5 ago 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

O exame das leituras de todos os L_i em P150 aponta que os picos ruidosos foram numerosos em poucas leituras de três minutos, havendo predominância de níveis mais baixos durante períodos maiores do que os períodos de menor pressão sonora verificados em P13. Em P13, os níveis mais baixos, associados à intermitência do tráfego, são tão pouco numerosos quanto os picos ruidosos em P150. Não há características equivalentes no número e na altura de picos e vales.

Assim, observa-se que os picos de ruído em P150 não apresentam características que os correspondam ao perfil das leituras em P13, não guardando relação com o tráfego da rodovia; antes, são provocados pelo tráfego local e outras fontes locais de ruído. Entretanto, melhores estudos sobre a poluição sonora a essa distância da rodovia devem ser feitos, utilizando-se métodos distintos, especialmente de madrugada.

5.3.2 Análise da dispersão

Em seguida, apresentam-se os gráficos (fig. 41 a 45) que expressam L_{AeqM} em cada um dos dias em que foram feitas as medições. Desta maneira, ilustra-se com propriedade a dispersão da poluição sonora na área de estudo, permitindo identificar com clareza os locais mais ruidosos e a influência que exercem sobre os locais adjacentes.

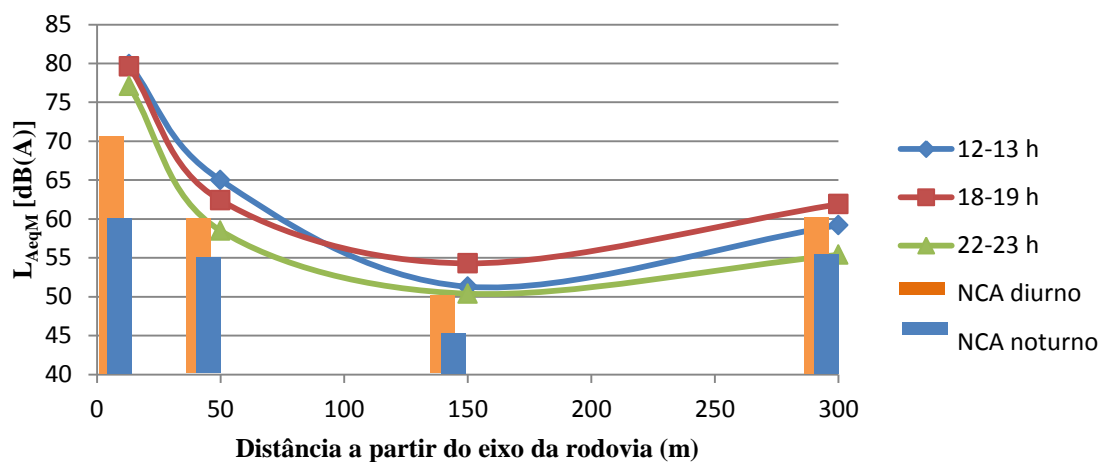


Figura 41. Pressões sonoras equivalentes médias em 5 ago 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

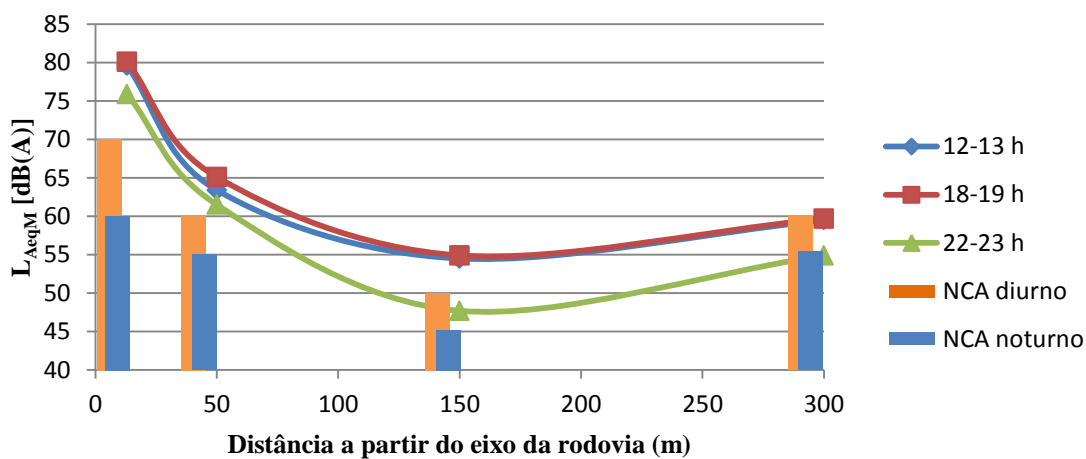


Figura 42. Pressões sonoras equivalentes médias em 11 set 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

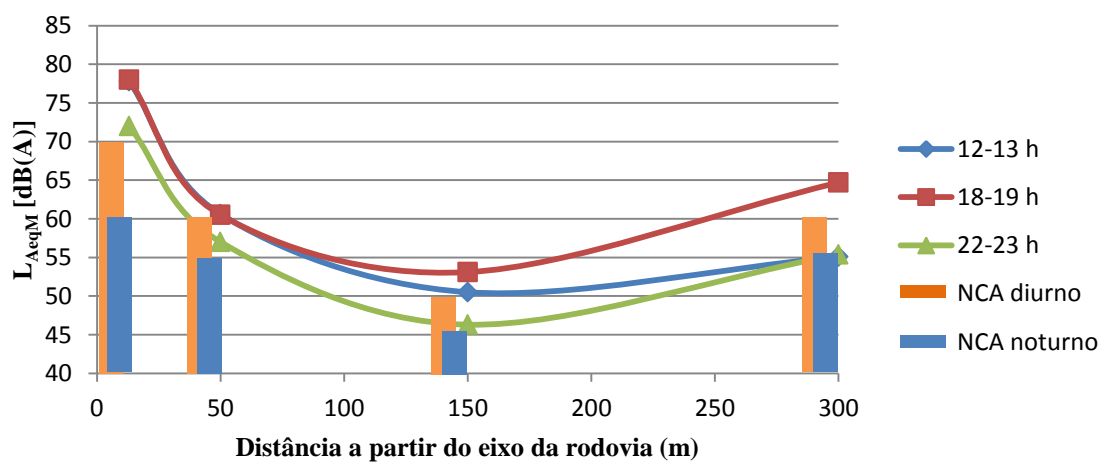


Figura 43. Pressões sonoras equivalentes médias em 15 set 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

