

# Estudo do Impacto Sonoro Provocado por Instalações de Bombeamento em Área Urbana

Oliveira, A.M.\*; Medeiros, E.B<sup>+</sup>

\*Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, MG, [omalex@araxa.cefetmg.br](mailto:omalex@araxa.cefetmg.br)

<sup>+</sup>Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, [bauzer@demec.ufmg.br](mailto:bauzer@demec.ufmg.br)

## Resumo

Neste trabalho considera-se a análise de fenômenos acústicos associados às instalações de bombeamento de água tipo *Booster* e o respectivo impacto sonoro em área residencial. Através do estudo de campo em espectro de frequências foram obtidas informações precisas necessárias à completa caracterização do campo acústico gerado pela fonte ruidosa. Na segunda parte do trabalho, os ambientes foram modelados e implementados com auxílio do software *Raynoise*. Os resultados obtidos nas simulações foram comparados com as medições de campo para validar os modelos computacionais e também serviram de base para o projeto de controle do ruído.

**Palavras-chave:** Acústica Ambiental, simulação numérica.

## 1. Introdução

Descreve-se como objeto de estudo o ambiente que abriga uma subestação de bombeamento do tipo *Booster* e sua vizinhança [1]. O ambiente está localizado em zona residencial, à Rua Célio de Andrade no bairro Buritis, Belo Horizonte. A subestação destina-se ao abastecimento de água de parte da zona sudoeste de Belo Horizonte. A visão geral do modelo é apresentada na Figura 1.

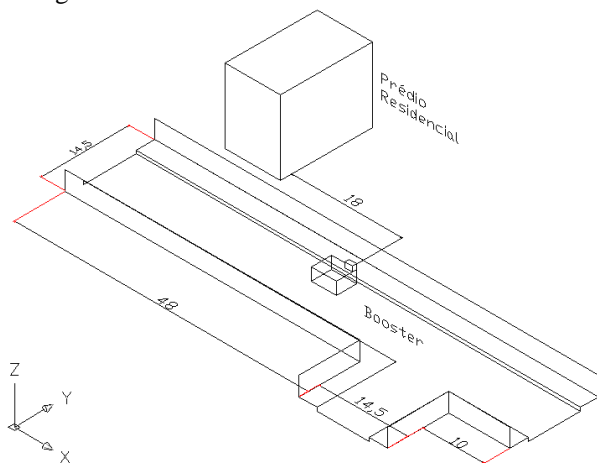


Figura 1: Visão geral do modelo

Constitui a subestação de bombeamento uma casa de máquinas subterrânea, com dimensões básicas de 4,1 x 3,3 x 2,0 m, construída abaixo do nível da rua no qual estão instalados dois conjuntos moto-bomba, sendo um operante e outro reserva, além dos seus periféricos. (Figura 2). Caracteriza-se como fonte irradiante de energia sonora o complexo que envolve esta subestação, mais especificamente, conjunto moto-bomba, as tubulações de sucção e recalque, registros de controle de fluxo, filtros, painel elétrico de alimentação e comando.

O ruído gerado por estas fontes propaga-se através do ar a partir do interior da casa de máquinas, sendo a transmissão de energia perturbada por paredes, piso, teto e equipamentos.

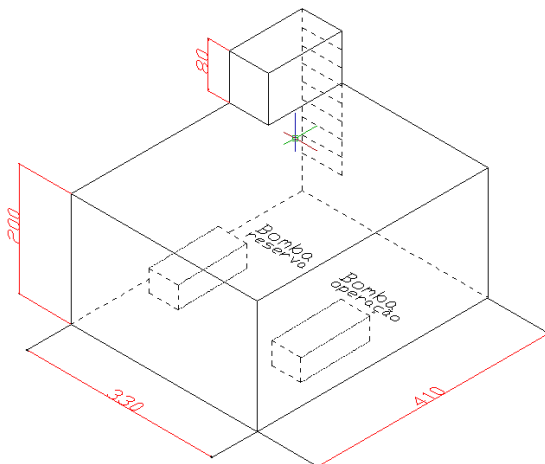


Figura 2: Instalação de bombeamento tipo *Booster*

A energia sonora atinge a porta de acesso ao *Booster* propagando-se agora pelo ambiente externo e sofrendo interferências dos muros dos lotes, da pista de rolamento, passeios e vegetação. A porta de acesso à subestação está no nível do passeio e é a interface entre a casa de máquinas e o ambiente externo.

