

IMPACTO SONORO DA IMPLANTAÇÃO DO METRÔ CONSIDERANDO OS EFEITOS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO “CONGRESSO ACÚSTICA 2008”

Débora M. Barretto¹, Ilce M. Freitas²

¹Audium-Áudio e Acústica
{debora@audium.com.br}

²Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia
(ilce_marilia@hotmail.com)

Resumo

Este artigo objetiva divulgar conhecimento acerca do impacto sonoro e seus efeitos na saúde da população e se propõe a fazer uma análise da implantação do metrô de Salvador-BA com relação ao aumento do nível de ruído causado pelo percurso elevado. Atualmente no local o nível de ruído já supera os níveis saudáveis, portanto qualquer acréscimo pode ser considerado impacto. Como o Metrô ainda não está circulando, o modelo de previsão de ruído a partir da propagação sonora *HarmoNoise* foi aplicado e calculou-se o aumento do nível sonoro e o ruído final total considerando o ruído urbano existente. A produção de mapas de ruído permitiu uma correlação com os prováveis reflexos na saúde de cada trecho de acordo com a proximidade da linha do metrô. Constatou-se que o metrô causará um impacto sonoro nos cidadãos que habitam ou trabalham nas edificações lindeiras, com efeitos negativos na saúde, tendo relação direta com a localização e com a função de cada edificação.

Palavras-chave: Ruído metroviário, Impacto sonoro, Modelos de propagação Sonora, Acústica ambiental, Poluição Sonora.

Abstract

This article aims to spread knowledge about the noise impact and this effects in the health of the population and is proposed to do an analysis of Salvador's Subway projection regarding the increases of noise caused by the elevated distance. Nowadays at the place the current noise level already surpasses the healthy levels, so any addition can already be considered an impact. The vehicle is still not circulating, the noise prediction models from the resonant propagation *HarmoNoise* was applied and it was calculated the increase of the resonant level and the final total noise considering the urbane existent noise. The developed noise maps allowed a correlation with the probable reflexes in the health of each passage according to the proximity of the subway line. It was noticed that the subway will cause a noise impact in the citizen that lives or works in the bordering constructions, with negative reflex in the health, having straight relation with the location and the function of each building.

Keywords: Railway noise; Sound impact; Sound spread models, Environment acoustics, Noise Pollution.

1 Introdução

O conteúdo desse trabalho insere-se no contexto da acústica, enquanto ciência que estuda o som, buscando expor a influência que essa área tem no dia-a-dia dos cidadãos. A expansão urbana proporcionou o aparecimento de uma nova contaminação do meio-ambiente: a acústica e atualmente o ruído se constitui como um dos agentes mais nocivos à saúde humana.

O som é parte fundamental das atividades dos seres vivos e dos elementos da natureza, mas ruído em excesso provoca efeitos negativos que podem ser observados a curto e longo prazo, com reflexos em todo o organismo e não apenas no aparelho auditivo. A noção do que é barulho pode variar de pessoa para pessoa, mas o organismo tem limites físicos para suportá-lo. O ruído urbano além de trazer uma série de malefícios à população e doenças tanto fisiológicas quanto psicossomáticas, tem efeitos muitas vezes irreversíveis. Compete ao homem prever e avaliar os impactos ambientais negativos, de modo a adotar medidas visando a evitá-los ou a minimizá-los, ao mesmo tempo em que sejam maximizados os impactos positivos de uma determinada ação.

O ruído é um agente reconhecível, mas com repercussões “invisíveis” e embora ele produza efeitos cumulativos no organismo, diferencia-se de outras modalidades de poluição por não deixar resíduo no ambiente tão logo seja interrompido. A Poluição Sonora é uma forma de poluição no mundo moderno e representa todos os sons ou ruídos que, emitidos em desacordo com a legislação ambiental, prejudicam a sadia qualidade de vida do ser humano. Portanto não se trata simplesmente de uma questão de desconforto acústico.

Em ruas e avenidas os geradores de ruído são móveis: caminhões, carros, ônibus e metrô, por isso não há como autuá-los, mas existem formas de controlar a emissão desse poluente criando-se leis reguladoras capazes de atuar direto na fonte. O mais traiçoeiro efeito negativo ocorre em níveis moderados de ruído, porque mansamente vão se instalando estresse, distúrbios físicos, mentais e psicológicos, insônia e problemas auditivos. Muitos sinais passam despercebidos do próprio paciente pela tolerância e aparente adaptação e são de difícil reversão.

Da fonte ao receptor, o mecanismo de propagação de ruído ferroviário, objeto de estudo deste trabalho, é análogo ao das demais fontes móveis de ruído, sendo também função dos seguintes fatores: localização e alcance da fonte, absorção do som pelo ar e pelo solo, existência ou não de obstáculos e barreiras (naturais ou construídas), condições atmosféricas e características geométricas da via. O receptor, ou seja, a pessoa exposta ao ruído ferroviário, pode se encontrar em diferentes situações: como trabalhador no trem ou ao longo da via, como passageiro no trem e nas plataformas, e como cidadãos, podendo estar no trabalho, em casa, ou em lugares de lazer [10].