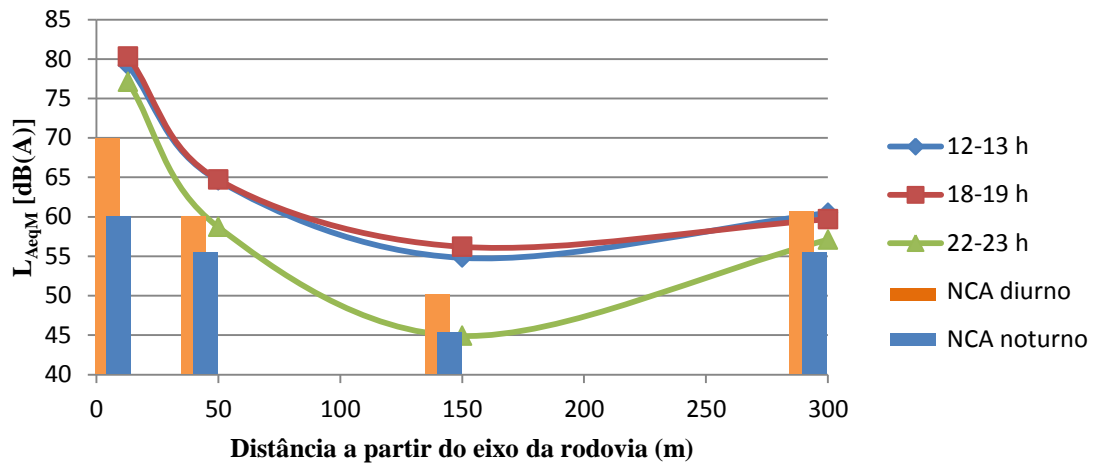


Figura 44. Pressões sonoras equivalentes médias em 14 nov 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

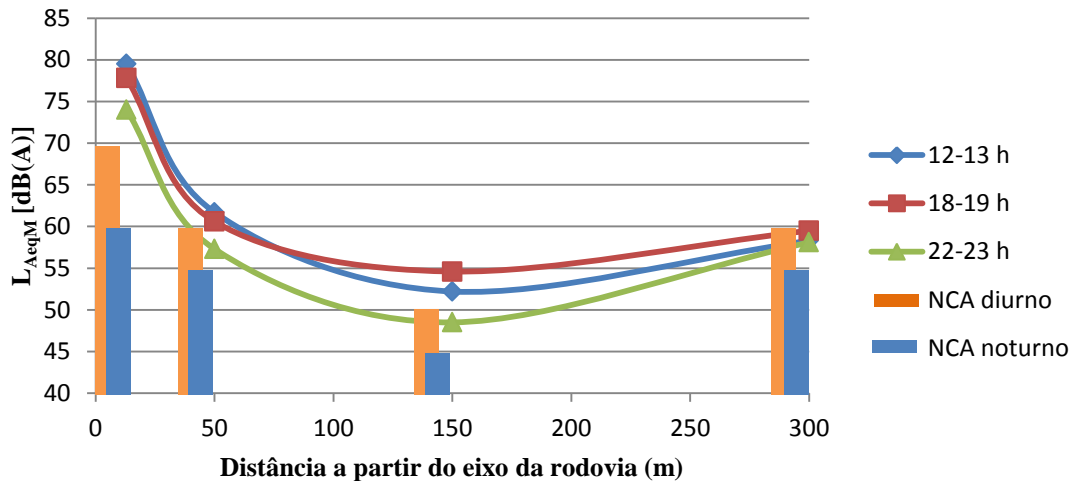


Figura 45. Pressões sonoras equivalentes médias em 15 nov 2013. Fonte: elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

A partir da rodovia, os gráficos apontam decréscimo nos níveis de pressão sonora até P150, o que claramente indica a preponderância da rodovia como principal fonte de ruído até este ponto. Entre P13 e P50, a queda na pressão sonora é mais acentuada do que a que se esperaria sob ação apenas do meio aéreo. Isto se deve ao fato de se confrontarem leituras feitas imediatamente ao lado da rodovia, diante de uma fonte de ruído linear, com leituras já em meio de quadra urbana, em que a rodovia inicia a sua transformação de fonte linear para fonte pontual de ruído. Entre P50 e P150, em que a rodovia se firma como fonte pontual de ruído, durante o dia a queda na pressão sonora é menos acentuada do que a esperada sob ação do ar. Durante a noite de 11 de setembro e 14 de novembro, a queda verificada é mais acentuada. Ainda que os dados utilizados representem leituras médias e as medições não

terem sido feitas de forma simultânea, pode-se inferir que, durante o dia a queda menos acentuada pode estar associada à presença de outras fontes de ruído e, durante a noite, a inexistência de “efeito corredor”, que poderia incrementar a pressão sonora especialmente em P150, conduzindo os ruídos produzidos na rodovia a pontos mais distantes, valendo da reflexão desses ruídos nos obstáculos, especialmente edifícios, como muros e fachadas – dispostos ao longo da rua.

As leituras em P300 confirmam que os índices elevados de pressão sonora equivalente encontrados no ponto não estão diretamente associados ao tráfego rodoviário, e sim a fontes locais. Os gráficos ainda indicam que os níveis de pressão sonora mais intensos ocorrem no período das 18-19 h, possivelmente relacionados ao maior volume de tráfego, mesmo no domingo - 15 de setembro - e no feriado de 15 de novembro.

Na véspera do feriado, 14 nov, as leituras em P150 apresentaram a maior diferença entre os cenários dos períodos diurno e noturno, formada tanto por um decréscimo dos valores de L_{AeqM} no período noturno como por um acréscimo dos valores de L_{AeqM} no período diurno. As variações relacionadas a fontes locais de ruído explicam parcialmente tal fenômeno. De forma complementar, é interessante perceber que neste dia as velocidades do vento registradas durante o dia foram particularmente altas, enquanto à noite não se registrou vento em P50, P150 e P300, o que possivelmente retardou a queda dos níveis a partir da rodovia durante o dia, em oposição ao que se observou à noite. Um maior número de medições, entretanto, seria conveniente para se confirmar ou não tal hipótese.

No domingo de 15 de setembro e no feriado de 15 de novembro observa-se que, de fato, os níveis de pressão sonora registrados em P13 apresentam-se ligeiramente menores. Tal fato relaciona-se, em uma primeira observação, ao decréscimo no volume de tráfego, ainda que pequeno. Entretanto, evidencia-se o papel dos níveis mais altos de pressão sonora na elevação dos L_{AeqM} , não muito menores do que os verificados em dias úteis, o que confirma a grande importância da presença de veículos excessivamente ruidosos.