## 2. Procedimento Experimental

O procedimento de campo resume-se basicamente na coleta dos dados e no respectivo tratamento computacional necessário à caracterização da interação acústica com o ambiente externo que compreende o modelo. A metodologia utilizada para as medições acústicas foram aquelas referenciadas pelas normas

NBR 10151 e NBR 10152 da ABNT [2,3]. As medições foram realizadas a aproximadamente 1,20 m de altura do chão e distância mínima do operador ao equipamento de medição de 0,5 metros. Para cada ponto de medição, um tempo de duração da medida de 30 segundos foi tomado como parâmetro de observação do sinal ruidoso. O tráfego de veículos e outras fontes de ruído não foram observados durante as medições. As condições atmosféricas estavam estáveis: temperatura ambiente de 25°C, umidade relativa de 55%, velocidade de vento inferior a 5 km/h e ausência de rajadas.

Todas as medições foram tomadas por meio de analisador de espectros, fabricação *Larson Davis*, modelo 821, acoplado a microfone de resposta plana, 1/2" de diâmetro, fabricação *Bruel & Kjaer*, aferidos com calibrador *Larson Davis*, sinal de 114 dB para a frequência de 500 Hz. O equipamento fornece resultados do nível de pressão sonora, no espectro de frequência por terça de oitava em tempo real e integrado no tempo de medição, nível equivalente *Leq* máximo, mínimo, instantâneo e integrado no tempo, para as escalas dB, dB(A), dB(C), resposta impulsiva, *fast & slow* e picos de potência. Cada ponto de medição foi associado a um arquivo armazenado pela memória do próprio equipamento. Estes arquivos foram depois transportados via cabo serial para o computador, que através de um programa específico fornecido pelo fabricante do equipamento fez-se a importação e o tratamento dos dados armazenados. Posteriormente, procedeu-se o tratamento final dos dados no programa *Excel*. Para tratamento dos dados coletados e geração do mapeamento sonoro do modelo foi utilizado o software *Winsurf*.

A coleta dos dados foi feita em três etapas distintas. A primeira etapa refere-se à descrição detalhada da fonte irradiante do ambiente *Booster*. A segunda etapa é referente à interface entre o *Booster* com o meio externo e na terceira etapa foi feito o mapeamento sonoro do ambiente externo.

### 2.1. O Interior do *Booster*

Foram realizadas quatro medições no interior do *Booster*. As medidas são identificadas como: medida 01 a 1 m da bomba; medida 02 a 2 m da bomba; medida 03 a 1 m da porta do *Booster* (lado interno) e medida 04 a 1 m da porta do *Booster* (lado externo). A Figura 1 apresenta os níveis de pressão sonora em decibel, por terço da banda de oitava no espectro de frequência. Nota-se um decaimento global dos níveis de pressão sonora com o afastamento da fonte principal de ruído, praticamente em toda a faixa do espectro.

São variadas as fontes de ruído no interior do *Booster* que contribuem para os altos níveis de potência sonora apresentados. São provenientes do magneto-estricção do motor elétrico, que influencia diretamente na vibração da carcaça, e componentes mecânicos móveis da

bomba, do quadro elétrico de força e comando, do conjunto de refrigeração dos motores elétricos e do fluxo de água no rotor da bomba, nas tubulações, registros e válvulas de controle.

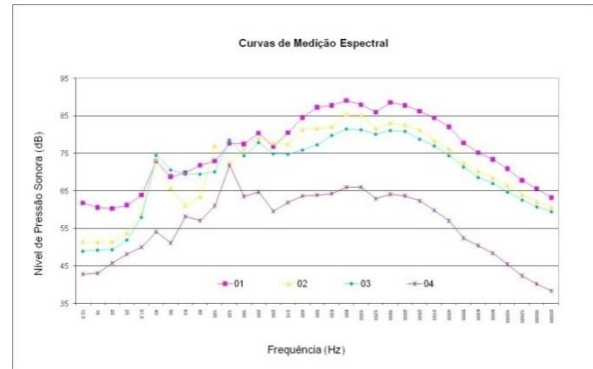


Figura 3: Espectro de frequência no *Booster*.

O somatório de todos os elementos irradiantes caracteriza um espectro de frequência de elevada potência, altamente reverberante, em toda a banda larga do espectro audível. A fonte que contribui com maior potência sonora é o motor elétrico do conjunto moto-bomba. Esta fonte principal também mascara a curva espectral das outras fontes sonoras já citadas.

O ruído gerado pelo motor elétrico pode ser dividido em três categorias: magnético, mecânico e aerodinâmico. O ruído magnético é gerado por vibrações da bobina que envolve o núcleo do motor, resultante da interação de forças eletromagnéticas que atuam no rotor na presença ou não do fluxo magnético. A faixa de frequência compreendida está associada à frequência de alimentação da rede elétrica, densidade do fluxo magnético, número de polos, rotação e geometria do conjunto elétrico.

