Trabalho de Conclusão de Curso

Licenciatura em Ciências Naturais

IMPACTO AMBIENTAL SONORO SOBRE A CIDADE DE ÁGUAS CLARAS, BRASÍLIA-DF, COM A CONSTRUÇÃO DA LINHA VERDE

ANDERSON DIEGO SOUZA DE JESUS

Orientador: **Prof. Dr. Armando de Mendonça Maroja**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE UNB PLANALTINA

FEVEREIRO DE 2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus: Pai, Filho e Espírito Santo, fonte de toda minha inspiração, por ter me dado força e determinação para que eu chegasse aonde eu cheguei e ainda fazer com que eu conhecesse pessoas incríveis que me direcionaram para mais essa conquista. Agradeço a Ele também por ter me feito acreditar que quando se tem algum desejo e paixão para se fazer alguma coisa, se ela estiver ao alcance d'Ele se conseguirá.

Agradeço a pessoa pela qual me empenho para deixar orgulhosa, meu pilar de força: minha Mãe, pelas incansáveis noites mal dormidas à minha espera no retorno diário da Universidade e ainda por acreditar e confiar em meu sucesso, me ajudando, muitas vezes, a conquistar o impossível.

Agradeço ao professor Armando de Mendonça Maroja por ter aceitado meu pedido de orientação e por ter executado o papel de orientador com tamanha responsabilidade, presteza, compreensão e paciência. Agradeço ainda pelas incansáveis correções do meu trabalho. Não conseguiria nada sem o seu apoio e dedicação.

Meu amor e agradecimento a todos os meus amigos, a destacar, Natália (Nat), Valéria, Pâmella, Socorro, Ariadna, Rodrigo (Xavier e Nunes), Dayane, Camila, Marlúcia, Mirian, Rafaela, Celina, Daylane, Ágatha, Raíssa (Riotinto e Costa), Fabíola, Jéssica Pliciey, Helena, Deisy, Grazy, Elton, Adriana, Samara, Patrícia, Elves, Dyego, Pollyanna, Amanda (Rafaela, Souza e Andrade), Raphael, Viviane, Sivanilda, Rayanne, Danielle, Iara, Pedro Henrique, Vinícius, Luciana, enfim, todos aqueles que partilharam de momentos de alegria e descontração em minha rotina na Universidade e que foram muito mais do que irmãos, acreditando, muitas vezes, até mais do que eu no meu potencial.

Agradeço ao setor de geoprocessamento do DER-DF por gentilmente ter cedido os dados dos controladores eletrônicos de velocidade que foram fundamentais para o sucesso dessa pesquisa.

Agradeço aos professores que desempenharam com dedicação as aulas ministradas.

Agradeço a Universidade, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior e além daquilo que eu podia imaginar.

E finalmente agradeço a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação. A todos vocês, o meu muito obrigado.

IMPACTO AMBIENTAL SONORO SOBRE A CIDADE DE ÁGUAS CLARAS, BRASÍLIA-DF, COM A CONSTRUÇÃO DA LINHA VERDE*

Sound environmental impact on the city of Águas Claras, Brasilia - DF, with the construction of the Linha Verde

Anderson Diego Souza de Jesus [1] • Armando de Mendonça Maroja[2]

Resumo: A necessidade de implantação de vias que atendam a crescente frota veicular é evidente, entretanto nem todo o planejamento leva em conta os impactos ambientais que a nova infraestrutura pode provocar na região. O presente estudo teve como objetivo avaliar os níveis de pressão sonora (NPS) a que moradores da região de Águas Claras, Brasília-DF, ficaram expostos com a construção da Linha Verde na Estrada Parque Taguatinga (EPTG), projeto de ampliação da rodovia com implantação do sistema de corredores exclusivos para ônibus, que cruza a fronteira da cidade. A análise do NPS foi realizada por meio da elaboração de mapas de ruído do trecho da EPTG mais próximo a Águas Claras, que vai aproximadamente da residência oficial do Governador até a entrada de Taguatinga. Os NPS no qual a população estava exposta em 2012, com a Linha Verde implantada, quando comparados com 2008, sem a ampliação da rodovia, mostraram-se significativamente mais elevados, em valor até 20 dB(A) acima dos limites estabelecidos pela legislação vigente, expondo ainda mais a população da área de estudo aos riscos da poluição sonora.

Palavras-chave: Poluição Sonora, Planejamento Urbano, Linha Verde, Águas Claras.

Abstract: The need to implement ways to meet the growing vehicle fleet is evident, however not all of the planning takes into account the environmental impacts that may result in new infrastructure in the region. The present study aimed to evaluate the sound pressure levels (SPL) that the locals of Águas Claras, Brasília-DF, were exposed to the construction of the Linha Verde at Estrada Parque Taguatinga (EPTG) project to expand the highway with implementation of the system of exclusive lanes for buses, crossing the border city. The analysis was performed by NPS of mapping noise EPTG nearest stretch of the Águas Claras, which goes about the official residence of the Governor to the entrance of Taguatinga. The NPS in which the population was exposed in 2012, with the Linha Verde implanted compared with 2008 without the expansion of the highway, were significantly higher in value up to 20 dB(A) above the limits established by law, further exposing the population of the study area to the risks of noise pollution.

Keywords: Noise Pollution, Urban Planning, Linha Verde, Águas Claras.

---

* Trabalho parcialmente financiado pelo DPP-UnB.

[1] Universidade de Brasília, campus Planaltina. Área Universitária 01, Vila Nossa Senhora de Fátima, Planaltina, DF, Brasil. 73.345-010. andersondaunb@gmail.com, Bolsista voluntário do ProIC-UnB.

[2] Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

1. INTRODUÇÃO

Mesmo na antiguidade o ruído era um problema para o homem. Já na Antiga Roma existiam restrições para o ruído emitido pelas rodas das carruagens puxadas por cavalos que rodavam pelos caminhos empedrados e que causava incômodo e transtorno no sono (WHO, 1999). Existem também outras referências, como por exemplo, um decreto do século XVI na Inglaterra o qual proibia os maridos de bater em suas esposas após as dez da noite para não perturbar os vizinhos com os gritos (SANTIAGO, 1992; SUÁREZ, 2002, *apud* MARDONES, 1999).

De acordo com Mardones (1999) com o começo da Era Industrial, no século XIX começa a preocupação pelos efeitos nocivos do ruído como perda de audição em pessoas nos postos de trabalho com altos níveis de ruído gerado por máquinas. E nesta mesma época que começa a modificação estrutural urbana das cidades, surgem os bairros da classe operária afastados das cidades e há o nascimento de linhas ferroviárias localizadas geralmente perto das residências gerando incômodo na população (SANTIAGO, 1992; SUÁREZ, 2002, *apud*, MARDONES, 1999).

Hoje em dia o ruído ambiental causado pelo tráfego veicular junto com o das atividades industriais e recreativas são um dos principais problemas ambientais e a origem de um número cada vez maior de denúncias por parte da população (MARDONES, 1999).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, na União Europeia aproximadamente 40% da população é exposta a ruído de tráfego rodoviário com níveis de pressão sonora excedendo os 55 dB(A) no período diurno e 20% a níveis superiores a 65 dB(A). Já durante o período noturno mais de 30% da população é exposta a níveis superiores a 55 dB(A), provocando distúrbios no sono (WHO, 1999). Considerando todas as fontes de ruído de transporte, estima-se que mais da metade da população mora em zonas nas quais o conforto acústico não é assegurado em suas residências (MARDONES, 1999).