Ainda sobre as leituras de domingo e feriado, constata-se que, durante a noite os níveis de pressão sonora em P300 aproximam-se dos registrados durante o dia, apresentando certa coincidência. No domingo, o registro noturno aproxima-se do registro do período entre 12:00 e 13:00 h, relacionado, possivelmente, à queda no volume de tráfego local no final da manhã e início da tarde em relação ao que se observa em dias úteis. Contudo, no feriado, o nível registrado à noite sofre um incremento, à semelhança do que ocorreu na noite anterior, indicando maior atividade local.

Naturalmente, tais conclusões carecem de confirmação por um número maior de leituras, que cubram um período maior de tempo, mais dias úteis, mais domingos e feriados. Contudo, tem sido interessante observar que as análises decorrentes das leituras deste trabalho não apresentam incoerências com o cenário acústico esperado para a área de estudo.

É possível, de forma complementar, verificar os níveis de ruído que podem ser obtidos em P13 com a adoção de barreiras acústicas ao longo da BR-153, instalada entre as pistas principais e as marginais, conforme tabela 16. Dois cenários foram propostos: um com a adoção de barreira capaz de mitigar em 10 dB(A) – redução do ruído pela metade – outro com barreira capaz de mitigar em 15 dB(A).

Tabela 16. Pressões sonoras em P13 com o uso de barreiras acústicas e conformidade com os NCA.

Dia	Período	L _{AeqM} [dB(A)]	NCA [dB(A)]	Redução de 10 dB(A)		Redução de 15 dB(A)	
				L _{AeqM} [dB(A)]	conformidade (S/N)	L _{AeqM} [dB(A)]	conformidade (S/N)
5 ago	12-13 h	79,2	70	69,2	S	64,2	S
	18-19 h	80,3	70	70,3	N	65,3	S
	22-23 h	77,1	60	67,1	N	62,1	N
11 set	12-13 h	79,6	70	69,6	S	64,6	S
	18-19 h	80,1	70	70,1	N	65,1	S
	22-23 h	75,9	60	65,9	N	60,9	N
15 set	12-13 h	77,8	70	67,8	S	62,8	S
	18-19 h	78,0	70	68,0	S	63,0	S
	22-23 h	72,0	60	62,0	N	57,0	S
14 nov	12-13 h	79,2	70	69,2	S	64,2	S
	18-19 h	80,3	70	70,3	S	65,3	S
	22-23 h	77,1	60	67,1	N	62,1	N
15 nov	12-13 h	79,5	70	69,5	S	64,5	S
	18-19 h	77,8	70	67,8	S	62,8	S
	22-23 h	74,0	60	64,0	N	59,0	S

Fonte: Elaborado por REIS a partir de pesquisa de campo.

Pode-se observar que, mesmo com a adoção de barreiras acústicas capazes de reduzir a pressão sonora em 15 dB(A), o problema nos lotes imediatamente lindeiros à rodovia não seria resolvido por completo, mesmo se considerarmos a ocupação industrial destas glebas. Caso levemos em consideração a ocupação real das mesmas, de uso comercial e residencial, conclui-se que em momento algum, mesmo com a barreira, os NCA - de 60 dB(A) durante o dia e 55 dB(A) durante a noite - seriam atingidos. Como medida única, a instalação de barreiras acústicas com o desempenho citado seria ineficaz na área de estudo para os lotes lindeiros à rodovia.

Em P50, a redução dos níveis de pressão sonora com o uso das barreiras deve ser significativa, mas apenas no que concerne ao ruído produzido pela rodovia. Mas, no período noturno, seriam ineficazes, principalmente se considerarmos o efeito perturbador dos picos de ruído durante a noite. Em virtude da difração do som, a mitigação em pontos mais distantes obtida por barreiras acústicas tende a ser menos significativa. Em P150, as barreiras acústicas podem não alterar o quadro, adequando as leituras ao NCA de uma área estritamente residencial, pois os sons graves gerados na rodovia podem contornar os obstáculos. Predições e ensaios devem ser realizados para se avaliar a eficácia de sua instalação. Para P300, fica evidente que as fontes locais, especialmente o tráfego urbano, se constituem como fonte mais importante de ruídos.

Por fim, não foi possível observar que as variações de temperatura apresentaram amplitude suficiente capaz de alterar de maneira significativa a dispersão dos ruídos na área de estudo nos dias e horários em que foram feitas as medições.

5.4 RECOMENDAÇÕES E PROPOSTAS

Para os próximos anos, conforme foi visto, deve-se concretizar a conclusão do Anel Viário Metropolitano. Assim, algumas das funções hoje exercidas pela BR-153 deverão ser transferidas, uma vez que a ocupação de suas margens, principalmente, nas áreas que assistiram a um processo mais antigo de urbanização, coloca-se como obstáculo à implantação de um modelo de uso do solo adequado a vias expressas. A BR-153, portanto, deve sofrer um processo de transformação em relação às suas funções, aliado a possíveis transformações nos parâmetros urbanísticos de suas margens.

[...] rodovias cuja função inicial era a conexão entre núcleos urbanos consolidados passam a adquirir feição urbana, já que atraem, de forma lindeira à via e em sua extensão, numerosos pólos urbanos. Estas novas ruas do território implicam a revisão de seu desenho viário, uma vez que os trechos mais urbanos implicam menores velocidades, maiores movimentos de entrada e saída de veículos, maior número de paradas do transporte

coletivo. Estes espaços consolidam-se como grandes corredores de transporte e requerem sua revisão na hierarquia viária. (MARTINS, 2006).

O presente estudo permite delinear algumas recomendações e propostas para cada um dos cenários que podem se consolidar no trecho urbano da BR-153 em futuro próximo. A BR-153 pode permanecer como via expressa urbana, com um volume de veículos automotores intenso, trafegando em velocidades elevadas em relação a outras vias urbanas. Permaneceriam idênticos os parâmetros urbanísticos vigentes e, naturalmente, os riscos ambientais associados tanto ao tráfego veicular como às atividades econômicas desenvolvidas às suas margens.

Ainda que o presente estudo indique condições favoráveis à dispersão de poluentes na via, que possibilita a diminuição na concentração de substâncias às quais se associa ação deletéria sobre a qualidade do ar, recomenda-se monitoramento da qualidade do ar na área de estudo efetivo e sistemático, com a utilização de instrumentos, técnicas e métodos que permitam avaliar a presença de poluentes confrontando os índices detectados com a legislação ambiental em vigor. Somente assim será possível afirmar se a qualidade do ar na área de estudo oferece risco aos seus habitantes. Tal monitoramento pode se iniciar com estudos sobre a qualidade do ar nos estabelecimentos de ensino público: o Colégio Estadual Professor Wilmar Gonçalves da Silva e a Escola Municipal Alice Coutinho.

