

Acústica e Vibrações

Sociedade Brasileira de Acústica - Sobrac

Dezembro de 2011 - Vol. 26 ▶ N° 43

Qualificação e Competência Profissional em Acústica: exigências de um mercado em expansão

Atenuação de Ruído na Ventilação Forçada em Residências: análise experimental de um protótipo inovador

Cômputo das Respostas Impulsivas Biauriculares Via Redes Neurais Artificiais: uma nova técnica para gerar aurilizações

Crítérios de Desempenho Acústico em Edifícios Residenciais

Impacto Sonoro da Implantação do Metrô de Salvador em Edificações Adjacentes Considerando os Efeitos na População

Mitigação dos Níveis de Ruído em Escolas

Simulações e Medições Acústicas de uma Cavidade Adotada Como Referência em Estudos Vibro-acústicos

Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional

Expediente

Revista da Sociedade Brasileira de Acústica –

SOBRAC

ISSN 1983-442X

UFSM - CT - Sala 212

Av. Roraima nº 1000, Camobi
CEP 97105 900 Santa Maria RS

www.acustica.org.br

e-mail:sobrac@acustica.org.br

Skype ID: sobrac_acustica

Diretoria SOBRAC 2010/2014

Presidente: Dinara X. da Paixão

dinaraxp@yahoo.com.br

Vice-Presidente: Arcanjo Lenzi

arcanjo@lva.ufsc.br

1º Secretário: Gilberto Fuchs de Jesus

gilberto@acustica.org.br

2º Secretário: Krisdany Vinícius S. M. Cavalcante

krisdany@acustica.blog.br

1º Tesoureiro: Roberto Jordan

jordan@acustica.org.br

2º Tesoureiro: Edison C. Moraes

edison@atenuasom.com.br

Secretaria Executiva: Maria Cristina Rigão Iop

sobrac@acustica.org.br

Conselho

Stelamaris Bertoli Rolla

Ana Claudia Fiorini

Marco Antônio Nabuco de Araújo

Davi Akkerman

Débora Barreto

Maria Luiza Balderrain

Samir Gerges

João Gualberto Baring

Stephan Paul

Roberto Tenenbaum

Suplentes

Newton Sure Soeiro

Ricardo Eduardo Musafir

Daniel Fernando Bondarenco Zajarkiewicz

Gustavo da Silva Vieira de Melo

Corpo Editorial

Newton Sure Soeiro - UFPA

Gustavo da Silva Vieira de Melo - UFPA

Capa:

Ana Laura Cassiminho - UFSM

Sumário

Editorial 02

Artigos

Qualificação e competência profissional em Acústica:
exigências de um mercado em expansão. 03

Paixão, D. X.

Atenuação de ruído na ventilação forçada em residências:
análise experimental de um protótipo inovador. 07

Winck, S.S.; Schmid, A.L.

Cômputo das respostas impulsivas bi-auriculares via redes
neurais artificiais: uma nova técnica para gerar
aurilizações 13

Lucio Naranjo, J.F.; Tenenbaum, R.A.; Torres, J.C.B.

Crítérios de desempenho acústico em edifícios
residenciais. 19

Neto, M. F.F.; Bertoli, S.R.

Impacto sonoro da implantação do metrô de Salvador em
edificações adjacentes considerando os efeitos na
população. 30

Barretto, D.M.; Freitas, I.M.

Mitigação dos Níveis de Ruído em
Escolas 38

Oliveira Filho, R. H.; Sousa, M. M.; Franco, V. L. D. S.; Duarte,
M. A. V.; Teodoro, E. B.

Simulações e medições acústicas de uma cavidade
adotada como referência em estudos vibro-acústicos 46

Gomes, M.H.A.; Tourinho, A.M.C.; Oliveira, A.B.S.

Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação
ocupacional 53

Soeiro, N. S.; Melo, G. S. V.; Ohana, G. J.

Informações

Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído –
INAD - edição 2011 no Brasil 63

I Workshop de Vibração e Acústica da Região Norte –
Tucuruí-PA. 67

SOBRAC promove encontro histórico em São Paulo. 71

XXIV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica –
Belém – PA – 29/05 A 01/06/2012 73

Editorial

Foi com imenso prazer que a Diretoria da SOBRAC – Regional Norte assumiu a tarefa de editar este número da Revista Acústica & Vibrações. Esta decisão teve por base o compromisso assumido anteriormente de presidir o XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC 2012), o qual ocorrerá pela primeira vez na região Norte, e a construção deste número da Revista foi encarada como parte da contribuição desta Regional aos associados de todo o país.

Para a composição da revista, foram solicitados artigos de toda a comunidade brasileira de profissionais que contribuem para as áreas de vibrações e acústica. Assim, este número da Revista é significativamente representativo das referidas áreas do conhecimento, por conter artigos de todas as regiões do Brasil.

Durante o processo de revisão dos artigos, observou-se a oportunidade de alertar toda a comunidade sobre a necessidade de aprofundar a discussão sobre a terminologia utilizada em vibrações e acústica no Brasil. Nesta edição, surgiram proveitosos e interessantes debates sobre termos como, por exemplo, “auralização” e “aurilização”, ambos aceitos como válidos em respeito às dimensões de cada autor, ou ainda “difusidade”, “difusividade” e “difusibilidade”. Fica o convite a todos e todas para abraçar a construção da terminologia apropriada.

Os editores agradecem encarecidamente ao convite da Presidência da SOBRAC para concretizar esta edição da Revista e a todas as pessoas que enviaram artigos, tornando possível esta realização. Por fim, ressaltam a imensa expectativa de poder recebê-los em Belém-PA no SOBRAC 2012, num evento que (literalmente) marcará o avanço das fronteiras da Acústica & Vibração do Brasil.

Newton Sure Soeiro

Gustavo da Silva Vieira de Melo

QUALIFICAÇÃO E COMPETÊNCIA PROFISSIONAL EM ACÚSTICA: exigências de um mercado em expansão

Paixão, D. X.*

* Presidente da SOBRAC, Santa Maria, RS, dinara.paixao@eac.ufsm.br

Resumo

O texto fundamenta a questão da certificação profissional em suas duas ênfases - por qualificação ou por competência - e propõe uma reflexão sobre os desafios que estão sendo colocados às pessoas e às instituições que atuam na área de Acústica no Brasil. Apresenta conceituações e documentos, correlacionando-os com os principais pontos de interesse dos profissionais e das empresas do setor. Relaciona aspectos do mercado de trabalho e da formação daqueles que atualmente exercem atividades nesse domínio científico e tecnológico. Estimula a construção de rumos definidos e coerentes que atendam às novas necessidades e que viabilizem o crescimento da Acústica no Brasil.

Palavras-chave: Acústica no Brasil, Qualificação Profissional, Competência Profissional, SOBRAC.

1. Introdução

A área de Acústica abrange conhecimentos e atividades multidisciplinares, por isso necessita contar com a atuação de profissionais de diversas formações. Constitui-se num complexo conhecimento que remonta à Antiguidade, teve grande desenvolvimento no século passado e avança, agora, em admirável velocidade.

Além dos setores considerados técnicos, de interesse estratégico e industrial, os aspectos relativos à influência do som/ruído na saúde e no bem-estar das pessoas tem sido objeto de maior destaque e atenção.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), em documento divulgado no dia 30 de março de 2011, considerou a Poluição Sonora como a segunda maior causadora de danos à saúde da população, com base em estudos europeus. Ao reconhecer que a Poluição Sonora não é mais apenas um incômodo ambiental, mas uma ameaça à saúde pública, a Diretora Regional da OMS para a Europa, Zsuzsanna Jakab, afirmou esperar que essa evidência leve os governos e outras autoridades a introduzirem políticas de controle de ruído, protegendo a população desse risco crescente [1].

A análise utilizada pela OMS refere-se a dados monitorados na Europa Ocidental, mas traz esse alerta para todo o mundo, inclusive para o Brasil, onde esse problema é grave em todas as regiões do País, independente da magnitude das cidades observadas.

Esse fato amplia a responsabilidade dos profissionais que atuam em todas as subáreas da Acústica, pois somente o trabalho conjunto poderá viabilizar a construção de novos paradigmas sociais.

Sabe-se que nenhuma formação profissional, mesmo a decorrente do ensino superior, é suficiente em si mesma, necessitando constante atualização e complementação. Observa-se, no entanto, que o conhecimento formal básico e adequado à atividade é indispensável para o bom desempenho da profissão, seja ele decorrente da graduação, da pós-graduação ou do ensino técnico.

Como aceitar que pessoas que não possuem tal qualificação e, muitas vezes, apenas adquirem um equipamento (de precisão duvidosa) disputem o mercado de trabalho em Acústica no Brasil intitulando-se profissionais da área?

Há uma crescente necessidade de profissionais - em todos os níveis - adequadamente qualificados, capazes de não decepcionar aos clientes, de utilizarem corretamente os equipamentos e produtos, de conceberem projetos viáveis técnica e financeiramente, além de não colocarem em risco a saúde e o bem estar das pessoas.

Assim, considera-se que é chegado o momento do reconhecimento de quem são os reais profissionais da área de Acústica que atuam no Brasil.

A Diretoria da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) lançou para os seus associados, durante o evento que marcou o 27º aniversário da entidade (21 de novembro de 2011), o desafio de implantação de um Programa de Certificação de Profissionais em Acústica.

Profissionais certificados são uma referência para autoridades, empresas, instituições e para o público em geral, mas um Programa de Certificação Profissional não é uma ação de Diretoria. Ele precisa ser perene, independente de quem esteja momentaneamente eleito

para o exercício da administração da entidade, por isso constitui-se em responsabilidade e compromisso de todos os associados. Por essa razão, há necessidade de se conhecer e discutir o tema, para que as decisões a serem tomadas na Assembléia Geral em Belém, no Pará, durante o XXIV Encontro da SOBRAC, em 2012, sejam conscientes e corretamente fundamentadas.

2. Qualificação e competência profissional

Há um consenso quanto à importância da qualificação profissional em qualquer setor no campo do trabalho. O acréscimo na produtividade, a melhoria dos serviços prestados, o aumento da competitividade e das possibilidades de elevação do salário ou da renda são alguns dos benefícios apontados como decorrentes da qualificação profissional.

Ao iniciar-se uma discussão sobre a Certificação de Profissionais, no entanto, uma das primeiras questões que precisa ser levantada é a discussão sobre a certificação por qualificação ou por competências. Esse é um assunto complexo, com conceituações exaustivamente debatidas, em especial na Sociologia, na Pedagogia e em outras áreas adjacentes.

Posições favoráveis e contrárias a um ou outro modelo de certificação, subsidiadas por profundas discussões filosóficas, dificultam o entendimento e a decisão, em especial para os profissionais da área tecnológica, os quais, na maioria das vezes, são pouco familiarizados e/ou interessados nesse processo dialético.

Busca-se, por isso, de uma forma simplificada esclarecer alguns pontos e incentivar o debate, visando à construção de um modelo adequado às pretensões dos associados da SOBRAC.

A chamada qualificação profissional é ampla e contempla dimensões conceituais, sociais e experimentais. Ela "(...) não pode ser compreendida como uma construção teórica acabada", pois se trata de um conceito explicativo da articulação de diferentes elementos no contexto de relações de trabalho [2].

A competência fixa-se na dimensão experimental e, segundo Resende (2000 Apud BASTOS, 2011), é a transformação de conhecimentos, juntamente com aptidões, habilidades, interesse, vontade, etc., em resultados práticos [2].

Assim, é possível ter o conhecimento sem ser competente e é possível ser competente na execução de uma tarefa sem ter o conhecimento necessário para a concepção da referida atividade. É o saber fazer sem necessariamente saber o porquê de fazer dessa maneira. Essa discussão vem sendo travada há algum tempo, em especial nos meios educacionais e do trabalho. Isso tem influenciado novas tendências educacionais em

graduações tecnológicas e na regulamentação de categorias profissionais, como é o caso dos engenheiros.

A Lei n.º 9.394/96 (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional) possibilitou uma abertura à certificação profissional, através de seu artigo 41, que estabelece "o conhecimento adquirido na educação profissional, inclusive no trabalho, poderá ser objeto de avaliação, reconhecimento e certificação para prosseguimento ou conclusão de estudos" [3].

Experiências existentes em diferentes ministérios levaram à constituição de uma Comissão Interministerial que trabalhou, durante a década passada, através de pesquisas, audiências públicas e seminários, para a instituição de um Sistema Nacional de Certificação Profissional.

Consideram-se entidades certificadoras "as instituições públicas ou privadas que implementam processos de identificação, avaliação e validação dos conhecimentos, saberes, competências, habilidades e aptidões profissionais do/a trabalhador/a, desenvolvidos em processos de aprendizagem formal ou informal". Tais entidades precisam estabelecer padrões e procedimentos metodológicos adequados à certificação profissional, em consonância com os parâmetros estabelecidos na esfera governamental [4].

Há, ainda, instituições que trabalham a certificação profissional internamente, valorizando os seus próprios associados, como foi mostrado no evento promovido pela SOBRAC, no dia 21 de novembro de 2011.

Defende-se, por isso, que não se perca o foco principal da colocação da Acústica no dia-a-dia dos brasileiros, ao mesmo tempo em que se contribua para uma formação integral do profissional.

É importante reafirmar a necessidade do conhecimento formal na área, seja ele em nível superior ou técnico. Logo, a qualificação é fundamental, mesmo que específica para determinadas atividades, mas é preciso associar essa qualificação com a competência, integrando o conhecimento com a prática.

Outro diálogo importante para a implantação da certificação profissional é a caracterização das ênfases a serem adotadas, a partir da ampla gama de subáreas da Acústica, da disparidade de formações atualmente existentes no Brasil e das necessidades do mercado.

3. Os profissionais da Acústica no Brasil

A formação dos profissionais que atuam em Acústica atualmente no Brasil é individualizada. Há graduados nas mais diferentes habilitações, pós-graduados (aperfeiçoamento, especialização, mestrado, doutorado e pós-doutorado), técnicos, trabalhadores treinados para

atividades específicas e autodidatas. Somente no 2º semestre de 2009 foi implantado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), no Rio Grande do Sul, o primeiro curso de graduação em Engenharia Acústica (www.ufsm.br/eac), que possui os conhecimentos básicos obrigatórios de todas as engenharias, os profissionalizantes da Engenharia Mecânica, Engenharia Civil e Engenharia Elétrica (somente os conteúdos aplicados à área de interesse) e os específicos em quase todas as subáreas presentes na Acústica.

Esse investimento no ensino formal de Acústica, embora demorado, visa qualificar a mão-de-obra e oferecer à população maior garantia e segurança na contratação de prestadores de serviço. Há, no entanto, uma cadeia produtiva onde o ensino técnico também se constitui em importante aliado.

Na realidade brasileira atual, os profissionais que cursaram parte de uma disciplina, ou uma/duas disciplinas de conceitos básicos consideram-se habilitados a atuarem em Acústica, constituindo-se em risco à saúde, ao bem estar e à segurança das pessoas. Prestam um desserviço, pois equívocos e trabalhos incorretos trazem descrédito para todos os que atuam na área. Quem fiscaliza isso?

Sabe-se que as atividades em Acústica, em geral, requerem um conhecimento multidisciplinar para a concepção da solução, ao mesmo tempo em que dependem de uma correta execução, por isso a importância da existência de pessoal qualificado em todos os níveis.

4. O mercado de trabalho em Acústica no Brasil

Os desafios constantes e o imperativo de respostas rápidas às necessidades de um mercado de trabalho cada vez mais competitivo exigem que todos os trabalhadores estejam preparados. No caso da Acústica, no Brasil, o mercado está em ampla expansão.

As áreas tradicionalmente reconhecidas, onde se destacam os materiais, equipamentos e serviços ligados à indústria automotiva, aeronáutica, mecânica, elétrica, telefonia, entre muitas outras continuam em desenvolvimento e, não raramente, a SOBRAC encaminha aos seus associados notícias de vagas para contratação de profissionais que atuem em postos de trabalho fundamentados em Acústica e Vibrações. A indústria da construção civil e todos os seus componentes estão experimentando uma crescente expansão, em especial pelo despertar das necessidades oriundas do atendimento às exigências da NBR 15575. Nesse aspecto, há muito para evoluir. São necessários produtos cada vez mais específicos e com melhor desempenho aliados a projetos concebidos de forma adequada; alguém precisa desenvolvê-los. Medições que

identifiquem o padrão requerido são indispensáveis; alguém precisa executá-las. Isso é apenas para citar algumas das oportunidades.

Na esfera ambiental, a mobilização dos profissionais da Acústica tem sido pequena, apesar da enorme gama de atividades onde os trabalhos envolvendo medições de níveis sonoros se multiplicam. Quem conhece o teor do Estatuto das Cidades? Quem sabe o que é um EIA (Estudo de Impacto Ambiental) ou um EIV (Estudo do Impacto de Vizinhança)? Quem está fazendo essas medições?

O Estatuto das Cidades (Lei n. 10257, de 10 de julho de 2001) "(...) estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental". A contribuição de quem trabalha com som/ruído, por isso, é fundamental [5].

As análises dos postos de trabalhos, das exposições ao ruído e às vibrações, as medições/correções de máquinas e ambientes, os mapas de ruído e outras atividades constituem-se em necessidades diárias, nas questões trabalhistas. Quanto mais específicos e detalhados forem os trabalhos exigidos, maior será a necessidade de contratação de verdadeiros profissionais da Acústica. Como ampliar a atuação nesse mercado?

E os outros domínios da Acústica? Existem muitos setores necessitando de profissionais da Acústica no Brasil, basta pesquisá-los e, algumas vezes, instigá-los mostrando o que pode ser oferecido. Explicando melhor: todos já ouviram falar no discutido "Pré-sal"? Um País que possui tamanha riqueza - e pretende explorá-la - necessita tecnologia e bons profissionais, que trabalhem com o som sob as águas. A Petrobrás e a Marinha do Brasil estão aprofundando trabalhos nessa área, cuja perspectiva de expansão é muito grande.

5. Considerações Finais

No Brasil, há pesquisadores atuando em diversas áreas, mas observa-se que ainda existe um distanciamento entre eles, o que impede o avanço mais dinâmico decorrente do trabalho que poderia ser conjunto.

Outra dificuldade reside no financiamento de pesquisas específicas que, pela inexistência de uma área de Acústica reconhecida pelos órgãos financiadores e pela necessidade de trabalhar nas interfaces das áreas tradicionais, tem suas investigações limitadas em abrangência, pelo imperativo de adequar-se às propostas dos editais disponíveis.

A Diretoria da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) vem tomando providências junto a outras instituições da esfera pública e privada.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) já foi contatada e sinalizou de forma positiva à possibilidade de criação de um Comitê específico de Acústica, a exemplo do TC 43 da ISO.

O Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) e o Ministério do Meio Ambiente foram parceiros da SOBRAC na proposta, feita junto à Câmara Federal, para a criação de uma Lei instituindo uma Política Nacional de Conscientização, Controle e Fiscalização das Emissões Sonoras.

No Congresso Nacional, tanto o Senado como a Câmara Federal receberam correspondências e visitas com o objetivo de impedir a aprovação de projetos que legislarão na área de Acústica e que continham equívocos técnicos e/ou resultariam em prejuízos à saúde e segurança das pessoas. Todos os associados da SOBRAC tem sido informados através do Informativo e convidados a opinar sobre os temas em análise.

Estão sendo incentivadas ações conjuntas com outras associações profissionais, como é o caso da AES Brasil (Audio Engineering Society), da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia (SBF), da Associação Brasileira de Audiologia (ABA), da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO), da Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI), entre outras.

As universidades, os centros de pesquisa e as empresas tem sido incentivados a buscarem a promoção de avanços técnico-científicos nos diferentes enfoques da Acústica, a fim de proporcionarem à sociedade melhores condições de saúde e qualidade de vida.

Ao enfatizarem as questões envolvendo o trabalhador, os profissionais da Acústica que tem sua formação inicial na área de saúde (Fonoaudiólogos, Médicos, Enfermeiros etc.) precisam ser lembrados. E cobrados ! Eles precisam atuar ao lado de engenheiros e outros profissionais com a finalidade de influírem nas decisões que estão sendo tomadas com vistas à alteração da legislação vigente. Quem vai atuar depois, precisa ajudar – agora - na definição de o quê e como deve ser feito.

A Portaria n. 280 de 1º de novembro de 2011, do Ministério do Trabalho, constituiu o Grupo de Estudos Tripartite – GET. O objetivo é estudar e contribuir com a proposta de texto técnico básico para a criação de Norma Regulamentadora sobre a Gestão da Saúde e Segurança no Trabalho. A Comissão, que já está

nomeada, tem representantes do Governo, dos trabalhadores e dos empregadores.

A Política Nacional de Segurança e Saúde no Trabalho – PNSST foi instituída pelo Decreto n. 7602, de 07 de novembro de 2011 e nela não se pode prescindir o ruído, considerado questão de saúde pública pela OMS e um componente fundamental para a saúde e segurança dos trabalhadores.

Todas essas atuações não podem ser somente da Diretoria – que está temporariamente na administração de uma entidade – mas precisam ser compromisso do grupo de verdadeiros profissionais da área de Acústica.

Na busca dessa identificação dos verdadeiros profissionais de Acústica está sendo proposta a certificação profissional, que deve conjugar técnicas e instrumentos de avaliação diversificados, que precisam estar adaptados às especificidades dos trabalhadores e às diferentes exigências de desenvolvimento do setor.

Os discutidos conceitos de competência e de qualificação são resultado da conexão de forças sociais e determinados pelo contexto histórico. O seu conhecimento é importante para nortear a criação de um programa de certificação coerente e exequível para a área de Acústica.

O fundamental, no entanto, é que o conhecimento técnico-científico, adquirido no ensino formal ou na prática, chegue à sociedade, garantindo-lhe melhor qualidade de vida e menores riscos à sua saúde.

Referências

- [1] SALVI, C. <http://www.euro.who.int/en/what-we-publish/information-for-the-media/sections/latest-press-releases/new-evidence-from-who-on-health-effects-of-traffic-related-noise-in-europe>. Acesso em 20 de abril de 2011.
- [2] BASTOS, A. Trabalho e qualificação: questões conceituais e desafios postos pelo cenário de reestruturação produtiva. http://downloads.artmed.com.br/public/A/ANDRADE_Jairo_E_Borges/Treinamento_Desen_Educ_Orgs_Trabalho/Liberado/Cap_01.pdf Acesso em 12 de outubro de 2011
- [3] BRASIL. Lei nº 9.394 de 20 de dezembro de 1996. http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/lei9394_ldbn1.pdf Acesso em 16 de dezembro de 2011
- [4] MTE. Sistema Nacional de Certificação Profissional. http://www.mte.gov.br/pnq/proposta_governamental.pdf Acesso em 12 de outubro de 2011.
- [5] BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm . Acesso em 16 de dezembro de 2011.

Atenuação de ruído na ventilação forçada em residências: análise experimental de um protótipo inovador

Winck, S.S.*; Schmid, A.L.†

*Laboratório do Ambiente Construído. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFPR, Curitiba. scheilawinck@hotmail.com

†Laboratório do Ambiente Construído. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFPR, e Curitiba. aloisio.schmid@gmail.com

Resumo

É apresentado um projeto de atenuador acústico em ventilação forçada para uso em edificações residenciais. Após o levantamento bibliográfico, foi realizada pesquisa experimental para a avaliação da capacidade de isolamento acústico do sistema de ventilação proposto. Utilizou-se a norma NBR 10151, e o procedimento de testes foi desenvolvido de modo a caracterizar o desempenho do atenuador. Foram testadas cinco variações do protótipo, e também o uso de um renovador de ar de acordo com instruções do fabricante. Com os resultados foi possível observar que todos os protótipos tiveram desempenho superior ao renovador de ar. Foi identificada a solução ótima. Constatou-se serem ainda necessários ajustes no protótipo de forma a melhorar seu desempenho técnico e arquitetônico. Também são necessários ensaios de capacidade de renovação de ar. A pesquisa procura contribuir com a promoção da melhora da qualidade do ar e qualidade de isolamento acústico em ambientes residenciais internos.

Palavras-chave: Atenuação de ruído. Isolamento acústico. Acústica arquitetônica. Ventilação forçada.

1. Introdução

Esta pesquisa parte da premissa de que as edificações residenciais tradicionais não conseguem combinar ventilação satisfatória e um bom isolamento acústico. Como fazer para que as edificações residenciais tenham ventilação satisfatória, que mantenha boas condições de higiene, associada a um bom isolamento acústico?

Para responder a essa pergunta, foi inicialmente escolhido o controle passivo de ruído, por se tratar de uma abordagem mais simples e cujas possibilidades ainda estão pouco exploradas na realidade da Construção Civil em geral. Suas estratégias estão representadas na Figura 1.

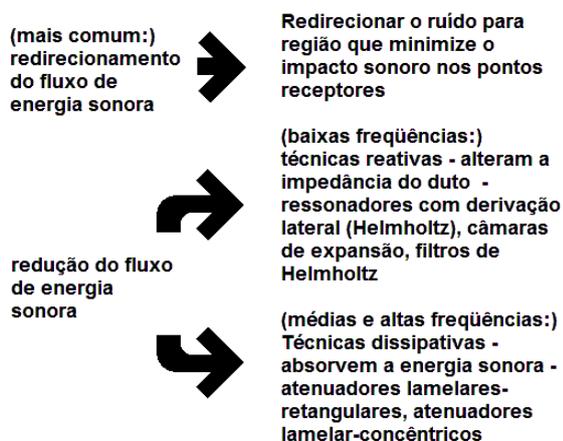


Figura 1: Controle passivo de ruído, adaptado de Papini [1]

As edificações residenciais têm como principal
REVISTA DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA (SOBRAC)

característica o uso de aberturas (portas/ janelas) para realizar a ventilação dos seus ambientes internos. No entanto, quando a densidade de tráfego ou a densidade de habitações geminadas no entorno destas edificações é alta, o conforto acústico pode ser comprometido.

Sendo assim, este projeto adota a hipótese de que é possível desenvolver-se, a partir de componentes existentes, um sistema de ventilação forçada, com atenuação do ruído eficaz, e visualmente aceitável, para instalação nas fachadas de edificações residenciais.

O objetivo principal desta pesquisa consiste em desenvolver um sistema de ventilação forçada que permita boas condições de higiene, conciliando-o com um dispositivo passivo de atenuação do ruído, evitando sua passagem do meio externo para o meio interno.