Na realidade brasileira há pouca disponibilidade de dados sobre a exposição sonora da população. De acordo com levantamentos sonoros realizados em algumas cidades, como em Florianópolis-SC (NARDI, 2008) e Aracaju-SE (GUEDES *et al*, 2011) nota-se que a população é exposta a níveis de ruídos elevados.

No Distrito Federal a situação não difere da realidade brasileira, visto o grande crescimento populacional observado nos últimos anos, bem como o aumento da frota de veículos na cidade em percentuais próximos aos 10% ao ano. Ainda existem várias projeções comerciais em construção na área central, assim, as projeções futuras do crescimento do fluxo em direção ao centro da cidade alertam para o caos urbano, dado que a infraestrutura viária já é insuficiente na atualidade e que existe restrição à ampliação devido ao tombamento do Plano Piloto, região central de Brasília-DF (LISBOA *et al*, 2012).

Em estudo realizado por Garavelli *et al* (2010) a exposição acústica na qual a cidade de Águas Claras-DF estava exposta pôde ser retratada. Nesse estudo foram avaliadas as alterações do clima acústico da cidade provocadas pelas mudanças do tráfego implantadas em 2008. Ainda, se previa que o crescimento de Águas Claras-DF, iria alterar a situação mencionada, elevando os níveis em alguns pontos a valores muito acima do estabelecido pela legislação local.

Em avaliação realizada em 2008 (Garavelli *et al*, 2010), quando os edifícios mais próximos da EPTG encontravam-se a uma distância de 50m a 70m da via, os NPS já alcançavam valores de mais de 20 dB(A) acima da legislação. Os mesmos edifícios estão agora a cerca de 30m da marginal da Linha Verde. Assim, apesar do fluxo da marginal ser menor que o da antiga EPTG, a variação da intensidade de NPS com o inverso da distância

(Fonte Linear) espera-se um aumento significativo do ruído ambiental sobre a população que habita esta região.

Assim, ressalta-se a importância de se realizar tal estudo, visto que a implantação da Linha Verde com a ampliação das vias marginais (aproximando-as dos edifícios) expôs ainda mais a população aos danos da poluição sonora.

Por esse motivo torna cada vez mais necessário criar formas que evidenciem os problemas de modo a informar e quantificar a exposição aos riscos. Nesse contexto, a elaboração de mapas de ruídos pode criar um diagnóstico preciso do problema, evidenciá-lo e ainda propor soluções a curto e longo prazos.

Desse modo, estes mapas quando apresentados de forma clara, compreensível e acessível ao público, são importantes, pois são precisos e satisfazem análise pública (KING e RICE, 2009).

1.1. SOM E RUÍDO

De maneira simplificada Bistafa (2011, p.17) define Som como sensação produzida no sistema auditivo e Ruído como som indesejável.

O som é a manifestação audível de vibrações mecânicas de um meio material elástico, assim caracteriza-se por ondas mecânicas longitudinais que se propagam tanto no meio líquido, quanto no sólido e gasoso.

As ondas sonoras são formadas por componentes que vibram. As vibrações desses componentes são transmitidas através do ar, sofrendo compressões e rarefações até que cheguem ao ouvido (GREGORY *et al*, 2012). As vibrações percebidas pelo ouvido humano como um sinal sonoro são caracterizadas por um determinado número de parâmetros, sendo os principais a intensidade do som e a sua frequência (NARDI, 2008).

O intervalo de intensidades sonoras relativamente ao qual o ouvido humano é sensível, é muito grande – desde o mais baixo capaz de ser detectado pelo ouvido humano, designado por “limiar da audição”, até o som mais intenso que o ouvido humano consegue detectar, sem sofrer danos físicos, um milhão de milhões de vezes ao limiar.

Devido a esse enorme intervalo, a intensidade do som é normalmente representada na escala logarítmica “decibel”, na qual é atribuído ao “limiar da audição” um valor de zero decibel (0 dB). A um som 10 vezes mais intenso do que este limiar é atribuído um valor de 10 dB, 20 dB para um som 100 vezes mais intenso, 30 dB para um som 1000 vezes mais intenso, e assim sucessivamente.

O intervalo de frequências a que um ouvido humano saudável é sensível, denominado por espectro de frequência audível, situa-se aproximadamente entre 20Hz e 20000Hz, sendo que este intervalo varia entre indivíduos e é afetado principalmente com a idade, fator que pode resultar na perda de sensibilidade auditiva das altas frequências.

De acordo com Gregory *et al* (2012), os sons que o ouvido humano pode perceber tanto podem ser agradáveis, quanto desagradáveis e que causam desconforto; estes então são denominados ruídos. O limite entre som e ruído tem origem psicológica, portanto, depende da sensação que causa no indivíduo, do tempo de duração ou exposição a esse, do tipo de fonte sonora, do estado de espírito e até de como pode ativar sua memória auditiva (GRANDJEAN, 1998, *apud*, GREGORY, 2012).

O ruído excessivo pode comprometer seriamente a saúde das pessoas, influindo diretamente em seu cotidiano. Os efeitos do ruído podem ocasionar diversos problemas de saúde, quais sejam: deficiência auditiva, insônia, queda no rendimento, transtorno no comportamento social, como agressividade ou passividade, dor e fadiga, problemas na fala, estresse e suas consequências (WHO, 2011).

1.2. POLUIÇÃO SONORA E MAPEAMENTO ACÚSTICO

No Distrito Federal, a questão da poluição sonora e os problemas decorrentes são abordados pela Lei Distrital n° 4.092 de 30 de janeiro de 2008, que remete a NBR 10151 (ABNT, 2000). Esta lei define poluição sonora como toda emissão de som que, direta ou indiretamente, seja ofensiva ou nociva à saúde, à segurança e ao bem-estar da coletividade. O artigo 2° da Lei 4092/2008 estabelece a proibição de perturbar o sossego e o bem-estar público da população pela emissão de sons e ruídos por quaisquer fontes ou atividades que ultrapassem os níveis máximos de intensidade fixados nesta Lei. Para ambientes externos a Lei estabelece limites, conforme indicados na Tabela I.

Tabela l: Limites de NPS para áreas externas

Critérios de avaliação para ambientes externos

Tipo de área	Diurno	Noturno
Área de sítios e fazendas	40 dB(A)	35 dB(A)
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais, escolas e bibliotecas	50 dB(A)	45 dB(A)
Área mista, predominantemente residencial e de hotéis	55 dB(A)	50 dB(A)
Área mista com vocação comercial, administrativa ou institucional	60 dB(A)	55 dB(A)
Área mista com vocação recreativa	65 dB(A)	55 dB(A)
Área predominantemente industrial	70 dB(A)	60 dB(A)

FONTE: Lei Distrital n° 4092, de 30 de janeiro de 2008.

Assim, utilizar técnicas e desenvolver métodos que visem um diagnóstico ou um retrato da realidade acústica na qual a população está exposta torna-se prática importante no âmbito social. Dessa forma, os mapas de ruído surgem como uma ótima ferramenta para o planejamento urbano, visto que este fornece informação visual do comportamento acústico de uma área geográfica, num momento determinado. No entanto, mapas de ruído não devem ser considerados como um fim em si, mas antes como ferramentas para melhorar ou preservar a qualidade do ambiente sonoro (MARDONES, 1999).

