

A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO MARK VII PARA CÁLCULO DE "LOUDNESS": ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO VENDA NOVA.

Marcela Álvares Maciel, Victor Mourthé Valadares

UFMG - Escola de Arquitetura. - Depto de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo - Labcon

Rua Paraíba, 697, Funcionários, Belo Horizonte, CEP - 30.130-140,

Fone: 0xx31-3269-1825; Fax: 0xx31-3269-1818

e-mail: m.a.maciel@ig.com.br ou vmvm@dedalus.lcc.ufmg.br

Resumo: O presente trabalho dá continuidade ao estudo de alternativas de controle de ruído da operação da Estação Venda Nova, prevista no Plano de Reestruturação de Transporte Coletivo de Belo Horizonte da Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A (BHTRANS). Envolve a análise de impacto ambiental acústico, introduzindo novos parâmetros de avaliação, destacando-se o conceito de "loudness" (sensação subjetiva da intensidade sonora), pelo qual é possível avaliar o problema sem se recorrer à escala logarítmica. Isso possibilita uma leitura mais familiar para pessoas leigas na área de acústica, mas que estão envolvidas no processo de decisão para melhoria das condições do ambiente sonoro urbano. Os resultados desse trabalho são apresentados em mapas de ruído ambiental gerados a partir do *software* Surfer 7.0. A partir da interpretação desses resultados, é possível verificar a influência que o parâmetro de avaliação tem na percepção do real impacto acústico provocado por grandes projetos, como estações de transporte coletivo urbano.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, na maioria dos países, existem grupos encarregados da normalização dos limites máximos dos níveis de pressão sonora, assim como o tempo de exposição ao ruído, visando a proteção da saúde das pessoas. Com relação a tais grupos, merecem destaque, a nível federal, a ANSI, nos EUA, International Organization of Standart -ISO, nas Europa e a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, no Brasil. No caso brasileiro, além dessas normas técnicas, temos também legislações municipais ou estaduais, que, quando existentes, prevalecem sobre as normas técnicas federais.

No caso específico da cidade de Belo Horizonte, índices de qualidade ambiental em acústica no ambiente externo são preconizados pela Lei Municipal nº 4253 de 04/12/85, em seu Capítulo III sobre Poluição Sonora, popularmente conhecida como *Lei do Silêncio*. Em seu texto, são apresentados valores limites

admitidos dos níveis sonoros no ambiente construído, buscando assegurar condições para conforto acústico.

A fim de obter-se uma maior aproximação entre o valor físico e a sensação humana, a maioria das normas, incluindo-se a Lei do Silêncio do município de Belo Horizonte, tem no nível de pressão sonora ponderado na curva A - o $dB(A)$ - o parâmetro mais utilizado na quantificação da percepção do ruído.

Entretanto, o nível de pressão sonora ponderado na curva A tem-se mostrado ineficiente no sentido de reproduzir a percepção subjetiva do ruído pelo homem. Assim, temos situações em que o respeito aos limites sonoros preconizados pelas legislações locais não implicam, necessariamente, em conforto acústico.

Diante de tal fato, faz-se necessária a introdução de novos parâmetros subjetivos de avaliação da qualidade acústica ambiental, de maneira tal que as condições de conforto acústico sejam atendidas. É dentre desse novo contexto que se introduz o método de Stevens para cálculo de "loudness" no trabalho de Alternativas de Controle de Ruído da Operação da Estação Venda Nova.

II. MÉTODOS DE STEVENS PARA CÁLCULO DE "LOUDNESS".

Com o objetivo de ampliar a capacidade de avaliação do ruído e sua relação com a percepção humana, Stevens propôs dois métodos de cálculo de "loudness", denominados Mark VI e Mark VII. O método utilizado por este trabalho, o qual será descrito a seguir, é o Mark VII, por ser mais atualizado, permitindo uma correlação muito próxima com o ruído como é percebido pelo ouvido humano.