No que se refere à poluição sonora, deve-se verificar a eficácia de medidas mitigadoras que podem ser propostas para adequar os níveis de ruído verificados aos NCA. Evidencia-se que as barreiras acústicas, na área de estudo, não se constituem, isoladamente, como solução eficaz. Entretanto, a adoção de medida complementar, como a troca do pavimento asfáltico existente por pavimento de melhor desempenho acústico, deve ser precedida de simulações e ensaios, podendo ser menos eficaz do que medidas como a restrição no tráfego de alguns tipos de veículos e restrições na velocidade de operação.

O estudo de outros parâmetros que indiquem degradação ambiental também deve ser realizado, como avaliação da água de escorrência rodoviária e o risco à segurança de usuários e moradores. A elaboração de um diagnóstico da qualidade ambiental mais abrangente pode justificar a adoção de medidas mais severas. Ainda que, como foi visto, alguns autores consideram que uma via expressa, por si só, seja inadequada em meio urbano, ações drásticas só possam ser adotadas após tal diagnóstico ser feito.

É possível, portanto, que a única medida eficaz que garanta qualidade ambiental aos bairros lindeiros seja o enterrio da BR-153, especialmente no trecho em que atravessa a

área de estudo. Esta dispendiosa ação reduziria significativamente os riscos à segurança de pedestres e de moradores e, devidamente acompanhada de dispositivos que garantam destinação adequada aos poluentes gerados na via, poderia transformar-se na solução tecnicamente mais adequada para vias expressas em áreas urbanas, especialmente em área predominantemente residencial.

O enterrio de vias expressas urbanas já encontra precedentes em diversos países do mundo, sendo a ação mais conhecida a intervenção na rodovia interestadual 93, em Boston, no ano de 2007 (fig. 46). Na América do Sul, por exemplo, o enterrio de dois quilômetros da via expressa Aceso Sur desviou o tráfego rodoviário de uma área predominantemente residencial de baixo adensamento populacional em Santiago do Chile.⁷

Contudo, quaisquer ações que mitiguem os danos ambientais especificamente na área de estudo devem ser avaliadas sob a luz do uso do solo urbano local. Soluções como a barreiras acústicas - mesmo translúcidas - o entrincheiramento ou o enterrio são desinteressantes para a manutenção das atividades econômicas. Além disso, a atividade econômica às margens da rodovia pode exercer influência deletéria sobre a qualidade ambiental dos tecidos urbanos próximos, conforme observamos, sendo necessária mudança nos parâmetros de uso do solo permitidos no local.

Os estabelecimentos onde ocorrem atividades relacionadas ao tráfego rodoviário, com graus de incomodidade elevados - como depósitos, oficinas e indústrias - acabam por favorecer a transmissão dos danos ambientais associados ao tráfego rodoviário na área de estudo. Ainda que a mesma lei permita que atividades de qualquer grau de incomodidade possam ser desenvolvidas às margens das vias expressas, o tratamento indiferenciado dado pelo Plano Diretor de Goiânia de 2007 a toda a extensão da BR-153 dentro do perímetro urbano de Goiânia acaba por constituir-se como objeto de necessária revisão, dada a ocupação notadamente residencial que a área de estudo possui. Tal revisão deverá caminhar no sentido contrário ao que foi proposto na Lei Complementar 246/2013, cuja suspensão foi bastante conveniente, pois traria risco de dano ambiental ainda maior para a ocupação urbana na área de estudo. Ao observar-se que a ocupação do solo por edificações de baixa altura, principalmente residências unifamiliares, próprias de áreas de baixa densidade urbana, constitui-se como fator que contribui a dispersão dos poluentes atmosféricos mediante o vento, a construção de edifícios de maior altura, de uso comercial ou residencial, constituiriam um cenário preocupante. Ventos que sopram em direção a uma área edificada

⁷ Em Goiânia, em 2013, foi feito o enterrio de um trecho da Avenida Araguaia para integração de áreas de um parque. Apesar de tratar-se de uma via arterial, o fato merece destaque.

podem elevar a concentração de MP em suspensão atrás da barreira de edifícios, onde se forma uma zona de baixa pressão que pode sugar os poluentes para si através de redemoinhos. Tais redemoinhos podem, também, tornar a suspender MP já depositado sobre qualquer superfície (TORRES; MARTINS, 2005). Naturalmente, o incremento da densidade demográfica, normalmente associada à verticalização de edifícios, poderia expor maior número de pessoas ao risco ambiental que há ao longo de vias expressas urbanas sem tratamento que mitiguem tais riscos. Somente sob intervenções mais severas uma via como a BR-153 poderia sofrer qualquer processo de adensamento em suas margens.



Figura 46. Enterrio de via expressa urbana em Boston, Estados Unidos. Fonte: Höweler - Yoon Architecture. Disponível em: <http://www.designboom.com/architecture/audi-urban-future-award2012/>. Acesso em: 12 dez 2013.

Um outro cenário pode ser proposto, uma vez que a consolidação da via como um grande corredor de transporte urbano não precisa assumir, necessariamente, a feição de uma via com intenso tráfego de veículos automotores como hoje se apresenta. A BR-153 pode transformar-se em uma via em que a mobilidade mediante formas não motorizadas e coletivas possam ser consideradas prioritárias sobre o tráfego de automóveis, conforme o próprio Plano Diretor de Goiânia estabelece como ideal para os deslocamentos urbanos (GOIÂNIA, 2007). Tal ação se consolidaria com a implantação de um corredor de transporte coletivo e infraestrutura adequada ao tráfego de pedestres e ciclovias. Uma transformação de tal

natureza é possível e encontra similar no Município de Curitiba, Paraná, na implantação da Operação Urbana Linha Verde (fig. 47), ao longo de um trecho urbano da BR-116 (CURITIBA, 2011).



Figura 47. Linha Verde, em Curitiba. Foto: Albari Rosa/Gazeta do Povo. Fonte: <http://www.gazetadopovo.com.br/economia/conteudo.phtml?id=940161>. Acesso em: 12 dez 2013.