Com o aumento do fluxo veicular torna-se necessário a criação de novos projetos que comportem a alta demanda da frota de veículos, de modo a amenizar congestionamentos. O crescimento do número desses transportes é acompanhado do aumento do ruído local e este último nem sempre é levado em conta na previsão de cenários futuros. Desse modo, a falta de investimentos e planejamentos que visem, sobretudo a qualidade de vida do homem, acarreta em sua exposição a fatores ambientais, tais como a poluição sonora.

A poluição sonora está cada vez mais presente na paisagem ambiental dos grandes centros urbanos. A origem deste tipo de incômodo ambiental tem como principal fonte o tráfego veicular e quando esta componente não é devidamente levada em consideração no planejamento das cidades os problemas ambientais são potencializados, por exemplo, avenidas com várias faixas de rolamento limitadas por calçadas estreitas deixam a fachada de casas e edifícios a poucos metros do fluxo de veículos (GARAVELLI *et al*, 2010). No entanto, a poluição sonora urbana em geral está aumentando por causa do volume de tráfego crescente (HADZI-NIKOLOVA *et al*, 2012).

Assim, vale ressaltar que a expansão urbana eliminou o silêncio de boa parte do Planeta e atualmente o ruído se constitui como um dos agentes contaminantes mais nocivos à saúde humana, podendo ocasionar doenças tanto fisiológicas quanto psicossomáticas (BARRETTO e FREITAS, 2008).

A falta de implantação de sistemas que minimizem a exposição ao ruído pode acarretar em danos irreversíveis ao aparelho auditivo, acarretando em problemas para a saúde física e mental das pessoas por eles afetadas.

Em áreas residenciais, o excesso de barulho é a principal reclamação ambiental. Dados estatísticos do IBRAM (Instituto Brasília Ambiental) confirmam que as reclamações referentes à poluição sonora superam todas as outras, inclusive aquelas relacionadas à poluição do ar. Em estudo realizado em Taiwan (Tsai *et al*, 2009) o mesmo fato se confirma.

Para Barretto e Freitas (2008), o planejamento, a implantação e a operação dos sistemas de transportes devem representar uma forma de acelerar mudanças ambientais positivas, capazes de reduzir a poluição sonora causada pelos meios de transportes ruidosos que circulam pelas cidades. Vale ressaltar que o Brasil ainda não possui uma política nacional de controle do ruído urbano o que muitas vezes acarreta em exposições ao ruído muito acima daqueles recomendados pela legislação.

2. OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o impacto ambiental sonoro causado pela construção da Linha Verde na região mais próxima a Águas Claras, Brasília-DF, que vai aproximadamente da residência oficial do Governador até a entrada de Taguatinga. Desse modo, pretendeu-se fazer um estudo quantitativo, levando em conta à antiga EPTG e a nova EPTG (com implantação da Linha Verde) e os riscos nos quais a população que habita nas proximidades da rodovia ficou exposta. Assim, pretendeu-se com a determinação da paisagem acústica atual da região e comparação com a situação anterior, demonstrar a importância da avaliação da poluição sonora no planejamento de novas estradas e cidades (ZANNIN e SANTANA, 2011) e ainda, por meio da avaliação dos NPS confrontou-se os valores determinados com a legislação ambiental vigente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa consistiu na simulação do cenário acústico nas proximidades da EPTG, fazendo-se uso dos controladores eletrônicos de velocidade (CEV) para retratar a paisagem ambiental tanto de 2008 quanto de 2012. Essa metodologia, baseada no uso dos CEV já foi utilizada em estudos anteriores recentes como na elaboração de mapa na região central de Brasília-DF (Lisboa *et al*, 2012) e tem se mostrado como uma boa ferramenta na representação de cenários acústicos.

3.1. ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) na região geoeconômica de Brasília vive uma população de mais de 2,5 milhões de habitantes, em cidades denominadas de regiões administrativas. O fluxo diário dessa massa populacional em direção ao centro de Brasília faz com que a população que habita a vizinhança das principais vias de ligação esteja exposta a níveis de pressão sonora (NPS) que excedem os limites legais em até 15dB (MAROJA, 2011).

A cidade de Águas Claras, Brasília-DF, considerada o maior canteiro de obras da América Latina, tem sofrido alterações constantes na sua paisagem ambiental, porém a preocupação com a impacto sonoro no qual os moradores estão submetidos é algo que não tem sido levado em conta no planejamento urbano.

Na busca por soluções para o problema apresentado, o GDF (Governo do Distrito Federal) teve a iniciativa de construção da Linha Verde (Secretaria de Estado de Transportes, 2009), projeto que visava à ampliação da Estrada Parque Taguatinga (EPTG), com novos viadutos, passarelas para pedestres e vias marginais, com o intuito de diminuir os constantes congestionamentos na rodovia. O objetivo era a diminuição do fluxo de veículos entre Brasília e a região de Taguatinga, uma das mais populosas do DF, com a implantação do sistema de corredores exclusivos para ônibus.

A EPTG, também conhecida como DF-085, tem origem na entrada da Octogonal-DF e se estende até a entrada de Taguatinga-DF compreendendo um percurso de 12,7 Km de extensão. Antes da implantação da Linha Verde, a EPTG contava apenas com duas vias marginais, após sua implantação a rodovia conta com quatro pistas, duas no sentido Taguatinga - Plano Piloto e duas no sentido Plano Piloto – Taguatinga, duas das pistas são denominadas Marginais, com maior fluxo de veículos pesados e lentos e as outras pistas são denominadas Principais, onde há fluxo maior de carros leves e ainda onde estão os corredores exclusivos para ônibus. Ao longo dessas vias existem atualmente cerca de 50 CEV, número suficiente para representar o fluxo e a composição do tráfego veicular na rodovia.

Para realização dessa pesquisa, a área de estudo considerada está localizada no trecho da EPTG que compreende desde a entrada de Taguatinga-DF até a região próxima à residência oficial do Governador do Distrito Federal (GDF), compreendendo aproximadamente três quilômetros (3 Km) da extensão correspondente a EPTG. Essa área representa bem o conjunto da EPTG e a exposição na qual a população que habita nas proximidades ficou exposta com a implantação da Linha Verde. A área de estudo pode ser visualizada a partir da Figura 1[3].

Figura 1 - Área de estudo da pesquisa, em 2008. FONTE: Google Earth.

As faixas centrais da Linha Verde foram construídas sobre o eixo da EPTG, sendo via de ligação entre Brasília e as cidades do Guará, Águas Claras, Vicente Pires, Taguatinga, Ceilândia e Samambaia, consistindo em uma das vias mais movimentadas do Distrito Federal.

Logo que sai de Taguatinga, as margens da Linha Verde são ocupadas à direita pela região de Águas Claras, denominada Águas Claras verticalizada, onde há predominância de

[3] Fotografia aérea da região de estudo referente à 10/06/2008 e obtida a partir do programa Google Earth. Acesso em 25 de jan. 2013.

edifícios, alguns com mais de 30 andares. Já a esquerda fica Vicente Pires, com predominância de casas.