A pesquisa se propôs a analisar o impacto sonoro negativo do metrô de Salvador nas adjacências, priorizando a relação entre o ruído e a saúde humana e identificando às necessidades de se implantar medidas mitigadoras. Esse estudo representa uma preocupação com a qualidade de vida daqueles que trabalham ou habitam nas zonas próximas à linha do metrô, modo de transporte que é inerente ao cotidiano das grandes cidades e se caracteriza como um importante elemento da mobilidade urbana.

1.1 Objetivos

A pesquisa foi desenvolvida focando na importância da existência do metrô para o desenvolvimento urbano de uma cidade, mas preocupando-se com o impacto negativo que o ruído desse modo de transporte pode gerar devido a proximidade com muitas edificações.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o impacto sonoro a ser causado pelo metrô de Salvador (Trecho: Av. Bonocô) em edificações adjacentes, considerando os efeitos na saúde dos cidadãos que trabalham ou habitam nas imediações.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Calcular e analisar o NPS resultante nas edificações a partir da simulação da propagação sonora após a implantação do metrô.
- Relacionar o NPS resultante com a tipologia funcional das edificações lindeiras à linha do metrô de acordo com os parâmetros normatizados nas NBRs 10.151/87 e 10.152/00.
- Analisar os dados de NPS obtidos e sua relação com a saúde da população no que diz respeito a possibilidade do surgimento de alterações tanto fisiológicas quanto psicológicas, considerando o nível de ruído e o tempo de exposição.

2 Metodologia

A pesquisa foi dividida em 3 etapas, cada uma diretamente vinculada a um objetivo específico.

2.1 Etapa 1 – Simulação da propagação sonora

Após o estudo de diversos modelos de propagação sonora específicos para ruído ferroviário decidiu-se trabalhar com o *HarmoNoise*, método extremamente completo e extensivamente validado, desenvolvido recentemente pela Comunidade Européia, que leva em conta uma quantidade maior de elementos capazes de influenciar o ruído, o que proporciona uma maior precisão no resultado.

Era necessário obter o ruído a ser emitido por essa tipologia de transporte para calcular a propagação sonora. Pelo fato do metrô ainda não estar em atividade, o que impossibilita a medição do nível de ruído emitido por ele, foram elaborados cenários que variam devido à inserção de fontes sonoras distintas.

O termo simplificado equivalente ao NPS causado por uma fonte linear “n”, representada por uma fonte pontual “L_w”, é calculado pela fórmula [12]:

$$L_{eq} = L_w - A_{div} - A_{atm} - A_{excess} - A_{refl} - A_{scat} \quad (1)$$

Onde :

$$L_w = L'_w + 10\log(\tau);$$

L'_w = nível de potência sonora, em dB;

τ = comprimento do trem, em m;

A_{div} = atenuação devido à expansão geométrica;

A_{atm} = atenuação devido à absorção atmosférica;

A_{excess} = atenuação excessiva devido ao grau de reflexões e efeitos da difração;

A_{refl} = atenuação devido a perda de energia durante as reflexões;

A_{scat} = atenuação devido a zonas de dispersão.

Primeiramente, foi calculado o NPS nos pontos determinados (propagação do ruído do metrô) em cada cenário, para então fazer a soma logarítmica com o ruído de fundo medido *in loco* por Araújo [4] em diversos pontos localizados próximos a linha do metrô. Todos os métodos de previsão de ruído partem de um NWS ou L_w inicial como parâmetro, por isso foi necessário fazer a conversão de NPS para NWS antes de aplicá-lo nas fórmulas nos diferentes cenários propostos.

Como a presente pesquisa parte de dados medidos em outra pesquisa, optou-se por manter a mesma nomenclatura dos pontos para melhor correlacionar, dando continuidade ao estudo. Na análise foi acrescentado um outro ponto, denominado ponto crítico (PC) escolhido por se tratar de um local muito próximo à linha do metrô (28,58m de distância até o eixo da linha), além de estar na mesma altura do metrô elevado.

A figura 1 apresenta uma foto aérea que demonstra a densificação urbana na zona por onde passará o metrô elevado, no trecho escolhido para análise. As localizações dos pontos escolhidos e simulados são demonstrados na figura 2. As distâncias exatas de cada ponto ao eixo do trilho foram obtidas no arquivo de formato DWG (AutoCAD) fornecido pela Companhia de Transporte de Salvador (CTS).