2. Revisão bibliográfica

De acordo com Losso e Viveiros [2] as edificações brasileiras, em sua maioria, não são construídas adequadamente em se tratando da proteção ao ruído intrusivo.

Este fato pode ser mostrado relacionando-o ao fato de que as condições acústicas necessárias para proporcionar baixos níveis de ruído andam na contramão da necessidade de ventilação, já que o fluxo de ar através de aberturas, normalmente, reduz a praticamente zero o isolamento da parede externa como um todo.

Foram identificados alguns estudos com enfoque na ventilação para edificações, com preocupação combinada de se manter um bom isolamento acústico.

As referências limitam-se àquelas voltadas ao controle passivo do ruído.

Em Las Palmas de Gran Canária, nas ilhas Canárias, Espanha, Martín [3] procurou conciliar a necessidade de ventilação das edificações com a proteção contra o ruído ambiental. Analisou sistemas de ventilação alternativos através de dutos. A pesquisa aponta para vantagens em se utilizar ventilação mecânica por impulsão com elevada qualidade ambiental e custo de instalação e manutenção reduzido. O sistema permite regulação direta pelo usuário, sendo que o controle de volume do sistema proposto pode ser realizado através da modulação da potência do ventilador central. A estratégia proposta é capturar o ar de uma área subterrânea, a uma temperatura constante, para empurrar o ar com um atraso de 12 horas para o exterior. O artigo não traz maiores detalhes de como funciona este sistema, bem como não mostra imagens do mesmo. Foram feitas tentativas de contato com o pesquisador no intuito de se obterem maiores informações, no entanto, sem sucesso.

Losso e Viveiros [2] registraram o desempenho acústico relacionado à ventilação de edificações de ensino em Santa Catarina. Constatou-se uma desconsideração “do entorno e suas fontes sonoras, bem como a disposição interna da planta dos edifícios”, “tempos de reverberação e tempos de decaimento inicial altos” e, enfim, uma “precária manutenção de elementos como portas, fechaduras e janelas” que contribuem para a baixa capacidade de isolamento das partições. Algumas diretrizes desta pesquisa voltada para edificações institucionais de uso comunitário podem ser adaptadas para uso em edificações residenciais.

Já Bragança e Matos [4] apresentaram um caso prático em que foi realizada uma experiência de acondicionamento acústico industrial com base no princípio de uma câmara de absorção sonora e do seu efeito dissipativo e reativo na absorção das ondas sonoras. Após diversas medições do nível de pressão sonora equivalente dentro da indústria, no seu exterior imediato e na vizinhança, verificou-se que a causa do problema era o ruído produzido nas aberturas das entradas e saídas de ar do sistema de ventilação da edificação. Permitindo atenuação superior a 20 dB, a construção de câmaras absorventes foi considerada de grande relevância neste trabalho, por ser uma solução muito eficaz para a resolução dos problemas de excesso de ruído provocado por tomadas e saídas de ar em sistemas industriais.

Viveiros [5] investigou o desempenho de venezianas acústicas através do método de análise impulsiva. Dispostas sobre os vãos das aberturas de ventilação, são basicamente constituídas por filetes ocios, executados com lâmina metálica lisa na face superior e perfurada na face inferior (face voltada para a fonte de ruído). Internamente, cada filete é preenchido com material

absorvedor acústico, como por exemplo, a fibra de lã de vidro. Apresentam alguma semelhança visual com *brises-soleil* que bloqueiam a insolação e comumente são preteridos por evocar o Modernismo de meados do século XX, ou associado a edifício institucional. Talvez por isto, no Brasil, seu uso tenha sido restrito às edificações industriais.

Araújo [6] associou ventilação natural e redução de ruído, aplicando os princípios do ressonador de Helmholtz num elemento construtivo vazado para uso em locais quentes e úmidos. A análise combinou a norma ISO 140-5 e a dinâmica de fluidos computacional (CFD). Das diversas variantes testadas, obteve o melhor desempenho um índice de redução de ruído padrão global de 27 dB.

Oiticica e Bertoli [7] estudaram diversas configurações de peitoril ventilado em edificações de clima úmido. Constatou-se que esta construção permite a ventilação natural com um índice de isolamento sonoro que supera em 6 dB o de janelas abertas, e em 6dB inferior ao das janelas fechadas.

O elemento de atenuação sonora considerado neste estudo encontra o correspondente mais próximo na tese de doutoramento de Chris Field em 2004, redundando no produto comercial conhecido como Silenceair® [8]. O produto utiliza uma geometria original. Feito de polipropileno reciclado, reúne as características de compacidade, leveza, modularidade, e atinge um índice de redução sonora global (R_w) de 25 dB enquanto aberto. Na ventilação, permite a passagem de 25 m³/h à pressão de 2 Pa. Uma imagem deste produto é apresentada na Figura 2.

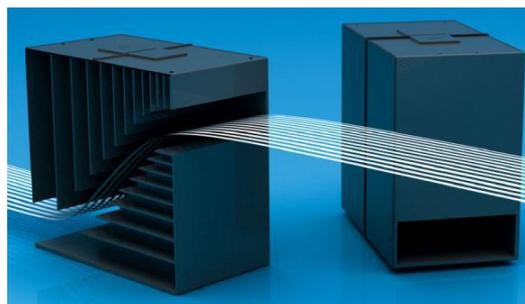


Figura 2: o Silenceair (fonte: www.silenceair.com)

3. Materiais e métodos

Foi concebido e desenhado um sistema para a atenuação sonora na ventilação natural e forçada em construções residenciais. A principal aplicação prevista é a de ventilação higiênica em sobrados geminados e outras edificações em que a obtenção de ar fresco normalmente requer abertura direcionada à rua, expondo o interior da edificação ao ruído.

Este nível de ventilação deve garantir, em ordem crescente de fluxo de ar fresco, a eliminação do monóxido de carbono (CO) produzido na respiração, a renovação do O₂, a eliminação de odores e do excesso de umidade. Isto deve corresponder aos 27m³/h por pessoa preconizados pela ANVISA. Não deve ser considerada uma taxa de renovação de ar capaz de eliminar poluentes originados em processos de combustão como fumo ou queimadores de lenha ou gás. Ainda, não atinge a escala necessária à obtenção de efeito de conforto térmico pela corrente de ar, tampouco proporciona trocas de ar suficientes para promover relevante resfriamento da massa da edificação.

Optou-se pelo projeto de um atenuador a partir de componentes industrializados e disponíveis no mercado. Estes componentes foram identificados no catálogo da empresa WdB que, mediante consulta, concordou em ceder algumas unidades para a realização desta pesquisa.

Um critério importante no desenvolvimento deste produto foi sua fácil integração ao projeto de edificações novas e também em reforma, visando-se a uma forma regular e tamanho compacto, e espessuras condizentes com a maioria das edificações deste tipo.

3.1 O protótipo

O protótipo, apresentado às figuras 3 e 4, combina um ventilador, um duto de absorção e uma veneziana auto-fechante, montados numa caixa metálica de 60cm x 40cm x 20cm a ser colocada numa abertura de parede frontal de edificação. O ventilador é um renovador de ar modelo 1, denominado RA1, de capacidade de renovação nominal de 80 m³/ h. Foram testados três tipos de tubos, com comprimento de aproximadamente 1,5 m. Foram testadas diferentes configurações:

PR1: tubo TA1 de diâmetro interno 100mm, flexível e compactável, protótipo com sua face metálica exposta ao ar externo

PR2: idem, com a face externa do protótipo rebocada

PR3: idem, adicionando-se lã de vidro aos vazios da caixa

PR4: tuboTA2, de diâmetro interno de 100 mm, flexível e poroso, de linha automotiva, indicado para temperatura média, percurso de curvas acentuadas e sujeira

PR5: tubo TA3, de diâmetro interno de 100 mm, perfurado, com camada de absorção termo-acústica, recomendado para equipamentos de ar condicionado.

PR6: idem, com ventilador desligado.

Para referência, foram também obtidos LA_{eq} para as seguintes situações

EX: medições externas

PF: parede fechada

ABV1: abertura para ventilador somente

V1: somente ventilador instalado

ABPR: abertura para protótipo de atenuador sonoro

A caixa, em chapa galvanizada, apesar de possuir porta removível, é estanque, com cantos e encaixes vedados em borracha ou poliuretano expansível, deve ser de tal modo a não adicionar pontes acústicas, que não aquelas passando pelo duto.

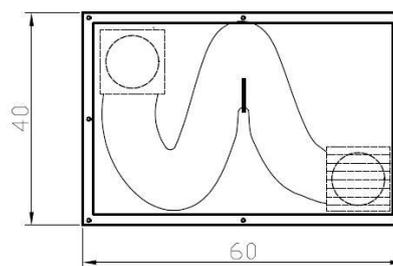


Figura 3: o protótipo, em elevação frontal

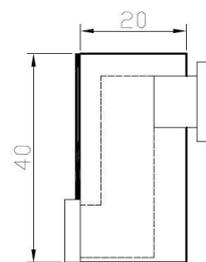


Figura 4: o protótipo, em elevação lateral

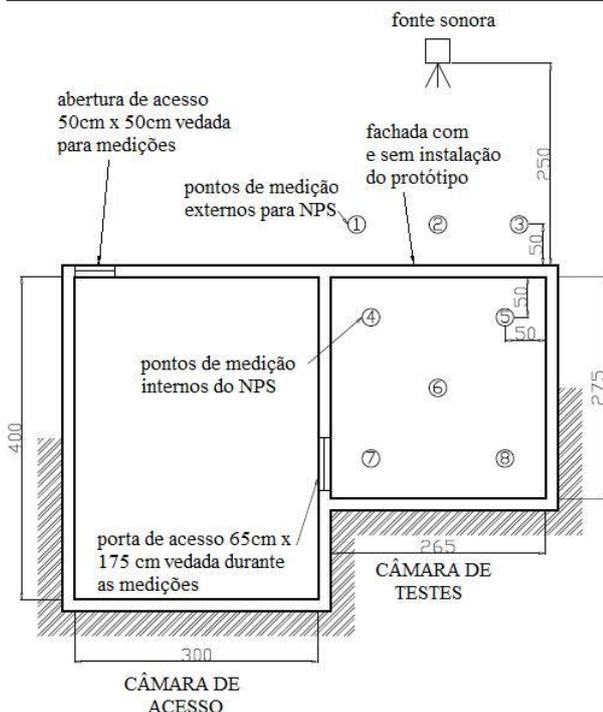


Figura 5: câmara de testes em planta e pontos de medição

3.2 Câmara de testes

A câmara de testes escolhida, representada à Figura 5, foi um compartimento com volume de $14,6 \text{ m}^3$ ($2,65\text{m} \times 2,75\text{m} \times 2,00\text{m}$) e $7,3 \text{ m}^2$ de área superficial, situado no porão de uma residência, com a característica de ser delimitado por paredes de alvenaria.



Figura 6: medição do ruído externo (EX)



Figura 7: configurações AbV1 (superior, esq.); V1 (superior, dir.); AbPR (meio, esq.); PR1 (meio, dir.); PR2 (inferior, esq.) e PR3 (inferior, dir.)

A câmara não possui janela, somente uma porta para outro ambiente subterrâneo e acessível mediante única porta externa. Ambas as portas receberam vedação adicional de um tapume em prancha de OSB de 10mm. Por encontrar-se esta residência em rua de pouco tráfego, foi possível a manutenção de ruído de fundo num patamar aproximadamente constante. Dentro da câmara de testes não havia obstáculos ou objetos. Sendo que as paredes são compostas de tijolos cerâmicos seis furos, rebocadas interna e externamente, com espessura de 15 cm. E uma câmara de acesso, posicionada ao lado da câmara de testes, para receber o protótipo a ser analisado. O piso de ambas as câmaras é de concreto e a cobertura de laje de concreto rebocada.

3.3 Instrumentação

Utilizou-se o medidor de nível de pressão sonora modelo DL-4020, marca Icel, que segue o padrão das normas IEC-651 tipo 2 e ANSI S1.4 tipo 2, obedecendo o estipulado na norma brasileira NBR 10151, com calibração de fábrica. Utilizou-se a curva de resposta A, e tempo de resposta rápida (*fast*). As medições feitas na área externa (em frente à câmara de testes) foram feitas com protetor de microfone, para prevenir o efeito de ventos.

Para a amplificação do som foram utilizadas duas caixas acústicas marca Riolo e um *mixer* amplificado modelo RX-405 marca Riolo. Para a geração de ruído foi utilizado um computador portátil, conectado ao *mixer* e às caixas acústicas. Com o auxílio do *Multi Tone Generator*, um software gerador de frequências sonoras, foram produzidas ondas sonoras sinusoidais em bandas de 1/1 de oitava entre 63 e 8000 Hz. Este procedimento leva em consideração o fato de o ruído de trânsito apresentar-se intenso em ampla faixa de frequências, segundo De Salis *et al.* [9].

Para a avaliação do isolamento acústico foi utilizada a norma brasileira ABNT NBR 10151- Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento (NBR 10151, 2000). Sendo que o aparelho utilizado nas medições mede o nível de pressão sonora (dB), foi feito o cálculo do nível de pressão sonora equivalente (LA_{eq}).

3.4 Procedimento de medição

A fonte sonora foi posicionada a 2,5 m da fachada. Do lado de fora, a medição foi realizada em três pontos, dois nos limites laterais da câmara e um no centro, sendo a medição registrada de um minuto em cada ponto, com três leituras, resultando em nove leituras para cada faixa de frequência. Dentro da câmara de testes foram utilizadas distâncias mínimas de 0,50 m entre cada posição do microfone e os limites da sala, sendo que foram determinados cinco pontos para medição, um no centro da sala e os demais nos cantos. Em cada ponto foram tomadas três medições em leitura no período de um minuto, resultando em quinze medições para cada faixa de frequência. As figura 6 e 7 ilustram o procedimento.

4. Resultados

A Tabela 1 traz uma síntese dos resultados. A Figura 7 os mostra de forma gráfica.

Tabela 1: valores de nível de pressão sonora equivalente (dBA) para as diferentes configurações testadas

Configuração	Banda de oitava							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
EX	89,1	91,1	95,8	99,6	102,4	97,1	94,2	72,5
PF	58,6	59,4	60,4	68,2	62,4	53,8	46,2	34,0
Ab V1	67,4	66,7	71,6	81,2	78,9	64,1	58,5	53,2
V1	74,0	73,3	86,3	81,9	80,0	68,4	67,3	51,4

AbP R	86,7	89,9	94,9	93,3	97,9	89,1	84,8	68,4
PR1	66,0	69,0	58,7	66,8	63,0	58,1	52,9	52,4
PR2	63,3	61,3	57,8	59,9	58,2	54,4	53,1	52,1
PR3	60,8	60,5	56,5	62,3	59,5	55,6	54,0	53,2
PR4	60,5	65,3	58,5	59,2	62,2	56,7	54,5	53,7
PR5	59,2	59,9	56,9	59,9	65,2	56,5	54,0	52,9
PR6	57,0	59,4	55,7	60,4	61,7	50,7	41,1	38,3

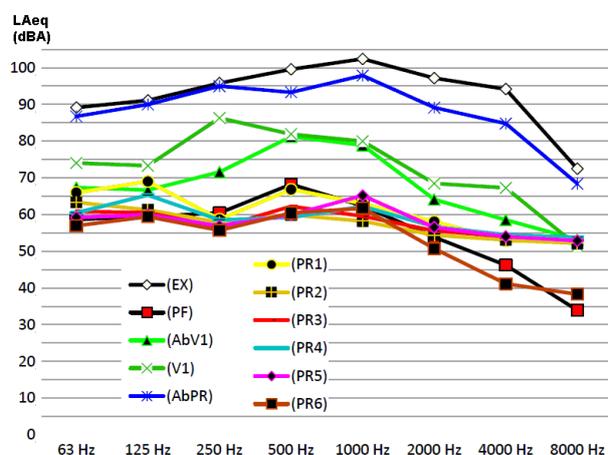


Figura 8: resultados para diferentes configurações

Na Figura 8, o gráfico de nível de pressão sonora mostra, como configurações extremas, o verificado fora (EX) e o verificado no interior com a parede fechada (PF). Curiosamente, a curva PF não representa o menor nível de pressão sonora para todas as bandas de oitava; após instalação do protótipo, uma atenuação ainda maior que a parede fechada foi obtida.

Configurações intermediárias, ainda, são ABV1 (abertura para instalar somente o ventilador), V1 (somente o ventilador instalado) e ABPR (abertura suficiente para instalar o protótipo).

A configuração de melhor desempenho geral foi PR2, que utilizou tubulação T1 e reboco na face externa da caixa metálica, sendo que o nível de pressão sonora equivalente foi de 57,5 dB. Em seguida tem-se o PR3 com 57,8 dB. A parede fechada apresentou um LA_{eq} de 55,4 dB. O pior desempenho foi de PR1, com 60,9 dB. No entanto, o protótipo completo, em todas as configurações de PR1 a PR5, foi sempre de desempenho superior ao registrado para o renovador de ar V1 instalado de forma convencional, que apresentou um LA_{eq} de 72,8 dB.

Diante da percepção de que o ruído próprio do ventilador estava causando prejuízo do atenuador na frequência de 1000 Hz e nas frequências superiores, foi realizada a medição com o ventilador desligado (PR6), e a hipótese foi confirmada.

Algumas observações importantes foram registradas em relação ao uso do protótipo.

Inicialmente, o projeto da caixa deve ser aprimorado, melhorando o acabamento final do equipamento.

A caixa deve ser reforçada internamente para aumentar sua resistência, pois a chapa flexível favorece a quebra e descolamento do reboco.

A espessura da caixa é maior que a maioria das paredes existentes em edificações residenciais, sendo que internamente a caixa fica saliente. Este é o motivo pelo qual não foi testado o equipamento com reboco também na face interna.

Devido ao fato de o ruído do renovador de ar RA1 aumentar muito o nível de pressão sonora equivalente para as altas frequências, recomenda-se a montagem inversa à convencionalmente encontrada: o ventilador deve ser posicionado na parte externa, com o fluxo oposto, e a veneziana autofechante na parte interna. Desta forma, o tubo deverá promover a absorção do ruído que é causado pelo ventilador.

O fato de ter-se encontrado desempenho superior para algumas frequências (em geral para frequências médias) para os protótipos em relação ao desempenho da parede fechada trouxe indagações sobre o que provocou isto. Uma das respostas possíveis seria a vedação da caixa com uso de espuma de poliuretano, que teria impedido a propagação das ondas sonoras pela alvenaria. Este item requer análise aprofundada.

Não foram realizados testes ou simulações de taxa de ventilação para os protótipos. De acordo com o fabricante, o renovador de ar RA1 tem uma capacidade de renovar 80m³/h para um ambiente de 5m². Resta mensurar o comportamento da vazão diante da presença dos diferentes tubos e ainda da veneziana.

6. Considerações finais

Mediante a integração de alguns componentes existentes no mercado brasileiro num protótipo, mostrou-se a possibilidade de se promover ventilação forçada com efetiva atenuação sonora. Como resultado, atingiu-se isolamento equivalente ao de uma parede de alvenaria de tijolos furados, contendo reboco em ambas as faces, com 15cm de espessura.

Agradecimentos

Os autores agradecem às empresas WdB pela cessão de diversos componentes, e à empresa Vamapal Ind. e Com. de lã de vidro, pela doação de fibras de vidro, necessárias para a construção do protótipo. Ainda, ao

casal Sinani Marcondes pela cessão do espaço utilizado como câmara de testes e pelo auxílio na sua preparação. Finalmente, à CAPES/ REUNI, pela concessão de uma bolsa de mestrado.

Referências

- [1] Papini, G.S.; Pinto, R.L.U.F.; Morais, F.H.M. Controle ativo de ruído para sistemas de exaustão utilizando filtragem adaptativa. 2008. XXII Encontro da sociedade brasileira de acústica – SOBRAC. Belo Horizonte, 2008.
- [2] Losso, M.; Viveiros, E. Acoustics versus natural ventilation in southern Brazilian educational buildings. *PLEA 2003 - The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, Santiago – CHILE, 9 - 12 November 2003.
- [3] Martin, M. M. Calidad del aire versus aislamiento acústico : patología ambiental de edificios actuales en climas urbanos cálidos. In *Congreso Iberoamericano de Patología das Construções e Congresso de Controle da Qualidade*, 4º e 6º, Porto Alegre, v.2, p. 491-498, il.1997.
- [4] Bragança, L. e Matos, J. *Caso Prático de Acondicionamento Acústico de um Sistema de Ventilação Industrial*. Dep.Eng. Civil, Univ. do Minho. Guimarães, Portugal. Acústica, 2004.
- [5] Viveiros, E.B. *Evaluation of the acoustical performance of louvre by impulse response analysis*. (1998). Tese, University of Liverpool. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1998.
- [6] Araújo, B.C. D. *Proposta de elemento vazado acústico*. (2010). Tese (Doutorado - Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP, São Paulo, 2010.
- [7] Oiticica, M. L.; Bertoli, S.R. Comportamento acústico do peitoril ventilado em edificações de clima quente úmido. *VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008*. Buenos Aires, 2008.
- [8] SILENCEAIR. *Natural fresh air without noise*. 2008. <http://www.silenceair.com/site/index.html>, acesso em: 25 mar, 2010.
- [9] De Salis, M.H.F.; Oldham, D.H.; Sharples, S. *Noise control strategies for naturally ventilated buildings*. *Building and environment* 37 (2002), 471 – 484. Abril de 2001.

Cômputo das respostas impulsivas bi-auriculares via redes neurais artificiais: uma nova técnica para gerar aurilizações

Lucio Naranjo, J.F.*; Tenenbaum, R.A.**; Torres, J.C.B.†

*Laboratório de Instrumentação em Dinâmica Acústica e Vibrações, IPRJ – UERJ, Nova Friburgo, RJ, josefranciscolumio@hotmail.com

**Laboratório de Instrumentação em Dinâmica Acústica e Vibrações, IPRJ – UERJ, Nova Friburgo, RJ, ratenenbaum@gmail.com

† Laboratório de Simulação e Instrumentação Acústica, Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, julio@poli.ufrj.br

Resumo

Este trabalho apresenta um novo enfoque para a obtenção das respostas impulsivas bi-auriculares a serem aplicadas em sistemas de aurilização, através do uso de redes neurais artificiais. A meta principal é implementar as modificações espectrais de uma resposta impulsiva associada à cabeça humana utilizando redes neurais artificiais. Essa técnica visa substituir o procedimento tradicional de processamento de sinais que envolve executar convoluções através de transformadas de Fourier. Os dados de entrada para a rede treinada carregam consigo o espectro de energia e a direção de chegada. Esses dados são gerados no programa de simulação acústica RAIOS, que utiliza um método híbrido para a simulação do ambiente. Testes realizados sobre um subconjunto de direções de respostas impulsivas associadas à cabeça humana mostram que o novo método é capaz de substituir o procedimento tradicional e gerar os componentes das respostas impulsivas bi-auriculares, responsáveis últimos pela aurilização do recinto, com erros muito pequenos e a um custo computacional bem menor que o do método tradicional. Os resultados para uma sala de referência, nos domínios do tempo e da frequência, são apresentados e discutidos.

Palavras-chave: Aurilização, Redes Neurais Artificiais, Respostas Impulsivas Bi-auriculares, Simulação Numérica de Acústica de Salas.

1. Introdução

Na atualidade, a simulação acústica não só abarca a obtenção de parâmetros acústicos tais como níveis sonoros e tempos de reverberação, mas também exige a presença de uma poderosa ferramenta: a aurilização. Esta consiste em gerar o som que escutaria uma pessoa dentro de um determinado ambiente simulado, podendo este ser desde uma simples sala de aula, um grande teatro ou até um espaço urbano. Esse sinal sonoro deve ser reproduzido para um ser humano em um ambiente livre de reflexões sonoras como, por exemplo, em uma câmara anecoica, ou simplesmente através de fones de ouvido devidamente equalizados, bridando o ouvinte com a sensação de som tridimensional e podendo simular a habilidade humana de distinguir a posição da fonte sonora [1]. Naturalmente, tal atributo de simulação só é válido em fase de projeto, ou seja, quando o ouvinte não tem como ouvir a sala real.

Para se alcançar tal efeito, é necessário um simulador de acústica de salas provido de um módulo de aurilização. Para gerar a sensação de som 3-D – que não tem nada a ver com sistemas de áudio do tipo *surround* ou 5.1, mas uma legítima impressão de estar autenticamente imerso no ambiente em questão – é preciso que o ouvinte receba sinais bi-auriculares e, portanto, que as respostas impulsivas bi-auriculares (BIR – do inglês, *Binaural*

Impulse Response) sejam previamente determinadas.

Tradicionalmente, as BIR's em um determinado ponto de um recinto são obtidas por meio de um programa de simulação que, ao findar a fase de cálculo do modelo do ambiente, tem armazenadas as informações necessárias para iniciar o procedimento de aurilização. Para proceder então a essa etapa, um banco de dados, contendo as respostas impulsivas associadas à cabeça humana (HRIR – do inglês, *Head Related Impulse Response*) é necessário. Esse banco de dados contém cerca de 1440 funções, associadas a cerca de 720 direções cobrindo todo o entorno da cabeça, para cada ouvido. Para gerar, então, as BIR's o procedimento clássico envolve realizar a convolução de cada informação armazenada com as HRIR's. Na prática, o banco de dados utilizado no software de simulação contém as funções de transferência associadas à cabeça humana (HRTF – do inglês, *Head Related Transfer Function*), que nada mais são do que as HRIR expressas no domínio da frequência. Desse modo, as convoluções reduzem-se a produtos simples das HRTF's com os espectros armazenados no simulador. Contudo, será necessário proceder à transformada inversa de Fourier para a obtenção final das BIR's. Apesar dos diversos algoritmos de processamento de sinais disponíveis, essa computação é relativamente lenta.

Do ponto de vista da simulação, a propagação sonora

em um recinto (sala) pode ser modelada por métodos como o de traçado de raios [2], transições de energia [3] ou técnicas híbridas [4]. Esses métodos devem ser capazes de prever as três principais características do campo acústico: sua energia por banda de frequência; a direção de propagação; e a distância percorrida. A direção fornece a orientação de chegada do som relativamente ao receptor (ouvinte) considerado; a distância percorrida fornece o tempo de chegada do som ao ouvinte. Essas informações, junto com as HRTFs, permitem ao modelo simular a percepção humana de um som emitido por uma dada fonte sonora.