Em relação à implantação da Linha Verde, se por um lado ocorreu uma melhora significativa nas consolidações de tráfego quando comparado a antiga EPTG, seu alargamento e a construção das marginais (conjunto correspondente a Linha Verde) localizaram as faixas de rolagem das marginais praticamente em frente a edifícios da região administrativa de Águas Claras e Vicente Pires, visto que a rodovia está situada na região que separa essas duas cidades.

3.2. ELABORAÇÃO DO MAPA DE RUÍDO

Para a elaboração do presente artigo e visando gerar veracidade aos dados, algumas etapas foram realizadas, a fim de se elaborar o mapa proposto, a ressaltar: 1) Caracterização espacial da área de estudo; 2) Inserção de dados do local, dentro da área do mapa; 3) Análise de dados dos Controladores Eletrônicos de Velocidade (CEV); 4) Contagem de veículos na rodovia da área de estudo; 5) Elaboração de mapa de ruídos do trecho da EPTG mais próximo a Águas Claras, que vai aproximadamente da residência oficial do Governador até a entrada de Taguatinga; 6) Identificação de pontos críticos, ou seja, onde a exposição ao ruído é maior.

Na Etapa 1, foi definida a "área do mapa" e a "área de estudo", onde foi considerada uma área de estudo maior do que a área onde se pretendia conhecer os níveis sonoros, denominada de "área do mapa de ruído". Posteriormente, foi realizada a aquisição de dados que constituiu a base necessária à alimentação do modelo. Esta informação é constituída pela cartografia do local e por um conjunto variado de dados de entrada. Assim, esse processo foi realizado por meio da base cartográfica do local obtida do SICAD – Sistema de Informações Cartográficas - bem como todas as informações relativas à Linha Verde (EPTG), tanto em 2008 (investigação anterior do ruído em Águas Claras) como em 2012. Na produção do mapa de ruído além da base cartográfica ocorre a inserção das curvas de nível que definem a altura do terreno. Figuras de alta resolução também foram utilizadas, sendo extraídas do programa Google Earth, ilustrando a realidade em 2008, por meio de fotografia aérea do local referente à 10/06/2008 e ilustrando a realidade de 2012 com fotografia referente a 06/02/2012.

A Etapa 2 consistiu na inserção dos dados de entrada para elaboração do mapa de ruídos que correspondem inicialmente a uma análise espacial da região de estudo, de modo que algumas variáveis como base cartográfica, curvas de nível, estradas, vegetação e edifícios são geradas a fim de se reproduzir a região estudada. Em um momento posterior, trabalha-se dentro da área do mapa com informações como a largura das vias, número de faixas, tipo de asfalto, altura dos edifícios e casas, posição precisa dos CEV, volume de tráfego diário e velocidade média dos veículos.

Já nas Etapas 3 e 4, levou-se em conta as ideias de Mardones (2009) que aponta o fluxo e composição do tráfego veicular como principal fonte de ruído.

Assim, para a Etapa 3, os dados correspondentes aos CEV foram cedidos, por meio de relatório mensal, pelo setor de geoprocessamento do Departamento de Estradas de Rodagem do DF (DER-DF). Os dados cedidos são correspondentes aos períodos de Julho de 2008 (período anterior à implantação da Linha Verde) e Julho de 2012 (período com a Linha Verde já inaugurada). Os CEV, além de fotografar os veículos que ultrapassam o limite de velocidade da via, registram ao longo das 24 horas do dia, por hora, o número total de veículos que passam pela via. A utilização dos dados dos controladores eletrônicos é uma nova ferramenta, útil para geração dos mapas, facilitando o tedioso procedimento de contagem veicular, uma vez que em geral, é feita manualmente através do contador (LISBOA *et al*, 2012).

A Etapa 4 consistiu na visita *in loco* e realização da contagem do número de veículos, sendo estes contados em dois dias no período de 10 minutos, hora a hora em cada uma das pistas da EPTG. A contagem ocorreu no período correspondente ao L_{dia} que abrange o intervalo de 7 às 19hs. Essa etapa se fez necessária por alguns dados dos CEV obtidos a partir do relatório mensal se mostrarem em discordância em relação à proporção entre o número de veículos leves e pesados que passam pela rodovia diariamente. Desse modo, a partir da contagem do fluxo total de veículos, foi realizada a distribuição dos números de veículos leves e pesados, levando em conta a proporção entre esses veículos, hora a hora.

Já a Etapa 5 consistiu na elaboração dos mapas de ruído que foram elaborados com o uso de modelagem computacional utilizando o software de simulação ambiental SoundPLAN. O programa apresenta ferramentas para criação de modelos 3D, para importar e exportar dados em concordância com principais normas internacionais para ruídos de estradas, ferrovias, indústria e aeronaves. Quanto ao procedimento de cálculo para o ruído de tráfego, apresenta modelo que calcula as potências sonoras dos veículos, podendo ser derivadas de dados de tráfego (NARDI, 2008). Além disso, o software considera os principais fatores de atenuação sonora ao ar livre (BRAUNSTEIN e BERNDT, 2007).

Desse modo, para o cálculo do mapa de ruído, apenas a Linha Verde foi considerada como fonte de ruído ambiental, ou seja, nesse estudo apenas o tráfego veicular nas principais vias da EPTG foi considerado como fontes de ruído, sendo este determinado a partir de dados dos CEV fornecidos pelo Departamento de Estradas de Rodagem do DF (DER/DF).

Na simulação, o modelo matemático utilizado para propagação e emissão do ruído foi o RLS 90 (norma alemã). O procedimento para elaboração dos mapas foi baseado nas Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído (Instituto Ambiente, 2007) e no Guia de Boas Práticas para Elaboração de Mapas de Ruídos (Manvell, 2011).

Desta forma, foram produzidos dois mapas de grelha, o primeiro referente ao impacto sonoro em 2008 e o segundo referente a 2012. Na elaboração do mapa de grelha foi utilizada uma resolução espacial de 1x1, sendo considerada para o cálculo uma altura de 4m.

Por fim, a Etapa 6 consistiu na inserção de receptores em alguns pontos do mapa a fim de se verificar a diferença na exposição ao ruído quando comparados os cenários de 2008 e 2012. Todos os receptores foram inseridos com uma altura equivalente a 2m acima do local. Os receptores foram alocados em pontos estratégicos da região de estudo, visando fazer uma análise quantitativa da exposição ao ruído no quais moradores da área estão submetidos. Assim foram inseridos receptores, tanto em Águas Claras quanto em Vicente Pires, em posição frontal a via e receptores em pontos internos as quadras.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. DADOS DE ENTRADA

Os dados dos CEV fornecidos pelo DER-DF através do “Relatório Por Porte Veicular Por Dia” foram à base de dados para a geração do mapa de ruídos da região. Esse relatório contém informações fundamentais a cerca do fluxo de veículos na região, a destacar: local exato dos CEV, data da movimentação, hora da medida (de 0h às 23h) e ainda, número de veículos por tipo: motos, pequenos, médios, grandes e indefinidos, representando o período de um mês, dia a dia. Para essa pesquisa foram fornecidos dados referentes ao mês de Julho de 2008 e 2012, períodos que representam a realidade anterior e posterior à construção da Linha Verde.

A partir desses dados, os veículos foram divididos em ligeiros e pesados, visto que assim são requeridos como dado de entrada pelo modelo matemático RLS 90. Este é o modelo

de emissão de ruído devido ao tráfego de veículos. Os veículos considerados "indefinidos" pelo relatório foram distribuídos na mesma proporção entre ligeiros e pesados.