Segundo a fórmula de *Bolt-Beranek* [4], e para as características do motor da bomba (60 Hz, trifásico, 3500 RPM, 40 cv, 61A), estimou-se uma pressão sonora equivalente emitida pelo motor de 100,5 dB, sendo que a pressão sonora equivalente medida em campo foi de 97,8 dB. Segundo as referências da *NEMA – National Electrical Manufacturers Association* [5], que expressa o nível equivalente de pressão sonora de acordo com as características de cada motor, estimou-se a pressão sonora equivalente de 98 dB(A), sendo que a pressão sonora equivalente medida em campo foi de 97,4 dB(A).

Os ruídos de origem mecânica são os de mancais e rolamentos, folgas, desbalanceamento do rotor e eixo de giração do rotor da bomba, fricção das escovas nos anéis de escorregamento, fricção de componentes móveis e rotores, dentre outros.

Os motores elétricos são assistidos com hélices para refrigeração dos mesmos e o ruído aerodinâmico é criado por vórtices e fluxos turbulentos do ar de

no qual foram implementados e simulados os casos de interesse.

*Raynoise* é um programa de simulação numérica que mescla várias técnicas para cálculo de parâmetros acústicos que possibilitam um estudo abrangente relativo ao controle de ruído industrial, estudo de salas acústicas e acústica ambiental. A teoria de cálculo é baseada nas teorias dos raios acústicos e acústica geométrica. A acústica geométrica assume ondas sonoras comportando-se como raios sonoros. Os raios sonoros ou raios acústicos são refletidos por superfícies sólidas e a cada reflexão parte da energia acústica é absorvida por estas superfícies e pelo meio de transmissão. As equações que governam o comportamento físico dos raios acústicos são a da trajetória e ângulo do raio, tempo de propagação, comprimento do arco, amplitude de velocidade potencial e pressão acústica [6].

O procedimento computacional foi desenvolvido em três etapas distintas. Primeiramente desenvolveu-se a simulação no interior do *Booster*. Na segunda etapa procedeu-se a simulação da propagação sonora no ambiente externo. Na terceira etapa as simulações foram feitas visando a adequar as emissões sonoras externas aos níveis referenciados pelas normas e a legislação vigente [2, 3, 8]. Via de regra, para os cálculos computacionais, alguns critérios foram previamente considerados, frequência de corte, número de raios e abandono dos raios propagados.

A reflexão é o fenômeno mais importante para a teoria dos raios. O comprimento de onda deverá ser pequeno comparado às dimensões características do ambiente. Em baixas frequências, esta condição nem sempre é satisfeita. O critério de *Schroeder* [4] define uma frequência de corte inferior,  $f_s$  (Hz), para qual o método pode ser aplicado com segurança:

$$f_s = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (1)$$

Na equação acima  $T$ (s) é o tempo de reverberação e  $V$ (m<sup>3</sup>) é o volume do ambiente. Para o interior da subestação, estimou-se que a frequência de corte inferior é da ordem de 346 Hz. Para o ambiente externo, por se tratar de propagação próxima de campo aberto, não há limitação quanto à frequência de corte.

Para ponto de partida quanto ao número de raios e à ordem de reflexões a serem considerados nos modelos utilizou-se as seguintes relações [7]:

$$I^2 \cdot R^2 \cdot \frac{4\pi}{N} \leq S_c \quad I = \frac{4V}{S} \quad (2)$$

Onde,  $R$  é a ordem de reflexão,  $N$  é o número de raios,  $S_c$  é a área da superfície característica do modelo,  $I$  é o caminho livre médio do raio e  $V$  e  $S$  são respectivamente o volume e a área total do modelo. A decisão final de

qual o número de raios e a ordem de reflexão utilizados nos modelos foi definida pela investigação da condição limite para quais os dados de saída não mais variavam quando se variava o número de raios e a ordem de reflexão.

No critério de abandono dos raios propagados, decidiu-se a respeito de se abandonar ou não um raio pelo fato do conteúdo de energia corrente ter-se tornado muito baixo ou por ter excedido a ordem de reflexões. O critério de abandono de um raio foi avaliado de forma a energia corrente ser menor ou igual ao valor médio dinâmico ou a última ordem de reflexão. No caso do ambiente externo, o valor médio dinâmico equivale ao ruído de fundo medido no local.

### 3.1. O Interior do *Booster*

Para a simulação computacional no interior da instalação de bombeamento, a fonte foi caracterizada a partir das medições realizadas em campo. O interior do *Booster* estava revestido com espumas absorventes nas paredes, sendo o piso e o teto de concreto aparente. Na Tabela 4 estão expressos os níveis de pressão sonora medidos, por banda de frequência, e na Tabela 5 os respectivos níveis equivalentes que foram utilizados como entrada no *Raynoise* para caracterizar os pontos de propagação da fonte ruidosa.

Tabela 4: NPS da fonte no interior do *Booster*.