O código computacional RAIOS[®] (*Room Acoustics Integrated and Optimized Software*) tem mostrado ser um simulador acústico eficiente e confiável [5]. A estrutura interna de dados que armazena a informação sonora que chega a um receptor, com o espectro de potência, a direção e o tempo de chegada de cada impulso sonoro, pode ser considerada uma representação bastante precisa do som captado e, portanto, constitui o ponto de partida deste trabalho.

O simulador acústico RAIOS[®] implementa dois métodos para computar o campo sonoro: o método de traçado de raios, para modelar as reflexões especulares [2]; e o método de transição de energia [3], para modelar o processo de difusão sonora. Durante a execução dos dois algoritmos, quando o som alcança um receptor, sua energia por banda de oitava, sua direção e tempo de chegada são armazenados para seu uso posterior durante o processo de aurilização. Ao final da fase de propagação, na base de dados do programa é armazenada a informação de, tipicamente, 10^5 vetores de chegada, para cada par fonte-receptor.

Cumprir notar que, adicionando-se essa informação energética e considerando apenas os atrasos devidos aos tempos de chegada, será produzida a resposta impulsiva quadrática da sala (QIR – do inglês, *Quadratic Impulse Response*), para o par fonte-receptor. Todavia, isso ainda não fornece qualquer informação sobre as BIR: é como se um microfone (e não uma cabeça humana) captasse o som presente na sala.

A fase de aurilização começa, como mencionado, onde o método de simulação da propagação sonora termina. Nesse ponto, o modelo do receptor deve considerar a simulação da impressão humana de captação do som ou, em outras palavras, gerar a BIR. Esse processo deve ser repetido para cada ouvido e para cada uma das, digamos, 10^5 direções armazenadas na base de dados do receptor, significando 2×10^5 multiplicações dos espectros e 10^5 transformadas inversas de Fourier. A Fig. 1 ilustra o procedimento clássico. A base de dados de HRTFs do MIT [7] utilizada neste trabalho foi estruturada com medições para cada ouvido de uma cabeça artificial, considerando 720 direções em torno do ponto central da cabeça, o que leva a um total de 1440 funções discretas cujo tamanho (comprimento) é de 512

coeficientes temporais [6, 7].

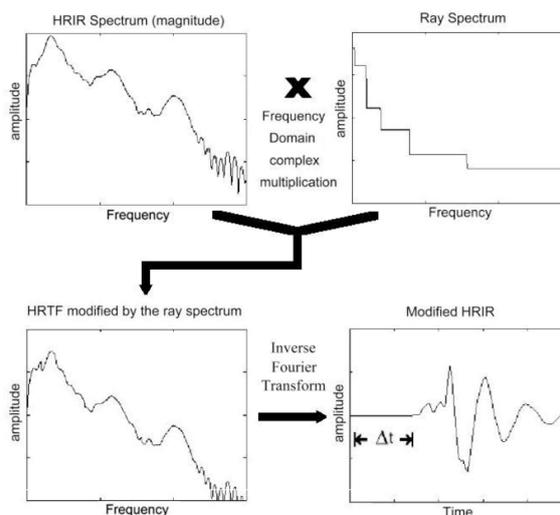


Figura 1: Ilustração da técnica tradicional geração de HRIR's modificadas.

Vários trabalhos têm sido apresentados sobre a redução do tamanho das HRIR's ou a redução do número de direções a serem computadas, sempre buscando não deteriorar as características, enquanto se reduz o custo computacional [8].

Outro aspecto que aumenta a carga de processamento é o fato de que, raramente, o som chega ao receptor exatamente em uma das direções presentes na base de dados de HRIR's. Portanto, para cada direção, é necessário interpolar três ou mais HRIR's próximas à direção efetiva de chegada, de maneira a se encontrar a função desejada – uma HRIR interpolada [9]. A abordagem mais simples consiste em aplicar uma média geométrica sobre três HRIR's cujas direções sejam as três mais próximas à direção efetiva de chegada. Contudo, esse procedimento não é tão simples, devido ao fato de que as HRIR's também carregam informação sobre as diferenças temporais inter-auriculares (ITD – do inglês, *Interaural Time Difference*). Esta, então, deve ser removida antes de se realizar a média, ser recalculada para a nova direção e reaplicada à função. Naturalmente, esse processamento de sinais requer um tempo considerável e depende basicamente de dois aspectos principais: o número de direções que atinge o receptor e a carga de processamento que administrará e modificará as HRIR's.

A geração das BIR's é o último passo na cadeia de aurilização. Esta é gerada pela soma de todas as HRIR's modificadas. Estas funções estão correlacionadas com a resposta impulsiva da sala e, portanto, ao serem convoluídas com um dado sinal anecóico (uma música, ou um discurso, gravados em câmara anecoica), oferecem ao ouvinte uma autêntica sensação auditiva de estar dentro de um ambiente que foi virtualmente gerado. A esse processo todo se dá o nome de *realidade*

virtual acústica. A convolução do som anecóico com as HRIR's pode ser realizada quase que em tempo real, com algoritmos rápidos de processamento de sinais [9].

Este trabalho apresenta uma eficiente alternativa para obter as HRIR's modificadas. Nesse enfoque, uma rede neural artificial (ANN – do inglês, *Artificial Neural Network*) é usada para substituir todo o procedimento anteriormente descrito, a que se denominará método tradicional (TM – do inglês, *Traditional Method*).

Uma ANN é um sistema com N entradas e M saídas (sistema MIMO), sendo muito útil para interpolar dados, entre diversas outras aplicações. A saída da rede é uma aproximação baseada em dados previamente apresentados à rede durante o processo de treinamento. O treinamento de uma ANN é, em geral, custoso do ponto de vista computacional e requer segmentação de dados, pré-processamento e diversas tentativas até se chegar a uma topologia de rede adequada ao problema e com configuração final bem definida. Contudo, uma vez definida a rede e devidamente treinada, o processamento (aplicação) de uma ANN é rápido e eficaz.

2. Dados de entrada e seus objetivos

Dentro do simulador RAIOS, a estrutura que contém as informações para cada direção que chega ao receptor é considerado o vetor com os dados de entrada ou, simplesmente, o *vetor de entrada* para a ANN. Note-se que o tempo de chegada, não é relevante para o treinamento da rede, mas será necessário para compor as BIR's.

Por outro lado, o *vetor objetivo*, que representa um vetor de entrada convoluído com sua respectiva HRIR, deve ter 512 coeficientes temporais. Esse número foi definido por um experimento de medição usando uma taxa de amostragem de 44.1 kHz [7], padrão no áudio digital. Contudo, uma boa parte daqueles coeficientes tende a zero, devido ao decaimento natural dessas funções. Portanto, o vetor de entrada poderia ser composto de, aproximadamente, 100 elementos [10].

Uma vez definida a estrutura para os vetores de entrada e objetivo, é necessário tomar uma decisão sobre os valores que serão utilizados durante o treinamento da rede neural. Para o vetor de entrada, se tomaram valores aleatórios no intervalo (0,1) de modo a representar o espectro de potencia. Essa decisão evita a influência de uma sala em particular no processo de aprendizagem da rede. Os vetores objetivo são funções de HRIR's modificadas, cada uma obtida com o procedimento tradicional que envolve a informação contida em um dos vetores de entrada e sua correspondente HRIR por direção. Desse modo, o processo de treinamento da ANN parte de espectros aleatórios e normalizados e busca atingir um determinado conjunto de funções de resposta impulsiva.

3. Treinamento da rede

O *treinamento* de uma ANN é um processo adaptativo onde os coeficientes da rede variam de acordo as diferenças entre a saída da rede e seu vetor objetivo, de maneira a que se minimize o erro mínimo quadrático global [11]. O erro entre o vetor objetivo e a saída da rede, ao final do processo de treinamento, usualmente apresenta valores pequenos. Contudo, isso não indica necessariamente, que a rede aprendeu corretamente. Isso poderia representar apenas o fato que a rede foi bem treinada especificamente para os valores dos vetores de entrada utilizados no processo de aprendizagem. Nesse caso, quando um vetor de entrada que não foi utilizado durante treinamento, é avaliado pela rede, o erro aumenta consideravelmente. Isso ocorre por um efeito conhecido como *over-fitting*, ou hiper-ajuste. Quando uma rede foi superdimensionada, esta tende a ser muito específica e aprende detalhes dos vetores de entrada, perdendo sua capacidade para generalizar no caso de avaliar um vetor de entrada diferente. Essa característica será fatal para a ANN: ela aprendeu tão bem um determinado padrão que só consegue reproduzi-lo, perdendo, portanto a capacidade de generalização.

Existem vários métodos para melhorar a capacidade de generalização de uma ANN [11]. Um aspecto bem conhecido é o *tamanho* da rede, que é determinado pelo número de camadas e o número de neurônios presentes em cada camada. Uma rede superdimensionada leva a situações de *over-fitting*, enquanto que uma rede subdimensionada resulta em saídas imprecisas, devido à sua reduzida capacidade de aprender a partir dos vetores de entrada. Uma solução simples, no que se refere ao tamanho, é ir adaptando a rede *durante* o processo de treinamento. A ANN utilizada neste trabalho foi treinada usando o Toolbox do MatLAB™, donde a propriedades “divideFcn” e “divideind” [12] foram configuradas para selecionar que vetores de entrada seriam usados para treinamento, validação e testes.

Os vetores objetivo utilizados para o treinamento, neste trabalho, consistem em HRIR's modificadas, com 128 coeficientes, obtidos pelo procedimento tradicional mencionado anteriormente. Em um trabalho anterior [13], somente para propósitos de avaliação, a rede foi treinada para uma quantidade restrita de funções espaciais. Cada vetor continha dois campos para a direção de chegada, azimute e elevação, e seis para os componentes do espectro por bandas de oitava. (Esses seis campos podem ser estendidos até nove, dependendo da precisão desejada na aurilização.)

No primeiro treinamento, o vetor de entrada manteve fixos os ângulos de azimute e elevação, enquanto que os seis espaços de dados restantes, relacionados com a energia de chegada, foram preenchidos com valores aleatórios entre 0 e 1. Vários tamanhos de rede foram testados, fazendo variar o número de neurônios entre 1 e 15 dentro de uma única camada *intermediária*. O erro

médio quadrático obtido ao final de cada treinamento dá uma boa ideia do tamanho da rede que produzirá os melhores resultados. Depois disso, um novo treinamento é realizado, de modo similar, porém desta vez variando o ângulo de azimute de 0° a 45° . Os resultados foram satisfatórios sem necessidade mudar o tamanho da rede. Vale mencionar que em cada treinamento, a rede processou cada vetor de entrada 100 vezes ou épocas (*epochs*, na linguagem clássica de redes neurais).

Neste trabalho, um novo ensaio numérico foi realizado para 17 variações na energia do espectro e novas direções de chegada. O ângulo de elevação foi variado entre -40° e 40° , com incrementos de 10° , enquanto o ângulo de azimute foi variado entre 0° e 40° , com incrementos de 5° . As curvas na Fig. 2 mostram precisamente a presença de problemas de *over-fitting*. À medida que o número de neurônios aumenta, melhor é o desempenho para os dados de treinamento. Por outro lado, o erro cresce para os dados de teste. Note-se que, apesar deste incremento, esse erro é da ordem de 10^{-5} .

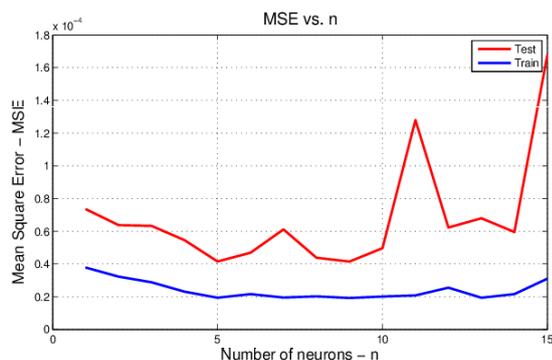


Figura 2: Erro médio quadrático nos dados de treinamento e teste como função do número de neurônios.

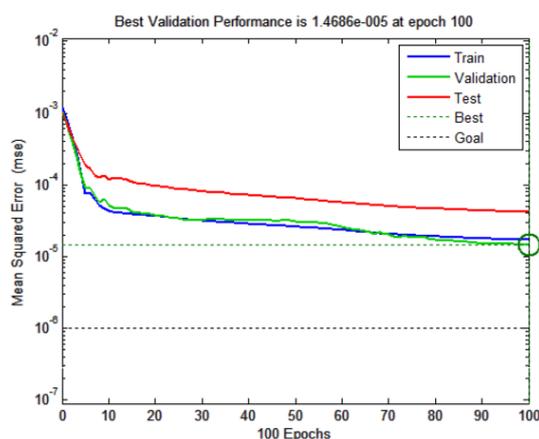


Figura 3: Erro médio quadrático como função do número de épocas.

A Fig. 3 mostra um detalhe do procedimento de treinamento com a configuração de tamanho da ANN que produziu os melhores resultados. O círculo indica o

melhor resultado para os dados de validação, que é utilizado normalmente para prevenir problemas de *over-fitting*.

4. Resultados

Para avaliar os resultados obtidos com esse novo enfoque, os vetores objetivo, ou seja, as HRIR's modificadas que não foram utilizados durante treinamento foram comparadas com as respectivas saídas da rede. Essa comparação foi feita nos domínios do tempo e da frequência. A Fig. 4 apresenta a comparação gráfica entre um vetor objetivo, correspondente a um vetor de entrada não utilizado durante o treinamento da rede, e uma HRIR modificada utilizando o método proposto. Na figura, as curva azuis referem-se ao método tradicional (TM) e a azul à ANN.

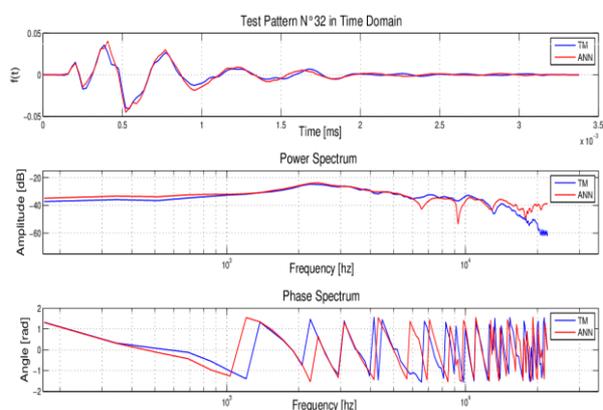


Figura 4: Comparação dos valores objetivo com a saída da rede.

Da Fig. 4 se pode observar que a função no domínio do tempo obtida pela ANN segue a curva original obtida com o TM, com um erro bem diminuto. Na mesma figura, a comparação no domínio da frequência é feita em amplitude e fase, obtidas pela transformada discreta de Fourier. O gráfico de amplitude também mostra pequenas diferenças exceto acima de 18 kHz, o que parece ser pouco relevante. A resposta em fase apresenta erros maiores, principalmente nas altas frequências. É sabido, contudo, que a fase tem *menos influencia* na audição humana do que a amplitude. Adicionalmente, a maior parte da energia da HRIR modificada está concentrada no intervalo de 2 a 3 kHz, no qual o modelo não apresentou erros consideráveis. Cumpre notar, contudo, que somente testes controlados de aurilização com humanos poderão indicar se as diferenças encontradas são ou não perceptíveis, ou mesmo, se alguma falha de fidedignidade é notável. Aos ouvidos dos autores deste trabalho não foi identificada qualquer diferença, mas trata-se de um universo ainda demasiadamente pequeno.

5. Testes em uma sala real

Para verificar a capacidade de generalização da ANN,

foram considerados dados da simulação de uma sala real, realizada com o programa RAIOS. Uma perspectiva geral da sala é apresentada na Fig. 5. Essa sala, um estúdio de música situado na Alemanha, foi utilizada na intercomparação de simuladores de acústica de salas denominada *Round-Robin 3* [5]. Infelizmente, embora tenham sido fornecidos dados acurados de medição dos parâmetros acústicos da sala ao final do processo, não há resultados disponíveis de auralização na mesma.

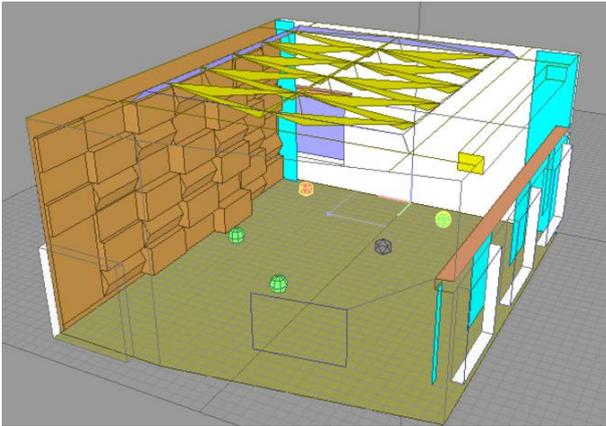


Figura 5: Estúdio de música, modelado pelo software RAIOS durante a intercomparação internacional *Round Robin 3*, utilizado na verificação da ANN.

Para este trabalho, como mencionado anteriormente, foram considerados as direções de chegada com uma faixa de variação de azimute entre 0° e 40° e com uma variação da elevação entre -40° e 40° . Adicionalmente, o espectro de potencia foi normalizado, uma vez que a ANN foi treinada a responder a vetores de entrada com valores também normalizados. Naturalmente, essa normalização deverá ser revertida, o que é trivial, no procedimento de auralização.

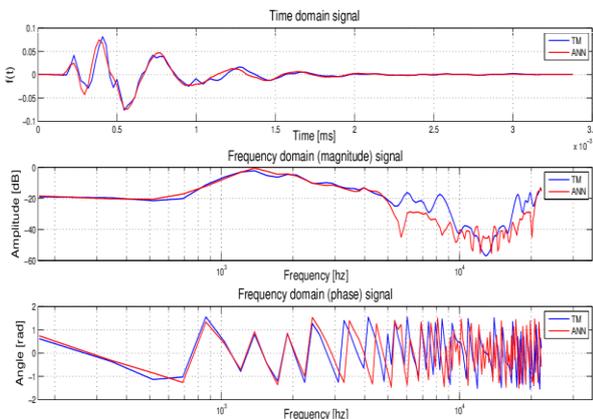


Figura 6: Resultados comparativos da rede neural artificial e do método tradicional, considerando uma direção de chegada com elevação $\Psi = 10,4^\circ$ e azimute $\Phi = 23,7^\circ$.

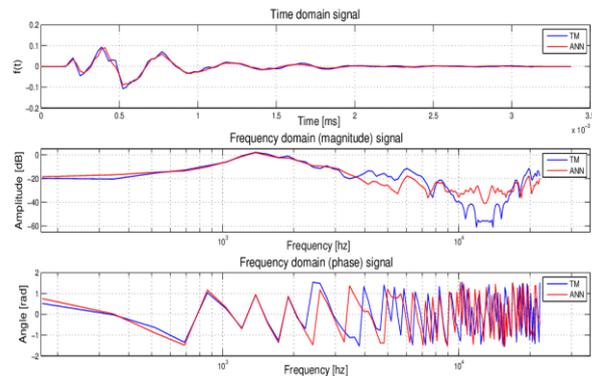


Figura 7: Resultados comparativos da rede neural artificial e do método tradicional, considerando uma direção de chegada com elevação $\Psi = -39,7^\circ$ e azimute $\Phi = 32,2^\circ$.

As Figs. 6 e 7 mostram dois resultados comparativos, novamente vistos nos domínios do tempo e frequência, para duas orientações distintas de chegada do som ao ouvinte. Considerando-se a natureza não randômica dos vetores de entrada – em contraste com os dados utilizados durante o treinamento da rede – pode-se concluir que a ANN foi capaz de generalizar com bastante êxito.

6. Ganho computacional

Nesta secção é apresentada uma comparação entre o custo computacional de implementação do método tradicional de processamento de sinais e a carga computacional da fase de execução da ANN. Vale lembrar aqui que, embora o processo de treinamento da rede seja computacionalmente custoso, uma vez treinada a rede esta pode ser apresentada a qualquer banco de dados de chegada ao receptor, portanto o custo comparativo é apenas o de *operação* da ANN.

Dado que ambos os métodos estão baseados em operações aritméticas elementares, o número de multiplicações e somas é usualmente o parâmetro estabelecido para tal comparação. O número de operações aritméticas A_0 em uma ANN durante a fase de execução é dado por

$$A_0 = 2 \left[e \cdot n_1 + \left(\sum_{j=1}^{m-1} n_j \cdot n_{j+1} \right) + n_m \cdot s \right], \quad (1)$$

onde e é o tamanho do vetor de entrada, n_i é o número de neurônios na camada intermédia i , m é o número de camadas intermédias e s é o número de neurônios na camada de saída.

Os resultados apresentados neste trabalho, são oriundos de uma ANN configurada com um vetor de entrada de 8 elementos, 1 camada intermédia de 5 neurônios e um vetor de saída de 128 posições. A função de ativação de cada neurônio da camada de saída, portanto, não incrementa o número de operações. Não é este o caso

para cada um dos neurônios da camada intermediária. Aqui, uma Tan-Sigmoid T_s é utilizada como função de ativação, dada por

$$T_s(x) = \tanh(cx) = \frac{e^{cx} - e^{-cx}}{e^{cx} + e^{-cx}}, \quad (2)$$

onde c é uma constante. Os totais correspondentes à ANN computada com as Eqs. (1) e (2) são apresentadas na primeira coluna da Tabela 1.

A carga computacional do método tradicional está baseada em três passos. O primeiro é gerar, via interpolação, a HRTF correspondente à direção de chegada ao receptor. Considerando um método tradicional de interpolação triangular [12] e uma HRTF com um tamanho de L valores, a interpolação terá custo computacional de $3L$ multiplicações e $2L$ somas. O segundo passo consiste em multiplicar cada coeficiente complexo da HRTF pelo espectro de chegada. Contudo, esta não é, de fato, uma multiplicação complexa, devido a que, apesar de a HRTF ser complexa, o espectro energético de chegada é constituído por números reais. Portanto, a complexidade para este passo é de $2L$ multiplicações. O último passo consiste na transformada inversa de Fourier, cuja complexidade é $L \log_2(L)$ multiplicações mais $L \log_2(L)/2$ somas. Para $L = 128$, esses valores foram calculados, estando indicados na última coluna da Tabela 1.

Tabela 1: Comparação da carga computacional em número de operações entre o Método Tradicional (TM) e uma ANN para calcular uma HRIR modificada de 128 coeficientes

Operações	ANN	TM
Número de somas	690	1920
Número de multiplicações	690	960
Número total de operações	1380	2880

Ao se observar a tabela, verifica-se que a utilização de uma ANN leva a uma redução do custo computacional de mais de 52% em relação à técnica clássica.

7. Conclusões

O principal objetivo deste trabalho é apresentar um novo enfoque para implementar as modificações espectrais das HRIR's, necessárias à auralização de uma dada sala, utilizando uma rede neural artificial.

O processamento de sinais usualmente utilizado pode ser substituído por uma ANN cuja saída mostrou erros muito pequenos, se comparados com seus correspondentes vetores objetivo. As comparações preliminares, realizadas no domínio do tempo e da frequência, indicam que uma rede pequena, com uma camada intermediária de 5 neurônios, é capaz de substituir o método tradicional, computacionalmente mais custoso. Nesta pesquisa, um grupo restrito de funções espaciais foi utilizado para verificar a capacidade de aprendizagem da ANN. Embora tenham

sido alcançados progressos, é necessária uma maior investigação para desenvolver uma rede neural artificial capaz de generalizar para *todas* as direções em volta de uma cabeça humana. Os testes preliminares mostram que, apesar da complexidade de um treinamento que considere todas as direções, o tamanho da rede ainda será suficientemente pequeno para gerar resultados confiáveis e rápidos.

Referências

- [1] J. Blauert, *Spatial Hearing*: The MIT Press, Cambridge, 1997.
- [2] A. Kulowski: Algorithmic representation of the ray tracing technique, *Applied Acoustics*, **18**, p. 449–469, 1984.
- [3] J.J. Embrechts: On modeling of room acoustics by a sound energy transition approach, *Acustica*, **51**, p. 285–295, 1982.
- [4] R.A. Tenenbaum, T.S Camilo, J.C.B. Torres and S.N.E. Gerges: Hybrid method for numerical simulation of room acoustics: Part 1 - Theoretical and numerical aspects, *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. and Eng.*, **29**, n. 2, p. 211–221, 2006.
- [5] I. Bork: Report on the 3rd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation – Part II: Calculations. *Acta Acustica united with Acustica*, **91**, p. 753–763, 2005.
- [6] D.M. Thompson, V.R. Algazi, R.O. Duda, C. Avendano: The CIPIC HRTF database, *WASSAP '01 IEEE ASSP Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, 2001.
- [7] B. Gardner, K. Martin: HRTF Measurements of a KEMAR Dummy-Head Microphone, *J. Acoust. Soc. Am.*, **97**, n. 6, p. 3907–3908, 1995.
- [8] J.C.B. Torres, M.R. Petraglia and R.A. Tenenbaum: An Efficient wavelet-based HRTF for auralization., *Acta Acustica united with Acustica*, **90**, p. 108–120, 2004.
- [9] M. Vorländer: *Auralization - Fundamentals of Acoustics, Modeling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [10] T. Ajdler, C. Faller, L. Sbaiz and M. Vetterli: Sound Field Analysis along a Circle and Its Applications to HRTF Interpolation, *J. Aud. Eng. Soc.*, **56**, n. 3, p. 156–175, 2008.
- [11] O. De Jesús, J.M. Horn and M.T. Hagan: Analysis of Recurrent Network Training and Suggestions for Improvements, *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, Washington, p. 15–19, 2001.
- [12] H. Demuth, M. Beale and M. Hagan: *Neural Network Toolbox, User's Guide*, The MathWorks, Inc., 2010.
- [13] J.F. Lucio Naranjo, R.A. Tenenbaum and J.C.B. Torres, Using artificial neural networks to generate virtual acoustic reality applied on escape training in blind conditions, *International Review of Chemical Engineering*, **2**, p. 754–759, 2010.