Serviço de transporte coletivo pode garantir mobilidade sustentável, com redução na emissão de poluentes por usuário. O corredor de transporte poderia ser utilizado por ônibus ou, preferencialmente, por veículos elétricos de diretriz guiada, como veículos leves sobre trilhos, que possuem eficiência energética superior aos ônibus, além de reduzido nível de emissões de poluentes (ALOUICHE, 2008; HASS-KLAU, 2009). A adoção de corredores servidos por esse tipo de veículo está associada a inúmeros projetos de requalificação urbana (fig. 48), inclusive em Goiânia, na Avenida Anhanguera (CONSÓRCIO RMT; ODEBRECHT TRANSPORT, 2011; FRANÇA, 2012)

Ações como estas podem trazer benefícios mais efetivos e duradouros à população local. A implantação de tal medida pode se estender a todo o trecho urbano da BR-153, devendo melhorar a qualidade do meio ambiente urbano em áreas da cidade em que já se verifica adensamento populacional e instalação de inúmeros estabelecimentos de comércio e prestação de serviços.



Figura 48. Requalificação de via urbana em Saragoça, Espanha, associada à projeto de transporte de massa e ciclovia. Disponível em: <http://hicarquitectura.com/2012/07/alday-jover-proyecto-de-integracion-urbana-del-tranvia-de-zaragoza/>. Acesso em: 7 abr. 2014.

O trabalho ainda permite elaborar propostas e recomendações para o uso do solo lindeiro ao Anel Viário Metropolitano, as quais são extensíveis às rodovias próximas a tecidos urbanos. À faixa de 300 m que Plano Diretor de Goiânia reserva para o estabelecimento de atividades econômicas de grande porte às margens da via (GOIÂNIA, 2006) deve-se associar a faixa de domínio de 50 m pelo DNIT (BRASIL, 2010), especialmente dotada de tratamento paisagístico e vegetal criterioso. Pode-se afirmar que, sob os dados apresentados no estudo, distâncias inferiores a 300 m, de fato, só poderão ser admitidas para uso predominantemente residencial com a adoção de medidas mitigadoras do risco ambiental.

Contudo, ainda é necessário estudar a dispersão de possíveis poluentes originados em rodovias em distâncias maiores que 300 m, a fim de se verificar declínio significativo na concentração de potenciais poluentes na atmosfera, e não apenas MP.

Algumas outras recomendações adicionais podem ser feitas. As faixas de terreno destinadas a atividades relacionadas ao tráfego rodoviário não podem ser vistas como uma “zona-tampão” entre as próprias rodovias e os bairros lindeiros, mas antes devem ser vistas como agentes de transmissão dos danos ambientais associados ao tráfego rodoviário. A instalação de estabelecimentos como grandes depósitos, oficinas e indústrias pode ocorrer tanto à revelia da legislação de uso do solo quanto por esta mesma ser estimulada e regulamentada - sendo que, no Município de Goiânia, esses dois cenários podem ser

observados. Assim, quaisquer ações capazes de mitigar a dispersão de danos ambientais - faixas complementares de terreno *non-aedificandi*, devem ser consideradas às margens das áreas em que se instalem tais atividades econômicas, e não apenas ao longo da faixa de domínio das rodovias.

No que concerne ao desenho urbano, convém evitar a formação de corredores livres de obstáculos entre a rodovia e o tecido urbano, especialmente na ausência de dispositivos como as barreiras acústicas. Ruas transversais à rodovia não devem ser contínuas, devendo ser interrompidas por vias paralelas ou dotadas de desvios e curvas antes de adentrarem em áreas urbanas sensíveis aos agentes poluidores gerados pelo tráfego rodoviário.

Tais recomendações tornam evidente a necessária articulação entre as esferas de governo, entidades e órgãos responsáveis pela gestão, planejamento e fiscalização do uso do solo urbano, instalação de equipamentos e de infraestrutura urbana e rodoviária, com a finalidade de preservar o tecido urbano de quaisquer formas de risco ambiental oferecido por rodovias em caráter mais duradouro. A compatibilização entre o projeto de rodovias próximas às cidades com projetos urbanísticos e planos diretores urbanos deve ser feita de forma criteriosa, evitando-se o adensamento urbano em suas margens e o uso da rodovia para deslocamentos urbanos, o qual pode ser evitado com restrição e controle de acessos à malha viária urbana.

É conveniente, também, a repetição desta pesquisa em período posterior à conclusão do Anel Viário Metropolitano de Goiânia, que será de suma importância para avaliar a eficácia da transferência de parte do tráfego rodoviário oriundo da BR-153 na redução do risco ambiental.

6 CONCLUSÕES

Os resultados do trabalho indicam, inicialmente, que a área de estudo possui uma ocupação urbana sensível à degradação ambiental associada ao tráfego veicular na rodovia BR-153, no que se refere ao parcelamento urbano e ao uso do solo, predominantemente residencial. Os resultados também que a presença de lotes em que se desenvolvem atividades comerciais ao longo da rodovia apresentam graus de incomodidade inadequados para o uso predominantemente residencial das adjacências imediatas.

No que se refere à análise do MP realizada, mediante a análise foliar, é possível afirmar que a área de estudo apresenta condições favoráveis à sua dispersão, não havendo diferenças significativas em sua quantidade até a distâncias de 300 m a partir do eixo da rodovia, em ambos os lados. Resta avaliar, com o uso de técnicas e equipamentos convencionais, se as quantidades de MP representam risco ambiental. O comportamento do MP apresentou, ao longo do período de estudo, previsível influência do regime de chuvas, havendo sensível queda na quantidade de MP adsorvida pelas folhas nas coletas realizada nos meses mais chuvosos.

De forma semelhante, observou-se que não há predominância estatisticamente significativa na concentração de qualquer um dos metais dos quais avaliou-se a concentração em qualquer ponto de coleta de dados. Entretanto, as concentrações de Fe, Zn e Ni encontradas em período chuvoso foram maiores do que as de período seco.

Quanto aos níveis de pressão sonora, indica-se clara predominância de índices não conformes aos NCA nas proximidades da rodovia, enquanto que, para pontos mais afastados - a 150 e 300 m - observou-se que eventual inconformidade deve-se, principalmente, a fontes de ruído locais, tanto durante o dia quanto durante a noite. Os estudos indicaram que a instalação de barreiras acústicas, como ação isolada para a redução dos níveis de pressão sonora, pode não ser eficaz.