Freq. [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NPS [dB]	75,1	81,3	84,3	91,5	92,7	92,4	87,0	78,3

Tabela 5: NPS equivalente da fonte no interior do *Booster*.

	$L_{eq}$ [dB]	$L_{eq}$ [dB(A)]
NPS	97,8	97,4

Quatro pontos de propagação esférica foram dispostos sobre uma geometria plana com dimensões próximas à área ocupada pelo conjunto moto-bomba (0,50 x 0,40 m). O uso de 10.000 raios para 10 reflexões e 40.000 raios calculados produziu o campo sonoro para as superfícies apresentadas na Figura 8.

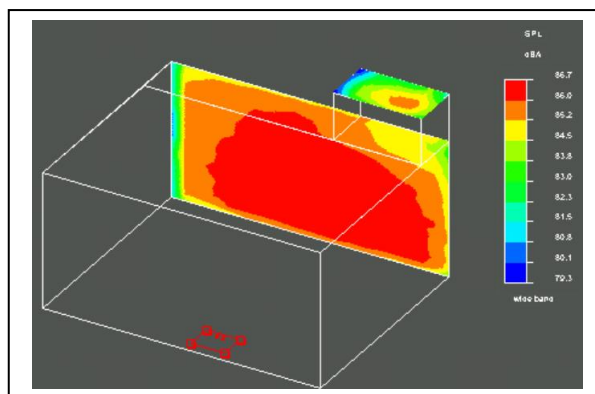


Figura 8: Simulação no interior do *Booster*

da média logarítmica por terço de banda de oitava do espectro de frequência.

O campo de propagação é limitado pelos muros dos lotes à frente e atrás da fonte sonora que agem como superfícies refletoras e absorvedoras de energia acústica, bem como a pista de rolamento. O ar age como terceiro meio de absorção sonora.

Como pode ser visto no mapeamento sonoro as curvas indicam a ocorrência de máximos e mínimos locais no campo de propagação do modelo (Figura 5).

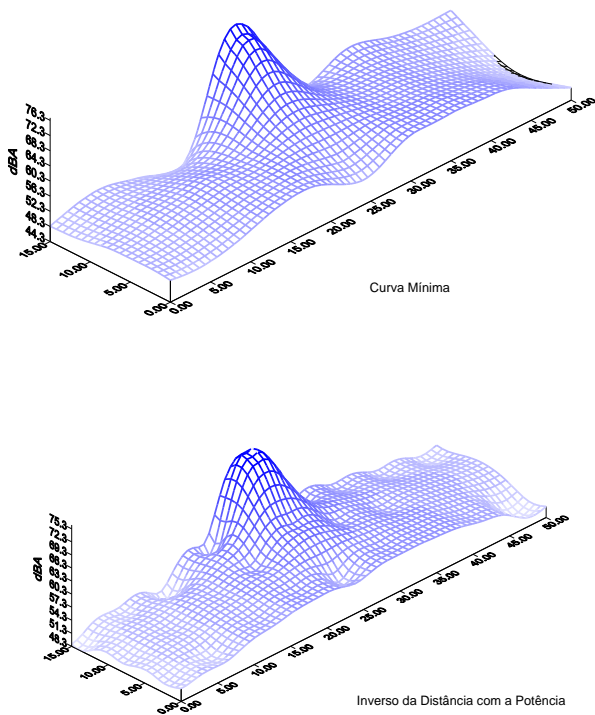


Figura 5: Mapeamento sonoro em curvas de isopressão

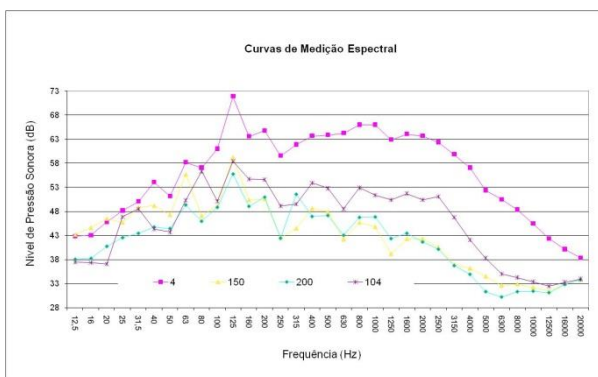


Figura 6: Espectro Sonoro a 6 m da interface

A Figura 6 apresenta um comparativo entre curvas espectrais de pressão sonora para três pontos distantes 6 metros da fonte sonora, respectivamente pontos 150, 200 e 104 e a medida de interface do *Booster* com o

meio externo, curva de número 4. Observa-se que a forma das curvas, relativos aos pontos 150, 200 e 104, repetem o mesmo aspecto da curva interface entre ambiente interno e externo, medida 4.