2.1) O método Mark VII

O método Mark VII para cálculo de "loudness" foi proposto em 1961 por Stevens, generalizando o procedimento anterior, definido em 1955, no que se refere ao fator de mascaramento, que no método Mark VI era uma constante na equação. Assim, podemos obter uma relação entre "loudness" e a intensidade do estímulo através do cálculo de "loudness" a partir do espectro de bandas de 1/1 oitava.

O cálculo de loudness e (ou) do nível de loudness, realizado pelo Método Mark VII, pode ser efetuado de acordo com o seguinte procedimento:

- 1) Análise em 1/3 e 1/1 bandas de oitava do ruído na área de interesse.
- 2) Determinação das amplitudes ou magnitudes em sonos relativas aos respectivos NPS por bandas, mediante a Tabela "Magnitude Percebida como Função dos NS por banda";
- 3) Determinação o fator de mascaramento, F . Se dados em 1/3 de bandas de oitava estão sendo utilizados, F é obtido a partir do seu valor na Tabela "Fator de Mascaramento e Sonos para 1/3 de Oitava". Se dados em 1/1. subtrair 4,9 dB do NPS maior entre as bandas de oitava, obtendo um novo NPS a partir do qual será obtido o valor correspondente em sone para cálculo de F . Dobre o valor de F ;
- 4) Execute a seguinte operação de soma das magnitudes percebidas:

$$S_t = S_m + F (\sum S - S_m) \text{ [sones];} \quad (1)$$

Onde:

S_t é o "loudness" total [sones];

S_m é o "loudness" máximo [sones];

$\sum S$ é a soma de todos os "loudness" das outras bandas [sones];

F é o Fator de Mascaramento.

- 5) Determinar o nível de "loudness" percebido pela equação:

$$NS_t = 30 (\text{LOG} (S_t) + 1,069) \text{ [PLdB];} \quad (2)$$

Onde:

NS_t é o nível de "loudness" total [PLdB];

S_t é o "loudness" total [sones].

A Tabela I exemplifica o procedimento de cálculo de cálculo de loudness e (ou) nível de loudness a partir do método Mark VII. Neste exemplo, temos a aplicação do método a partir de valores de níveis sonoros medidos em 1/1 oitava, no intervalo espectral de [63;8K]Hz.

TABELA I - APLICAÇÃO DO MÉTODO MARK VII

Frequência [Hz]	Leq [dB]	[sones]
63	59,7	0,5278
125	56,5	1,225
250	48,7	1,277
500	47,6	1,794
1000	43,4	1,300
2000	40,3	1,393
4000	39,9	1,837
8000	39,9	1,837
Loudness máximo [sones]	St x	1,837
Somatório espectro [sones]	Sti	11,19
Leq máximo [dB]	Leq x	39,9
Leq máximo menos 5	Leq x - 5	34,9

[dB]		
Loudness [sones]	St i(x-5)	1,187
Fator de Mascaramento	F	0,320
Loudness global [sones]	St,G	7,83
Equação [1]		
Nível de Loudness global [PLdB]	NadP, G	58,9
Equação [2]		

III. A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO MARK VII PARA CÁLCULO DE "LOUDNESS": ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO VENDA NOVA

Aplicando-se o Método Mark VII a resultados de medições de níveis sonoros do estudo de alternativas de controle de ruído da operação da Estação Venda Nova, foi possível uma avaliação, em outras escalas subjetivas, do impacto ambiental acústico provocado pela operação da Estação Venda Nova, localizada na região Norte de Belo Horizonte.

A figura 1 apresenta a delimitação da área de influência da Estação Venda Nova adotada para a implementação do estudo de controle de ruído, bem como o malha com a localização dos 56 pontos de medição de ruído, dispostos conforme matriz $M_{7 \times 8}$.

A partir das médias dos níveis sonoros para o pico da manhã (6:50h-7:50h) e pico da tarde (16:00h-17:00h), levantados em bandas de 1/1 oitava, para o intervalo espectral [63;8K] Hz, foi aplicado o procedimento de tratamento de dados, exemplificado pela Tabela I, aos 56 pontos de medição, para as situações antes e depois



da operação da Estação Venda Nova.