A atual política de gestão do solo urbano adotada no Município de Goiânia tem-se mostrado inadequada para enfrentar os danos ambientais associados à via. Assim, é conveniente sugerir revisão de uso do solo permitido na área de estudo, dada a incompatibilidade entre o uso predominantemente residencial e o que se associa ao tráfego rodoviário. Soluções mais drásticas, como o enterrio da BR-153 ou a mudança na tipologia do tráfego da rodovia, com a transferência de funções ao Anel Viário metropolitano, devem garantir benefícios relacionados à qualidade ambiental e à mobilidade urbana mais amplos e duradouros à população.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 13.412**: material particulado em suspensão 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: ABNT, 1995.

_____. **NBR 14.313**: barreiras acústicas para vias de tráfego – características construtivas. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

_____. **NBR 10.151**: avaliação do nível ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ALBUQUERQUE, M.; BARBOSA, A. E.; ALBUQUERQUE, A. **Avaliação do funcionamento de um sistema de tratamento da A23– Ligação Covilhã (Norte)**. Actas do 12º ENaSB. Cascais: 2006. Disponível em: <http://www.cmade.ubi.pt/pdf/a_national_conferences/aalb%20-%2012enasb%2006.pdf>. Acesso em: 14 mar 2012.

ALOUICHE, Peter. VLT: um transporte moderno, sustentável e urbanisticamente correto para as cidades brasileiras. In: **Revista ANTP**, Ano 30, 2º semestre. São Paulo: ANTP, 2009.

ALVARES JÚNIOR, Olimpio de Melo; LACAVA, Carlos Ibsen Vianna; FERNANDES, Paulo Sérgio. **Emissões Atmosféricas**. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Brasília: SENAI/DN, 2002.

ÁLVARES JÚNIOR., Olimpio de Melo. O desafio do controle de ruído em rodovias. Disponível em: <<http://rodoviasverdes.ufsc.br/files/2010/04/O-Desafio-do-Controle-do-Ru%C3%ADdo-em-Rodovias.pdf>>. Acesso em: 18 out 2013.

ANGOLD, P. G. The impact of a road upon adjacent heathland vegetation: effects on plants species composition. In: **Journal of Applied Ecology**. 34(2), pp. 409-417. Birmingham: 1997. Disponível em: <<http://www.jstor.org/discover/10.2307/2404886?uid=37506&uid=3737664&uid=2129&uid=5909624&uid=2&uid=70&uid=3&uid=37505&uid=67&uid=62&sid=21100862089471>>. Acesso em: 14 jun 2012.

BARBOSA, A. E.; WHITEHEAD, M.; ANTUNES, P. B. Tipos de poluentes e poluentes-chave. In: BARBOSA, A. E. (ed.). **Directrizes para a gestão integrada das escorrências de estradas em Portugal**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil 2011.

BELLIA, V.; BIDONE, E. **Rodovias, recursos naturais e meio ambiente**. Niteroi: EDUF, 1993.

BOER, Eelco den; SCHROTEN, Arno. **Traffic noise reduction in Europe**. Amsterdam: CE Delft, 2007. Disponível em: <http://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/2008-02_traffic_noise_ce_delft_report.pdf>. Acesso em: 18 dez 2013.

BRAIT, Carlos Henrique Hoff. **Monitoramento Ambiental de metais utilizando biomonitores e sistema passivo de coleta de poluentes**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia: 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 3/1990**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100>>. Acesso em: 24 jan 2012.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 1/1993**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=125>>. Acesso em: 21 ago 2012.

_____. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro: IPR, 1999.

_____. **Lei n° 10.257, de 10 de julho de 2001**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em: 13 abr 2012.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual para ordenamento de uso do solo nas faixas de domínio e lindeiras das rodovias federais**. 2ª ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2004.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual rodoviário de conservação, monitoramento e controle ambientais**. 2ª ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

_____. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

_____. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Gargalos e demandas da infraestrutura rodoviária e os investimentos do PAC: mapeamento IPEA de obras rodoviárias**. Brasília: IPEA, 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **1º Inventário Nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários – relatório final**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011.

_____. Ministério dos Transportes. Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Contrato de Concessão - Edital n° 004/2013**. Brasília: ANTT, 2013. Disponível em: <http://3etapaconcessoes.antt.gov.br/upd_blob/0001/1836.pdf>. Acesso em: 14 nov 2013.

BRUGGE, Doug; DURANT, John L.; RIOUX, Christine. Near-highway pollutants in motor vehicle exhaust: A review of epidemiologic evidence of cardiac and pulmonary health risks. In: **Environmental Health Journal**. Vol. 6. 2007. Disponível em: <<http://www.ehjournal.net/content/6/1/23#B1>>. Acesso em: 17 abr 2012.

CALIXTO, Alfredo. **O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “rodovias-grandes avenidas” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2002. Documento em pdf.

CARNEIRO, Regina Maria Alves. **Bioindicadores vegetais de poluição atmosférica: uma contribuição para a saúde da sociedade**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto: 2004.

CDURP (Companhia de Desenvolvimento Urbano da Região do Porto do Rio de Janeiro). **Relatório Técnico de Avaliação de Ruído Ambiental**. Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: <http://portomaravilha.com.br/conteudo/eiv/V.%20Situacao%20Atual%20e%20Futura%209.%20Ruido%20e%20Poluicao%20Sonora.pdf>>. Acesso em: 12 dez 2013.

CONSÓRCIO RMTc; ODEBRECHT TRANSPORT. **Metrô Leve de Goiânia**. Goiânia: 2011. Disponível em: <http://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/apresentacao-do-projeto-do-vlt-de-goiania.pdf>. Acesso em: 10 jul 2012.

COSTA, Cleber Alves da; GARAVELLI, Sérgio Luiz; SILVA, Edwin F. F.; MELO, Wesley Cândido de; MAROJA, Armando de Mendonça. Barreiras acústicas como medida de mitigação dos ruídos gerados pelo tráfego rodoviário: Setor Noroeste - DF. In: **XIX Congresso Brasileiro de Transporte e Trânsito. Anais**. Brasília: 2013. Documento em pdf.

COSTA, Elias Cardoso da. **Caracterização do material particulado na atmosfera e vegetação urbana da cidade de Goiânia**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia: 2011.

CURITIBA. **Lei nº. 13.909, de 19 de dezembro de 2011**. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/multimedia/00112769.pdf>>. Acesso em: 30 jun 2012.

DRAPPER, D.; TOMLINSON, R.; WILLIAMS, P. **An investigation of the quality of stormwater runoff from road pavements: a south-east Queensland case study**. Disponível em: <https://home-cms.holcim.com/holcimcms/uploads/HUMES/Drapper_et_al_Quality_of_stormwater_runoff_from_road_pavements_SEQ_01.pdf>. Acesso em: 10 jul 2012.