Figura 1 – Foto aérea da Av. Bonocô [7]

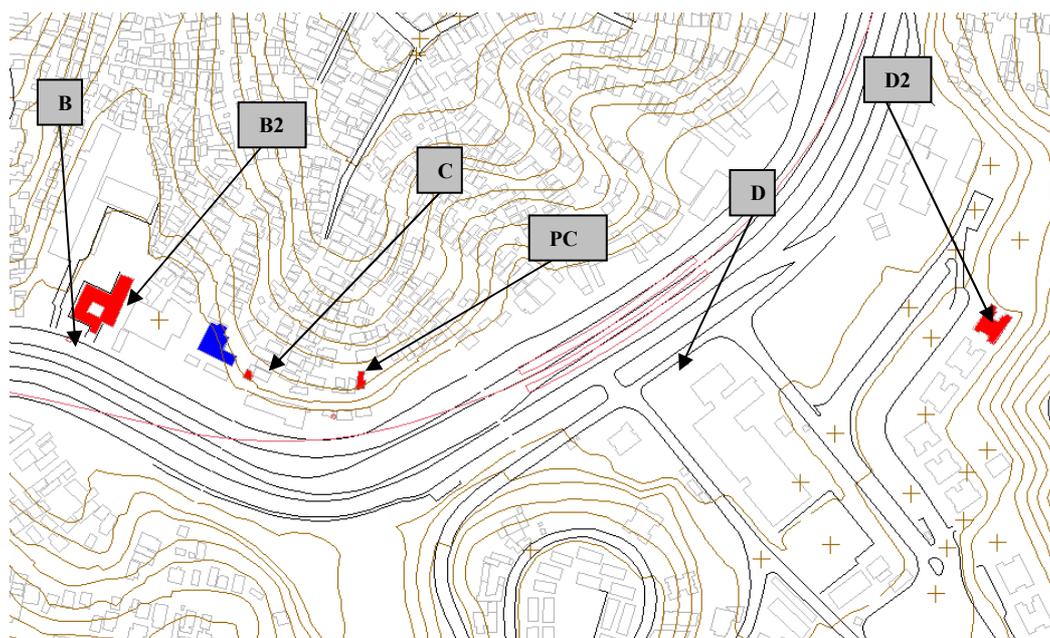


Figura 2 – Mapa digital do trecho estudado com indicação dos pontos simulados (Spring)

Para os diferentes cenários foram obtidos os NPS totais tanto na fachada das edificações quanto internamente. Cenário mais pessimista representa a pior situação, ou seja, o maior NWS, Cenário mais otimista é o que demonstra o menor NWS e Cenário mais provável é aquele em que foi considerado o NWS que tem a maior probabilidade de ocorrer.

2.1.1 Cenário 1 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído permitido pela ABNT (Uma das situações é o cenário mais pessimista)

Esse Cenário representa os NPSs estipulados na NBR 13.068 [2], o que teoricamente garantiria a adequação perante a Norma pertinente.

- a. NPS 85dB(A) – Ruído externo máximo admissível para o metrô em pontos distantes 5m, partindo, chegando e passando pela estação. Como esse parâmetro se relaciona tanto a situação estática (fonte pontual) quanto móvel (fonte linear) foram feitos cálculos caracterizando a fonte nessas duas situações:
- NWS_1 97dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-cilíndrica (fonte de ruído linear) referente a 85dB(A).
 - NWS_2 107dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-esférica (fonte de ruído pontual) referente a 85dB(A). Cenário mais pessimista.
- b. NPS 90dB(A) – Ruído externo máximo admissível para o metrô em pontos distantes 5m nos trechos entre estações, por isso a fonte foi caracterizada como linear:
- NWS_1 102dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-cilíndrica (fonte de ruído linear) referente a 90dB(A).

2.1.2 Cenário 2 - Considerando que o metrô irá gerar o ruído de referência indicado pelo método Francês de estimativa de ruído (Cenário mais otimista)

De acordo com esse método o nível sonoro de referência emitido por um trem a uma distância de 7,5m é de NPS 79dB(A), o que representa uma potência sonora de NWS 93dB(A) ao se considerar o espalhamento semi-cilíndrico na superfície.

- a. Por meio do *Harmonoise*
b. Por meio do Método Francês

2.1.3 Cenário 3 - Considerando que o metrô gere um ruído similar ao metrô de Brasília (Cenário mais provável)

Foram usados os resultados das medições do NPS feitas do metrô de Brasília pelo CEFTRU [6] devido a similaridade técnica com o de Salvador, no que tange a qualidade construtiva da via permanente, que é a responsável direta pela geração de ruído no contato roda-trilho. Portanto pode-se estimar o ruído a ser gerado pelo metrô de Salvador.

Foi obtido uma média entre todos os valores medidos em Brasília. O resultado foi NPS 94,5dB(A) a uma distância de 3,0m, o que significa afirmar que o NWS desse cenário é de 104dB(A), considerando também o espalhamento semi-cilíndrico na superfície.