As Tabelas 2 e 3 apresentam valores dos níveis de pressão sonora equivalentes integrados no tempo de observação para os pontos da malhas localizados respectivamente a 6 e 12 metros da fonte. As medidas 104 e 50 estão localizadas frontalmente à fonte e indicam uma direcionalidade na propagação sonora para o outro lado da rua, isto devido à geometria em forma de veneziana da porta do *Booster* apontar nesta direção.

Tabela 2: Níveis de pressão sonora a 6 m da fonte.

Medida	4	150	200	104
$Leq$ [dB]	77,8	63,3	61,3	65,6
$Leq$ [dB(A)]	74,4	54,2	54,8	61,2

Tabela 3: Níveis de pressão sonora a 12 m da fonte.

Medida	140	210	50
$Leq$ [dB]	58,2	61,1	61,6
$Leq$ [dB(A)]	49,2	54,9	55,3

A Figura 7 compara os níveis de pressão sonora para a fonte sonora, interface do meio interno e externo, com a curva NC 45, recomendada pela ABNT NBR 10152 para conforto.

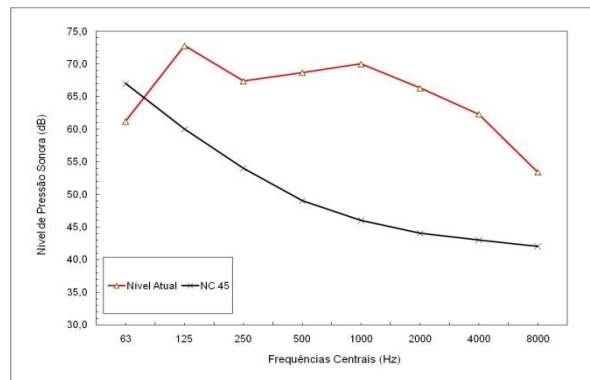


Figura 7: NPS por banda de frequência: medida x NC45

Os resultados indicam que a fonte sonora supera a curva NC recomendada caracterizando um elevado impacto sonoro ao ambiente residencial no qual a fonte sonora está inserida.

### 3. Avaliação Computacional

Os objetivos dos procedimentos computacionais resumem-se a confrontar as respostas dos modelos implementados com os dados experimentais levantados na parte experimental do trabalho, bem como analisar as respostas para propor alternativas de controle de ruído.

Os modelos foram gerados em três dimensões na plataforma CAD e exportados para o software *Raynoise*



no qual foram implementados e simulados os casos de interesse.

*Raynoise* é um programa de simulação numérica que mescla várias técnicas para cálculo de parâmetros acústicos que possibilitam um estudo abrangente relativo ao controle de ruído industrial, estudo de salas acústicas e acústica ambiental. A teoria de cálculo é baseada nas teorias dos raios acústicos e acústica geométrica. A acústica geométrica assume ondas sonoras comportando-se como raios sonoros. Os raios sonoros ou raios acústicos são refletidos por superfícies sólidas e a cada reflexão parte da energia acústica é absorvida por estas superfícies e pelo meio de transmissão. As equações que governam o comportamento físico dos raios acústicos são a da trajetória e ângulo do raio, tempo de propagação, comprimento do arco, amplitude de velocidade potencial e pressão acústica [6].

O procedimento computacional foi desenvolvido em três etapas distintas. Primeiramente desenvolveu-se a simulação no interior do *Booster*. Na segunda etapa procedeu-se a simulação da propagação sonora no ambiente externo. Na terceira etapa as simulações foram feitas visando a adequar as emissões sonoras externas aos níveis referenciados pelas normas e a legislação vigente [2, 3, 8]. Via de regra, para os cálculos computacionais, alguns critérios foram previamente considerados, frequência de corte, número de raios e abandono dos raios propagados.

A reflexão é o fenômeno mais importante para a teoria dos raios. O comprimento de onda deverá ser pequeno comparado às dimensões características do ambiente. Em baixas frequências, esta condição nem sempre é satisfeita. O critério de *Schroeder* [4] define uma frequência de corte inferior,  $f_s$  (Hz), para qual o método pode ser aplicado com segurança:

$$f_s = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (1)$$

Na equação acima  $T$ (s) é o tempo de reverberação e  $V$ (m<sup>3</sup>) é o volume do ambiente. Para o interior da subestação, estimou-se que a frequência de corte inferior é da ordem de 346 Hz. Para o ambiente externo, por se tratar de propagação próxima de campo aberto, não há limitação quanto à frequência de corte.