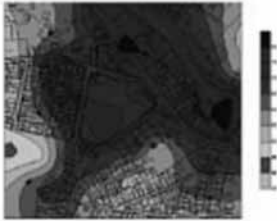
Figura 1: Pontos de medição de níveis de ruído e delimitação da área de influência da Estação Venda Nova.

A partir dos resultados obtidos da utilização do método Mark VII, foi possível o processamento de mapas de ruído ambiental da Estação Venda Nova e sua área de influência considerada, para as situações antes e após a operação da mesma. Dessa forma, pôde ser realizada uma avaliação comparativa do impacto ambiental acústico da Estação Venda Nova em outras

escalas psicoacústicas, além da escala ponderada na curva A, dB(A).

IV. ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO DA ESTAÇÃO VENDA NOVA

Para desenvolvimento da análise de impacto ambiental acústico, foram observadas as ordens de grandeza de variação entre o resultado das medições para a situação antes e após a operação da Estação Venda Nova. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os valores dessas variações segundo os descritores L_{Aeq} , NSt_G e St_G , respectivamente.

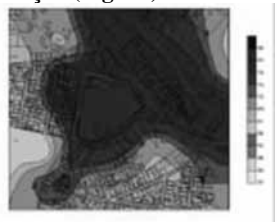


(Fig 2.a)



(Fig 2.b)

Figura 2 - Mapas acústicos do descritor L_{Aeq} representando uma média entre os horários de pico da manhã e da tarde, para a Estação fora de operação (Fig 2.a) e em operação (Fig 2.b).

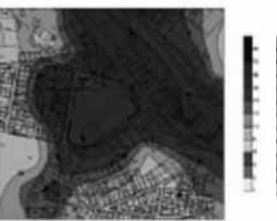


(Fig 3.a)



(Fig 3.b)

Figura 3 - Mapas acústicos do descritor NSt , representando uma média entre os horários de pico da manhã e da tarde, para a Estação fora de operação (Fig 3.a) e em operação (Fig 3.b).



(Fig 4.a)



(Fig 4.b)

Figura 4 - Mapas acústicos do descritor St , representando uma média entre os horários de pico da manhã e da tarde, para a Estação fora de operação (Fig 4.a) e em operação (Fig 4.b).

A comparação dos mapas acústicos permite-nos perceber que as escalas L_{Aeq} global, NSt e St apresentam entre si uma semelhança muito nítida com relação à conformação das isocurvas sonoras. Os descritores utilizados neste estudo apresentam-se em escalas tonais, baseadas em recomendações da ISO1996-2:1987 onde os menores níveis de ruído são expressos em tons verdes e (ou) amarelos, passando

para tons vermelhos e azuis na outra extremidade das escalas, isto é, nos maiores níveis de ruído. Assim, a avaliação do impacto da estação no ambiente acústico no seu entorno imediato, ou seja, na comunidade lindeira às vias periféricas à Estação, mostra-se bastante evidenciado pela transição cromática: podemos observar a modificação das cores nos mapas das situações antes e após a operação da Estação Venda Nova, para os extremos opostos das escalas cromáticas, em todas as escalas subjetivas de avaliação.

Uma avaliação menos qualitativa pode ser feita a partir da Tabela II, que relaciona numericamente as escalas subjetivas de avaliação.

TABELA II COMPARAÇÕES ENTRE ESCALAS PSICOACÚSTICAS DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO URBANO.