Critérios de desempenho acústico em edifícios residenciais

Neto, M. F.F.*; Bertoli, S.R.†

*Apoio Acústico e Estudos em Ciências Exatas, fatimafneto@hotmail.com

†Fac. Eng. Civil, Arq. e Urb. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, rolla@fec.unicamp.br

Resumo

Aprovada em maio de 2008 e em vigor a partir de 2012, a norma brasileira NBR 15575 (Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho) define, entre outros, critérios de desempenho acústico para edifícios residenciais. O Brasil difere de outros países da América Latina que já apresentavam, há bastante tempo, normas específicas voltadas para o desempenho acústico em edifícios, como a Argentina e o Chile, respectivamente, em 1985 e 1961. Até então, o Brasil não tinha um documento que definisse critérios para que os edifícios residenciais apresentassem melhores condições de habitabilidade e uso. Este trabalho apresenta a nova norma brasileira, estrutura e critérios, além da importância para a melhoria da qualidade de vida dos usuários dos edifícios residenciais. Esse trabalho traz também uma breve comparação dos critérios brasileiros com os critérios de outros países.

Palavras-chave: Norma de desempenho, desempenho acústico, critérios, edifícios residenciais.

1. Introdução

A vida em comunidade é difícil e requer restrição de comportamentos, para que haja respeito às regras sociais para o bom convívio na família, no trabalho, na região onde se vive e no edifício que se habita. O respeito e a obediência aos limites e regras sociais são, por vezes, difíceis de se obter e, nesses casos, podem surgir os conflitos entre vizinhos que, não raramente, estendem-se em processos judiciais.

Em comunidade, uma das principais razões de conflito entre vizinhos é justamente o ruído. Na Austrália, por exemplo, há uma cartilha que orienta em como lidar com o ruído do vizinho. O primeiro passo a ser dado, caso tenha um vizinho barulhento, é recorrer ao diálogo [1]. Nessa hora, coloca-se em prática a cidadania, o bom senso e a política da boa vizinhança. Caso não funcione, essa cartilha apresenta os contatos dos órgãos responsáveis por cada tipo de queixa.

O estabelecimento de limites ou critérios de ruído não é uma tarefa fácil porque cada indivíduo tem o seu limite de tolerância ao ruído, impossibilitando o atendimento a todos individualmente e, adicionalmente, a escala de limite de tolerância, que vai desde o som considerado agradável ao som que incomoda, seria muito grande.

Para um indivíduo um ruído em determinado momento pode não ser tão incômodo, como para outro. Por essa razão, a comunidade há que estabelecer os seus limites, com base na cultura e estilo de vida. O surgimento das normas de conforto e dos critérios de ruído (ou de incomodidade) é consequência da necessidade de estabelecimento desses limites. A definição dos critérios, segundo Lalli, tem caráter estatístico, isto é, o

atendimento a um critério protege uma média estatística dos envolvidos [2].

Neste trabalho são apresentados os critérios de desempenho acústico da nova norma brasileira que foi aprovada em 2008, ABNT NBR 15575, com entrada em vigor prevista para 2012, a legislação e normas vigentes até então e os critérios internacionais para comparação com os critérios brasileiros.

2. Desempenho versus conforto

Especificamente tratando de unidades habitacionais, seus usuários desejam poder usufruir de seus lares, ao mesmo tempo que tenham sua privacidade preservada. A convivência entre moradores em edifícios residenciais poderá ser pacífica, caso haja, em primeiro lugar, respeito mútuo e a obediência aos critérios de ruído. Os usuários e moradores de edifícios não têm como interesse principal os aspectos físicos do ruído que lhes causa incômodo ou no valor do isolamento que as partições proporcionam. O interesse principal dos usuários está voltado para que o ruído que está no interior de seus lares corresponda às suas expectativas de conforto e privacidade [3].

Diante de tantas atividades diferentes a serem realizadas em uma edificação, se coincidirem duas ou mais com fins antagônicos, como por exemplo, brincadeiras de crianças e leitura, o que não é raro, pelo contrário, faz parte do dia-a-dia, o bom isolamento das edificações se faz necessário. Segundo Barry [3], um recinto de uma edificação deve proporcionar ao usuário conforto e privacidade acústicos condizentes à finalidade desse ambiente, sobretudo quando se destina ao repouso ou trabalho intelectual [3].

Embora o incômodo causado pelo ruído não seja um problema recente, a preocupação com o bom isolamento acústico em edifícios residenciais é relativamente recente, ao se pensar na história da construção civil, mas não, em termos de aglomeração urbana. A Figura 1 representa a imagem da Rua Direita, no centro da cidade de São Paulo, em 1916. A movimentação de veículos e pessoas nas ruas e as construções da época, muito próximas umas das outras e com muitas janelas, indicam que o ruído já estava presente na vida dos paulistanos e, possivelmente, estava produzindo desconforto.



Figura 1: Rua Direita, São Paulo, em 1916 [4]

Naquela época, São Paulo não era uma cidade diferente de outras de seu porte. A vida na cidade e o próprio crescimento produzia ruídos e desconforto. Porém, somente em 1929, com o surgimento da revista conhecida pelos acústicos como JASA (*Journal of the Acoustical Society of America*), uma das principais fontes de informação nas diversas áreas da Acústica, a questão do desconforto em edifícios passou a ser avaliada e registrada pela comunidade científica. Logo na primeira edição dessa revista, em 1929, Laird e Coye trataram do assunto com o artigo *Psychological measurements of annoyance as related to pitch and loudness* [5].

No decorrer dos anos, obviamente, o assunto voltou a ser tratado pela JASA, em outras revistas de caráter científico que surgiram posteriormente e em diversos meios de comunicação. Em 2008, o desconforto acústico em edifícios residenciais foi apresentado, em assunto de capa, desta vez por uma revista que não tem caráter científico, porém, tem grande cobertura no território brasileiro e atinge os “leigos” que sentem o desconforto em suas residências. A revista *Veja São Paulo*, cujas capas das edições 2060, de 2008 [6] e 2162, de 2010 [7], representadas na Figura 2, mostram que em condomínios residenciais verticais, o ruído é um dos itens que causam maior desconforto. Na edição de 2008, segundo o advogado e síndico Márcio Rachkorsky, “esse é um dos problemas de mais difícil solução, porque muitas vezes, é complicado até

identificar de onde vem o ruído, pois tem de tudo: de salto alto a festinhas nos apartamentos envolvem barulho”.

Na edição 2162, de Abril de 2010 a Revista *Veja São Paulo*, novamente trata do assunto ligado aos problemas em condomínio e o incômodo causado pelo vizinho de cima. Como se observa, o assunto está sendo amplamente divulgado pela mídia, porque o público leigo está preocupado com o conforto acústico.



Figura 2: Capas das Revistas *Veja São Paulo*, Edição 2060, de 14/05/2008 (esq.) e Edição 2162 de 28/04/2010 (dir.)

Na capa da edição de 2008 da revista está representado um resumo dos resultados de fontes de ruído, confirmando uma das conclusões feita vinte anos antes por Utley e Buller [8], onde diziam que o latido dos cachorros é uma razão de queixa e motivo de discussões entre os vizinhos.

Outros trabalhos foram publicados a fim de mostrar o quanto o ruído da vizinhança provoca desconforto e, em algumas vezes, aumento da agressividade. Grimwood [9] mostra que o incômodo em residências que causa desconforto entre vizinhos, provém de música, televisão, rádio, conversação, caminhamento, impactos de portas e janelas e armários e de eletrodomésticos, como máquina de lavar, aspirador de pó e telefone. Em seu trabalho, Grimwood mostra ainda que as queixas são feitas por moradores cujas edificações estão com os índices de isolamento abaixo do recomendado pela regulamentação específica, como era de se esperar ou, por moradores, cujas edificações atendem às regulamentações específicas, porém, as causas do ruído não são controladas por tais regulamentações, como por exemplo, impacto de portas; causando insatisfação com a edificação onde residem. Mostra também, que a agressividade pode aumentar juntamente com a intensidade do incômodo causado pelo ruído.

Em 1993, Mathys indica em seu trabalho que os códigos de edificações da Bélgica, França, Inglaterra, Alemanha e Holanda apresentam uma visão parcial do que definem como conforto acústico em edificações, visto que vai além do valor do isolamento das paredes ou pisos [10]. O conforto dependerá também, do ruído externo, do tempo de reverberação nos ambientes internos.

Entretanto, os códigos de edificações, além de não considerarem esses parâmetros, não consideram o ruído proveniente da cozinha e das instalações hidrossanitárias. De uma forma especial, Mathys chama a atenção para os incômodos causados por fontes de ruído com predominância nas baixas frequências.

Enquanto os usuários dos edifícios residenciais buscam por conforto acústico (conceito subjetivo), a norma apresenta critérios de desempenho, entre eles o acústico, (conceito objetivo). O conforto depende do desempenho dos edifícios e de suas características acústicas. No trabalho de Neto [11] o conceito subjetivo de conforto acústico foi traduzido em conceito objetivo por meio do Nível de Conforto Acústico, obtido a partir de valores do desempenho acústico em campo e de parâmetros psicoacústicos, como a inteligibilidade da fala.

Neste trabalho, apenas o conceito do desempenho voltado para a nova norma será tratado. E, de modo específico, serão tratados o desempenho entre unidades habitacionais independentes em partições verticais em relação ao ruído aéreo e em partições horizontais em relação ao ruído de impacto, por razão do alto índice de reclamação entre vizinhos, inclusive no aumento de ações judiciais.

3. Breve histórico das normas e critérios de desempenho acústico

É indiscutível a importância das normas técnicas, visto que são a base para a garantia da qualidade de qualquer produto que seja colocado no mercado. De acordo com as necessidades do mercado as normas precisam ser criadas ou revisadas. O mercado da construção civil brasileira até 2008 estava carente de uma norma que indicasse o desempenho mínimo que as edificações e sistemas construtivos deveriam apresentar, antes de serem disponibilizadas ao mercado. O Brasil está bem atrás de outros países da América Latina com a publicação de uma norma de desempenho. O Chile foi o primeiro a publicar uma norma de desempenho em 1961. A Argentina publicou a sua primeira norma em 1985 [11].

A elaboração de documentos, sejam normas, decretos-lei ou regulamentações específicas, que tratam do assunto relativo ao isolamento sonoro em edificações é recente em comparação com a história da construção civil. No Brasil, por exemplo, o conceito do desempenho aplicado à construção, como se conhece hoje, começou no final da década de 60 [12]. De lá para cá aumentou o número de veículos nas estradas, o número de fontes de ruído e, como vários edifícios residenciais foram erguidos aumentou a preocupação com o conforto acústico e tende a aumentar ainda mais.

A Europa tem grande preocupação com o desempenho de edificações e com as normas utilizadas para ajudar a manter adequadas as condições de uso e habitabilidade

dos edifícios. No trabalho de Goydke [13] foi apresentada a cooperação entre a *International Organization for Standardization (ISO)* e *European Committee for Standardization (CEN)* com o objetivo de revisar ou atualizar as normas que tratam de desempenho acústico de edifícios.

A ISO (*International Organization for Standardization*) iniciou seus trabalhos oficialmente em fevereiro de 1947, com o objetivo de unificar padrões industriais. A preocupação com o ruído em relação ao conforto veio com a criação das primeiras normas que tratavam de conforto nas décadas de 60 e 70. A norma ISO R1996 [14], que apresenta uma tabela com a reação comunitária em relação ao aumento do ruído só surgiu em 1971. Na primeira versão posterior à 1971 essa tabela foi retirada. A versão mais atual dessa norma, dividida em duas partes, nomeadamente ISO 1996-1, de 2003 [15] e ISO 1996-2, de 2007 [16], também não apresenta tal tabela, deixando a critério de cada comunidade [11].

No final do século XIX, as regulamentações para edifícios eram específicas para a redução do risco de incêndio e estabilidade estrutural. No início do século XX os engenheiros verificaram que o baixo isolamento sonoro das paredes entre unidades habitacionais, poderia iniciar conflitos entre vizinhos e reduzir o bem-estar dos moradores dos edifícios residenciais. As primeiras regulamentações voltadas para o desempenho e conforto acústico eram frequentemente comparativas e qualitativas, como por exemplo, “um isolamento sonoro tão bom quanto o de uma parede de tijolos ou outra construção que provenha o mesmo isolamento sonoro”. Em 1960 a norma ISO/R 140 apresenta os procedimentos para a medição do desempenho acústico, porém, somente em 1968, surge a primeira norma internacional que trata da avaliação do isolamento sonoro das habitações, a ISO/R 717, baseada em pesquisas de Gösele e Fasold [17].

Em Delft, na Holanda, aconteceu na década de 50, o primeiro Congresso Internacional sobre Acústica (*1st International Congress on Acoustics, ICA*). Nele ocorreu um simpósio sobre isolamento sonoro com apresentações feitas por Kosten, Cremer e Gösele. Na década de 60 surge a primeira versão da norma holandesa de desempenho NEN 1070, que era similar à ISO R 140 [18].

Em 1972 ocorreu, no Estado da Philadelphia, nos EUA, o primeiro simpósio (*Performance concept in building*) sobre o conceito de desempenho aplicado ao edifício [19].

Na França, o histórico de regulamentações para limitação do nível de ruído em edificações habitacionais é recente. A primeira deliberação relativa ao isolamento acústico das edificações habitacionais (Código da Construção e Habitação) é datada de 14 de Junho de

1969, aplicável por decreto em 1º de Janeiro de 1970. As habitações construídas entre 1955 e 1969 estavam sujeitas a uma regulamentação imprecisa que impunha aos construtores uma limitação qualitativa para o isolamento acústico, definida apenas como "suficiente". Os edifícios anteriores à 1955 não estavam sujeitos à nenhuma norma regulamentar em relação ao conforto acústico. Atualmente, a nova regulamentação, mais exigente que a anterior, que segue a normalização europeia foi deliberada em 30 de Junho de 1999, com aplicação a partir de 1º de Janeiro de 2000, fixa os critérios apresentados na NRA (*Nouvelle Réglementation Acoustique des Bâtiments*) [20].

No Brasil a avaliação inicial do desempenho de edifícios habitacionais foi desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, porém, para habitações térreas, no início da década de 80 [12]. O Relatório IPT nº 16277, publicado em 1981, foi um dos primeiros documentos elaborados com essa preocupação, tratando não somente do conforto acústico, mas também de outros aspectos da edificação, como conforto térmico, segurança ao fogo, etc. [21].

4. Critérios brasileiros: normas e leis

As normas e leis são os meios utilizados para o estabelecimento de critérios como limite para a comunidade. Em se tratando de desempenho de edifícios a primeira norma brasileira é a ABNT NBR 15575, de 2008 [22]. Antes dela, porém, outras normas eram utilizadas para definir o conforto dos usuários. Estão citadas a seguir.

4.1 ABNT NBR 10151 e ABNT NBR 10152

A norma brasileira relevante para a avaliação de ruído ambiental é a ABNT NBR 10151, de 2000 - *Acústica - avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - procedimento*, que dispõe sobre a medição e avaliação dos níveis de sons urbanos, e estabelece valores do "Nível Critério de Avaliação para ambientes externos" para diferentes tipos de áreas de uso de solo, apresentadas na Tabela 1 [23]. Essa norma estabelece níveis de ruído para áreas específicas de ocupação; não há menção, entretanto, sobre o ruído no interior das edificações nessas áreas.

Como foi mencionado, essa norma estabelece limites de ruído ambiental. Não é utilizada para avaliação de ruído no interior das edificações. Para essa situação há a norma ABNT NBR 10152 - *Níveis de ruído para conforto acústico*, que estabelece limites de ruído de fundo para determinados ambientes internos na edificação, apresentados na Tabela 2 [24]. Salienta-se que não há menção sobre o desempenho dos elementos e sistemas construtivos.

Tabela 1. Nível Critério de Avaliação, NCA, para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Tabela 2. Nível Critério de Avaliação, NCA, para ambientes internos, em dB(A)

Locais - Residências	dB(A)	NC
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45

4.2 Legislação brasileira

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) foi definido por meio da Lei 6.938 de 31 de Agosto de 1981 [25], como o órgão responsável por estabelecer os limites de ruído. A Resolução do CONAMA por ser uma *norma geral*, conforme a Constituição Federal, deve ser obedecida por Estados e Municípios.

Pela Resolução CONAMA nº 01, de 8 de Março de 1990 [26], foram estabelecidos limites de ruído ambiental seguindo a norma ABNT NBR 10151 [23]. A norma ABNT NBR 10152 [24] também é mencionada nessa Resolução, porém apenas na condição de não serem ultrapassados os limites em caso de execução de obras ou construção de imóveis.

Na cidade de São Paulo, o artigo 2º da Lei nº. 11.780 de 30 de Maio de 1995 [27] dispõe sobre as obrigações do Poder Público Municipal e dos proprietários ou incorporadores de edificações, no controle da poluição sonora do Município de São Paulo. Os proprietários ou incorporadores de novas edificações a serem erigidas no município de São Paulo deverão adotar as providências técnicas para que essas edificações protejam os usuários contra a poluição sonora própria do local [28].

Essa lei complementa ainda que em edificações para fins residenciais em condomínios deverão ser emitidos laudos técnicos do ruído local e, juntamente com o projeto, deverão ser tomadas medidas preventivas com soluções construtivas para que os níveis de ruído da norma ABNT NBR 10152 [24] sejam obedecidos [28].

Existem ainda outras leis federais, municipais e portarias estaduais que têm como objetivo a contenção do aumento da poluição sonora ambiental. Citam-se, ainda para a cidade de São Paulo:

- Lei (municipal) nº. 11.501 de 11 de abril de 1994, que "dispõe sobre o controle e fiscalização de atividades que regem poluição sonora" [29].
- Lei (municipal) nº. 11.804 de 19 de junho de 1995 [30] que é ainda mais rigorosa do que a Resolução CONAMA nº 01, visto que exige o cumprimento dos

limites da ABNT NBR 10151 [23] também em obras de construção civil.

- Decreto (municipal) nº. 34.569 de 6 de outubro de 1994, que instituiu o Programa de Silêncio Urbano na cidade de São Paulo, conhecido como PSIU [31].

E no âmbito Federal, a Lei do Condomínio:

- Lei nº. 10.406 de 10 de janeiro de 2002, onde está incluída a parte conhecida como Lei do Condomínio. No artigo 1.336, do Capítulo VII, define-se como deveres do condômino em relação ao uso de suas partes na edificação “não utilizar de maneira prejudicial ao sossego, salubridade e segurança dos possuidores, ou aos bons costumes” [32].

Verifica-se, então, que há leis que demonstram a preocupação com o ruído ambiental e o conforto dos usuários no interior de suas edificações. O poder judiciário tem utilizado essas e outras ferramentas para defender usuários com problemas de ruído com a vizinhança.

4.3 ABNT NBR 15575 - desempenho de edifícios

A norma de desempenho de edifícios habitacionais, da ABNT, NBR 15575, é a primeira do gênero no país. É um documento importante que reflete a preocupação na melhoria das condições de uso e habitabilidade das edificações brasileiras, apresentando critérios de desempenho acústico. Por essa razão, espera-se que seja uma nova base, mais clara e objetiva, para os processos jurídicos, visto que, atualmente, em se tratando do incômodo de moradores por ruído produzido pela vizinhança, a norma ABNT NBR 10152 [24], *Níveis de ruído para conforto acústico* é uma das bases mais importantes para os laudos periciais. Porém, segundo Baring [33], a norma ABNT NBR 10152 [24] é utilizada de forma indevida, visto que o texto é exíguo e evasivo, o que a torna facilmente contestável nos processos jurídicos. Essa norma teve seu processo de revisão concluído em 2010, contudo, continua não sendo adequada para uso de desempenho acústico de edifícios.

A norma ABNT NBR 15575, de 2008 (*Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho*) está dividida em seis partes: a Parte 1 refere-se aos requisitos gerais; Parte 2, requisitos para os sistemas estruturais; Parte 3, requisitos para sistemas de pisos internos; Parte 4, requisitos para sistemas de vedações internas e externas; Parte 5, requisitos para sistemas de coberturas e, finalmente, a Parte 6, sistemas hidrossanitários. Embora a norma trate de edifícios de até cinco pavimentos, na parte 1 há uma nota localizada dentro do Escopo (Item 1), que explicita que “Os requisitos e critérios estabelecidos nesta Norma podem ser aplicados a edifícios habitacionais ou sistemas com mais de cinco pavimentos, excetuados aqueles que dependem diretamente da altura do edifício

habitacional.” [34]. Portanto, o desempenho acústico tratado na norma poderá ser ampliado para edifícios com mais de cinco pavimentos.

A norma de desempenho ABNT NBR 15575 é importante tanto para o consumidor como para a indústria da construção civil. O consumidor estará confiante de que o produto que está adquirindo tem a qualidade mínima especificada por normas técnicas e pelo Código de Defesa do Consumidor [35]. A indústria da construção civil terá a base para poder colocar no mercado um produto com a qualidade mínima para habitabilidade e uso, obtida com o respeito às normas técnicas.

Espera-se que essa norma de desempenho tornando-se, agora, referência técnica para os projetistas, fornecedores de materiais para a construção civil, construtores e consumidores, diminuam os índices de reclamação dos usuários e os processos judiciais a que estão sujeitos os que a desrespeitarem.

A convivência pacífica entre vizinhos depende necessariamente de um bom isolamento acústico proporcionando o conforto e privacidade. O nível de isolamento acústico, como conceito objetivo, para atender aos anseios dos usuários em relação à privacidade será estudado neste trabalho.

O ruído de fundo é um item importante na determinação dos critérios, porque, em relação ao conforto, as habitações situadas em locais com altos níveis de ruído de fundo necessitam de maior isolamento acústico. Já habitações situadas em locais onde há baixos níveis de ruído de fundo necessitam de um isolamento acústico menor. Em relação à inteligibilidade da fala, acontece o oposto, isto é, se o ambiente estiver em um local com baixo ruído de fundo, necessitará de isolamento maior. Se o ruído de fundo for baixo, qualquer outro ruído (ou conversação) será percebido facilmente e, poderá causar incômodo; daí a necessidade de aumentar o isolamento acústico. Por outro lado, se o ruído de fundo apresentar níveis altos, um ruído só será percebido se apresentar níveis superiores aos do ruído de fundo. Nesse caso, o isolamento poderá ser menos rigoroso que no caso anterior. A parte 4 da norma de desempenho ABNT NBR 15575-4 [36] menciona que o estabelecimento do nível de desempenho do edifício deve ser compatível com o nível de ruído de fundo do local de implantação da obra.

A norma ABNT NBR 10152 [24] estabelece os níveis para o ruído de fundo adequado para o conforto e para cada tipo de ambiente. Os critérios são necessários quando os níveis de ruído, exceto os ruídos de fundo, são altos o suficiente para interferirem negativamente nas atividades envolvidas em cada ambiente. Em residências, por exemplo, as atividades exercidas que necessitem de níveis baixos de ruído são o descanso, o

diálogo (conversaço), lazer (leitura, assistir à TV), ouvir rádio [2].

Segundo Souza [37], a avaliação do desempenho do edifício, isto é, o seu comportamento em uso, é baseado em requisitos e critérios, e em métodos de avaliação que possibilitam a verificação no atendimento do edifício e suas partes, às condições estabelecidas. Mitidieri [12] completa que “os *requisitos e critérios* de desempenho expressam, respectivamente, as condições *qualitativas* e *quantitativas* às quais o edifício deve atender para satisfazer as exigências do usuário, quando submetido a determinadas condições de exposição”.

Mitidieri [19] afirma que sempre haverá critérios mínimos de desempenho a serem atendidos. Abaixo desses critérios, pode-se ter habitações de qualidade ou desempenho não desejáveis.

A norma ABNT NBR 15575 (*Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – desempenho*), porém, válida somente a partir de 2012, envolve vários requisitos para que uma edificação atenda às exigências dos usuários em termos de habitabilidade e uso.

A norma ISO 6241 [38] foi a base para a definição dos requisitos de desempenho, tornando-se uma tradução técnica e objetiva para as necessidades dos usuários. A norma de desempenho contempla os seguintes requisitos: desempenho estrutural, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, durabilidade e manutenibilidade, conforto tátil e antropodinâmico e adequação ambiental [39].

As exigências dos usuários, conforme a norma ABNT NBR 15575 e utilizadas como referência para o estabelecimento dos requisitos e critérios, são segurança, habitabilidade e sustentabilidade. No quesito *Segurança* refere-se à segurança estrutural; segurança contra o fogo e segurança no uso e na operação; no quesito *Habitabilidade* refere-se à estanqueidade; conforto térmico; conforto acústico; conforto lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade e conforto tátil e antropodinâmico e no quesito *Sustentabilidade* refere-se à durabilidade; manutenibilidade e impacto ambiental.

A versão de 1992 da norma ISO 6242-3 (*Building construction – expression of users’ requirements. Part 3: acoustical requirements*) [40] apresenta os fatores com os quais devem ser baseados os critérios de ruído (ou de incomodidade), entre eles: atividades que devem ser realizadas e que dependam de conforto acústico, como por exemplo, dormir, ler, estudar, trabalho em escritórios; percentual de pessoas que devem estar satisfeitas; tempo de duração que deve ter entre um ruído e outro (isso para locais onde há fontes intermitentes de ruído); nível de ruído de fundo aceitável.

O Relatório do IPT, nº 16277, provavelmente um dos primeiros a tratar do conforto acústico em edificações no Brasil, já apresentava como requisito que o “elemento parede comum (...) deve proporcionar isolamento sonoro igual ou superior ao valor mínimo compatível com as necessidades de privacidade sonora entre as residências” [21].

O fato de a norma NBR 15575 entrar em vigor não quer dizer as normas, até então utilizadas, sejam colocadas à parte. Essa norma não descarta as normas ABNT NBR 10151 de 2000 e ABNT NBR 10152 de 1987, pelo contrário, no item 2.2.1, da parte 1, afirma que “A edificação, submetida aos limites de estímulos sonoros externos especificados na ABNT NBR 10151, deve atender aos limites especificados pela ABNT NBR 10152 no que se refere aos níveis de ruído em seus ambientes internos” [34].

Diferentemente da maioria dos outros documentos internacionais similares analisados, que apresentam um valor para um único nível de desempenho, esta norma apresenta critérios para três níveis de desempenho, sendo *M* – para nível mínimo; *I* – para nível intermediário e *S* – para nível superior.