Para ponto de partida quanto ao número de raios e à ordem de reflexões a serem considerados nos modelos utilizou-se as seguintes relações [7]:

$$I^2 \cdot R^2 \cdot \frac{4\pi}{N} \leq S_c \quad I = \frac{4V}{S} \quad (2)$$

Onde,  $R$  é a ordem de reflexão,  $N$  é o número de raios,  $S_c$  é a área da superfície característica do modelo,  $I$  é o caminho livre médio do raio e  $V$  e  $S$  são respectivamente o volume e a área total do modelo. A decisão final de

qual o número de raios e a ordem de reflexão utilizados nos modelos foi definida pela investigação da condição limite para quais os dados de saída não mais variavam quando se variava o número de raios e a ordem de reflexão.

No critério de abandono dos raios propagados, decidiu-se a respeito de se abandonar ou não um raio pelo fato do conteúdo de energia corrente ter-se tornado muito baixo ou por ter excedido a ordem de reflexões. O critério de abandono de um raio foi avaliado de forma a energia corrente ser menor ou igual ao valor médio dinâmico ou a última ordem de reflexão. No caso do ambiente externo, o valor médio dinâmico equivale ao ruído de fundo medido no local.

### 3.1. O Interior do *Booster*

Para a simulação computacional no interior da instalação de bombeamento, a fonte foi caracterizada a partir das medições realizadas em campo. O interior do *Booster* estava revestido com espumas absorventes nas paredes, sendo o piso e o teto de concreto aparente. Na Tabela 4 estão expressos os níveis de pressão sonora medidos, por banda de frequência, e na Tabela 5 os respectivos níveis equivalentes que foram utilizados como entrada no *Raynoise* para caracterizar os pontos de propagação da fonte ruidosa.

Tabela 4: NPS da fonte no interior do *Booster*.

Freq. [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
NPS [dB]	75,1	81,3	84,3	91,5	92,7	92,4	87,0	78,3

Tabela 5: NPS equivalente da fonte no interior do *Booster*.

	$L_{eq}$ [dB]	$L_{eq}$ [dB(A)]
NPS	97,8	97,4

Quatro pontos de propagação esférica foram dispostos sobre uma geometria plana com dimensões próximas à área ocupada pelo conjunto moto-bomba (0,50 x 0,40 m). O uso de 10.000 raios para 10 reflexões e 40.000 raios calculados produziu o campo sonoro para as superfícies apresentadas na Figura 8.

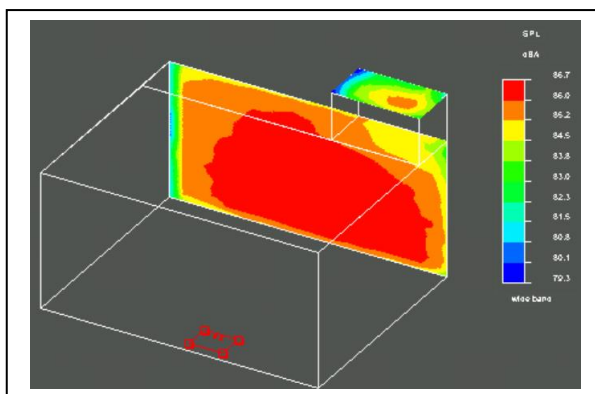


Figura 8: Simulação no interior do *Booster*

A Figura 9 confronta os níveis de pressão sonora simulados com as medições realizadas em campo por banda de frequência, tendo como referência a porta de acesso ao *Booster*. Cita-se a maior diferença de 4,9 dB para a banda de 250 Hz entre a simulação e a medição em campo. Para as outras bandas os valores simulados se aproximam dos valores medidos em campo. Já a Tabela 6 apresenta, para o mesmo ponto, níveis de pressão sonora equivalentes de 78,3 dB contra 77,8 dB, inferindo erro de 1,03%.

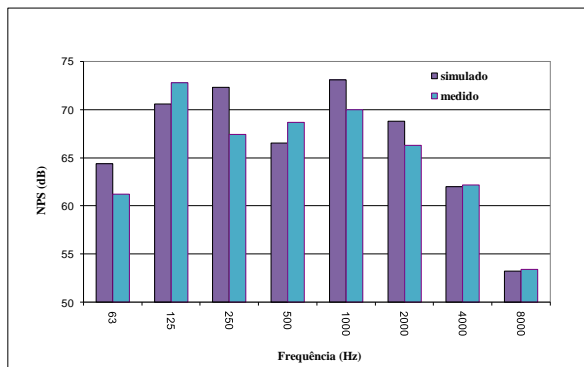


Figura 9: NPS (dB) Simulação x Medidas em Campo.