COR	L_{Aeq}	SONES	PldB
verde claro	20-25	1	32
verde claro	25-30	1,5	37
verde claro	30-35	2,25	43
verde	35-40	3	46
verde escuro	40-45	4	50
amarelo	45-50	6	55
ocre	50-55	9	61
laranja	55-60	12	64

cinnabar	60-65
	18
	70
carmine	65-70
	24
	73
lilac red	70-75
	36
	79
azul	75-80
	48
	83
azul escuro	80-85
	72
	88
azul escuro	> 85
	96
	92

Fonte: Adaptado da ISO1996-2:1987 -

Para o descritor Laeq, temos os níveis sonoros nas proximidades da Estação Venda Nova variando, para as situações antes e após a operação dessa estação, de, respectivamente, [45;55] dB(A) para [70;80] dB(A), o que equivale a uma diferença de aproximadamente 25dB(A). Já na escala em PldB, o NSt varia de [50;55] PldB para [73;79]PldB, equivalendo a uma diferença que reside no intervalo [23;34] PldB. Para o descritor St, temos uma mudança de níveis sonoros de [6,9] sonos para [24;36] sonos, equivalendo à maior faixa de variação da situação antes e após a operação da estação Venda Nova, em torno de [18,27] sonos. Isso pode ser entendido quando evidenciado que a escala em "sonos" é aritmética, diferente das outras escalas, que são funções logarítmicas. Assim, no caso do descritor St, é mais conveniente expressar uma relação comparativa entre numa as situações antes e após a operação da Estação: a magnitude dos níveis sonoros percebidos pelos moradores lindeiros à Estação Venda Nova após a sua operação é cerca de 4 vezes a situação inicial.

A partir do estudo de caso da Estação Venda Nova, pode-se verificar impacto acústico que esse tipo de equipamento comunitário tem no ambiente urbano. Independentemente do descritor avaliado, a utilização dos mapas sonoros mostrou-se bastante eficiente para

retratar qualitativamente o impacto acústico da Estação Venda Nova.

Já a verificação da ordem de grandeza do impacto acústico mostrou-se mais dependente do parâmetro de avaliação. Dentro desse contexto, destaca-se a adoção do descritor St_G , expresso em escala aritmética, que facilita a interpretação das pessoas leigas em acústica, que não estão familiarizadas com o uso de escalas logarítmicas em seus respectivos processos naturais de raciocínio. Esse é o caso da comunidade sujeita a imissão acústica, bem como das autoridades do poder público e privado. Nesse caso, sugere-se apresentação dos resultados em termos de nível de loudness, em [PLdB], para a equipe técnica em acústica, e de loudness, em [sones], para as que estão envolvidas no processo de decisão para melhoria das condições do ambiente sonoro urbano.

Finalizando, dever-se-ia pensar numa revisão das legislações nacionais, substituindo-se o atual descritor de avaliação subjetiva do ruído, o nível equivalente contínuo ponderado na curva A, pelo nível de loudness, em PldB, introduzindo-se ainda a avaliação em termos de loudness, em sonos, através da inserção de tabela comparativa de escalas psicoacústicas de avaliação de ruído urbano.

V REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELO HORIZONTE, Prefeitura (Secretaria Municipal do Meio Ambiente). (1993) Lei Ambiental do Município. Belo Horizonte, SEMMA.
- INTERNATIONAL Standartization Organization. "Description and measurement of environmental noise." Part 1, 2 e 3, ISO 1996:1 1982. 1982/87.
- REYNOLDS, Douglas D. Engineering principles of acoustics: noise and vibration control. 1.ed. Boston: Allyn & Bacon Inc., 1981. 641p.
- ROSSING, T.D. "The Science of Sound." 2nd ed. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1990, 686 p
- STEVENS, S. S. " Perceived Level of noise by Mark VII and Decibels (E)," Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 51, No. 2 part 2, Feb. 1972, pp. 575-601.
- VALADARES, Victor M. ; VECCI, M. A. M. "Análise de Impacto Ambiental Acústico de Estações de Transporte Coletivo Urbano: Estudo de caso da Estação Venda Nova -BH." In: ENCONTRO NACIONAL e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VI e III, 2001, São Pedro. Anais do VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: Associação Nacional de Tecnologia do

Ambiente Construído - ANTAC, 2001.