A Tabela II apresenta o fluxo médio diário de veículos no intervalo correspondente ao L_{dia} (7 às 19hs) determinado através de média mensal e considerando apenas os dias de segunda a sexta feira. Ainda, a tabela apresenta dados como os CEV considerados e o sentido dos veículos na via.

Tabela II - Fluxo médio de veículos na semana para o intervalo correspondente ao L_{dia}.

	Localização			**Veículos - Média L_{dia} (7 as 19hs)**		
	Via	**Sentido**	**CEV**	**Ligeiros**	**Pesados**	**Total**
2008	EPTG	Taguatinga - R. GDF	EPTG - km 4.6	30003	1014	31017
		R. GDF - Taguatinga	EPTG - km 5.3	34458	1178	35636
2012	EPTG marginal	Taguatinga - R. GDF	PD502A	14652	1224	15876
		R. GDF - Taguatinga	PD499A	9312	1368	10680
	EPTG principal	Taguatinga - R. GDF	PD502	39974	1347	41321
		R. GDF - Taguatinga	PD499	35732	2128	37860

Conforme a Tabela II houve um aumento significativo no fluxo diário total de veículos no intervalo correspondente ao L_{dia}, sendo que o fluxo em 2012 apresenta-se 59% maior do que aquele correspondente a 2008.

Através da Figura 2 é possível notar um grande aumento no fluxo médio de veículos por hora para os dias da semana na rodovia estudada. Assim, quando comparados os dados de 2008 e 2012 nota-se um aumento significativo no número tanto de veículos ligeiros quanto no número de veículos pesados, tendo horas em que esse aumento chega a até 40%, evidenciando que a expansão da rodovia foi acompanhada do aumento de fluxo de veículos. O gráfico expressa ainda um aumento significativo principalmente nos período da manhã e fim de tarde, nos denominados "horários de pico".

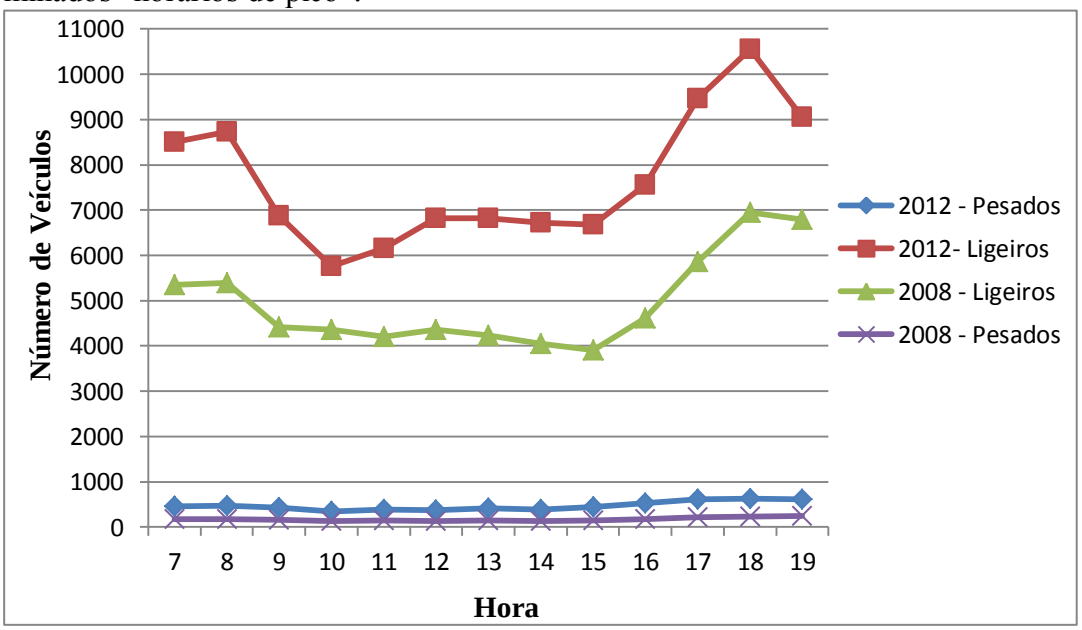

Figura 2 - Média mensal, por hora, de fluxo de veículos ligeiros e pesados, registrados pelos CEV em 2008 e em 2012 na região de estudo.

4.2. MAPAS DE RUÍDO: SIMULAÇÃO

Por meio do conjunto de dados obtidos referentes ao fluxo veicular da EPTG foram elaborados os mapas de ruído da região estudada, sendo estes referentes a 2008 e 2012. Considerou-se na pesquisa apenas a EPTG como fonte de ruído, ou seja, as duas marginais em 2008 e as quatro pistas de 2012, com duas vias marginais e duas vias principais.

Os mapas apresentam por meio da variação de cores, os NPS e a propagação do som em diversos pontos da região de estudo, sendo que as cores mais escuras representadas pelos tons de laranja, vermelho e azul indicam pontos em que o ruído se apresenta acima do valor permitido pela legislação, Lei Distrital n° 4092/2008 (Tabela 1), variando entre 65 e 90 dB(A). Essas regiões apresentam alto risco ambiental sonoro, onde a exposição diária pode acarretar em sérios danos à saúde, como os mencionados por WHO (2011).

Já os tons mais claros que variam de verde a amarelo apontam para os pontos onde o nível de pressão sonora produzido pela rodovia é menos intenso, ou seja, para pontos que apresentam níveis mais toleráveis, sendo estes abaixo de 65 dB(A).

Os mapas foram confeccionados por meio do parâmetro acústico $L_{dia,}$ representando o NPS médio ponderado do ruído durante o dia, no intervalo entre 7 e 19hs. O período de tempo equivalente ao L_{dia} é importante por retratar a exposição acústica da região, sobretudo nos horários de maior movimentação de veículos do dia, já que abrange tanto o horário em que a grande parte dos motoristas se direciona para o trabalho, como o horário em que os mesmos retornam para casa.

Conforme a Figura 3, em 2008 tanto Vicente Pires quanto Águas Claras já estavam expostas a NPS superior a aqueles permitidos pela legislação.