A versão final da norma de desempenho apresenta os valores referentes ao nível de desempenho mínimo no corpo da norma, que é o que é exigido. Já os valores referentes aos níveis de desempenho intermediário e superior foram deslocados para um anexo informativo, visto que a exigência dos critérios, segundo a ABNT, deve atender ao desempenho mínimo. Isso quer dizer, que um edifício de altíssimo padrão poderá ser vendido com critério mínimo de desempenho.

O item 12.2 da Parte 4 da NBR 15575 estabelece os requisitos para sistemas de vedações verticais externas e internas e tem por objetivo “Proporcionar isolamento acústico entre o meio externo e o interno, bem como entre unidades condominiais distintas, além de proporcionar, complementarmente, isolamento acústico entre dependências de uma mesma unidade, quando destinadas ao repouso noturno, ao lazer doméstico e ao trabalho intelectual” [36].

Na Parte 3 da norma de desempenho, o item 12.2, estabelece os requisitos para sistemas de pisos internos e tem por objetivo “atenuar a passagem de som resultante de ruído de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros) entre unidades habitacionais” [41].

A Tabela 3 apresenta os níveis critérios para isolamento de ruído aéreo em campo e em laboratório, para as partições verticais entre unidades residenciais e, para facilitar a visualização, os valores para os três níveis de desempenho são apresentados em um único quadro, da mesma forma como estão no anexo da norma.

Tabela 3. Diferença padronizada de nível ponderada entre ambientes, $D_{nT,ws}$ para ensaio de campo e Índice de redução

sonora ponderado dos elementos construtivos, R_w , para ensaio de laboratório [36]

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Índice de redução sonora ponderado R_w (dB)	Nível de Desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação)	40 a 44	45 a 49	M
	45 a 49	50 a 54	I
	≥ 50	≥ 55	S

A Tabela 4 apresenta os níveis critérios para ruído de impacto em campo, para as partições horizontais entre unidades residenciais adjacentes e, novamente, para facilitar a visualização, os valores para os três níveis de desempenho são apresentados em um único quadro, da mesma forma como estão no anexo da norma.

Tabela 4. Critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo [41]

Elemento	$L'_{nT,w}$ (dB)	Nível de Desempenho
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, sem tratamento acústico	< 80	M
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico	55 a 65	I
	< 55	S

As Figuras 3 e 4 apresentam uma comparação entre os critérios brasileiros da nova norma de desempenho e os critérios internacionais para comparação do nível de exigência entre os critérios. No item a seguir são apresentados os critérios internacionais pesquisados.

5. Critérios internacionais

Os países com o clima mais frio são de certa forma, privilegiados com a questão do isolamento acústico. Isso porque, devido às baixas temperaturas, os ambientes necessitam de boa vedação térmica; o isolamento acústico, então, é privilegiado com essa vedação. Por outro lado, como o inverno é longo e as noites são também longas, os moradores necessitam e desejam que suas residências apresentem um maior isolamento acústico, visto que os níveis de ruído de fundo são também menores.

Em países como o Brasil, onde o clima é propício para que as janelas se mantenham abertas, obter um valor alto de isolamento acústico, pode ser uma tarefa mais difícil.

A Figura 3 apresenta os valores de isolamento de ruído aéreo em partição vertical entre unidades habitacionais, requeridos em critérios internacionais, além dos critérios brasileiros dos níveis M, menos exigentes e S, mais exigente. Não se deve fazer uma comparação direta, quantitativa, pois há vários parâmetros acústicos diferentes.

Dessa forma, pode-se fazer uma comparação qualitativa entre os critérios dos diversos países, apresentados na Figura 3. As barras em tom mais escuro, são dos países que utilizam o mesmo parâmetro que o Brasil, podendo ser feita uma comparação quantitativa. Na Figura 3 a linha contínua representa o critério para o nível de desempenho superior, S, e a linha tracejada representa o critério para nível de desempenho mínimo, conforme a norma ABNT NBR 15575.

Observa-se pela Figura 3 que dez são os países que utilizam o mesmo parâmetro que o Brasil. Em comparação com os valores numéricos, o critério de nível de desempenho mínimo, M, do Brasil está 5 dB abaixo do valor mínimo encontrado entre esses dez países. O nível superior, S, do Brasil, está 5 dB acima desse valor mínimo encontrado, porém, ainda está abaixo do nível recomendado por sete desses países.

Numa comparação qualitativa, o nível M está abaixo também, 5 dB em relação a outros países. Porém, como os parâmetros são diferentes, essa diferença pode não ser real.

A África do Sul, que utiliza o mesmo parâmetro que o Brasil, tem condições climáticas semelhantes ao clima brasileiro e apresenta um critério que corresponde ao nível intermediário da norma da ABNT. Destaca-se no gráfico da Figura 3, o quanto a Bélgica é rigorosa com os critérios de isolamento de ruído aéreo.

A Figura 4 apresenta os valores dos critérios dos países pesquisados, para comparação qualitativa com os critérios brasileiros, em relação ao nível de ruído de impacto, onde se observa que o critério do nível mínimo, M, que deve ser atendido segundo a norma ABNT NBR 15575, está muito acima tanto dos países que utilizam o mesmo parâmetro que o Brasil, quanto dos demais países, que utilizam outros parâmetros (em comparação com o valor absoluto). Novamente ressalta-se, que a comparação com parâmetros diferentes pode não apresentar a diferença absoluta real. Verifica-se ainda que os países Bélgica, Holanda, Nova Zelândia e Suíça apresentam critérios mais rigorosos do que o brasileiro. Não foram encontrados critérios para ruído de impacto de piso em documentos da África do Sul e da Argentina. O Chile apresenta valor qualitativo relativamente alto, porém, não se aproxima quantitativamente do critério mínimo da ABNT. A Espanha fez em 2008 uma revisão de seu critério para impacto de piso, tornando-o ainda mais rigoroso [11].

Da mesma forma como com a Figura 3, as barras em tom mais escuro, são dos países que utilizam o mesmo parâmetro acústico que o Brasil, podendo ser feita uma comparação quantitativa.

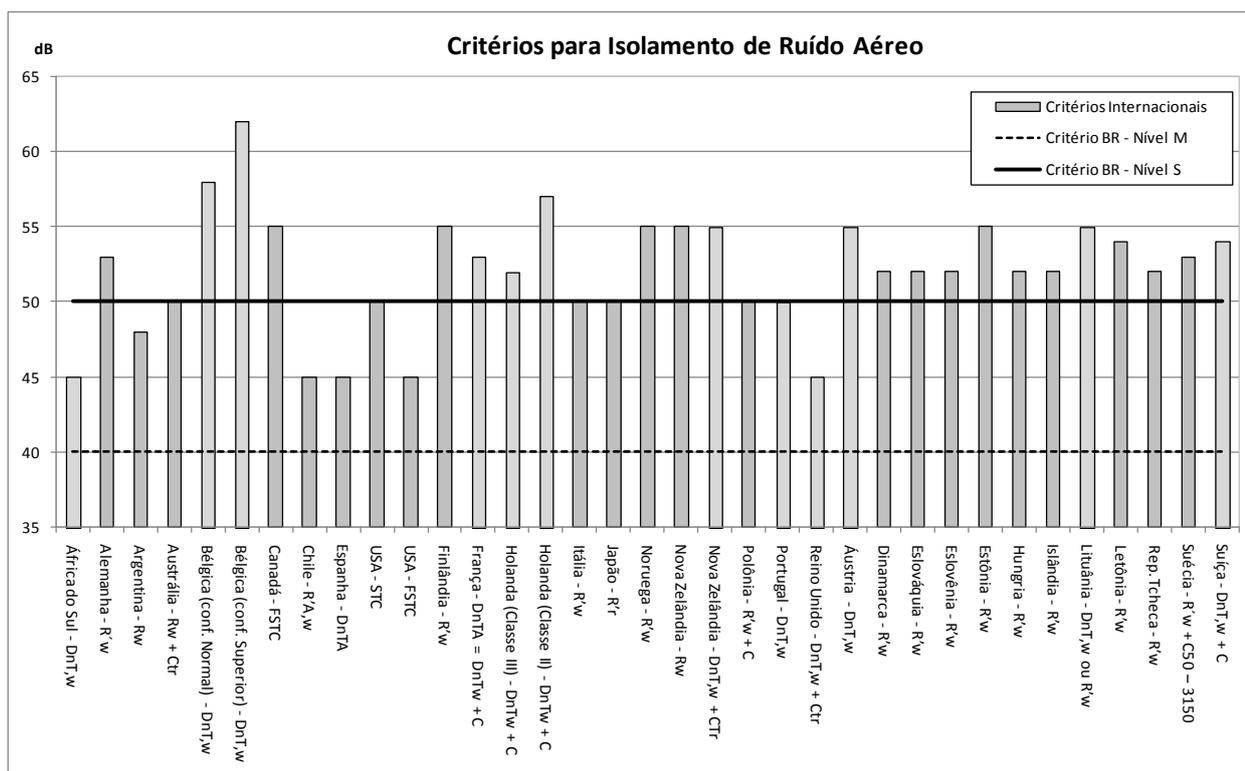


Figura 3: Critérios internacionais e brasileiros para isolamento de ruído aéreo em partições verticais entre unidades habitacionais [11]

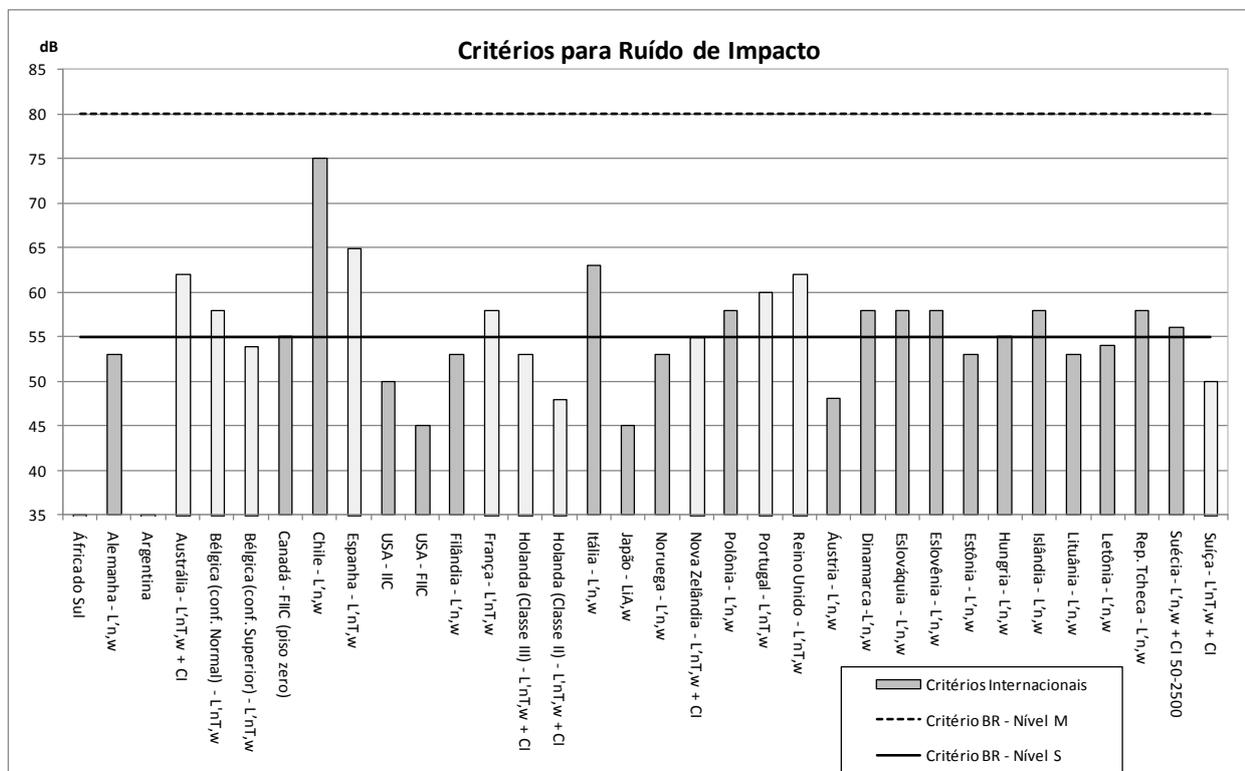


Figura 4: Critérios internacionais e brasileiros para ruído de impacto em partições horizontais entre unidades habitacionais [20], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52], [53], [54], [55], [56], [57], [58], [59]

6. Considerações finais

A aprovação da norma de desempenho foi um passo importante para haver uma melhor adequação acústica dos edifícios, apresentando desempenho acústico compatível com a expectativa dos consumidores. A norma entrará em vigor em 2012, porém, antes disso, passará por um processo de revisão.

Alguns pontos mereceriam cuidadosa atenção, como por exemplo, a adequação dos critérios de desempenho mínimo com o de outros países, visto que os critérios brasileiros estão muito benevolentes com a construção civil, quando comparados com alguns critérios internacionais, como por exemplo, da África do Sul ou da Argentina. A aprovação da norma de desempenho de edifícios de até cinco pavimentos foi uma vitória, entretanto, a entrada em vigor adiada e o início dos trabalhos de sua primeira revisão mostram que a indústria da construção civil não está madura para lidar com as exigências em norma. O atendimento aos critérios dessa norma envolve requisitos que vão além da medição e cálculo do desempenho acústico. O desenvolvimento de produtos e a viabilidade econômica estão embutidos no processo e não podem ser postos de lado ao se pensar na indústria da construção civil e na norma de desempenho. Porém, como foi visto, os valores de desempenho mínimo que a norma brasileira exige estão aquém de outros países. Essa comparação foi feita tanto em países frios, cujo conforto acústico está acoplado ao conforto térmico, quanto em países em situação climática e/ou econômica similar ao Brasil. A redução desses valores revelará a fragilidade dos produtos utilizados na construção civil brasileira.

Embora não tenham sido mencionados neste trabalho com detalhes, alguns países utilizam em seus critérios os coeficientes de adaptação do espectro, C e C_{tr} . Esses coeficientes de adaptação do espectro, explicados com detalhe na tese de Neto [11], enriquecem a forma de expressão do resultado do desempenho acústico, informando com mais detalhes, sobre o desempenho do edifício em relação a ruídos específicos, como os de baixas frequências. A princípio a ideia de acrescentar esses coeficientes aos critérios da norma pode assustar por tornar os critérios mais rigorosos. Porém futuramente, com maior familiaridade com esses coeficientes e o amadurecimento da indústria da construção civil, os projetistas e demais profissionais envolvidos no desempenho acústico das edificações, a ideia de acrescentá-los aos critérios da norma não assustará mais e sim, será visto, como um adicional na avaliação, adequação e melhoria do desempenho acústico dos edifícios.

A norma também peca em não insistir com a divulgação do resultado de desempenho de um edifício no memorial descritivo ou em um outro documento que

seja entregue ao proprietário com tais valores, assim como em qual nível de desempenho se enquadra o edifício em questão. A diferença entre os níveis de desempenho e o padrão dos edifícios deve ser colocada de forma clara, já que um edifício de alto padrão, com apartamentos com valores na casa de 10^6 de reais, pode ser vendido com nível de desempenho de habitação popular! Um edifício de alto padrão deveria necessariamente, apresentar nível de desempenho Superior.

O cliente tem direito de saber sobre o desempenho do edifício que está adquirindo. Embora nem todos saibam que existe uma norma que trata desse assunto, podem saber se estão comprando um imóvel que lhes vai oferecer o desempenho ou o conforto acústico compatível com o que procuram e o que estão pagando.

O amadurecimento da indústria da construção civil se faz necessário e até a entrada em vigor da norma, os fabricantes e as construtoras deverão aproveitar o tempo para melhorar seus produtos e oferecer edifícios com melhor qualidade acústica aos seus clientes e a norma entrar plenamente em vigor.

Referências

- [1] Austrália. New South Wales (NSW). Department of Environment and Conservation Dealing with neighborhood noise. 2ed. Australia. 2006.
- [2] F. P. Lalli: Critérios de ruído. In *Tecnologia de Edificações*. São Paulo: PINI/ IPT, p. 453-456. 1988.
- [3] P. J. Barry: Desempenho acústico em edifícios habitacionais. In: *Seminário Habitação: Desempenho e inovação tecnológica*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT. São Paulo, 26-27 de outubro. 2005. pg 76-83.
- [4] Fonte: Associação dos Engenheiros Ferroviários no Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.assef.com.br/sao_paulo_antiga.htm>. Acesso em 20 Jan. 2009.
- [5] D. A. Laird e K. Coye: Psychological measurements of annoyance as related to pitch and loudness. *J. Acoust. Soc. Am.*, p. 158-163. 1929.
- [6] Ed. Abril, Veja São Paulo, nº 2060, de 14/05/2008.
- [7] Ed. Abril, Veja São Paulo, nº 2162, de 28/04/2010.
- [8] W. A. Utley, I. B. Buller: A study of complaints about noise from domestic premises. *J. Sound and Vib.*, 127, n. 2, p. 319-330 (1988).
- [9] C. Grimwood: Complaints about Poor Sound Insulation between Dwellings in England and Wales. *Applied Acoustics*, 52, n. 3/4, p. 211-223 (1997).
- [10] J. Mathys: Low-frequency noise and acoustical standards. *Applied Acoustics*. 40, n. 3, p.185-199 (1993).

- [11] M. F. F. Neto: *Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais*. 2009. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas-SP.
- [12] C. V. Mitidieri Filho: *Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural*. 1998. 256 f. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo.
- [13] H. Goydke: New International Standards for Building and Room Acoustics. *Applied Acoustics*, 52, n. 3/4, p. 185-196, (1997).
- [14] ISO R 1996: *Acoustics - Assessment of noise with respect to community response*. Genève, 1971.
- [15] ISO 1996-1: *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. Genève. 2003.
- [16] ISO 1996-2: *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels*. Genève. 2007.
- [17] B. Rasmussen, J. H. Rindel: Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings - from chaos to consensus? *Forum Acusticum 2005*. Budapest. 2005.
- [18] E. Gerretsen: Prediction of sound insulation in buildings: a tool to improve the acoustic quality. In: *DAGA 2003*, at Institut für Technische Akustik der RWTH. Aachen, Germany. 2003.
- [19] C. V. Mitidieri Filho: *Avaliação técnica de novos produtos para construção de habitações*. Entrevista ao "Bate-papo programado" IPT em 24/09/2002. Disponível em: <<http://www.ipt.br>>. Acesso em 03 Jan. 2008. 2002.
- [20] M. Meisser,: *Réglementation acoustique des bâtiments. Technique de l'ingénierie*, revue on line, code C 3 365, France, 2005.
- [21] Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Relatório nº 16 277 - *Formulação de critérios para avaliação de desempenho de habitações*. São Paulo. 1981.
- [22] ABNT NBR15575: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho*. Rio de Janeiro. 2008.
- [23] ABNT NBR 10151: *Acústica - Avaliação do ruído em área habitada, visando o conforto da comunidade. Procedimento*. Rio de Janeiro. 2000.
- [24] ABNT NBR 10152: *Níveis de ruído para conforto acústico*. Rio de Janeiro. 1987.
- [25] Brasil. Lei nº 6.938, de 31/08/1981. Dispõe sobre a *Política Nacional do Meio Ambiente*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.html>. Acesso em 20 Fev. 2007.
- [26] Brasil. Resolução CONAMA nº 01 de 08/03/1990. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, dispõe sobre critério e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>>. Acesso em: 20 Jan.2008
- [27] São Paulo (Município) Lei N.º 11.780 de 30 de maio de 1995. Dispõe sobre as obrigações do Poder Público Municipal e dos proprietários ou incorporadores de edificações, no controle da poluição sonora do Município de São Paulo.
- [28] W. A. M. Carneiro: *Perturbações sonoras nas edificações urbanas*. 3ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2004. 332 p.
- [29] São Paulo (Município) Lei nº. 11.501 de 11/04/1994. Dispõe sobre o controle e fiscalização das atividades que regem poluição sonora.
- [30] São Paulo (Município) Lei nº. 11.804 de 19/06/1995. Dispõe sobre avaliação de ruídos na cidade de São Paulo.
- [31] São Paulo (Município) Decreto nº 34.569 de 06/10/1994. Institui o Programa Silêncio Urbano-PSIU.
- [32] Brasil. Lei nº 10.406, de 10/01/2002. Institui o Código Civil e inclui a *Lei do condomínio*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/2002/L10406_compilada.html>. Acesso: 20 Fev. 2007.
- [33] J. G. A. Baring: Ruído Interno e Externo em Edificações: análise crítica da normalização brasileira In: *Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, XX.*, 2002, Rio de Janeiro - RJ. Rio de Janeiro: SOBRAC/INMETRO, 2002.
- [34] ABNT NBR15575-1: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho. Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro. 2008.
- [35] Brasil. Lei nº 8.078 de 11/07/1990. *Código de defesa do consumidor*. Dispõe sobre a proteção do consumidor Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L8078.htm>>. Acesso: 20 Fev. 2007.
- [36] ABNT NBR15575-4: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro. 2008.
- [37] R. Souza: A avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitações. In: *V SIMPATCON - Simpósio de Aplicação da Tecnologia do Concreto*. Campinas, 1982.
- [38] ISO 6241: *Performance standards in building - Principles for their preparation and factors to be considered*. 1984.
- [39] C. Borges: *O que são as normas de desempenho e como entrarão em vigor?* Palestra no Sinduscon-SP. São Paulo. Dez 2008. Disponível em: <http://www.secovi.com.br/noticias/arq_not/carlos_alberto.pdf>. Acesso em: 15 Dez 2010.
- [40] ISO 6242-3: *Building construction - expressions for users' requirements - Part 3: Acoustical requirements*. Genève. 1992.
- [41] ABNT NBR15575-3: *Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - desempenho. Parte 3: Requisitos*

- para os sistemas de pisos internos*. Rio de Janeiro. 2008.
- [42] DIN 4109: *Sound insulation in buildings; requirements and testing*. German. 1989.
- [43] IRAM 4044: *Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros*. Buenos Aires. 1985.
- [44] Australian Building Codes Board (ABCB): *Building Code of Australia*. Australia. 2004.
- [45] J. Nemerlin: *La nouvelle norme acoustique pour les immeubles d'habitation bientôt en application*. la revue Architrave - mai 2007 - n°157. Disponível em: <<http://www.srave.be>>. Acesso em: 15 Fev 2008.
- [46] A. C. C. Warnock: *Acoustics in Practice*. In: *BUILDING SCIENCE INSIGHT '85, "NOISE CONTROL IN BUILDINGS"*. Canadá: National Research Council of Canada, NRCC, pp. 39-51. 1985. Disponível em: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/bsi/85-4_e.html>. Acesso em 23 Maio 2007.
- [47] NCh 352/1: *Aislación acústica - Parte 1: Construcciones de uso habitacional - Requisitos mínimos y ensayos*. Chile. 2000.
- [48] ESPANHA. *Documento básico de protección frente al ruido*. DB HR, Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Vivienda, Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, B.O.E. del 23 de Octubre de 2007. <http://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf>. Acesso em 20 Jan. 2009.
- [49] International Code Council (ICC): *International Building Code*, United States, 2000.
- [50] Finlândia. Ministry of the environment, Housing and Building Department. *C1 – Sound insulation and noise abatement in building: Regulations and guidelines*. 1998.
- [51] NEN 1070: *Geluidwering in woongebouwen - specificatie en beoordeling van de kwaliteit (Noise control in buildings Specification and rating of quality)*. The Netherlands. 1999.
- [52] ISOVER. *Manuale Tecnico* 2007. Itália. 2007.
- [53] M. Koyasu, J. Yoshimura, H. Tachibana: *Building acoustic classification for sound insulation in Japan*. In: *INTER-NOISE 2004*. Prague. Czech Republic. 2004.
- [54] NS 8175 E: *Acoustic conditions in building – Sound classification of various types of buildings*. Norway. 2005.
- [55] Building Industry Authority (BIA): *Building Code Clause G6, Airborne and Impact Sound*. Drafts. Wellington. New Zealand. 2004.
- [56] PN-B02151-3: *Building acoustics - Noise protection of apartments in buildings - Sound insulating in buildings and of building elements - Requirements*. Poland. 1999.
- [57] Portugal. Decreto-Lei n° 96/2008. *Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios*. Diário da República I-Série A. n° 110, p. 3359-3372. Lisboa. 2008.
- [58] Reino Unido. Buildings Division: *Approved Document Resistance to the passage of sound*. The Building Regulations 2000. Edição 2003. Disponível em: http://www.planningportal.gov.uk/uploads/br/BR_PDF_ADE_2003.pdf> Acesso em 20 Fev. 2007.
- [59] B. Rasmussen: *Schallschutz zwischen wohnungen – Bauvorschriften und klassifizierungssysteme in Europe (Sound Insulation between dwellings – Classification schemes and building regulations in Europe)*. In: *INTER-NOISE 2004*. Prague. Czech Republic. 2004

Impacto sonoro da implantação do metrô de Salvador em edificações adjacentes considerando os efeitos na população

Barretto, D.M.*; Freitas, I.M.†

* Audium – Áudio e Acústica, BA, debora@audium.com.br

† Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, BA, 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: Impacto Sonoro, Modelos de propagação sonora, Acústica ambiental, Ruído metroviário.

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 as necessidades de se implantarem 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.

2. 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 que o ruído desse modo de transporte pode gerar devido à proximidade com muitas edificações.

2.1 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.

2.2 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 10.151/00 e 10.152/00;
- Analisar os dados de NPS obtidos e sua relação com a saúde da população no que diz respeito à possibilidade do surgimento de alterações tanto fisiológicas quanto psicológicas, considerando o nível de ruído e o tempo de exposição.

3. Metodologia

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

3.1 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 [1]:

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

Onde :

$$L_w = L'_w + 10\log(t);$$

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

t = 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 à 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 à 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 (28,58 m 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).

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.