2.1.4 Cenário 4 - Considerando um nível de ruído estimado objetivando não proporcionar um acréscimo de ruído à situação atual

Devido aos acréscimos encontrados, foi proposto um último cenário diferente dos outros, pois enquanto os cenários anteriores a simulação adotava um valor inicial de NWS e calculava o L_{eq} final, aqui a idéia é o contrário, estima-se qual o NWS que o metrô deverá realmente gerar para manter o NPS existente no local, ou seja, para que não haja impacto nas adjacências. Caso haja realmente uma diminuição considerável das linhas de ônibus, por conta dessa área ser beneficiada pelo metrô, o resultado desse cenário deve ser revisto. No caso da implantação de barreiras acústicas a informação do ruído de fundo real existente após a instalação do metrô deve ser levada em consideração, porque quanto menor for o ruído de fundo menor deve ser o NWS da fonte, ou seja, mais eficiente deve ser a barreira.

2.2 Etapa 2 – Correlação do NPS com a tipologia das edificações

A partir dos resultados obtidos na etapa anterior foi possível estabelecer uma relação entre o nível de conforto acústico estipulado na NBR 10.152 [3] para cada tipo de local e os valores resultantes calculados em cada edificação. Isso representa uma análise comparativa entre os ruídos calculados e os padronizados. Na classificação da Norma, o ponto B2 foi caracterizado como “Escolas (circulação)”, o ponto C como “Residência (Salas de estar)”, o ponto D2 e PC como “Residências (Dormitórios)”. Para os pontos localizados em ambientes externos (B e D) foram adotados os parâmetros da NBR 10.151 [1] que cita critérios para essa situação. A Avenida estudada se classifica como “Centro da cidade (negócios, comércio, administração)”, portanto, com limites de 65dB(A) e 60dB(A). Nos pontos internos foram usadas as correções indicadas na referida Norma para a janela nas situações aberta (-10dB) ou fechada (-15dB).

Quanto às ferramentas de cálculo e de análise, todas as fórmulas dos métodos de previsão de ruído foram inseridas no *software* Excel e foi também modelada no Spring, pois é um GIS que permite o tratamento da componente espacial e um melhor entendimento desse espalhamento sonoro, facilitando o cruzamento de informações teóricas e espaciais.

2.3 Etapa 3 – Análise dos efeitos na saúde

A análise da relação entre os resultados de NPS obtidos tanto interno quanto externamente e a saúde dessa população foi feita considerando tanto o nível de ruído quanto o tempo de exposição. Essa etapa foi elaborada com o apoio da bibliografia revisada, não pretendendo dar diagnósticos definitivos e afirmativos da existência de determinadas efeitos, porque eles dependem de diversos fatores. Portanto, a intenção foi determinar apenas a possibilidade do surgimento de alterações, tanto fisiológicas quanto psicológicas, a partir de informações teóricas e de outros estudos e comprovações de efeitos existentes provocados pela exposição ao ruído. Foram projetadas no Spring faixas em torno da linha do metrô para cada cenário, de acordo com o modelo de previsão sonora escolhido formando mapas de ruído. Objetivando identificar as áreas de influência do metrô, as curvas isossônicas permitiram obter uma visualização gráfica do impacto sonoro e, principalmente, uma comparação entre os cenários calculados.

3 Análise e discussão dos resultados

Esse capítulo apresenta a aplicação da metodologia descrita no item anterior e as análises foram feitas a partir da obtenção dos resultados e da produção de gráficos e imagens desenvolvidos em cada etapa.

3.1 Etapa 1 – Simulação da propagação sonora

A tabela 1 demonstra os resultados do cálculo de propagação sonora e foi desenvolvida para todos os cenários, mas como exemplo será exposta a que se refere a situação mais provável, com NWS 104dB(A) (Cenário 3). A correção do valor propagado é feita apenas para os ambientes internos e o L_{eq} final representa a soma logarítmica do medido e do propagado calculado corrigido. O acréscimo é o L_{eq} final menos o L_{eq} medido. Como o ruído atual existente na via estudada é alto, o som propagado referente a instalação do metrô é um pouco “mascarado” devido a soma logarítmica. Caso haja modificação do tráfego urbano atual nos locais por onde o metrô irá passar por conta da redução da frota de ônibus, provavelmente, o ruído do metrô será mais perceptível. No cenário apresentado todos os acréscimos finais são consideráveis. Para simplificar a compreensão das situações foi feita uma tabela resumo somente com os valores de acréscimo de ruído encontrados no PC (Tabela 2).

Tabela 1 – L_{eq} propagado de acordo com o *Harmonoise* e acréscimo do ruído para NWS 104dB(A)

| Pontos | L_{eq} medido | Distância até eixo da linha (m) | L_{eq} propagado | Correção | L_{eq} final | Acréscimo |
|---------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|----------|----------------|-----------|
| B | 78,60 | 44,17 | 79,86 | | 82,29 | 3,69 |
| D | 79,30 | 42,79 | 80,13 | | 82,75 | 3,45 |
| B2 | 66,70 | 55,23 | 77,92 | 67,92 | 70,36 | 3,66 |
| C | 68,10 | 41,41 | 80,41 | 70,41 | 72,42 | 4,32 |
| D2 | 67,10 | 158,92 | 68,82 | 58,82 | 67,70 | 0,60 |
| | | | | | | |
| PC* (ext) | 78,60 | 28,58 | 83,63 | | 84,82 | 6,22 |
| PC* (int) JA | 68,60 | 28,58 | 83,63 | 73,63 | 74,82 | 6,22 |
| PC* (int) JF | 63,60 | 28,58 | 83,63 | 68,63 | 69,82 | 6,22 |

* Como não houve medição de ruído em PC o valor considerado para L_{eq} existente foi similar ao do ponto B, por estarem muito próximos.