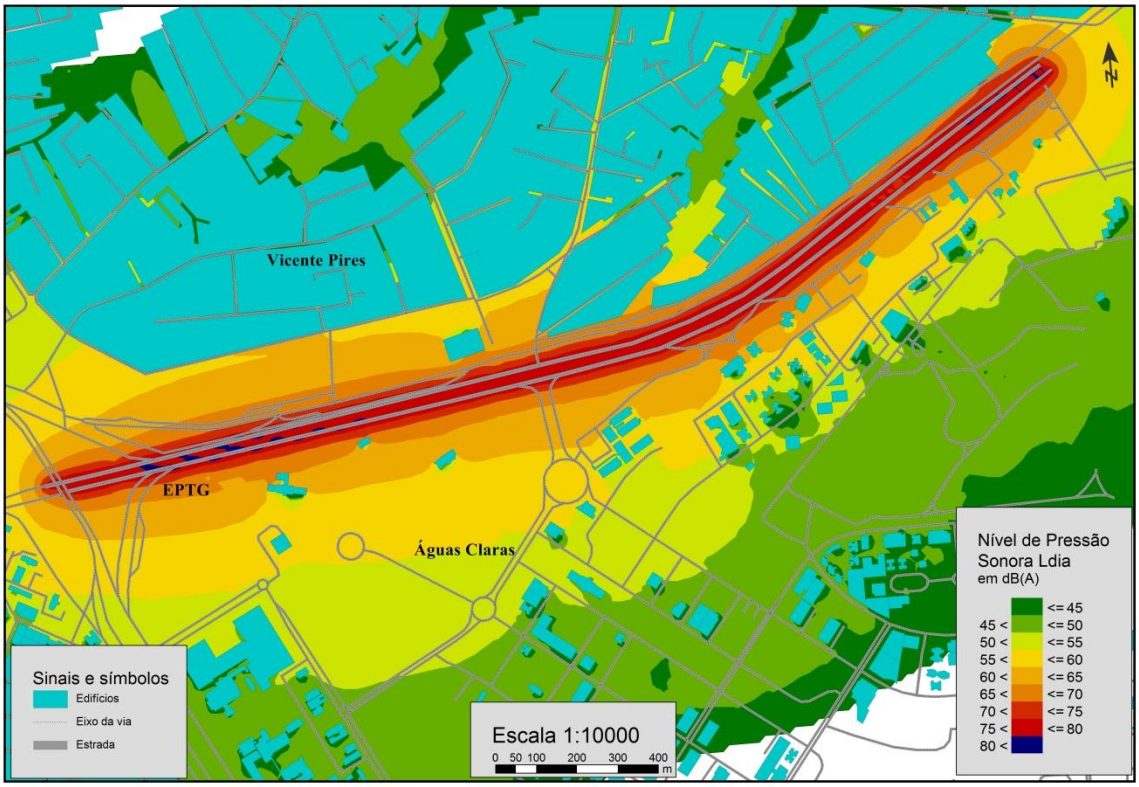

Figura 3 - Mapa de ruído da área de estudo em 2008.

No entanto, a população mais exposta era a que se encontrava nas proximidades da rodovia em até 70m de distância. Tendo em vista que a região de Águas Claras estudada pode ser considerada uma "Área mista, com vocação comercial, administrativa ou institucional", os NPS de L_{dia} para essa região conforme a legislação é de até 60 dB(A), porém em 2008 já se ultrapassava esse valor, com NPS variando entre 65 e 75 dB(A). Nessa época, a região de Águas Claras apresentava poucos edifícios próximos a EPTG e desta forma pouca barreira acústica[4], o que pode ser notado quando se compara a intensidade dos NPS entre as cidades de Águas Claras e Vicente Pires, onde na segunda, mesmo com predominância de casas, a expansão do ruído é menor.

Em 2012, após a implantação da Linha Verde na EPTG, a paisagem ambiental acústica da região tornou-se ainda mais crítica (Figura 4), visto que o sistema de corredores exclusivos para ônibus aproximou ainda mais a rodovia dos edifícios.

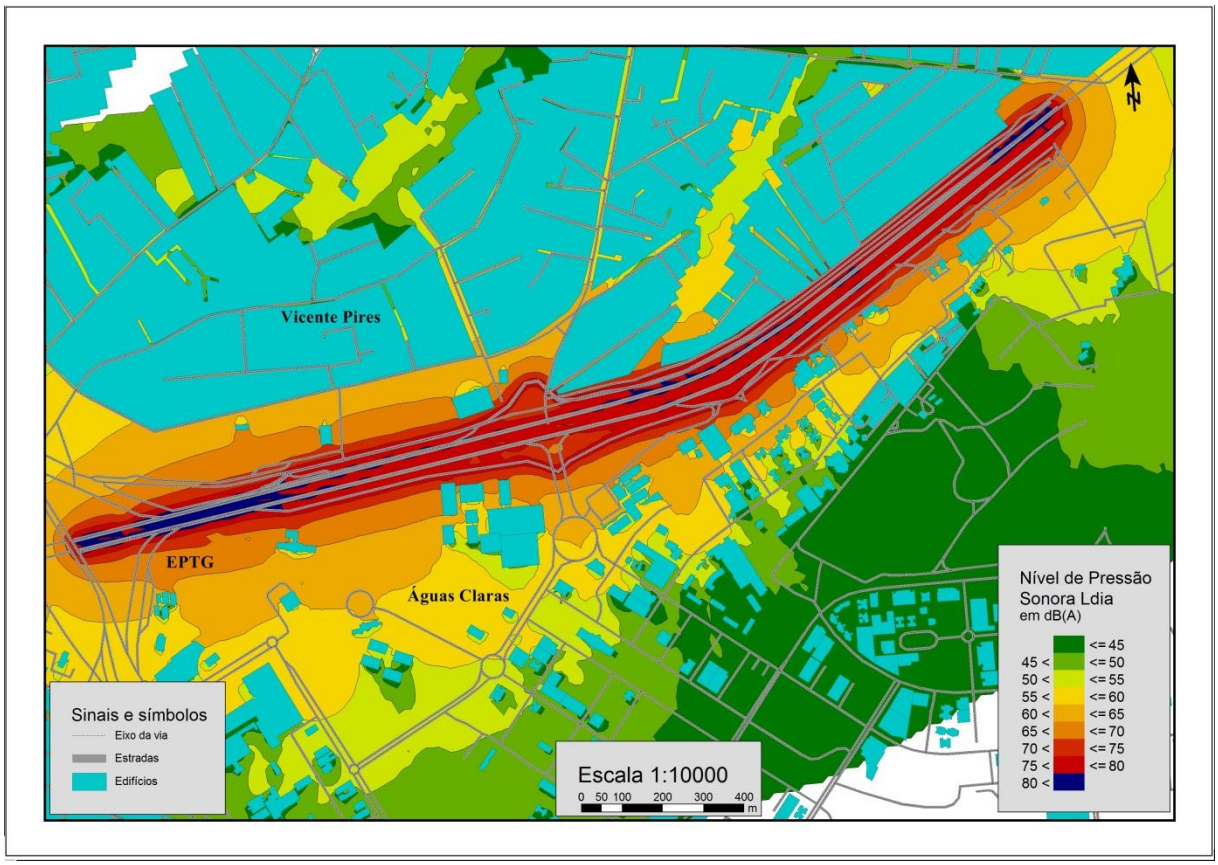

Figura 4 - Mapa de Ruído da área de estudo em 2012.

Tais mudanças causaram grande impacto na dinâmica do tráfego rodoviário da cidade, como consequência direta, alteração significativa na geração e propagação do ruído. Essas mudanças no tráfego associadas ao crescimento do número de prédios e de veículos resultaram em um aumento significativo nos NPS em várias regiões da cidade (GARAVELLI *et al*, 2010).

Por meio do novo mapa é possível notar um aumento considerável nos NPS ao qual a cidade ficou exposta, sendo que estes passaram a variar entre 70 e 80 dB(A). Isso também se explica pelo aumento do número do fluxo de veículos.

[4] Uma barreira acústica é qualquer estrutura ou obstáculo que impede a visão da fonte de ruído pelo receptor (Bistafa, p.212, 2011).

Se em 2008 a população mais exposta ao ruído era aquela que se encontrava próxima à rodovia em até 70m de distância, em 2012 o ruído prejudica até mesmo aqueles que estão a 120m de distância da rodovia.

Ainda, mesmo com o considerável aumento no número de edifícios na região, são poucos o que atuam como barreira acústica, permitindo assim uma maior propagação do som e consequentemente um aumento do nível de pressão sonora.