ECKBO, G. O paisagismo nas grandes metrópoles. In: **Geografia e Planejamento**. São Paulo: Ed. Cairu, 1977.

ELLERMANN, Thomas; JENSEN, Steen Solvang; KETZEL, Matthias; LØFSTRØM, Per; MASSLING, Andreas. **Measurements of air pollution from a danish highway**. Department of Atmospheric Environment. University of Aarhus: 2009. Disponível em <<http://www2.dmu.dk/pub/ar254.pdf>>. Acesso em: 20 jun 2013.

ENGEL, Margret Sibylle. **Caracterização da poluição sonora, através de medições, mapeamentos e entrevistas de percepção sonora na Linha Verde em Curitiba-Paraná**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2012. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/bitstream/handle/1884/33789/R%20-%20D%20-%20MARGRET%20SIBYLLE%20ENGEL.pdf?sequence=1>>. Acesso em 12 nov 2013.

EPA (United States Environmental Protection Agency). **Pollution control programs for roads, highways and bridges**. EPA, 1995. Disponível em: <<http://water.epa.gov/polwaste/nps/control.cfm>>. Acesso em: 19 abr 2012.

FRANÇA. Ministério da Ecologia, do Desenvolvimento Sustentável e da Energia. **O renascimento do VLT na França**. 2012. Disponível em: http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/11001-2_Renouveau-tramway-France_POR.pdf. Acesso em 5 fev 2013.

FHWA (Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation). **Highway traffic noise: analysis and abatement guidance**. FHWA, 2011. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/regulations_and_guidance/analysis_and_abatement_guidance/revguidance.pdf>. Acesso em: 20 nov 2013.

FREIBERG, Márcia Regina; PASQUALETTO, Antonio. **Diagnóstico da qualidade do ar de Goiânia-GO**. Goiânia: 2008. Disponível em: <<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/DIAGN%C3%93STICO%20DA%20QUALIDADE%20DO%20AR%20DE%20GOI%C3%82NIA-GO.pdf>>. Acesso em: 19 abr 2012.

GERGES, S. N. Y. **Ruído, Fundamentos e Controle**. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GOIÂNIA. Secretaria de Planejamento Municipal. **Plano Diretor de Goiânia - Relatório técnico**. Goiânia: SEPLAM, 2006.

_____. **Lei complementar nº. 171, de 29 de maio de 2007**. Disponível em: <http://www.goiania.go.gov.br/download/legislacao/PLANO_DIRETOR_DO_MUNICIPIO_DE_GOIANIA_2007.pdf>. Acesso em: 12 abr 2012.

_____. Agência Municipal do Meio Ambiente. **Plano Diretor de Arborização Urbana de Goiânia**. Goiânia: AMMA, 2007.

_____. **Lei nº. 8.617, de 9 de janeiro de 2008**. Disponível em: <<http://www.goiania.go.gov.br/Download/seplam/Colet%C3%A2nea%20Urban%C3%ADstica/3.%20Par%C3%A2metros%20Urban%C3%ADsticos/Anexos/AnexoI.pdf>>. Acesso em: 25 abr 2012.

_____. Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo. Departamento de Pesquisa e Estatística e Estudos Sócio-econômicos. **Anuário Estatístico de Goiânia 2012**. Goiânia: 2012. Disponível em: <http://www.goiania.go.gov.br/shtml/seplam/anuario2012/_html/demografia.html>. Acesso em: 11 abr 2013.

_____. **Lei Complementar nº. 246, de 29 de abril de 2013**. Disponível em: <https://www.leismunicipais.com.br/a/go/g/goiania/lei-complementar/2013/24/246/lei-complementar-n-246-2013-altera-a-lei-complementar-n%C2%BA-171-de-29-de-maio-de-2007-que-dispoe-sobre-o-plano-diretor-e-processo-de-planejamento-urbano-do-municipio-de-goiania-e-da-outras-providencias.html>. Acesso em: 15 nov 2013.

GOIÁS. Secretaria de Estado de Infraestrutura. **Rodovia com cara de avenida**. Goiânia: 2011. Disponível em: <<http://www.seinfra.go.gov.br/post/ver/122416/br-153---rodovia-com-cara-de-avenida>>. Acesso em: 12 mar 2012.

_____. Ministério Público do Estado de Goiás. **Lei que alterou Plano Diretor de Goiânia é suspensa**. Disponível em: <http://www.mpggo.mp.br/portal/noticia/lei-que-alterou-plano-diretor-de-goiania-e-suspensa>. Acesso em: 15 nov 2013.

GOMES, M. A.; SOARES, B. R. A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre espaços verdes em cidades médias brasileiras. In: **Estudos Geográficos**, vol. 1, p. 19-29. Rio Claro: 2003.

GONÇALVES, Alexandre Ribeiro. **A construção do espaço urbano de Goiânia (1933-1968)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Goiás. Goiânia: 2002.

GRABAR, Henry. **An amazingly precise new tool to measure roadway pollution**. New York: 2013. Disponível em: <<http://www.theatlanticcities.com/technology/2013/09/amazingly-precise-new-tool-measure-roadway-pollution/6938/>>. Acesso em: 12 nov 2013.

GUZZO, P. **Estudo dos espaços livres de uso público da cidade de Ribeirão Preto/SP, com detalhamento da cobertura vegetal e áreas verdes de dois setores urbanos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro: 1999.

HOLLANDER, Myles; WOLFE, Douglas A. **Nonparametric Statistical Methods**. New York: John Wiley & Sons, 1973.

HORA, Karla Emmanuela Ribeiro. **A relação entre formação de ilhas de calor e o concreto aplicado ao meio urbano**. Monografia. Universidade Católica de Goiás. Goiânia: 2000.

ITDP (Institute for Transportation and Development Policy). **Vida e morte das rodovias urbanas**. ITDP. Rio de Janeiro: 2013.

KLUMPP, Andreas; ANSEL, Wolfgang, KLUMPP, Gabriele; FOMIN, Anette. Um novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). In: **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 4 (suplemento), p. 511-518. São Paulo: 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbb/v24n4s0/9472.pdf>>. Acesso em: 30 abr 2013.

LI, B.; TAO, S.; DAWSON, R. W. Evaluation and Analysis of Traffic Noise from Main Urban Roads in Beijing. In: **Applied Acoustics**, v. 63, n. 10, p. 1137-1142. Beijing: 2002.