Tabela 2 – Acréscimos de NPS em PC para cada cenário

| CENÁRIO | 1A | | 1B | 2A | 3 |
|------------------|------------|------------|------|------|------|
| | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| ACRÉSCIMO | 2,14 | 8,66 | 4,78 | 0,98 | 6,22 |

3.2 Etapa 2 – Correlação do NPS com a tipologia das edificações

Esta etapa destina-se a analisar os impactos de acordo com os parâmetros existentes, que orientam com relação aos níveis de ruído aceitáveis de acordo com a função da edificação, a zona onde está localizada e o horário de exposição.

Tabela 3 – Comparativo referente aos pontos internos – NBR 10.152

| Pontos | NBR 10.152 | | Medido dB(A) | L_{eq} Final | | | | |
|--------------------|------------|---------|-----------------|----------------|------------|-------|-------|-------|
| | dB(A)* | dB(A)** | | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B2 | 45 | 55 | 66,70 | 67,72 | 72,31 | 69,34 | 67,13 | 70,36 |
| C | 40 | 50 | 68,10 | 69,37 | 74,53 | 71,27 | 68,65 | 72,42 |
| D2 | 35 | 45 | 67,10 | 67,23 | 68,23 | 67,49 | 67,15 | 67,70 |
| PC (int) JA | 35 | 45 | 68,60 | 70,74 | 77,26 | 73,38 | 69,58 | 74,82 |
| PC (int) JF | 35 | 45 | 63,60 | 65,74 | 72,26 | 68,38 | 64,58 | 69,82 |

* Nível sonoro de conforto para essa finalidade

** Nível sonoro aceitável máximo para essa finalidade

Tabela 4 – Diferença entre L_{eq} final e parâmetros da NBR 10.152 para ambientes internos

| Pontos | DIFERENÇA | | | | |
|--------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 1A | 1B | 2A | 3 | |
| B2 | 12,72 | 17,31 | 14,34 | 12,13 | 15,36 |
| C | 19,37 | 24,53 | 21,27 | 18,65 | 22,42 |
| D2 | 22,23 | 23,23 | 22,49 | 22,15 | 22,70 |
| PC (int) JA | 25,74 | 32,26 | 28,38 | 24,58 | 29,82 |
| PC (int) JF | 20,74 | 27,26 | 23,38 | 19,58 | 24,82 |

Entre os cenários que foram calculados com a forma de propagação semi-cilíndrica, o cenário 3 é o que proporciona uma maior diferença entre o resultado final e os parâmetros da Norma, alcançando 29,82dB no PC na situação janela aberta (JA) para “Residências (Dormitórios)” (45dB). Isso considerando o nível sonoro aceitável e não o de conforto, que seria 35dB. Mesmo internamente e com as janelas fechadas o ruído urbano irá aumentar (Tabela 4).

Tabela 5 – Comparativo referente aos pontos externos - NBR 10.151

| Pontos | NBR 10.151 | | Medido dB(A) | L _{eq} Final | | | | |
|-----------------|------------|-----------|-----------------|-----------------------|------------|-------|-------|-------|
| | dB(A) D* | dB(A) N** | | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B | 65 | 60 | 78,60 | 79,63 | 84,24 | 81,26 | 79,04 | 82,29 |
| D | 65 | 60 | 79,30 | 80,24 | 84,63 | 81,76 | 79,70 | 82,75 |
| PC (ext) | 65 | 60 | 78,60 | 80,74 | 87,26 | 83,38 | 79,58 | 84,82 |

* Nível sonoro diurno recomendado para ambientes externos em zonas do Centro da cidade (negócios, comércio, administração).

** Nível sonoro noturno recomendado para ambientes externos em zonas do Centro da cidade (negócios, comércio, administração).

Tabela 6 – Diferença entre L_{eq} final e parâmetros da 10.151 para ambientes externos

| Pontos | DIFERENÇA | | | | |
|-----------------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| B | 14,63 | 19,24 | 16,26 | 14,04 | 17,29 |
| D | 15,24 | 19,63 | 16,76 | 14,70 | 17,75 |
| PC (ext) | 15,74 | 22,26 | 18,38 | 14,58 | 19,82 |

Os resultados comprovam o agravamento do desconforto acústico para a população que mora ou trabalha na área e refletem diferenças consideráveis, mesmo no cenário mais otimista (2A).