Tendo em vista que estudos anteriores (Garavelli *et al*, 2010) consideram a região de Águas Claras mais próxima à EPTG como ponto mais crítico da cidade, por meio da simulação pôde ser notado que de fato a EPTG apresenta NPS muito acima daquele previsto pela legislação.

De acordo com os mapas, a mudança na paisagem acústica de Águas Claras quando comparado 2008 (Figura 5a) com 2012 (Figura 5b) é evidente.

Figura 5a - Zoom referente ao mapa de 2008, destacando o NPS sobre os edifícios.

Figura 5b - Zoom referente ao mapa de 2012, destacando o NPS sobre os edifícios.

O impacto sonoro sobre a população pode ser notado também quando comparamos o NPS aos quais receptores colocados em pontos estratégicos dos mapas ficaram submetidos após a mudança do ambiente sonoro.

O NPS no qual a população estava exposta tanto em 2008 quanto em 2012 pode ser representado, conforme a Figura 6, por meio dos receptores indicados no mapa.

Figura 6 - Mapa com localização enumerada dos receptores.

Por meio da Figura 6 pode se notar que foram inseridos nove receptores, sendo que cinco deles foram alocados na região de Águas Claras e quatro na região mais próxima a Vicente Pires. Desse modo, os receptores foram alocados na região frontal das duas cidades em relação à EPTG e em posições internas as respectivas cidades, visando verificar a atuação de barreiras acústicas e possíveis reduções nos NPS quando comparados os dois cenários.

A partir da Tabela III é possível notar que em 2008 alguns dos receptores já estavam submetidos à NPS superiores àqueles estabelecidos pela legislação para esse tipo de região.

Para área estritamente residencial, característica da população de Vicente Pires, a legislação também indica que o NPS não seja superior a 50 dB(A), porém o que se nota é que devido a rodovia está bem próxima das residências, os níveis de pressão sonora são bem superiores a aquele estabelecido, atingindo já em 2008 até 67,7 dB(A) em um dos pontos.

Tabela III – Comparação entre o NPS nos quais receptores estavam submetidos em 2008 e 2012.

		NPS em dB(A)	
Posição	**Receptor**	**2008**	**2012**
FRONTAL	(1) Águas Claras 1	61,2	63,5
	(2) Águas Claras 2	65,3	69,1
	(6) Vicente Pires 1	67,7	73,9
	(7) Vicente Pires 2	66,6	74,8
INTERNA	(3) Águas Claras 3	56,6	54,9
	(4) Águas Claras 4	51,1	48,5
	(8) Vicente Pires 3	53,1	57,6
	(9) Vicente Pires 4	57,8	61,0
	(5) Centro Universitário	59,3	62,8

Analisando, ainda por meio da Tabela III, o NPS nos quais os mesmos receptores ficaram expostos em 2012 é possível notar que sua exposição ao ruído aumentou significativamente, tendo em vista que a nova infraestrutura aproximou ainda mais a rodovia tanto dos edifícios quanto das residências.

Figura 7a - Fotografia aérea da região de estudo em 10/06/2008.

Figura 7b - Fotografia aérea da região de estudo em 06/02/2012.

Por meio de análise dos dados, podemos notar que houve aumento do NPS em sete dos pontos estudados e redução em apenas dois deles. A redução pode ser explicada pela construção de novos edifícios na região de estudo (Figuras 7a e 7b), havendo aumento de 96% no número desses edifícios próximos a rodovia, de 2008 para 2012. Assim, a redução

justifica-se por alguns destes novos edifícios atuarem como barreira acústica. Já o aumento se explica, dentre outros fatores, pela falta de vegetação na região e pela expansão da rodovia.

Dentre os novos valores de NPS, os receptores mais expostos ao ruído em 2012 foram: Vicente Pires 2 com aumento de 8,2 dB(A) em relação a 2008, na posição frontal e Vicente Pires 3, na posição interna, com aumento de 4,5 dB(A) em relação ao mesmo período. O receptor Vicente Pires 2 apresenta 24,8 dB(A) acima do estabelecido pela legislação local para esse tipo de área e pode ser considerado o ponto mais crítico da cidade, ou seja, o ponto em que a exposição ao ruído pela população é maior.

Em relação aos receptores alocados em Águas Claras, houve aumento de NPS naqueles localizados na posição frontal à rodovia e redução nos pontos localizados na posição interna. O que indica que os moradores que moram nas proximidades da via estão mais expostos aos danos do que aqueles que moram nas quadras internas da cidade.

O Centro Universitário também apresentou aumento no NPS. Vale destacar que para área escolar a Lei n° 4092/2008 estabelece que durante o dia o NPS não ultrapasse 50 dB(A). Assim, destaca-se que escolas são ambientes onde os estudantes passam grande parte do seu dia e a exposição a elevados níveis de ruídos pode comprometer o rendimento escolar, além de potenciais danos à saúde (ENIZ e GARAVELLI, 2006). Desse modo, verifica-se que em 2008 o Centro Universitário (5) já apresentava NPS 9,3 dB(A) acima do indicado pela legislação. Desta forma, em 2012 a exposição ao ruído atingiu 12,8 dB(A) acima daqueles estabelecidos, expondo ainda mais os estudantes aos riscos da poluição sonora.

O Gráfico 1 apresenta a comparação entre o NPS nos quais os receptores estavam submetidos em 2008 e o que ficaram em 2012.

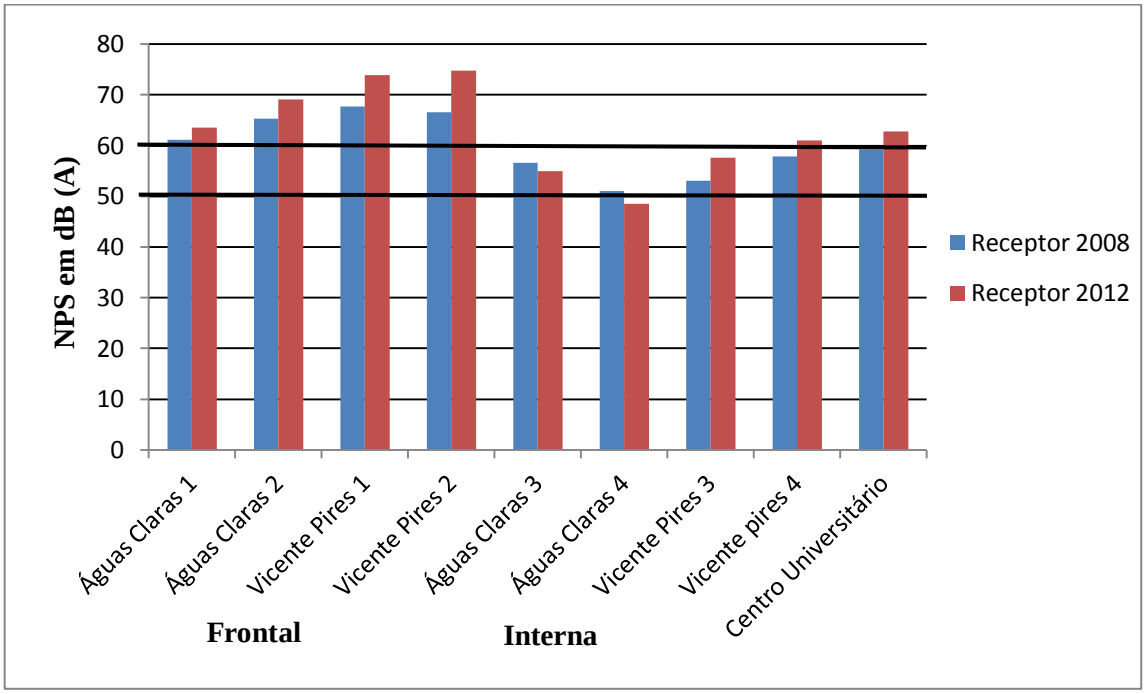

Gráfico 1 - Comparação entre os NPS dos receptores em 2008 e 2012.