Tabela 6 – NPS equivalente na porta de acesso ao *Booster*

NPS	$L_{eq}$ [dB]	$L_{eq}$ [dB(A)]
Simulado	78,3	75,1
Medição em campo	77,8	74,4

### 3.2. Propagação no Ambiente Externo

Para a propagação no meio externo, a fonte sonora foi adotada como sendo a superfície interface entre o meio interno e externo, no caso a porta de acesso à instalação de bombeamento. A geometria plana, ao nível do passeio, com dimensões 0,7 x 1,3 m, representa as dimensões da porta de acesso ao *booster*. Sobre esta superfície foi gerada uma malha plana quadrada com 21 pontos de propagação esférica a partir dos dados do modelo computacional simulados no item anterior. Para esta bateria de testes foram considerados os coeficientes de absorção sonora encontrados na literatura para o asfalto, muros com blocos de concreto, passeios em concreto e para o ar (Figura 6).

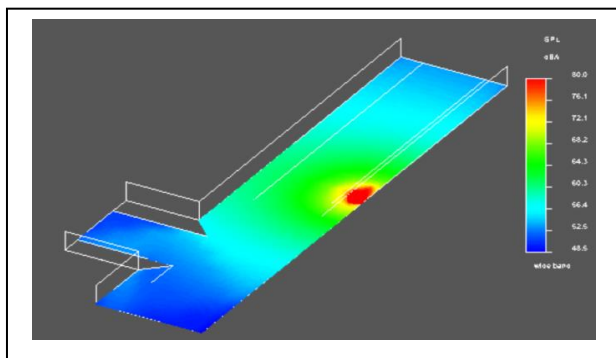


Figura 10: Simulação no ambiente externo.

As características para modelagem da fonte foram determinadas pela investigação da variação de parâmetros na os resultados obtidos na simulação mais se aproximaram dos dados coletados em campo. A representação gráfica pontual dos níveis de pressão sonora para os dados obtidos na simulação em comparação com os dados obtidos em campo são apresentados na Figura 11.

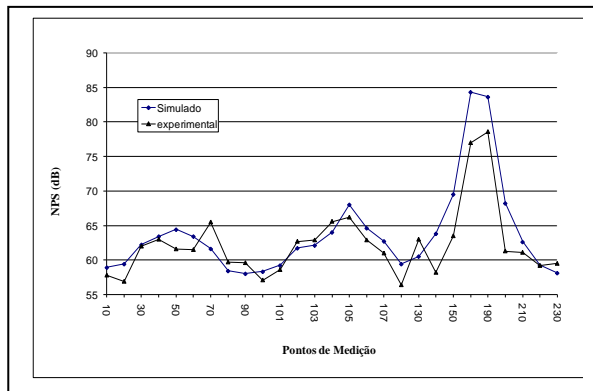


Figura 11: NPS(dB) experimental x simulado

Para os pontos mais próximos da fonte, o modelo simulado apresentou maiores valores de pressão sonora se comparado com os pontos medidos no local. Atribui-se a isso que as medições no campo sofreram influência de parâmetros não considerados na simulação, por exemplo, a vegetação e o fenômeno de difração. Não obstante às ressalvas, os mapas sonoros experimental e simulado apresentaram curvas de pressão muito próximas um do outro, conforme observado na Figura 12.

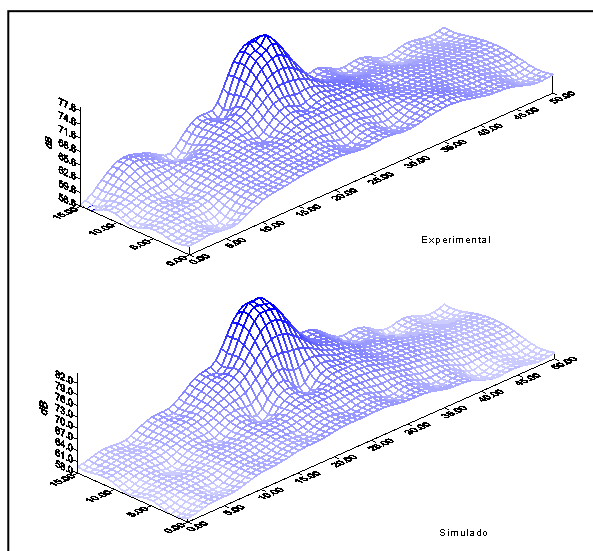


Figura 12: NPS experimental x simulado

## 4. Controle de Ruído

Para esta etapa, as simulações foram realizadas considerando um tratamento acústico proposto no interior da instalação de bombeamento. Basicamente,

para as paredes e teto do *booster* foram especificados materiais fono-absorventes fabricados em lã de rocha basáltica de 2" de espessura, densidade 64 kg/m<sup>3</sup>. Também foi projetada uma antecâmara de acesso ao interior da instalação estruturada em perfis metálicos e chapas de aço acoplada a um sistema de ventilação para tiragem da carga térmica gerada (Figura 13).