LISBOA, Henrique de Melo. **Controle da poluição atmosférica**. Laboratório de Controle da Qualidade do Ar. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 2010. Disponível em: <<http://www.lcqr.ufsc.br/adm/aula/Livro%20pol%20atm%20HML.pdf>>. Acesso em: 19 dez 2013.

MARTINS, Anamaria de Aragão Costa. **Novos pólos territoriais motivados pela dispersão urbana – o cenário do Distrito Federal**. São Paulo: 2006. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/07.077/309>>. Acesso em: 30 mar 2012.

MASCARÓ, Lucia; MASCARÓ, Juan José. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Masquatro, 2009.

MENDES, Catarina; ALBUQUERQUE, Antonio; RAMÍSIO, Paulo; GOMES, João Castro; SCALIZE, Paulo Sérgio. Utilização de lama de ETA para remoção de zinco em filtro vertical descontínuo. In: **XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais**. Belo Horizonte: 2011. Documento em pdf.

MESQUITA, Maria Elisabeth Alves; LUIZ, Gislaïne Cristina. **Ensaio ao entendimento da poluição do ar em Goiânia – GO**: Anais do VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Aracaju: UFS, 2004.

NAKAGAWA, Louise; COMARÚ, Francisco de Assis; TRIGOSO, Federico Bernardino Morante. **Impactos na qualidade do ar e na saúde humana da poluição atmosférica na Região Metropolitana de São Paulo – SP**. V Encontro Nacional da Anppas. Florianópolis: 2010. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT3-150-302-20100901143452.pdf>>. Acesso em: 23 ago 2012.

ÖIRSTRÖM, E. Effects of low levels of road traffic noise during the night: a laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. In: **Journal of Sound and Vibration**, v. 179, n. 4, p. 603-615. 1995.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Transportes. Departamento de Estradas de Rodagem. **Manual de instruções ambientais para obras rodoviárias**. Curitiba: SETR/DER, UFPR/FUPEF 2000.

PASQUALETTO, Antonio. **Níveis de poluição atmosférica em Goiás**. Goiânia: 2002. Disponível em: <http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/artigo_08.pdf>. Acesso em: 19 abr 2012.

PEREIRA, Alfredo Herculano Pinto. **Caracterização acústica de pavimentos rodoviários e influência na emissão sonora**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto. Porto: 2010.

PIMENTEL-SOUZA, Fernando. Efeitos da poluição sonora no sono e na saúde em geral - ênfase urbana. In: **Revista Brasileira de Acústica e Vibrações**, n. 10, p. 12-22. Santa Maria: 1992.

RAMÍSIO, Paulo J.; VIEIRA, José M. P. (2008). Avaliação da Retenção de Metais Pesados de Escorrências Rodoviárias por Filtração Reactiva. In: **Revista Engenharia Civil**, n° 33:[0], p. 75-86, 2008. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/n33/Artigo07-Pag75-86.pdf>>. Acesso em: 12 mar 2012.

SÃO PAULO, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Instrução Técnica L11.032**. São Paulo, CETESB, 1992. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/jcandido/acustica/Textos/Cetesb-Leq.doc>>. Acesso em: 10 out 2012.

_____, Departamento de Estradas de Rodagem. **Instrução de Projeto - Projeto de Paisagismo**. São Paulo: DER, 2005. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/gestao_ambiental/IP-DE-S00-001_Paisagismo.pdf>. Acesso em: 19 abr 2013.

SCHNEIDER, Marcelo. **A intrasazonalidade nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil durante os meses de inverno**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo: 2004.

SIEGEL, S; CASTELLAN, N. J. **Non parametric statistics for the behavioural sciences**. New York: MacGraw Hill Int., 1988.

SILVA, Luzimar Campos da Silva; AZEVEDO, Aristéa Alves; SILVA, Eldo Antônio Monteiro da; OLIVA, Marco Antonio. Flúor em chuva simulada: sintomatologia e efeitos sobre a estrutura foliar e o crescimento da plantas arbóreas. In: **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 4, p. 385-393. São Paulo: 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbb/v23n4/a04v23n4.pdf>>. Acesso em: 30 abr 2013.

SILVA JÚNIOR, Sílvio Barbosa. **Rodovias em áreas urbanizadas e seus impactos na percepção dos pedestres**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: 2006.

SILVA JÚNIOR, Sílvio Barbosa da; FERREIRA, Marcos Antonio Garcia. Rodovias em áreas urbanizadas e seus impactos na percepção dos pedestres. In: **Sociedade e Natureza**, 20 (1). Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/viewFile/9287/5713>>. Acesso em: 15 abr 2012.

SPENCER, H. J.; SCOTT, N. E.; PORT, G. R.; DAVISON, A. W. Effects of roadside conditions on plants and insects. I. Atmospheric conditions. In: **Journal of Applied Ecology**, vol. 25, p. 699-707, 1998. Disponível em: <<http://www.jstor.org/discover/10.2307/2403855?uid=2&uid=4&sid=56266794563>>. Acesso em 19 jun 2012.
TEIXEIRA NETO, Antônio. Os caminhos de ontem e de hoje em direção a Goiás-Tocantins. In: **Boletim Goiano de Geografia**, 21 (1): Goiânia: Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2001.

TEIXEIRA NETO, Antônio. Os caminhos de ontem e de hoje em direção a Goiás-Tocantins. In: **Boletim Goiano de Geografia**, 21 (1): Goiânia: Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, 2001.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; MARTINS, Luiz Alberto. Determinação dos fatores que influenciam a concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora - MG. In: **Geoambiente On-Line**, n. 5. Universidade Federal de Goiás. Jataí: 2005.

WALSH, Patrick M.; BARRETT, Michael E.; MALINA, Joseph F.; CHARBERNEAU, Randall J. **Use of vegetative controls for treatment of highway runoff**. Austin: 1997. Bureau of Engineering Research, University of Texas at Austin. Disponível em: <<http://ntl.bts.gov/lib/19000/19400/19433/PB2002106914.pdf>>. Acesso em: 11 jul 2012.

WATTS, G.; CHINN, L.; GODFREY, N. The Effects of vegetation on the perception of traffic noise. In: **Applied Acoustic**, Australia, v. 56, p. 39-56, 1999.

ZANNIN, P. H. T.; DINIZ, F. B.; BARBOSA, W. A. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. In: **Elsevier Science Journal**, vol. 63, n. 4, p. 351-358, 2002. Disponível em: <http://faculty.mu.edu.sa/public/uploads/1342573931.6751RU_DO%20URBANO1.PDF>. Acesso em: 10 jan 2013.