3.3 Etapa 3 – Análise do impacto na saúde

Com o entendimento do NPS em cada tipo de edificação obtido no subproblema anterior, o que esclarece o tempo de exposição e a atividade exercida, determinou-se os riscos à saúde da população localizada na área estudada de acordo com os valores simulados. A proposta do trabalho não foi captar a percepção sonora, por ser esta uma questão muito subjetiva e por entender que o fato de alguém não admitir o incômodo não significa dizer que seu organismo não esteja sentindo os efeitos.

A análise final foi feita com relação aos reflexos da poluição sonora na saúde da população e os sintomas foram direcionados para cada faixa isossônica, que foi desenvolvida de 5 em 5dB(A). Para a execução do “Fatiamento” no Spring é necessário primeiro criar uma grade que representa os resultados da propagação sonora de acordo com a fórmula do *HarmoNoise* inserida como *input* na linguagem do Spring denominada “LEGAL”. Após a inserção dos dados matemáticos passou-se a produzir os resultados dos cenários e os procedimentos de cálculo foram a variação do NWS que proporcionaram mapeamentos específicos para cada situação.

Como o Spring não é uma ferramenta específica de poluição sonora, não considera algumas interferências como a influência do terreno, as reflexões dos raios e a canalização de ruído provocada pelos vales, mas as curvas sonoras geradas têm grande precisão nas edificações que estão localizadas ao longo da via, que é a que se propõe o trabalho.

Essa visualização diz respeito apenas a propagação sonora proveniente do ruído emitido pelo metrô, não considerando o ruído de fundo, pois considera-se que o mesmo será reduzido e pode ser observado no mapa de ruído apresentado como exemplo referente ao cenário mais provável NWS 104dB(A) (Figura 3).

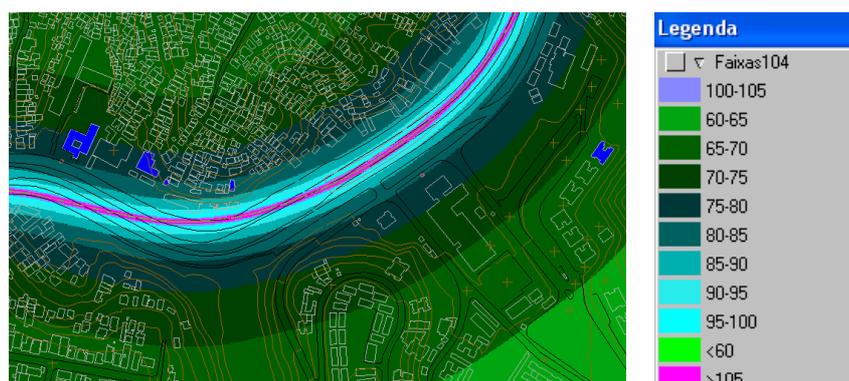


Figura 3 – Mapas de ruído com NWS 104dB(A) (Spring)

A maior parte da primeira faixa construída do lado mais ao norte da linha encontra-se dentro da faixa “80-85”, muito acima dos 55dB(A) recomendados pela WHO para proteger a maioria das pessoas de terem sérios problemas relacionados ao ruído. Alguns dos principais reflexos à saúde frente a exposição a esse nível de ruído são a perda de 70% dos estágios profundos do sono [14] e já representa um quando de dependência do ruído.

Os mapas de ruídos gerados proporcionaram uma melhor avaliação dos prováveis efeitos. Foi feita uma compilação dos efeitos da poluição sonora na saúde identificados por diversos autores e esses efeitos foram relacionados às cores dos mapas para uma melhor correlação, conforme indicados na tabela 7.

Tabela 7 – Correlação entre cores das faixas em dB(A) e prováveis efeitos na saúde da população

| COR | FAIXA, dB(A) | EFEITOS |
|-----|--------------|---|
| | 60-65 | Sérios e moderados problemas relacionados à saúde Danos tanto físicos quanto psíquicos Diminui a concentração e prejudica a produtividade no trabalho intelectual Sono prejudicado-pior desempenho físico, mental e psicológico Perda provável da alerta auditiva |
| | 65-70 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Diminui a resistência imunológica Induz a liberação de endorfina, tornando o organismo dependente Aumenta a concentração de colesterol no sangue Efeitos cardiovasculares Estresse degradativo Aumentam os riscos de derrame cerebral, infecções e osteoporose |
| | 70-75 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Aumentam os riscos de enfarte, infecções, entre outras doenças sérias Ocorrem alterações do sistema auditivo |
| | 75-80 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Perda de 70% dos estágios profundos do sono |
| | 80-85 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Libera morfina biológica no corpo, provocando prazer - quadro de dependência |
| | 85-90 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Nível de alerta Saúde será visivelmente afetada |

| | | |
|--|---------|--|
| | 90-95 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Perda de mais de 70% dos estágios profundos do sono Nível de perigo |
| | 95-100 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Nível de perigo intenso |
| | 100-105 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Pode haver perda imediata da audição |
| | >105 | MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR + Pode haver perda permanente da audição |

Com as tabelas 8 e 9 que separam os pontos internos e externos serão feitas análises mais específicas dos efeitos na saúde de acordo com a tipologia e localização da edificação, pois os impactos têm relação direta com a atividade exercida.