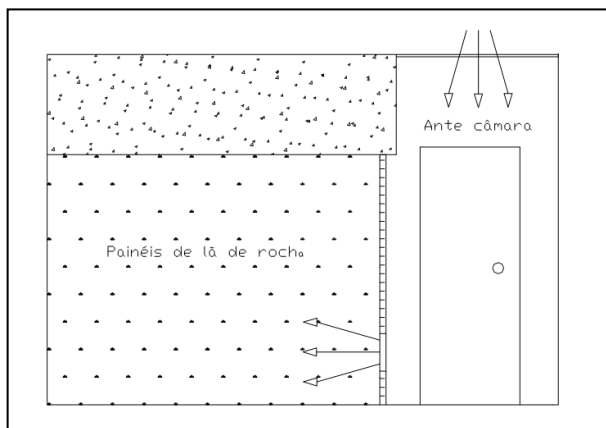


Figura 13: Tratamento acústico.

Os níveis simulados de pressão sonora na interface do *booster* por banda de frequência, para a situação de medição em campo, recomendado pela norma e aplicado o tratamento proposto para controle de ruído são comparados a partir da Figura 14. Os resultados das simulações indicam níveis de pressão sonora equivalentes de aproximadamente 38,8 dB(A) e 56,4 dB, o que corresponderia a impacto dentro das referências legais para ambiente residencial no período noturno indicados pelas leis municipais de Belo Horizonte [8], que é de 45 dB(A) e abaixo da curva NC 45 referenciada pela NBR 10151.

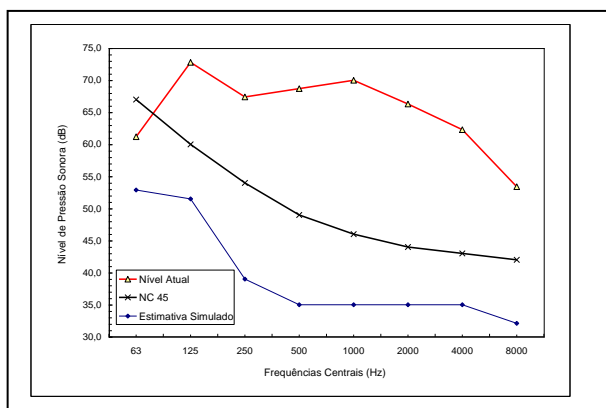


Figura 14: NPS por banda de frequência.

## 5. Conclusões

A fonte que contribui com maior potência em toda a faixa de frequência do espectro sonoro foi a emitida pelo conjunto moto-bomba. As estimativas dos níveis de pressão sonora para o motor concordaram com os níveis de pressão sonora coletados em campo.

Conforme a legislação municipal para a cidade de Belo

Horizonte a fonte geradora de ruído, no caso a interface entre o *Booster* e o ambiente externo, excedia os níveis referenciados pelas leis em 19,4 dB(A), para período diurno, 24,4 dB(A) para período vespertino e 29,4 dB(A) para o período noturno. De acordo com o critério NC (*Noise Criteria*) da ABNT NBR 10152, os níveis registrados deveriam se limitar a uma curva espectral de equivalência não superior a NC 45.

O estudo experimental serviu não só para a descrição detalhada da fonte irradiante e a interação acústica desta com todo o ambiente que compreende o modelo, mas também para caracterização, ajuste e validação dos modelos computacionais.

Nos casos estudados, as características de construção dos modelos foram tais que os resultados evidenciassem o mais próximo possível de modelos realísticos. Principal atenção foi dada à caracterização das fontes sonoras, requerendo simplificações aplicadas ao modelo, aos valores dos coeficientes de absorção sonora dos materiais e à geometria dimensional da porta de acesso ao *Booster*.

A teoria dos raios acústicos aplicáveis ao software *Raynoise* produziu bons resultados na análise de emissão acústica dos ambientes abordados.

As metodologias empregadas neste trabalho permitem uma avaliação paramétrica que pode ser aplicada na avaliação de emissão acústica e no projeto de sistemas de controle de ruído ambiental.

## Referências

- [1] Oliveira A.M.: Estudo do Impacto Sonoro em Centros Urbanos Provocado por Ruído de Instalações de Bombeamento Tipo *Booster*, Dissertação n°147, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, dezembro, 2000.
- [2] NBR 10151:2000: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade
- [3] NBR 10152:1987: Níveis de ruído para conforto acústico.
- [4] Gerges, S.N.Y.: Ruído - Fundamentos e Controle, Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
- [5] NEMA – *National Electrical Manufacturers Association*.
- [6] Kroeff, G.: Modelagem e Simulação de Emissão Acústica em Subestações Elétricas, Dissertação, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997
- [7] *Raynoise*
- [8] Legislação Ambiental do Município de Belo Horizonte BH, 1988, decreto 5.893 de 16/03/1988  
BH, 1996, lei 7.166 de 27/08/1996  
BH, 1997, decreto 9.139 de 07/03/1997.