Os resultados indicam que houve um aumento significativo no nível de pressão sonora em um curto período de tempo. Vale destacar ainda, que a área de estudo apresenta vários terrenos vazios, evidenciando que na região de Águas Claras há ainda grande possibilidade de crescimento, o que no futuro pode expor a população a NPS com valores ainda mais elevados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo possibilitou por meio da confecção de mapas de ruído demonstrar a importância da previsão de cenários futuros quando obras que exponham a população a ruídos são propostas. Por meio do confronto entre os NPS ao qual a população estava exposta em 2008 e aquele que se tonou exposta em 2012, foi possível verificar um aumento significativo na intensidade do mesmo para os diversos critérios de avaliação de ambientes externos, causando danos ainda mais intensos na população que habita a área de estudo. De modo geral, os novos NPS se apresentaram muito acima do limite estabelecido pela Lei n° 4092/2008, o que evidencia a importância desse estudo para avaliar o conforto acústico de regiões com grande tráfego veicular.

A elaboração do mapa por meio da utilização dos CEV se mostrou eficiente, uma vez que os dados obtidos apresentaram os valores exatos do fluxo de veículos em suas especificidades, promovendo assim, a elaboração de um mapa ainda mais preciso.

Em relação à EPTG, se por um lado à expansão da rodovia reduziu o número de congestionamentos na região, essa expansão veio acompanhada da intensificação do fluxo de veículos e em consequência uma maior exposição da população aos riscos da poluição sonora. Esse fato demonstra que o fator exposição a ruídos não foi levado em conta na implantação da nova infraestrutura.

Vale destacar que houve um grande crescimento no número de edifícios em Águas Claras, sobretudo daqueles próximos a rodovia, porém notou-se que apenas alguns dos edifícios próximos à rodovia atuam como barreiras acústicas, o que expõe ainda mais a população localizada no interior da cidade. Desse modo, a expansão e crescimento desordenado da cidade têm exposto cada vez mais indivíduos aos riscos da poluição sonora.

Dessa forma, a informação e a conscientização da população sobre os níveis de poluição sonora a que está submetida e os riscos a saúde correspondentes, pretende conduzir a políticas públicas mais abrangentes no controle deste tipo de poluição ambiental.

Visando uma análise mais abrangente da região, recomenda-se que medidas de intensidade de ruído sejam realizadas na área de estudo, a fim de se confrontar os dados obtidos por meio da simulação com aqueles obtidos por medição, visando uma análise ainda mais precisa dos dados.

Ainda, em busca de uma melhor qualidade de vida, recomenda-se que análises como essas que preveem cenários sonoros futuros tornem-se prática comum na implantação de novas infraestruturas, especialmente aquelas relacionadas ao transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

BARRETO, D. M.; FREITAS, I. M. Importância de mapas de ruído na análise do impacto dos transportes. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 22., Belo Horizonte, 2008. **Anais do XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica.** Belo Horizonte, 2008.

BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle de ruído. São Paulo: **Blucher**, 379p. 2011.

BRAUNSTEIN e BERNDT. Handbook user's manual. **SoundPLAN LLC**, 2004. 457p. Disponível em: <http://www.soundplan.com/SoundPLAN_EN-master.pdf>. Acesso em: 12 de jan. 2013.

ENIZ, A.; GARAVELLI, S. L. A contaminação acústica de ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil. **HOLOS Environment (Online)**, v. 2, p. 137-150, 2006.

GARAVELLI, S. L., et al. Mapa de ruído como ferramenta de gestão da poluição sonora: estudo de caso de Águas Claras – DF, Brasil. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 4, 2010, Faro. **Anais do IV Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**, Faro, 2010.

GOOGLE, **Programa Google Earth,** 2012.

GREGORI, J. M. M. H.; GREGORI, A. M. M. H.; CASAGRANDE JUNIOR, E. F. Avaliação de conforto acústico ambiental em edificação sustentável - Estudo de caso: Escritório Verde - Curitiba/PR. **In: VIII CNEG - Congresso Nacional de Excelência em Gestão**, Niterói, Rio de Janeiro, 2012.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R.; ZANNIN, P. H. T. Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju – Brazil. **Science of the Total Environment**, 412-413, 66-76, 2011.

HADZI-NIKOLOVA, M.; MIRAKOVSKI D.; RISTOVA, E.; CERAVOLO S. L. Modeling and Mapping of Urban Noise pollution with Soundplan Software. 38-41, London, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em: 15 de set. 2012.

KING, E. A.; RICE, H. J. The development of a practical framework for strategic noise mapping. **Applied Acoustics,** 70, 1116-1127, 2009.

LISBOA, H. B.; MAROJA, A. M.; GARAVELLI, S. L. Mapa de Ruído como Instrumento de Gestão da Poluição Sonora: Estudo de Caso na Região Central de Brasília - DF. **In: PLUIRIS 2012, Planejamento Urbano Regional Integrado e Sustentável**, Brasília-DF, 2012.

MANVELL, D.; VAN BANDA, E. H. Good practice in the use of noise mapping software. **Applied Acoustics**, 72, 527-533, 2011.

MARDONES, M. D. M. Mapeamento dos níveis de ruído em Copacabana, Rio de Janeiro, através de simulação computacional. **Dissertação de Mestrado em Ciências em Engenharia Mecânica**. 59f. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

MAROJA, A. M. ; GARAVELLI, Sérgio Luiz ; CARVALHO JÚNIOR, E. B. Noise mapping using vehicles electronic speed controllers. **In: 18th ICSV**, Rio de Janeiro, 2011.

NARDI, A. S. L. V. Mapeamento Sonoro em Ambiente Urbano. Estudo de Caso: Área Central de Florianópolis. **Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo.** 108f. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Brasil, 2008.

PORTUGAL. Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto do Ambiente. **Directrizes para elaboração de mapas de ruído**. Zambujal: Amadora, 25 p. 2007.

SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTES. Linha Verde, um marco do Brasília Integrada. Disponível em: http://www.st.df.gov.br/003/00301009.asp?ttCD_CHAVE=83418. Acesso em: 15 de jun. 2012.

TSAI K.; LIN M.; CHEN Y. Noise mapping in urban environments: a Taiwan study. **Applied Acoustics**, 70, 960-972, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO 1999. **Guide-lines for comunity noise.** Edited by Birgitta Berghund, Thomas Lindvall, Dietrich H. Schela. Disponível em: <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>. Acesso em: 24 de set. 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, WHO 2011. **Regional Office for Europe**. Disponível em: <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/noise>. Acesso em: 05 de dez. 2012.

ZANNIN, P. H. T.; SANT'ANA, D. Q. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – A case study in Brazil. **Applied Acoustics**, 72, 479-486, 2011.