Tabela 8 – Comparativo referente aos pontos internos

| Pontos | Medido dB(A) | L _{eq} Final | | | | |
|--------------------|-----------------|-----------------------|------------|-------|-------|-------|
| | | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B2 | 66,70 | 67,72 | 72,31 | 69,34 | 67,13 | 70,36 |
| C | 68,10 | 69,37 | 74,53 | 71,27 | 68,65 | 72,42 |
| D2 | 67,10 | 67,23 | 68,23 | 67,49 | 67,15 | 67,70 |
| PC (int) JA | 68,60 | 70,74 | 77,26 | 73,38 | 69,58 | 74,82 |
| PC (int) JF | 63,60 | 65,74 | 72,26 | 68,38 | 64,58 | 69,82 |

No ponto B2 que fica dentro de um estabelecimento escolar, o L_{eq} final no cenário 3 (mais provável) supera o nível máximo de 65dB(A), segundo a medicina preventiva, ao qual um indivíduo pode se expor sem ter danos na saúde, além de diminuir a concentração e prejudicar a produtividade. A WHO afirma que para que a mensagem falada em escolas durante uma aula seja compreendida o ruído de fundo não deve exceder 35dB(A), atualmente o ruído rodoviário já excede em muito esse parâmetro. Para um bom sono, o NPS dentro do quarto durante o período em que a pessoa está dormindo, não deve exceder 45dB(A) mais de 15 vezes [15]. PC é o ponto mais afetado devido a proximidade da linha e como se trata de uma residência os valores são completamente inadmissíveis para qualquer legislação e nessas condições já existe desequilíbrio bioquímico, aumentando o risco de enfarte, derrame cerebral, infecções, osteoporose etc. Provavelmente os residentes em locais em condições acústicas similares a PC acordam mais vezes durante o sono, têm pior qualidade do sono e possuem sensação de cansaço após o sono. Os pontos externos também merecem ser analisados, pois muitas pessoas durante grande parte de seu tempo estão expostas ao ruído ambiente.

Tabela 9 – Comparativo referente aos pontos externos

| Pontos | Medido dB(A) | L _{eq} Final | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------------|------------|-------|-------|-------|
| | | 1A | | 1B | 2A | 3 |
| | | Situação 1 | Situação 2 | | | |
| B | 78,60 | 79,63 | 84,24 | 81,26 | 79,04 | 82,29 |
| D | 79,30 | 80,24 | 84,63 | 81,76 | 79,70 | 82,75 |
| PC (ext) | 78,60 | 80,74 | 87,26 | 83,38 | 79,58 | 84,82 |

Em todos os pontos externos e em todos os cenários os resultados obtidos foram muito críticos, pois estão em torno de 80dB(A), nível que completa o quadro de dependência, pois esse ruído estressante libera substâncias excitantes no cérebro tornando as pessoas incapazes de suportar o silêncio, ou seja, as pessoas tornam-se viciadas ao ruído, permanecendo sempre agitadas, incapazes de terem momentos

de reflexão. Ao se analisar os acréscimos de NPS obtidos na etapa 1, tanto frente aos parâmetros normativos (etapa 2) quanto aos parâmetros saudáveis (etapa 3), são substanciais e merecem ser levados em consideração.

4 Conclusões

Segundo a metodologia proposta haverá um acréscimo do NPS após a implantação do metrô em todos os cenários. Aplicando-se o modelo de previsão de ruído *HarmoNoise* os resultados demonstraram que mesmo no cenário mais otimista o ruído atual será incrementado. O acréscimo de NPS na situação mais provável no ponto considerado mais crítico (mais próximo do metrô), será de cerca de 6dB e entre 3 e 4dB em quase todos os outros pontos, sendo menor apenas no ponto D por ser o mais distante do eixo da linha do metrô. O impacto existente em PC não é uma situação isolada, pois existem outras edificações que possuem a mesma distância para a linha do metrô que esse ponto possui.

Ao se relacionar os parâmetros existentes com a tipologia funcional das edificações, notou-se a desagregação existente entre o uso do solo e o conforto acústico imprescindível para uma vida saudável. A diferença entre o ruído final calculado (atual mais propagado) e os parâmetros tanto dentro quanto fora das edificações foram muito grandes. Quanto a análise do impacto na saúde, principal objetivo da pesquisa, os resultados encontrados dizem respeito à possibilidade do surgimento de doenças de acordo com a bibliografia pesquisada, pois não se trata de um estudo epidemiológico.

Um sono ininterrupto é fundamental para o bom funcionamento psicológico e mental da saúde humana e um dos principais efeitos do ruído urbano é o distúrbio do sono, por isso em residências é tão importante a qualidade acústica. A Av. Bonocô já é completamente inadequada a essa função devido aos seus altíssimos índices sonoros, que já ultrapassam os parâmetros saudáveis.