Figura 1 – Foto aérea da Av. Bonocô

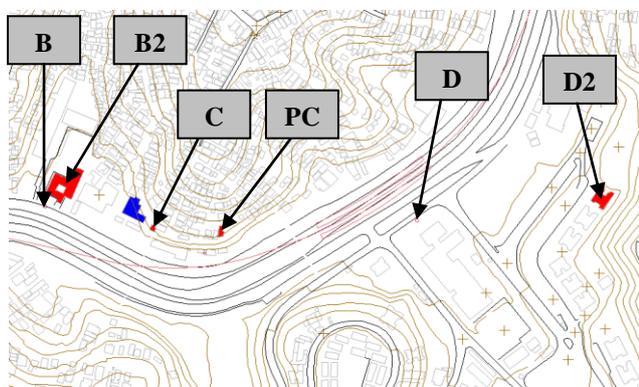


Figura 2 – Mapa digital do trecho estudado com indicação dos pontos simulados (Spring)

3.1.1 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 85 dB(A) – Ruído externo máximo admissível para o metrô em pontos distantes 5 m, 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:

- NWS1 97 dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-cilíndrica (fonte de ruído linear) referente a 85 dB(A).
- NWS2 107 dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-esférica (fonte de ruído pontual) referente a 85 dB(A). Cenário mais pessimista.

b. NPS 90 dB(A) – Ruído externo máximo admissível

para o metrô em pontos distantes 5 m nos trechos entre estações, por isso a fonte foi caracterizada como linear:

- NWS1 102 dB(A) – Nível de potência sonora calculado a partir do espalhamento na superfície semi-cilíndrica (fonte de ruído linear) referente a 90 dB(A).

3.1.2 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 7,5 m é de NPS 79 dB(A), o que representa uma potência sonora de NWS 93 dB(A) ao se considerar o espalhamento semi-cilíndrico na superfície.

a. Por meio do *Harmonoise*

b. Por meio do Método Francês

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

3.1.4 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.

3.2 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 “Área mista, com vocação comercial e administrativa”, portanto, com limites de 60 dB(A) e 55 dB(A). Nos pontos internos foram usadas as correções indicadas na referida Norma para a janela nas situações aberta (-10 dB) ou fechada (-15 dB).

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.

3.3 Etapa 3 – Análise dos efeitos na saúde

A análise da relação entre os resultados de NPS obtidos tanto interna 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.

4. 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.

4.1 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 à situação mais provável, com NWS 104 dB(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 104 dB(A)

Pontos	L_{eq} medido	Distância até eixo da linha	L_{eq} propagado	Corrigido	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)	68,60	28,58	83,63	73,63	74,82	6,22
JA						
PC* (int)	63,60	28,58	83,63	68,63	69,82	6,22
JF						

* 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	1 ^a		1B	2 ^a	3
	Situação 1	Situação 2			
ACRÉSCIMO	Valores em dB(A)				
	2,14	8,66	4,78	0,98	6,22

4.2 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	L _{eq} Final				
	*	**		1A		1B	2A	3
				Situação 1	Situação 2			
Valores em dB(A)								
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 de nível sonoro máximo da NBR 10.152 para ambientes internos

Pontos	DIFERENÇA				
	1A	1B	2A	3	
	Valores em dB(A)				
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 29,8 dB no PC na situação janela aberta (JA) para “Residências (Dormitórios)” (45 dB). 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

Ponto	NBR 10.151		Medido	L _{eq} Final				
	dB(A) D*	dB(A) N**		1A		1B	2A	3
				Situação 1	Situação 2			
Valores em dB(A)								
B	60	55	78,60	79,63	84,24	81,26	79,04	82,29
D	60	55	79,30	80,24	84,63	81,76	79,70	82,75
PC (ext)	60	55	78,60	80,74	87,26	83,38	79,58	84,82

* Nível sonoro diurno recomendado para ambientes externos em zonas de “Área mista, com vocação comercial e administrativa”.

** Nível sonoro noturno recomendado para ambientes externos em zonas de “Área mista, com vocação comercial e administrativa”.

Tabela 6 – Diferença entre L_{eq} final e parâmetros da NBR 10.151 para ambientes externos no período diurno

Pontos	DIFERENÇA				
	1A	1B	2A	3	
	Valores em dB(A)				
B	19,63	24,24	21,26	19,04	22,29
D	20,24	24,63	21,76	19,70	22,75
PC (ext)	20,74	27,26	23,38	19,58	24,82

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

4.3 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, determinaram-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 5 dB(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 à propagação sonora proveniente do ruído emitido pelo metrô, não considerando o ruído de fundo, pois se considera que o mesmo será reduzido e pode ser observado no mapa de ruído apresentado como exemplo referente ao cenário mais provável NWS 104 dB(A) (Figura 3).



Figura 3 – Mapas de ruído com NWS 104 dB(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 55 dB(A) recomendados pela WHO para proteger a maioria das pessoas de desenvolverem sérios problemas relacionados ao ruído. Alguns dos principais reflexos na saúde frente à exposição a esse nível de ruído são a perda de 70% dos estágios profundos do sono [14] e já representa um quadro 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
Verde	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
Amarelo	65-70	Perda provável da audição
		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
Laranja	70-75	Estresse degradativo
		Aumentam os riscos de derrame cerebral, infecções e osteoporose
		MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR +
Vermelho	70-75	Aumentam os riscos de enfarte, infecções, entre outras doenças sérias
		Ocorrem alterações do sistema auditivo
Vermelho escuro	75-80	MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR +
		Perda de 70% dos estágios profundos do sono
Laranja escuro	80-85	MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR +
		Libera morfina biológica no corpo, provocando prazer - quadro de dependência
Amarelo escuro	85-90	MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR +
		Nível de alerta
Laranja claro	90-95	Saúde será visivelmente afetada
		MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR +
Amarelo claro	90-95	Perda de mais de 70% dos estágios profundos do sono
		Nível de perigo
Laranja muito claro	95-100	MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR +
		Nível de perigo intenso
Amarelo muito claro	100-105	MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR +
		Pode haver perda imediata da audição
Vermelho muito claro	>105	MESMOS EFEITOS DA FAIXA ANTERIOR +
		Pode haver perda permanente da audição

A partir das 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	L_{eq} Final				
		1 ^a		1B	2A	3
		Situação 1	Situação 2			
Valores em dB(A)						
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, localizado dentro de um estabelecimento escolar, o L_{eq} final no cenário 3 (mais provável) supera o nível máximo de 65 dB(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 35 dB(A), atualmente o ruído rodoviário já excede em muito esse valor.

Para um bom sono, o NPS dentro do quarto durante o período em que a pessoa está dormindo, não deve exceder 45 dB(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 com condições acústicas similares a PC acordam mais vezes, têm pior qualidade do sono e possuem sensação de cansaço após despertar. 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	L_{eq} Final				
		1A		1B	2A	3
		Situação 1	Situação 2			
Valores em dB(A)						
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 80 dB(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.

5. Considerações finais

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 6 dB e entre 3 e 4 dB 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.

Ao se relacionarem os parâmetros existentes com a tipologia funcional das edificações, notou-se a desvinculação 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 é completamente inadequada a essa função devido aos seus altíssimos índices sonoros provenientes do tráfego rodoviário, 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 problemas de 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 lineares, 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.

Referências

- [1] ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*, Rio de Janeiro, 2000.
- [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, 1987.
- [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.

Mitigação dos Níveis de Ruído em Escolas

Oliveira Filho, R. H.*; Sousa, M. M.⁺¹; Franco, V. L. D. S.⁺²; Duarte, M. A. V.⁺³; Teodoro, E. B.⁺⁴

* Escola de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, ricardo@eeec.ufg.br

+ Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, mmsousa@mecanica.ufu.br¹; vlfranco@ufu.br²; mvduarte@mecanica.ufu.br³; teodoro@mecanica.ufu.br⁴

Resumo

Para o estudo dos níveis de ruído gerados nas escolas em análise, desenvolveu-se um procedimento de simulação do campo acústico baseado em fontes monopólos para a potência sonora e na teoria de raios acústicos para calcular a difusão sonora. Após a validação do modelo matemático-computacional, realizou-se uma análise de sensibilidade para se definir a ordem de importância das fontes de ruído nos níveis de ruído simulados. Isso foi efetuado desligando-se computacionalmente as fontes estudadas e calculando-se o aumento percentual da área, da região estudada, com valores de L_{Aeq} abaixo de 60, 70 e 80 dB(A) quando comparadas com as áreas percentuais calculadas para as condições normais da planta. Classificadas as fontes por ordem de importância, estudaram-se as possibilidades de tratamentos acústicos que poderiam ser aplicados para fins de controle dos níveis globais de ruído calculados nas dependências das escolas. A seguir foram realizadas simulações dos valores de L_{Aeq} -dB(A) das áreas estudadas para os tratamentos acústicos propostos para fins de análise, com resultados promissores.

Palavras-chave: Acústica de salas, simulação acústica, mitigação de ruídos.

1. Introdução

O primeiro efeito fisiológico de exposição a níveis altos de ruído é a perda de audição na faixa de 4 a 6 kHz, que não é irreversível, podendo ser recuperada, se houver tempo hábil para isto. Se a exposição a elevados níveis de ruído for contínua, a perda temporária de audição pode se tornar permanente, em uma faixa de frequência ainda maior. A perda de audição passa a ser irreversível porque as células nervosas do ouvido interno são danificadas. Os altos índices de ruído provocam vibrações na membrana basal, que provocam o rompimento e as distorções nas células, atrofiando o aparelho auditivo.

Além de danos no sistema auditivo, o ruído provoca outras alterações no homem, comprometendo as atividades físicas e mentais. São conhecidos sérios efeitos como: aumento da pressão arterial e do ritmo da pulsação, estreitamento dos vasos sanguíneos, dores de cabeça, náuseas, vômitos, tremores, insônia, distúrbios respiratórios e outros. Quando a exposição a elevados níveis de ruído continua, seus efeitos no homem são ainda mais sérios: sobrecarga do coração, mudanças de comportamento e dificuldades mentais e emocionais [1].

Segundo Nunes [2], o agente físico ruído é responsável por mais de 80% das concessões de aposentadoria especial, demonstrando que as medidas de controle baseadas em utilização de EPI não são suficientes para

contornar este problema. Com relação à comunidade circunvizinha, a Organização Mundial de Saúde considera o ruído como uma das formas mais graves de agressão ao Homem e ao meio ambiente, sendo que a exposição contínua a níveis de ruído superiores a 65 dB(A) resulta em perda de qualidade de sono, aumento do estresse e riscos de doenças, principalmente cardiovasculares.

A Organização Mundial de Saúde considera que "o estresse auditivo se inicia sob exposições de níveis de ruído de 55 dB" [3]. Acima destes níveis, o excesso de colesterol liberado pelo ruído justifica resultados como os de um recente congresso na Alemanha em que populações, submetidas a níveis entre 65 a 70 dB, tiveram 10% a mais de enfarte e entre 70 e 80 dB, 20%.

Diversos estudos têm alertado a sociedade sobre os problemas resultantes dos altos níveis de ruído nas áreas escolares, resultando em casos extremos de perdas auditivas entre alunos e professores.

Uma das consequências nefastas do efeito do mesmo é sobre a aprendizagem. Bradley e Picard [4] observaram que em escolas normais de ensino fundamental os estudantes conseguem reconhecer 66% das palavras faladas pelos professores, o que torna a situação alarmante. Picard considera como grandes responsáveis pelo nível de ruído os sistemas de ventilação-refrigeração, as conversas dos alunos, o ruído das salas vizinhas e diversas fontes externas. Além das fontes de ruído, os autores salientam que o projeto arquitetônico

das salas desfavorece o tempo de reverberação, o que agrava o problema.

Day [5], num estudo realizado com crianças e jovens de 6 a 19 anos, observou que 15% apresentaram perda de audição, devido a ruído de ventiladores, sistemas de aquecimento e método de ensino utilizado nas aulas.

Com relação aos professores, Jiang [6], demonstrou que 61% dos professores sentem-se desconfortáveis no ambiente escolar, sendo que, entre professores de educação física, este número sobe para 77%. Isto ocorre devido aos níveis de ruído em sala de aula e nos ginásios. Em seu estudo mediu 94,4 dB num ginásio de uma escola elementar, o que ocasionou perda de audição permanente a um professor de 57 anos de idade.

A Acústica Previsional [7] é um conjunto de técnicas utilizado para prognosticar o nível de ruído em um ambiente determinado, destacando-se as técnicas clássicas, a teoria dos raios acústicos e as técnicas de elementos finitos.

Nas técnicas clássicas [8], as fontes de ruído são discretizadas em fontes acústicas do tipo monopólo e o campo de pressão sonora é obtido a partir de expressões empíricas para a difusão do som. Uma excelente revisão bibliográfica sobre as técnicas clássicas pode ser encontrada em Slama e Kortchmar [9].

A teoria dos raios acústicos [10] é baseada na hipótese da superposição do efeito de fontes monopolares, gerando raios acústicos divergentes que são refletidos nas paredes (método das imagens), perdendo energia até atingir o observador. Esta teoria apresenta bons resultados para análise previewal em ambientes abertos.

Nas técnicas de elementos finitos, a região a ser analisada é discretizada em volumes elementares. A pressão sonora nestes elementos é representada por uma função de interpolação e os parâmetros que definem tal função são numericamente obtidos a partir de um princípio variacional. Em seu trabalho, Kroeff [11] explica detalhadamente a modelagem de campos acústicos através de elementos finitos e a teoria dos raios acústicos. Apesar de apresentar excelentes resultados para ambientes fechados e abertos, a técnica de elementos finitos tem como principal problema a exigência de que as dimensões básicas do volume elementar sejam menores do que um décimo do comprimento da onda acústica analisada, o que a limita para regiões pequenas e ruído de baixa frequência.

Do exposto, e considerando as dimensões e afastamentos envolvidos, optou-se por utilizar, neste trabalho, uma técnica clássica de análise previewal baseada na equação de difusão de Thompson [9], sendo a técnica dos elementos finitos utilizada para modelar a eficiência de soluções acústicas específicas.

2. Metodologia

Para o estudo dos níveis de ruído gerados nas escolas em análise, desenvolveu-se um procedimento de simulação do campo acústico baseado em fontes monopólos para a potência sonora e na teoria de raios acústicos para calcular a difusão sonora.

Após a validação do modelo matemático-computacional, utilizando os níveis de L_{Aeq} -dB(A) de alguns pontos de referência, realizou-se uma análise de sensibilidade para se definir a ordem de importância das fontes de ruído (alunos nas quadras e carros nas ruas) nos níveis de ruído simulado. Isso foi efetuado desligando-se computacionalmente as fontes estudadas e calculando-se o aumento percentual da área, da região estudada, com valores de L_{Aeq} abaixo de 60, 70 e 80 dB(A) quando comparadas com as áreas percentuais calculadas para as condições normais da planta.

Classificadas as fontes por ordem de importância, estudaram-se as possibilidades de tratamentos acústicos que poderiam ser aplicados (barreiras acústicas e atenuadores de ruído) em cada local para fins de controle dos níveis globais de ruído calculados nas dependências das escolas.

A seguir foram realizadas simulações dos valores de L_{Aeq} (dB(A)) das áreas estudadas para os tratamentos acústicos propostos para fins de análise.

2.1 Procedimento de Simulação

O modelo utilizado é a teoria de raios acústicos, cujos resultados são válidos a partir da frequência de Schroeder dada pela Equação 1, onde T é o tempo de reverberação em segundos e V é o volume da sala em metros cúbicos.

$$f_c = 2000\sqrt{T/V} \quad (1)$$

Exemplificando, a frequência de Schroeder para uma sala de $10 \times 5 \times 2,8$ m³ com um coeficiente de absorção médio de 10% é de aproximadamente 190 Hz. Isto indica que na banda de 63 a 8000 Hz não haverá problemas na utilização da teoria em grandes galpões, (como quadras poliesportivas) os quais são caracterizados por grandes dimensões, que é o enfoque deste trabalho. A limitação em aproximadamente 190 Hz para as salas de aula não representa problema, uma vez que as fontes de ruído estudadas não tinham componentes significantes nas bandas centradas entre 63 a 500 Hz.

Dois problemas surgem quando da utilização da teoria de “ray-tracing” em grandes ambientes fechados, os quais são: proximidade de teto e piso e respectivos baixos coeficientes de absorção acústica e número excessivo de barreiras acústicas representadas por mobiliário, salas e regiões de estoque temporário de produtos.

O primeiro problema implica num grande número de reflexões de raios acústicos, o que penaliza sobremaneira a eficiência do procedimento computacional.

O problema das barreiras ainda é pior, visto que para cada raio acústico é necessária uma infinidade de cálculos envolvendo existência ou não de barreiras e se houver, as perdas de transmissão equivalentes das mesmas.

As hipóteses básicas assumidas neste trabalho para a propagação do som em ambientes internos são:

- As leis da acústica geométrica são válidas;
- Não são considerados os fenômenos de onda;
- As superfícies são planas e refletem um espectro de energia sonora similar a um plano infinito;
- Qualquer superfície absorve a energia sonora de acordo com seus coeficientes de absorção;
- Ruído é tratado em função da energia e não em função da pressão;
- As energias podem ser diretamente somadas e não há efeitos de fase.

2.2 Enclausuramento Parcial por Barreiras

A utilização de barreiras é uma maneira prática de proteger um observador de um campo de ruído direto por outra fonte de ruído adjacente. A presença de barreira bloqueia a linha reta de visão entre a fonte e o receptor, causando atenuação por difração. A zona de sombra acústica é maior para barreiras altas e em altas frequências.

Para a avaliação da efetividade da colocação de uma barreira neste trabalho, basta entrar com os parâmetros dimensionais e acústicos da barreira no banco de dados, uma vez que o procedimento computacional utilizado prevê a existência de barreiras.

3 Modelagem

Para iniciar o procedimento de simulação dos níveis de ruído nas escolas, foi necessário o desenvolvimento de modelos acústicos tridimensionais que podem ser observados nas Figuras 1 e 2.

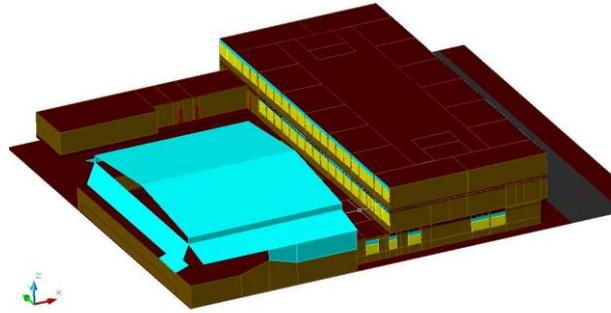


Figura 1: Modelo acústico tridimensional da escola A.

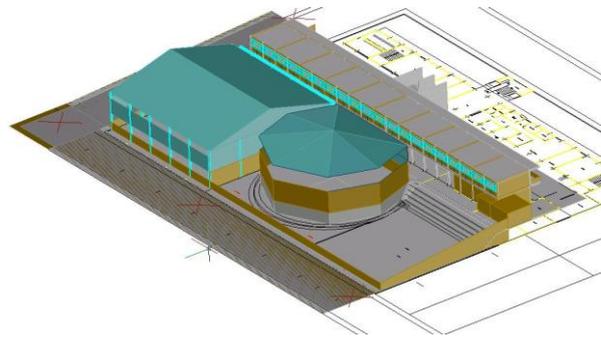


Figura 2: Modelo acústico tridimensional da escola B.

3.1 Validações dos Modelos Acústicos

Para a mitigação dos níveis de ruído nas escolas, optou-se por utilizar como parâmetro de ajuste para a Escola A o turno da manhã, e na Escola B o turno da tarde, por apresentarem os maiores níveis de ruído nas quadras e na rua. Nas Figuras 3 e 4 são mostradas as curvas de isopressão sonora (L_{Aeq} -dB(A)) estimadas a partir das medições de L_{Aeq} (1 minuto). As áreas em cinza indicam regiões sem medições para interpolação, para as curvas geradas a partir de dados medidos.

Tomando como base os maiores níveis de pressão sonora encontrados no mapeamento das escolas, foram estimados os níveis de potência sonora para simulações das possíveis fontes de ruído nas áreas.

Como fontes de ruído, foram consideradas:

- Alunos praticando educação física nas quadras;
- Salas de aula com alunos conversando;
- Alguns veículos passando pelas ruas.

Com os valores de L_{eq} medidos, e a posição estatística das fontes de ruído, um procedimento baseado em otimização via algoritmos genéticos foi utilizado para a estimativa dos níveis de potência sonora das fontes pontuais [12].

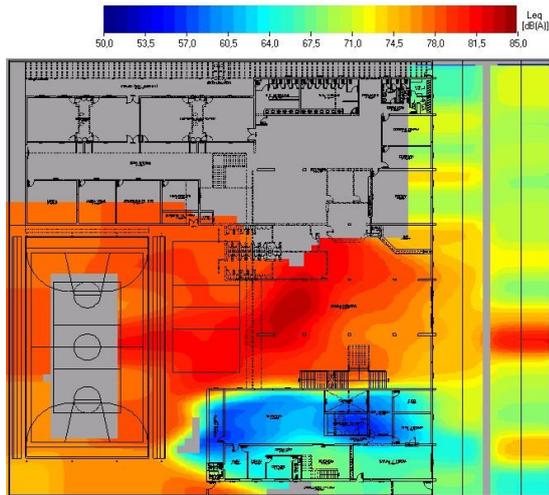


Figura 3 – Curvas de isopressão sonora medidas na escola A no período da manhã.

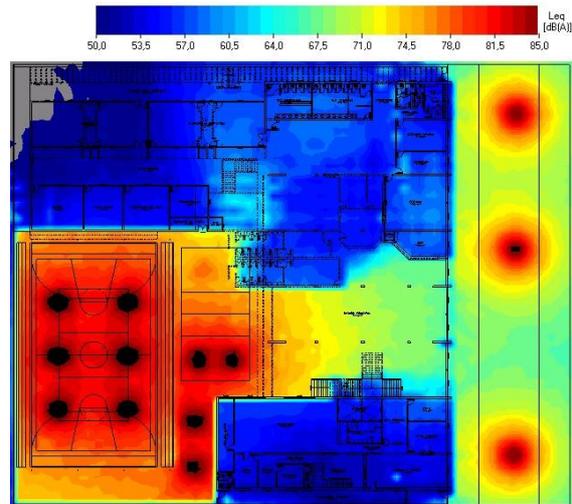


Figura 5: Curvas de isopressão sonora simuladas na escola A, no nível térreo.

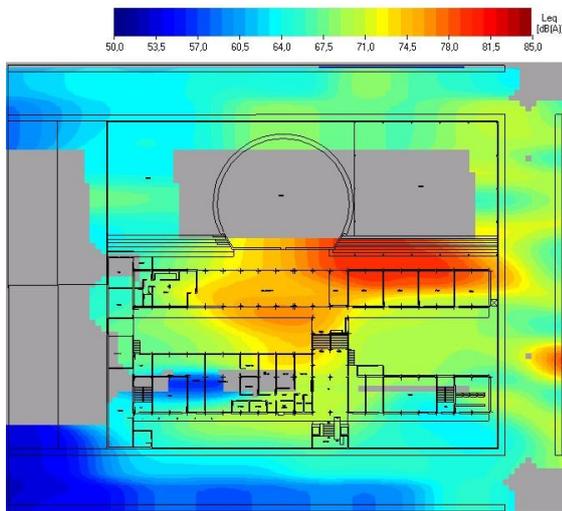


Figura 4: Curvas de isopressão sonora medidas na escola B no período da tarde.

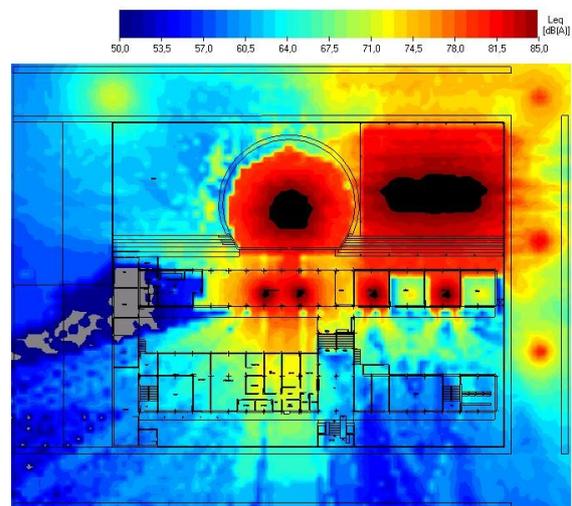


Figura 6: Curvas de isopressão sonora simuladas na escola B, no nível térreo.

Nas Figuras 5 e 6 são mostradas as curvas de isopressão sonora, L_{Aeq} -dB(A), geradas a partir dos níveis de potência sonora simulados para a escola A considerando o nível térreo. As regiões em preto indicam níveis de ruído superiores a 85 dB(A), sendo desconsideradas na comparação com o mapeamento e as regiões em cinza indicam níveis de ruído inferiores a 50 dB(A).

Comparando-se a Figura 3 com a 5 e a 4 com a 6, notoriamente elas não são iguais. Os pontos de NPS elevados representam as fontes de ruído, sendo então necessário realizar a comparação em pontos de controle, tais como corredores, passarelas e pátios, onde não seja constatada a presença de fontes.

Da análise das figuras, observa-se uma boa correlação entre os valores simulados e medidos, com uma diferença máxima de 2 dB(A) para pontos de controle.

É esperado que os valores simulados máximos sejam superiores aos medidos, uma vez que a malha da simulação é espaçada de 1 metro, enquanto a de medição tem um espaçamento médio de 3 metros, não sendo realizadas medições a distâncias inferiores do que 2 metros das fontes. Consequentemente, o efeito dos valores de níveis de pressão sonora nas proximidades das fontes de ruído não é levado em conta no procedimento de mapeamento.

3.2 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade consiste em desligar, computacionalmente, as fontes de interesse e analisar os

histogramas acumulados do ruído gerado pelas outras fontes, verificando quais resultam nos maiores aumentos da área percentual abaixo de 60, 70 e 80 dB(A). Os resultados desta análise para as Escolas A e B estão mostrados nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1: Análise de sensibilidade para a escola A.

Fontes de ruído analisadas	Porcentagem de área com níveis de ruído abaixo de:		
	60 dB(A)	70 dB(A)	80 dB(A)
Simulação com todas as fontes ligadas	44,7%	68,0%	95,0%
Simulação sem as salas de aula ruidosas	45,2%	68,0%	96,0%
Simulação sem atividade de educação física nas quadras	78,1%	94,0%	99,0%
Simulação sem trânsito nas ruas	66,6%	73,0%	96,0%

Comparando os resultados da Tabela 1, observa-se que a principal causa dos elevados níveis de ruído na Escola A são as atividades de aulas de educação física nas quadras, seguido pelo ruído oriundo do trânsito de veículos.