O planejamento, a implantação e a operação dos sistemas de transportes, bem como os caminhos que levam ao planejamento do transporte sustentável representam uma forma de acelerar uma mudança ambiental positiva, capaz de reduzir a poluição sonora causada pelo excesso de modos de transportes ruidosos circulando na cidade. É possível progredir sem reduzir a qualidade de vida do ser humano, pois a Poluição sonora pode ser reduzida, desde que haja interesse da sociedade e do Poder Público em combatê-los. A articulação da edificação com o espaço urbano deve ser feita levando-se em conta a questão do ruído ambiental e considerando os diversos efeitos psico-fisiológicos na população, ou seja, trata-se de uma questão social que deve ser amplamente discutida.

Diante desse contexto, sugere-se a implantação de barreiras acústicas em pontos críticos localizados ao longo da linha do metrô para não piorar a qualidade de vida dos cidadãos. Recomenda-se também uma revisão da Norma NBR 13.068, que tem parâmetros de ruídos externos máximos admitidos pelo metrô muito elevados para situações onde existe uma grande proximidade entre a linha do metrô e a edificação, como é o caso da avenida estudada. Na busca de soluções para o problema da acústica ambiental é importante tratar a questão como um conjunto de elementos responsáveis pela situação, pois não há como detectar uma única fonte de ruído. Deve-se vincular as diretrizes do planejamento urbano com as necessidades de proteção contra o ruído nos espaços lindeiros, adotando quando necessário medidas mitigadoras. O metrô resolve uma série de questões da mobilidade urbana, mas deve ser implantado de uma forma consciente para não gerar impactos negativos capazes de prejudicar a saúde humana, como é o caso da poluição sonora.

Acredita-se que ser cidadão é entender que não se está só no mundo, é saber respeitar o próximo e o meio ambiente, é constituir e ser constituído, é pertencer a uma sociedade de forma atuante e digna, é preservar o presente prevenindo-se contra um futuro impraticável, é ser realista e honesto, é, acima de tudo, amar a sua vida e a dos outros seres. Se cada um e cada instituição contribuir para a redução do ruído em seu ambiente, cada órgão do próprio corpo, assim como das demais pessoas ao seu redor, estará sendo beneficiado.

Agradecimentos

A minha orientadora Profª Ilce Marília, por toda orientação e motivação; Aos Colegas da Audium, pela colaboração técnica e compreensão; A Fernando Yamaguchi, Profº Artur Brandão e Abel, pelo auxílio na aplicação do GIS; A Fapesb, por acreditar no tema e viabilizar a pesquisa por meio de apoio financeiro; Aos membros da Comissão examinadora, pelas ricas contribuições, sugestões e correções.

Referências

- [1] ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*, Rio de Janeiro, 1987.
- [2] _____. *NBR 13068: Ruídos interno e externo em carro metropolitano*, Rio de Janeiro, 1994.
- [3] _____. *NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico*, Rio de Janeiro, 2000.
- [4] Araújo, J. *Avaliação do impacto provocado pelo ruído de tráfego em vias arteriais*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.
- [5] Bluhm, G.; Nordling, E. Health Effects of noise from Railway Traffic: The HEAT Study. *The 2005 International Congress and exposition on noise control engineering – Inter-Noise*, Rio de Janeiro, 2005.
- [6] CEFTRU - Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes. *Relatório Final do Metrô do Distrito Federal*. Brasília, 2004.
- [7] CONDER – Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. *Fotos aéreas do município de Salvador: área continental, ilha de Maré e ilha dos Frades*. Ago. 1988. EX 27 – 036. Caminho: fotos 98 - faixa_27 - 2740027036jpg.
- [8] Lage, J. T. Atenuação de ruídos e vibrações da Linha 5: Capão Redondo-Largo Treze. *XX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – Sobrac*, Rio de Janeiro, 2002.
- [9] Manzana, A. C. (Coord.). *El ruido en la ciudad, gestión y control*, Sociedad Española de Acustica, Madrid, 1998.
- [10] MHU-Ministério da Habitação e Meio Ambiente; EBTU-Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos. *Manual Operacional de Avaliação dos Impactos Ambientais de Projetos de Transportes Urbanos*, Brasília, 1988.
- [11] Moehler, U.; Liepert, M. Differences between railway and road traffic. *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 3 (231), 2000, pp. 853-864.
- [12] Nota, R.; Barelds, R.; Maercke, D. *Harmonoise WP 3 Engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning*. 2005. Disponível em: http://www.imagine-project.org/bestanden/D04_WP7_HAR7TR-041213-AEAT04.pdf. Acesso em: 05 mar. 2006.
- [13] Ohrstrom, E. *et al.* Effects of simultaneous exposure to noise from road and railway traffic. *The 2005 International Congress and exposition on noise control engineering – Inter-Noise*, Rio de Janeiro, 2005.
- [14] Souza, F. Efeito do ruído no homem dormindo e acordado. *Revista Acústica e Vibrações*, n. 25, 2000.
- [15] WHO - World Health Organization. *Guidelines for community noise*, Geneva, 1999.