Com relação ao ruído proveniente da conversa dos alunos nas salas de aula, apesar dos elevados valores de NPS encontrados (variando de 78 a 90 dB(A)), não há como simular algum tipo de tratamento acústico, sendo a solução lógica, os alunos permanecerem em silêncio durante as aulas.

Desta forma, para a Escola A, serão apresentadas soluções para sanar o problema do ruído proveniente das quadras e das ruas.

Tabela 2: Análise de sensibilidade para a escola B.

Fontes de ruído analisadas	Porcentagem de área com níveis de ruído abaixo de:		
	60 dB(A)	70 dB(A)	80 dB(A)
Simulação com todas as fontes ligadas	46,7%	74,0%	95,0%
Simulação sem as salas de aula ruidosas	66,0%	94,0%	99,0%
Simulação sem atividade de educação física nas quadras	50,0%	76,0%	87,0%
Simulação sem trânsito nas ruas	50,0%	75,0%	93,0%

Comparando os resultados da Tabela 2, observa-se que a principal causa dos elevados níveis de ruído na Escola B são as atividades de práticas de educação física nas quadras, seguido pelo trânsito e pela concentração de estudantes na cantina.

Foi realizada uma análise da influência do ruído de trânsito de veículos no interior da Escola B. Apesar dos altos níveis encontrados nas calçadas ao redor da escola, 74 dB(A), no interior da escola tais níveis não passam

de 64 dB(A) nos pátios e quadras e de 55 dB(A) no interior das salas de aula.

Na região da cantina, onde foram encontrados altos NPS (78 dB(A)) devido à presença de alunos em horários que faltam professores, não será avaliada nenhuma solução para a mitigação do ruído na área, uma vez que tal influência desaparecerá pela simples proibição da permanência de alunos fora das salas de aula quando faltarem professores.

Desta forma, para a Escola B, somente serão apresentadas soluções para sanar o problema do ruído proveniente das quadras.

4. Resultados das Simulações

4.1 Escola A

Após a validação dos modelos acústicos e análise de sensibilidade, passou-se à fase de estudos para a mitigação dos níveis de ruído na área.

Analisando o layout das quadras, a simples construção de paredes ao seu redor solucionaria o problema, contudo tal medida afetaria a ventilação local. Desta forma, optou-se por adotar a instalação de painéis defletores (venezianas acústicas) na seguinte configuração:

Montagem horizontal, com lâminas com $b = 0,10$ m de largura e espaçadas de $h = 0,05$ m, com inclinação de 40 graus, instalados entre as quadras e as salas de aula e entre as salas de aula e a rua.

Estes painéis foram escolhidos para simulação por serem de fácil localização no mercado brasileiro e também de fácil implantação. A Figura 7 ilustra o modelo de construção de tais painéis.

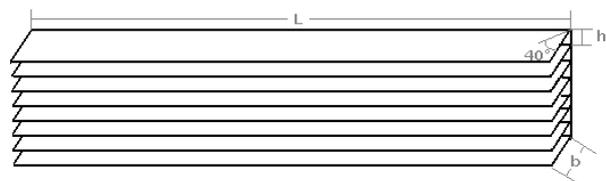


Figura 7: Layout dos painéis defletores utilizados nas simulações.

As dimensões dos painéis utilizados nesta configuração são:

- Na fachada da escola, a 0,5 m das janelas, em uma extensão (L) de 55,4 m foram instalados 67 lâminas no primeiro andar e mais 67 lâminas no segundo andar;
- Entre as salas de aula e as quadras poliesportivas, a 0,9 metros de distância das janelas, presos às colunas e à marquise, foram instalados 67 lâminas e uma extensão (L) de 55,4 m no segundo andar e 60 lâminas e uma extensão (L) de 42,6 m no primeiro andar.

A Figura 8 ilustra o modelo tridimensional da escola

com os painéis instalados (os painéis estão destacados por linhas vermelhas).

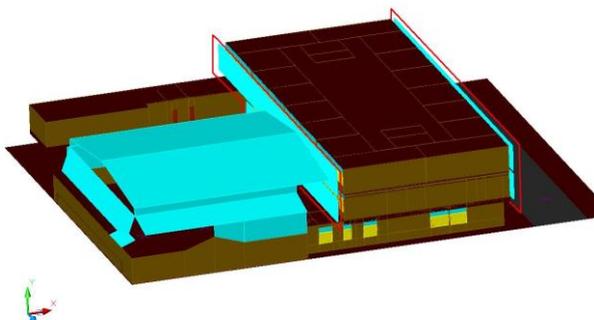


Figura 8: Modelo tridimensional da Escola A com os painéis instalados.

Nas Figuras 9 e 10 estão mostradas as curvas de isopressão sonora simuladas, L_{Aeq} -dB(A), para a Escola A no primeiro andar, para a situação atual simulada e para o tratamento proposto, respectivamente.

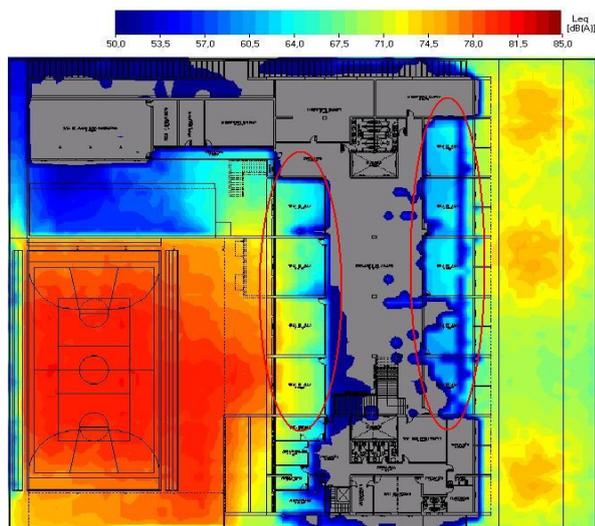


Figura 9: Curvas de isopressão sonora simuladas sem tratamento acústico, para a Escola A no primeiro andar.

Pela análise das Figuras 9 e 10 é constatada a eficiência do tratamento sugerido pelas áreas demarcadas (salas de aula sujeitas a ruído excessivo advindo do exterior). O ruído proveniente das quadras poliesportivas e do trânsito é atenuado, não atingindo com a mesma intensidade as salas de aula, tanto no primeiro quanto no segundo andar. O ruído das quadras é atenuado em cerca de 18 dB(A) antes de atingir o interior das salas de aula, sendo o valor residual máximo, encontrado nas salas de aula para a simulação do tratamento, da ordem de 64 dB(A).

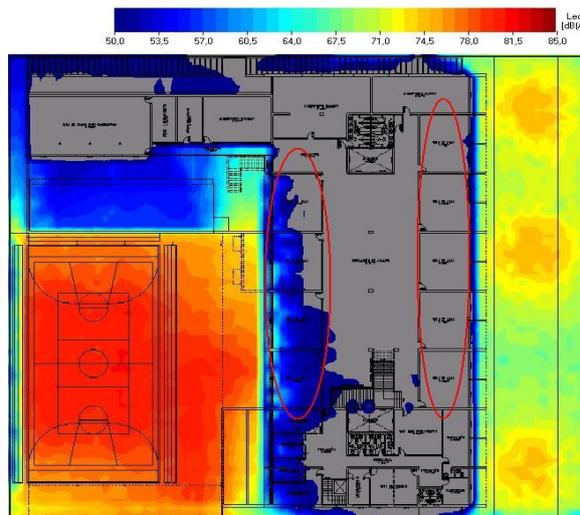


Figura 10: Curvas de isopressão sonora simuladas com tratamento acústico, para a Escola A no primeiro andar.

4.2 Escola B

Serão adotados aqui os mesmos painéis defletores propostos para o tratamento acústico na Escola A.

A configuração de montagem escolhida foi na horizontal, sendo os painéis instalados entre as quadras e salas de aula. As dimensões dos painéis utilizados para os respectivos locais de instalação são:

- Entrada da quadra central a uma distância de 1,2 m da entrada, em uma extensão de $L = 3,9$ m e altura de 2,75 m, onde foram instaladas 46 lâminas;
- Entre as salas de aula e a quadra de futsal coberta: imediatamente na entrada, preso às colunas de sustentação do teto, em uma extensão de $L = 24,6$ m, onde foram instaladas 93 lâminas.

Para ter acesso à quadra de futsal coberta, foi considerada uma abertura de 1,2 m em um dos lados da quadra. Tal abertura não atrapalhará na eficiência do tratamento, já que em frente a ela não existem salas de aula, mas sim um corredor.

A Figura 11 ilustra o modelo tridimensional da escola com os painéis instalados.

Nas Figuras 12 e 13 estão mostradas as curvas de isopressão sonora simuladas, L_{Aeq} -dB(A), para a Escola B no nível térreo, para a situação atual simulada e para o tratamento proposto, respectivamente.

Pela análise das Figuras 12 e 13 é constatada a eficiência do tratamento pelas áreas demarcadas. O ruído proveniente da quadra central é atenuado, não atingindo a área da cantina. Já o ruído da quadra de futsal coberta é atenuado em cerca de 20 dB(A) antes de atingir o prédio das salas de aula, sendo que o valor residual máximo encontrado nas salas de aula para a

simulação do tratamento foi da ordem de 53 dB(A).

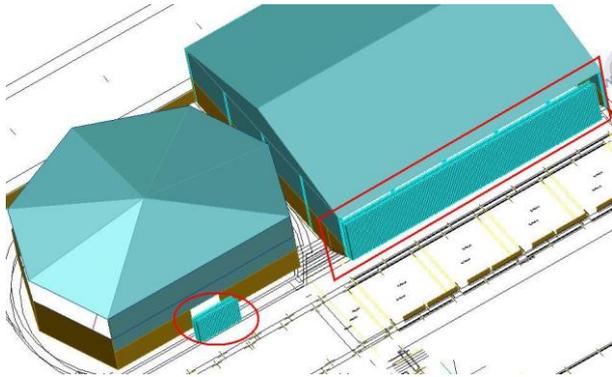


Figura 11: Modelo tridimensional da Escola B com os painéis acústicos instalados.

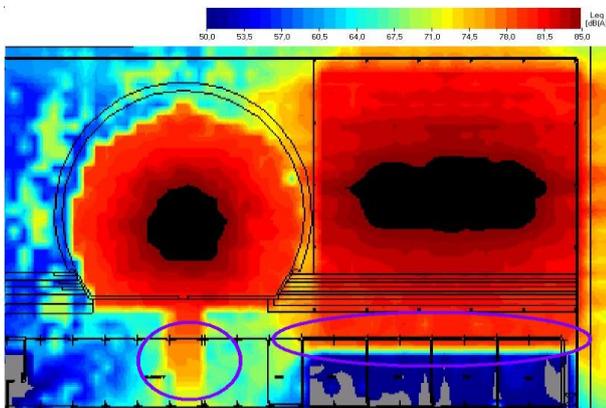


Figura 12: Curvas de isopressão sonora simuladas sem tratamento acústico para a Escola B no nível térreo.

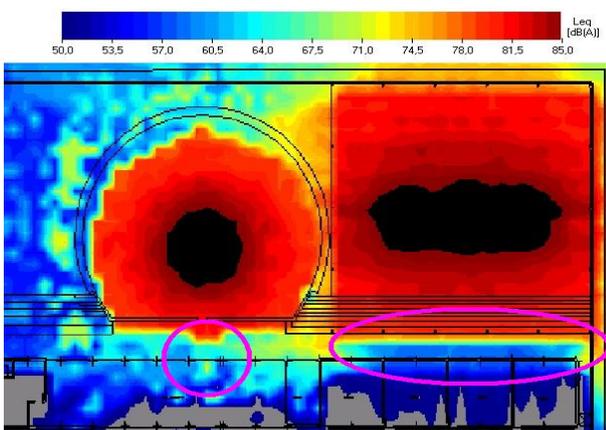


Figura 13: Curvas de isopressão sonora simuladas com tratamento acústico para a Escola B no nível térreo.

5 Conclusões

5.1 Escola A

A1 - Dos resultados das simulações, constatou-se que a principal causa dos elevados níveis de ruído na Escola A são as atividades de aulas de educação física nas

quadras, seguido pelo trânsito de veículos nas ruas do entorno e praça em frente à escola.

A2 - Não foi avaliada nenhuma solução para a mitigação do ruído proveniente das salas de aula, uma vez que tal problema pode ser sanado pela adoção de controle comportamental dos alunos pelos professores durante o horário de aula.

A3 - Analisando o layout das quadras, a simples construção de paredes ao redor do pátio onde elas se encontram solucionaria o problema do ruído gerado pelas atividades de educação física, contudo tal medida afetaria a ventilação local.

A4 - Para a mitigação dos altos níveis de ruído provenientes das quadras poliesportivas e do trânsito de veículos na rua, optou-se por adotar a instalação de painéis defletores entre as quadras e salas de aula e entre a rua e as salas de aula.

A5 - Com a instalação dos painéis defletores, o ruído das quadras poliesportivas foi atenuado em cerca de 18 dB(A) antes de atingir as salas de aula, sendo o valor residual máximo encontrado no interior das salas de aula para a simulação do tratamento de 64 dB(A).

A6 - O ruído do trânsito também teve sua influência praticamente eliminada, tornando o ambiente propício às aulas (quando não levado em consideração o ruído proveniente da conversa dos alunos).

A7 - Recomenda-se que tal solução seja aplicada em toda a extensão aberta entre as janelas das salas de aula e o ambiente externo ao prédio da escola, inclusive nas janelas da parte administrativa, adjacentes ao pátio do térreo.

A8 - Caso seja de interesse a atenuação do ruído das quadras para a vizinhança da escola, é recomendado substituir as chapas de metal que cercam o pátio das quadras pelos painéis defletores, que se mostraram eficazes na atenuação do ruído gerado pelas atividades desportivas.

5.2 Escola B

B1 - Dos resultados das simulações, constatou-se que a principal causa dos elevados níveis de ruído na Escola B são as atividades de educação física nas quadras, seguido pelo trânsito e concentração de estudantes na cantina.

B2 - Apesar dos altos níveis de ruído encontrados nas calçadas ao redor da escola, 74 dB(A), no interior da escola tais níveis não passam de 64 dB(A) nos pátios e quadras e de 55 dB(A) no interior das salas de aula.

B3 - Não foi avaliada nenhuma solução para a mitigação do ruído na região da cantina, uma vez que tal problema pode ser sanado pela simples proibição da permanência de alunos fora das salas de aula quando faltarem professores.

B4 - Para a mitigação dos altos níveis de ruído provenientes das quadras poliesportivas optou-se por adotar a instalação de painéis defletores (venezianas acústicas de aço) entre as quadras e salas de aula e na entrada da quadra central.

B5 - Com a instalação dos painéis defletores, o ruído proveniente da quadra central foi atenuado, não atingindo a área da cantina.

B6 - Com a instalação dos painéis defletores, o ruído da quadra de futsal coberta foi atenuado em cerca de 20 dB(A) antes de atingir as salas de aula, sendo o valor residual máximo encontrado no interior das salas de aula para a simulação do tratamento de 53 dB(A).

B7 - Recomenda-se que tal solução seja aplicada em toda a extensão aberta ao redor das quadras e, se possível, substituir as chapas de metal planas pelas venezianas acústicas, visando atenuar assim a exposição da comunidade aos níveis de ruído provenientes das atividades de educação física.

5.3 Conclusões Gerais

C1 - O programa computacional conseguiu prever as características do ambiente, bem como as modificações acústicas propostas para a mitigação de ruído em salas de aulas nas escolas.

C2 - Com a simulação se torna possível, antes da efetiva implementação da solução, a sua verificação através do programa computacional.

C3 - Várias possíveis soluções podem ser simuladas e se escolher dentre elas a de melhor desempenho tecnicamente.

C4 - Com a identificando da potência sonora de novas fontes é possível simular os novos campos sonoros no entorno da escola, e salas de aulas.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro dado pela FAPEMIG – Processo N.º TEC 1949/06, Ref: Projeto “Avaliação das condições acústicas em sala de aula nas escolas da cidade de Uberlândia-MG”.

Referências

- [1] Bistafa, S. R.: *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído*. 1º Ed., 368 p., Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 2006.
- [2] Nunes, M. A.: *Uma Metodologia para Quantificação da Contribuição Sonora de Fontes de Ruído Industrial no Meio Ambiente*. Dissertação de Mestrado, 153 p. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2006.
- [3] Machado, A. M.: *Ruído Industrial: Efeitos e Controle*. Monografia do curso de Segurança do Trabalho, Uberlândia-MG, 2006.
- [4] Bradley, J. S.; Picard, M., Revisiting Speech Interference by Noise in Classrooms and Considering Some Possible Solutions. *In: 133rd ASA Meeting State College, PA, 1997.*
- [5] Day, C. W.: *Sounding Off*. AS&U's Tech Talk column. KBD Planning Group, Bloomington. 1996.
- [6] Jiang, T.: Noise in Gymnasium of the school. *In 133rd ASA/ NOISE COM-97 Meeting*. State College, Pennsylvania. 1997.
- [7] Gerges, S. N. Y.: *Ruído: fundamentos e controle*. 2.ed, Florianópolis, 2000.
- [8] Keränen, J.; Hongisto, V.: Comparison of Simple Room Acoustic Models Used for Industrial Spaces. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 96, Number 1, pp. 179-194, January/February 2010.
- [9] Slama, J. G.; Kortchmar, L.: Exposição ao Ruído em Ambientes de Trabalho: Panorama Internacional. *In: 1º Simpósio Brasileiro de Metrologia em Acústica e Vibrações, XVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*. Petrópolis RJ. p. 191-194, 1996.
- [10] Svensson, P.: *The Early History of Ray Tracing in Room Acoustics*. Edited by Peter Svensson Trondheim, June 2008.
- [11] Kroeff, G.; Pavanello, L.; Medeiros, E. B.: Preliminary Modeling Of Acoustic Emission In An Urban Substation. *In: Congresso Ibero-Latino Americano de Métodos Computacionais para Engenharia*. Brasília, 1997.
- [12] Nunes, M. A. A.; Duarte, M. A. V.. Identification of Noise Sources Using Genetic Algorithm. *In: Inter-noise 2005*, Rio de Janeiro, 2005.

Simulações e medições acústicas de uma cavidade adotada como referência em estudos vibro-acústicos

Gomes, M.H.A.*; Tourinho, A.M.C.+; Oliveira, A.B.S.*

*Faculdade do Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF, marcioavelar@unb.br

+Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF

Resumo

Este artigo descreve estudos iniciais feitos com a réplica de uma construção usada como referência para estudos comparativos promovidos por várias instituições. Tal construção foi idealizada e usada em estudos recentes, desenvolvidos pelo “Institute of Technical Acoustics” (Aachen, Alemanha), Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade de São Paulo e é constituída por uma cavidade acústica “retangular”, com paredes rígidas e um tampo flexível, simplesmente apoiado sobre fitas resilientes ao longo de seu perímetro. Uma técnica de deconvolução foi implementada no programa Labview para a realização de medições de Respostas Impulsivas/Funções de Transferência. Medições acústicas foram realizadas com a configuração básica da construção, bem como após alterar o tipo de fita resiliente e substituir o tampo flexível por uma superfície rígida. Os resultados foram comparados com uma solução analítica da equação de onda para uma sala “retangular” com paredes rígidas e simulações acústicas realizadas através do Método de Traçado de Raios.

Palavras-chave: Acústica de salas, Técnicas de medição em acústica, Traçado de Raios.

1. Introdução

Durante a década de 1980, boa parte da atenção da comunidade científica na área de acústica era relacionada ao desenvolvimento de métodos e técnicas de avaliação baseados em computadores, seja através de medições ou simulações. Técnicas capazes de medir Respostas Impulsivas com faixas dinâmicas de 50 dB eram reportadas e celebradas como grandes feitos. A Técnica da Correlação (MLS, de “Maximum Length Sequence”) que usa sequências de comprimento máximo como sinal de excitação foi desenvolvida, muito discutida e tornou-se parte de procedimentos padronizados. Na época, uma vantagem anunciada seria a possibilidade de realizar medições, por exemplo, em salas de concerto ocupadas, devido à alta imunidade ao ruído. No Brasil, temas como este foram abordados na década seguinte, em trabalhos tais como [1] e [2].

Na mesma época, esforços eram feitos para aprimorar algoritmos de simulação, especialmente aqueles baseados em modelos geométricos de propagação sonora. Nesse caso, produção nacional significativa pode ser verificada, por exemplo, na referência [3].

O principal objetivo naquele momento era diminuir a incerteza da medição ou previsão de parâmetros acústicos, tal como o Tempo de Reverberação.

Com a crescente capacidade computacional e o desenvolvimento de técnicas de processamento de sinais, outro assunto ganhou interesse durante a década de 1990: a Auralização – uma idéia relativamente antiga, mas inviável até então. A partir daí, além de

desenvolver tecnologias capazes de medir ou prever parâmetros acústicos com maior precisão, novos tipos de problemas se desenharam no horizonte de cientistas e pesquisadores. Em uma situação cotidiana, seria possível um consultor em acústica apresentar a seu cliente, não apenas números, gráficos e descrições vagas sobre a acústica de um lugar ainda inexistente, mas também proporcionar uma amostra audível de seu projeto. Com relação a este tema, alguns grupos nacionais reportaram seus avanços em artigos relativamente recentes [4,5].

Atualmente, com o recente avanço em áreas ligadas à realidade virtual, o processo de auralização deve ocorrer em “tempo real” e nem sempre o objetivo é que o som percebido reproduza fielmente uma situação real, mas é definitivamente importante que ele soe “realista”. Isso envolve vários aspectos, ligados, por exemplo, à forma de reprodução. Neste cenário, efeitos cruzados entre vários sentidos (tato, visão, audição, olfato) passam a ter importância maior e, em contrapartida, a capacidade tecnológica para estudá-los é maior.

De forma concomitante ao desenvolvimento de áreas ligadas à realidade virtual, o tema “Auralização” ganhou novas dimensões. Se de início o objetivo era aplicá-la apenas na acústica de salas, vários esforços têm sido dedicados para viabilizá-la em sistemas mais complexos, tais como edifícios inteiros ou veículos, abarcando também problemas de transmissão. O objetivo é viabilizar, por exemplo, a avaliação da qualidade sonora de um automóvel a partir de possíveis combinações de peças. Neste contexto, o conhecimento

das Funções de Transferência, do acoplamento entre diferentes subsistemas e dos diferentes caminhos de transmissão é fundamental. Várias dessas idéias são abordadas em diversas publicações, especialmente em [6].

Medições precisas e com alta relação sinal-ruído são essenciais para a o processo de auralização quando os subsistemas (todos ou alguns – mecânicos ou acústicos) devem ser descritos por Funções de Transferências medidas. Alguns grupos têm reportado, atualmente, medições de Respostas Impulsivas de sistemas acústicos com relação sinal-ruído entre 90 e 100 dB.

Com a motivação de realizar medições com essa qualidade, foi implementada uma técnica de deconvolução que usa uma varredura senoidal (“Sine Sweep”) como sinal de excitação. Segundo [7], esta técnica é comprovadamente vantajosa em uma série de situações. Ressalta-se, entretanto, que ainda podem haver casos onde a técnica da correlação pode ser melhor, tal como na medição do coeficiente de espalhamento sonoro devido à incidência aleatória – a ser melhor investigado.

Fonseca et al [8] e Dietrich et al. [9] descrevem a construção de uma pequena cavidade usada como plataforma conceitual em estudos vibro-acústicos, visando o desenvolvimento do processo de auralização de sistemas compostos. Nestes artigos são apresentados estudos comparativos entre medições realizadas no Institute of Technical Acoustics (Aachen, Alemanha), Universidade Federal de Santa Catarina e Universidade de São Paulo.

A construção de uma réplica da cavidade utilizada por estas instituições nos referidos estudos é descrita no presente artigo. Consequências de pequenas alterações construtivas aplicadas na cavidade foram investigadas com o sistema de medição desenvolvido. A análise desses resultados proporciona informações importantes sobre o sistema de medição, visto que aqueles obtidos por grupos de outras instituições estão disponíveis, e também sobre fontes de erros experimentais que podem se manifestar nos estudos comparativos.

Além disso, os resultados foram comparados à solução analítica da equação de onda para uma sala retangular com paredes rígidas, como apresentada em [10], e com simulações computacionais realizadas com o método do Traçado de Raios. Nesse último caso, a intenção é avaliar a precisão do método de simulação (e de nossa implementação), procurando identificar suas limitações.

A construção da cavidade e de um sistema de medição permitirá alunos de graduação e pós-graduação a aprofundarem seus estudos em acústica, comprovando, na prática conhecimentos já consolidados e estimulando a observação crítica e consciente.

2. Objetivos

Os principais objetivos do trabalho aqui apresentado são:

- construir um sistema capaz de medir Respostas Impulsivas/Funções de Transferência de alta qualidade;
- avaliar diferenças no comportamento acústico da cavidade causado por pequenas variações construtivas;
- avaliar a precisão de métodos para a previsão do comportamento acústico de salas.

3. Técnica de medição

Medições acústicas são geralmente realizadas sob a hipótese de que o sistema a ser medido é linear e invariante no tempo. Neste caso seu comportamento pode ser descrito por completo pela resposta impulsiva (RI), ou pela função de transferência do sistema.

Os diferentes métodos para medir RIs seguem o mesmo princípio básico. Primeiramente um sinal de excitação é enviado ao sistema. Sua resposta é então capturada e de alguma forma comparada com o sinal de entrada original [7]. As medições obtidas neste trabalho foram realizadas usando uma implementação no LabVIEW para obter RIs por meio de uma técnica de deconvolução com varreduras de seno não-periódicas como sinal de excitação. Tal procedimento é descrito por [7], que indica que esta técnica oferece a vantagem de separar os componentes de distorção da resposta, assim como a de fornecer respostas com melhor relação sinal-ruído em relação a outras técnicas ou outros sinais de excitação, como ruído ou seqüências de comprimento máximo.

4. Solução analítica para sala retangular com paredes rígidas

Soluções analíticas para a equação de onda em salas são conhecidas apenas para geometrias muito simples e condições específicas relativas às impedâncias das paredes. Apesar dessas limitações, elas são importantes para compreender melhor o comportamento das ondas sonoras em espaços fechados, como explicado em [10].

Considerando uma sala “retangular” (na verdade, em forma de um paralelepípedo) com paredes rígidas e assumindo que as constantes de atenuação dos modos são muito menores do que as frequências naturais, a Função de Transferência entre uma fonte sonora e um receptor, em função da frequência angular (ω), é dada por (como demonstrado em [10]):

$$p_{\omega}(\mathbf{r}, \omega) = \rho_0 c^2 \omega Q \sum_n \frac{p_n(\mathbf{r}) p_n(\mathbf{r}_0)}{[2 \delta_n \omega_n + i(\omega^2 - \omega_n^2)] K_n} \quad (1)$$

sendo ρ_0 a densidade do meio de propagação, c a velocidade do som, ω_n a frequência angular relativa ao

n -ésimo modo e P_n a pressão sonora relativa ao n -ésimo modo, avaliada na posição da fonte sonora e do receptor (descritas pelos vetores r_0 e r , respectivamente).

Para os cálculos realizados neste trabalho, a velocidade de volume (Q), as constantes K_n e os fatores de amortecimento δ_n foram considerados valores unitários. O somatório mostrado na eq.(1) foi truncado e os primeiros 63 modos foram considerados.

5. Método de simulação: Traçado de Raios

O método do Traçado de Raios é um dos algoritmos mais simples, usado não apenas para a modelagem de propagação sonora, mas também de energia eletromagnética. Em qualquer caso, parte-se da hipótese de que uma frente de onda pode ser simplificada por um feixe de partículas (ou raios), que podem ser rastreadas e seguem leis geométricas fundamentais. Alguns fenômenos, tais como difração e reflexões difusas, inerentes a métodos baseados na ondulatória, podem ser levados em conta através da incorporação de modelos específicos.

Nas implementações tradicionais do método do Traçado de Raios (veja [11] para uma referência pioneira), informações relacionadas à fase são negligenciadas e, dessa forma, a interferência de ondas não é considerada. Tampouco é possível prever ondas estacionárias ou modos de uma sala. Apesar do método tradicional ter se mostrado útil e preciso em várias situações, implementações recentes onde a fase é incorporada têm sido reportadas [12,13].

Para o presente trabalho, o método do Traçado de Raios tradicional, similar ao algoritmo publicado em [14], foi implementado. Existem, no entanto algumas particularidades relativas aos modelos de fonte sonora, receptor e reflexão.

A fonte sonora é determinística, baseada na subdivisão geodésica de um icosaedro regular, conforme descrito em [4] e [15], e não estocástica. O receptor não é esférico, mas sim uma área circular perpendicular à partícula incidente, o que produz um resultado em termos de intensidade sonora, como explicado em [4].

Um modelo simples para a reflexão sonora, capaz de levar em conta o efeito de reflexões difusas, foi adotado. Nesse caso, quando uma partícula encontra uma superfície refletora, um número aleatório entre 0 e 1 é gerado. Caso esse número seja menor do que o coeficiente de espalhamento da superfície, a partícula é refletida em uma direção aleatória. Caso contrário, a reflexão é especular. Maiores detalhes sobre essa implementação são apresentadas em [5].

A partir de simulações realizadas com essa implementação foi possível obter uma aproximação para Respostas Impulsivas, curvas de decaimento, de acordo

com [16], e parâmetros usados para avaliar a acústica de ambientes, tais como: Tempos de Decaimento Inicial (EDT, de “Early Decay Time”), Tempo de Reverberação, Definição (D) e Fator de Clareza (C_{80}). As simulações foram realizadas não somente para situações acima da frequência de Schroeder, mas também para frequências mais baixas, quando o comprimento de onda é maior do que as dimensões da cavidade.

6. Montagem experimental

6.1. Caixa acústica e sistema de medição

Foi desenvolvida para este trabalho uma fonte sonora cúbica com seis alto-falantes (Figura 1), como uma aproximação da fonte relatada por [8]. Os alto-falantes têm diâmetro de 2 polegadas e potência de 10 W. Cada um possui impedância nominal igual a 8 ohms e foram ligados de tal forma que a impedância da fonte fosse próxima a 4 ohms. As arestas externas do cubo têm dimensão de 100 mm. A fonte recebia o sinal de excitação por meio de um amplificador com 100 W de potência e impedância de 4 ohms.

Um microfone de medição de ½ polegada foi utilizado ligado a um pré-amplificador e a uma fonte de energia. Como conversor AD/DA foi usada a placa de áudio Edirol UA-25EX, trabalhando com uma taxa de amostragem igual a 44,1 kHz e com 16 bits de resolução de amplitude.



Figura 1: Caixa acústica cúbica (com arestas de 100 mm).

6.2 Cavidades

A caixa retangular tem 0,3 m de altura, 0,5 m de largura e comprimento igual a 0,8 m. Cinco paredes da caixa são feitas de MDF com 25 mm de espessura, diferindo das caixas apresentadas por [9], em que as paredes tinham espessura igual a 22 mm. A Figura 2 apresenta uma das réplicas construídas.



Figura 2: Uma das cavidades utilizadas neste estudo.

O “teto” flexível é feito de alumínio com 1 mm de espessura. Ele foi simplesmente apoiado sobre diferentes materiais de vedação, fixados à extremidade superior das paredes da caixa. O piso de linóleo mostrado na figura também foi usado como “teto” em algumas das medições.

Quatro diferentes tipos de fitas resilientes foram testados como apoio, para os dois tipos de “teto”: Espuma Vinílica Acetinada (EVA), Espuma de Policloreto de Vinila (PVC), Espuma de Polietileno e de Poliuretano.

Uma variação da caixa mostrada na Figura 2 foi construída sem a janela de vidro de 10 mm de espessura.

Medições foram também realizadas com hemisférios de poliestireno cobrindo cerca de 50 % de uma das paredes laterais da caixa. Estes hemisférios foram pintados de tal forma a evitar um aumento excessivo de absorção sonora e colados a uma das paredes menores.

7. Resultados

7.1 Relação sinal-ruído

A relação sinal-ruído obtida em uma das medições realizadas na cavidade construída com janela, com todas as superfícies rígidas e fita resiliente de EVA, em função da frequência (avaliada em bandas de 1/1 oitava) é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1: Relações sinal-ruído (SNR) avaliadas a partir de Respostas Impulsivas filtradas em bandas de 1/1 oitava.

Freq. (Hz)	250	500	1000	2000	4000	8000
SNR (dB)	82	80	70	72	80	74

7.2 Comparações entre medições realizadas com fechamentos distintos

Medições com a fonte sonora posicionada na

proximidade de um canto da cavidade foram realizadas para oito diferentes posições do microfone. Usou-se sempre a fita resiliente de EVA. Duas situações relativas ao fechamento foram comparadas: a) com o tampo flexível de alumínio; e b) com a cavidade em posição reversa àquela mostrada na Figura 2, de forma a encerrar a cavidade com o piso de linóleo.

A magnitude das Funções de Transferência obtidas para uma das posições de microfone é mostrada na Figura 3.

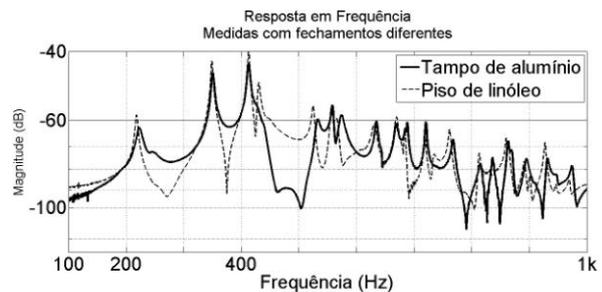


Figura 3: Respostas em frequência medidas com dois tipos de fechamento.

As principais diferenças percebidas, na comparação entre respostas em frequência, são pequenas variações em algumas frequências naturais, em geral maiores para a cavidade com o tampo flexível de alumínio, e o amortecimento de alguns modos. O Tempo de Reverberação (T_{20}) obtido da Resposta Impulsiva não filtrada foi de 0,53 s, com o tampo de alumínio, e 0,69 s, com o fechamento rígido.

7.3 Comparações entre medições realizadas com fitas resilientes diferentes

Como explicado no item 6.2, medições foram realizadas na cavidade montada com quatro fitas resilientes distintas. As magnitudes das Funções de Transferência apresentam comportamentos semelhantes, especialmente para os quatro modos com frequências naturais mais baixas. Observa-se, no entanto, diferenças relativas às constantes de atenuação. Tal comportamento pode ser melhor observado no domínio do tempo, isto é, na Resposta Impulsiva, ou em parâmetros aferidos a partir dela. A Figura 4 apresenta o Tempo de Reverberação (T_{20}) para bandas de 1/1 oitavas de frequência, medidas com o fechamento rígido (Linóleo).

7.4 Comparações entre medições realizadas na cavidade com e sem janela de vidro

As respostas em frequência das medições realizadas nas cavidades construídas com e sem a janela de vidro são mostradas na Figura 5 (também com o fechamento rígido). Diferenças são observadas a partir do quarto modo acústico.

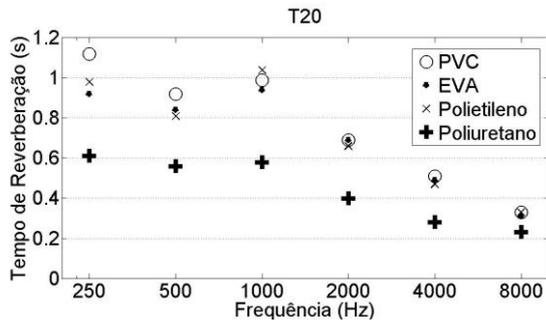


Figura 4: Tempo de Reverberação medido na cavidade, para quatro tipos de fitas resilientes usadas na montagem (fechamento rígido).

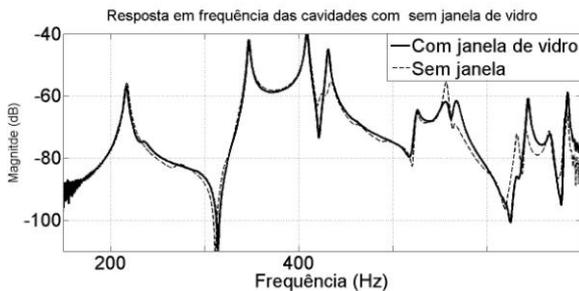


Figura 5: Respostas em frequência medidas nas cavidades com e sem janela (fechamento rígido).

Comparações entre curvas de decaimento mostram que a cavidade sem janela apresenta um menor Tempo de Reverberação. O Tempo de Reverberação obtido das Respostas Impulsivas medidas (T_{20}) é 0,90 s, para a cavidade com janela de vidro, e 0,77 s, para a cavidade sem janela.

7.5 Comparações entre cavidades contendo superfície plana ou irregular

As respostas em frequência de medições realizadas antes e após colar hemisférios de poliestireno expandido, sobre 50% da área de uma das paredes menores, apresentam diferenças mínimas até 1 kHz. A comparação para frequências mais altas é dificultada por conta da densidade modal crescente.

As diferenças podem, no entanto, ser identificadas através da comparação entre Respostas Impulsivas filtradas em diferentes faixas de frequência, ou seja, no domínio do tempo. A Figura 6 mostra Respostas Impulsivas medidas em ambas as condições, filtradas em bandas de 1/3 oitava, com frequência central em: a) 500 Hz; e b) 1000 Hz.

Note que apenas pequenas diferenças nas amplitudes podem ser vistas na Figura 6.a. Já na Figura 6.b, além de diferenças nas amplitudes, pode-se observar também diferenças entre as fases dos sinais (a partir do instante de 0,025 s). Os coeficientes de correlação obtidos para

os dados mostrados na referida figura são 0,95 (500 Hz) e 0,33 (1000 Hz).

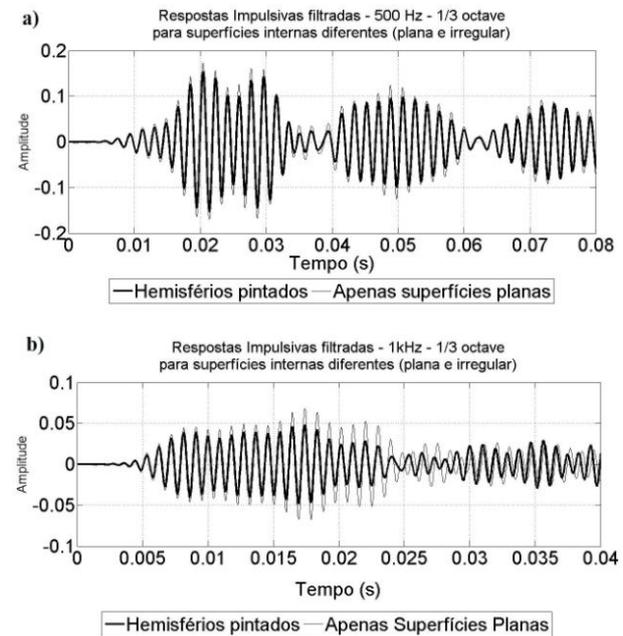


Figura 6: Respostas Impulsivas medidas em cavidades com e sem irregularidades em superfície interna. a) Filtradas em banda de 1/3 oitava, com frequência central em 500 Hz. b) Filtradas em banda de 1/3 oitava, com frequência central de 1000 Hz.

7.6 Comparações entre medições e solução analítica

A solução analítica dada em [10], descrita na eq.(1), foi obtida considerando que a cavidade é retangular e que as paredes são rígidas. Portanto, as medições realizadas com o fechamento rígido (piso de linóleo) deveriam resultar em uma resposta semelhante àquela obtida a partir desta equação. Uma comparação, para o mesmo par de posições de fonte sonora e receptor, e para a cavidade com janela de vidro, é mostrada na Figura 7.

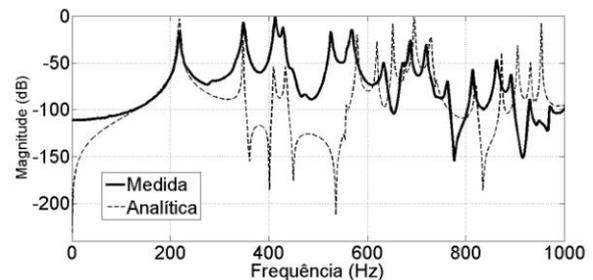


Figura 7: Comparação entre resposta em frequência medida na cavidade com fechamento rígido (com janela) e solução analítica para sala retangular de paredes rígidas.

7.7 Comparações entre medições e simulações com o Método de Traçado de Raios

Visto que nossa implementação do método de Traçado de Raios não leva em conta a fase, assim como a maioria das implementações, não faz sentido comparar respostas em frequência. O resultado obtido é uma aproximação para a Resposta Impulsiva, a partir da qual pode-se obter a curva de decaimento.

As curvas de decaimento obtidas a partir de medições e simulações, para bandas de 1/1 oitava, com frequências centrais de 500 Hz e 4000 Hz, são mostradas nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Duas situações foram avaliadas: (a) quando a cavidade contém apenas superfícies planas; e (b) quando 50% de uma das paredes menores foi encoberta por hemisférios pintados de poliestireno expandido. As simulações para a situação (b) foram realizadas com coeficientes de espalhamento (s) previamente medidos. Os coeficientes de absorção foram mantidos fixos para a simulação de ambas as situações.

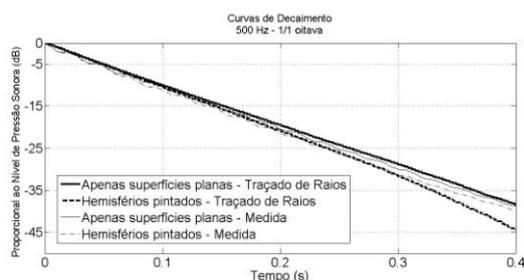


Figura 8: Comparações entre curvas de decaimento obtidas a partir de medições e simulações em 500 Hz ($s = 0,05$). Uma das situações foi criada para observar o efeito da presença de irregularidades nas superfícies internas (Hemisférios pintados).

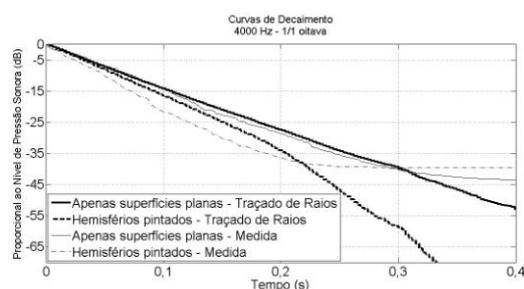


Figura 9: Comparações entre curvas de decaimento obtidas a partir de medições e simulações em 4000 Hz ($s = 0,49$). Uma das situações foi criada para observar o efeito da presença de irregularidades nas superfícies internas (Hemisférios pintados).

8. Comentários finais e conclusões

A técnica de medição foi implementada com sucesso, como observado através dos resultados. As relações sinal-ruído mostradas na Tabela 1, no entanto, indicam que a fonte sonora deve ser aprimorada para a realização de medições em cavidades ou modelos em

escala reduzida, especialmente nas faixas de frequência de 1 KHz, 2 kHz e 8 kHz. Melhorias adicionais poderão ser obtidas através do uso de taxa de amostragem e resolução de amplitude maior.

As maiores variações nas respostas em frequência foram observadas quando o fechamento flexível foi substituído por um rígido. A troca de fitas resilientes causa variações maiores nas Respostas Impulsivas, isto é, são melhores observadas no domínio do tempo. O Tempo de Reverberação em 250 Hz, por exemplo, teve uma variação (aumentou) de 84% após trocar a fita de poliuretano pela fita de PVC.

O efeito causado pela introdução de irregularidades superficiais também é melhor identificado no domínio do tempo. Este estudo, no entanto, deverá ser refeito, pois tais irregularidades (hemisférios) não são feitas com o mesmo material da superfície (MDF) e, além de promover reflexões difusas, podem ter introduzido mais absorção sonora. De todo modo, foi possível observar diferenças de fase na comparação entre sinais medidos com e sem irregularidades superficiais. Como esperado, as diferenças são maiores nas frequências mais altas, por conta do maior grau da difusibilidade das reflexões.

As respostas em frequência medidas são semelhantes àquela obtida através da solução analítica e as maiores diferenças são provavelmente relacionadas à atribuição não realista de constantes de amortecimento e também devido às variações da resposta da fonte sonora, que não foram compensadas.

Os resultados obtidos com simulações feitas através do método de Traçado de Raios foram próximos daqueles obtidos através de medições, especialmente nas situações onde a cavidade contém apenas superfícies planas. Tal fato pode ser observado, inclusive, para frequências baixas (bem menores do que a frequência de Schroeder), quando o comprimento da onda sonora é da mesma ordem, ou até maior, do que as dimensões principais da cavidade. Investigações mais aprofundadas serão feitas para geometrias mais complexas, onde efeitos modais podem ser mais pronunciados. Tal fato pode indicar que o método de Traçado de Raios, ou outros métodos geométricos, também são bem sucedidos em frequências muito baixas na previsão de respostas transientes.

Com o sistema de medição desenvolvido será possível a realização de vários tipos de medição, relativas à qualidade acústica de ambientes, transmissão sonora ou medições de sistemas mecânicos.

Agradecimentos

O “ITA Toolbox” para Matlab, desenvolvido no “Institute of Technical Acoustics” da Universidade de Aachen foi utilizado para o processamento de alguns sinais apresentados neste trabalho e os autores são especialmente gratos ao Dipl.Ing. Pascal Dietrich, Msc. Bruno Masiero, Msc. William Fonseca,

Sr. Edvan de Moura Silva, Prof.Dr.rer.nat. Michael Vorlaender, Prof. PhD. Samir Gerges e Prof. PhD. Sylvio Bistafa. O primeiro autor agradece à Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli pela supervisão e apoio ao desenvolvimento de algoritmos geométricos para a simulação da acústica de salas na UNICAMP, no período entre 2003 e 2006.

Referências

- [1] R.G. Sampaio: *Aplicações da teoria dos números em acústica: técnica de MLS e difusores*: dissertação de mestrado defendida na COPPE, UFRJ, 1998.
- [2] M.H.A. Gomes: *Obtenção de parâmetros para a avaliação da qualidade acústica de salas através da técnica MLS e acústica de raios*: dissertação de mestrado defendida na UFSC, 1998.
- [3] M.L. Ballesteros: *Simulação numérica de acústica de salas*: dissertação de mestrado defendida na COPPE, UFRJ, 1991.
- [4] R.A. Tenenbaum, T.A. Camilo, J.C.B. Torres, S.N.Y. Gerges: Hybrid method for numerical simulation of room acoustics with auralization: Part 1 - Theoretical and numerical aspects: *Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering*, Rio de Janeiro, 2006.
- [5] M.H.A.Gomes, S.R.Bertoli, J.G.Dedecca: Implementação de métodos para simulação acústica e auralização de salas: *Acústica e Vibrações*, revista da Sociedade Brasileira de Acústica, março de 2007.
- [6] M. Vorländer: *Auralization – Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. Springer, 2008.
- [7] S. Müller, P. Massarani: Transfer function measurement with sweeps: *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol 49, N.º 6, June, 2001.
- [8] W.D. Fonseca, B.S. Masiero, S.R. Bistafa, P. Dietrich, G. Quiqueto, L. Chamon, M. Vorländer, S.N.Y. Gerges: Medição de uma plataforma acústica conceitual desenvolvidas por diferentes instituições de pesquisa: In: *Anais do XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Salvador-BA, 18 a 21 de maio de 2010.
- [9] P. Dietrich, B. Masiero, M. Vorländer, S. Bistafa, S. N.Y. Gerges: Vereinfachtes Messobjekt zur Untersuchung von Unsicherheitsfaktoren bei der Transferpfadanalyse und -synthese: In: *Fortschritte der Akustik - DAGA 2010*.
- [10] H. Kuttruff: *Room Acoustics*: 5th Edition, Spon Press, 2009.
- [11] A. Krokstadt, S. Strom and S. Sordal: Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracing technique: *Journal of Sound and Vibration*, 8, pp. 118–125, 1968.
- [12] C. Jeonga, J. Iha, J.H. Rindel: An approximate treatment of reflection coefficient in the phased beam tracing method for the simulation of enclosed sound fields at medium frequencies: *Applied Acoustics*, Volume 69, Issue 7, Pages 601-613, 2008.
- [13] O. M. Cousins: *Predictions of sound pressure and intensity fields in rooms and near surfaces by Ray-Tracing*: The University of British Columbia, 2008.
- [14] A. Kulowski: Algorithmic Representation of the Ray Tracing Technique: *Applied Acoustics*, v.18, pp.449-469, 1985.
- [15] T.A. Lewers: Combined beam tracing and radiant exchange computer model of room acoustics: *Applied Acoustics*, v.38, p.161-173, 1993.
- [16] M.R. Schroeder: New method of measuring reverberation time: *Journal of the Acoustical Society of America*, 37, 409, 1965.

Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional.

Soeiro, N. S.*; Melo, G. S. V.**; Ohana, G. J.***

* Grupo de Vibrações e Acústica, GVA – UFPA, Belém, PA, nsoeiro@ufpa.br

** Grupo de Vibrações e Acústica, GVA – UFPA, Belém, PA, gmelo@ufpa.br

*** Grupo de Vibrações e Acústica, GVA – UFPA, Belém, PA, eng.nav.ohana@gmail.com

Resumo

A exposição ocupacional à vibração é bastante frequente e seus efeitos na saúde humana são consideráveis, sendo necessários, portanto, avaliação e controle. A vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo humano possui características de inércia e elasticidade que lhe conferem valores de frequência natural distintos, relativos a cada uma de suas partes. Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica em amplificação do movimento. Assim, a energia vibratória associada a esse efeito é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos. Este fator de risco é focalizado nas NR-9 e NR-15, do Ministério do Trabalho e Emprego, sendo estabelecido que a avaliação da exposição ocupacional de vibração deve ser realizada com base nas normas ISO-2631 e ISO-5349 e suas substitutas. Neste artigo, serão apresentados os elementos principais relacionados às vibrações ocupacionais, no que diz respeito a sua quantificação, consequências e avaliação legal, bem como apresentado um exemplo prático ligado a vibrações de extremidades.

Palavras-chave: Vibrações ocupacionais, Vibração de corpo inteiro, Vibrações de extremidades.

1. Introdução

A vibração está presente já nos primeiros tempos da História da Humanidade. Instrumentos rudimentares, como apitos e tambores, têm no seu princípio de funcionamento um problema vibratório como essência. Estes instrumentos tiveram muita importância entre os povos primitivos como meios de comunicação. Mais tarde, instrumentos musicais (percussão, cordas, metais, etc.) foram concebidos aproveitando movimentos vibratórios, geradores de ondas sonoras [7].

A maioria das atividades humanas envolve alguma forma de vibração. Ouve-se porque o tímpano vibra, vê-se porque ondas luminosas se propagam. A respiração está associada à vibração dos pulmões, os batimentos cardíacos são movimentos vibratórios do coração, a fala se fundamenta na vibração das cordas vocais e os movimentos humanos envolvem oscilações de braços e pernas. Em muitos outros campos da atividade humana, fenômenos apresentam variáveis cujo comportamento é oscilatório (economia, biologia, química, física, etc.). No campo tecnológico, as aplicações de vibrações na engenharia são de grande importância nos tempos atuais. Projetos de máquinas, fundações, estruturas, motores, turbinas, sistemas de controle e outros, exigem que questões relacionadas a vibrações sejam levadas em conta.

A vibração pode ser utilizada com proveito em várias aplicações industriais, testes de materiais, processos de

usinagem e soldagem. Nas aplicações industriais destacam-se as esteiras transportadoras, as peneiras, os compactadores, os misturadores, as máquinas de lavar, que utilizam a vibração em seu princípio de funcionamento. A Figura 1 mostra uma gama de situações onde a presença da vibração é um fato.



Figura 1: Situações do cotidiano em que há a presença de vibrações de corpo inteiro.

Em muitos sistemas de engenharia, o ser humano atua como parte integrante do mesmo. A transmissão de vibração para o ser humano resulta em desconforto e perda de eficiência, podendo constituir um risco em potencial para os trabalhadores, uma vez que as vibrações podem desencadear perturbações neurológicas ou musculares, vasculares e lesões ósteo-articulares, no caso das vibrações transmitidas ao sistema mão-braco e patologias na região lombar e lesões da coluna vertebral, para o caso das vibrações transmitidas a todo o organismo [8].

Neste artigo, será descrita a fundamentação teórica básica relacionada à caracterização e avaliação das vibrações ocupacionais, bem como serão apresentadas duas análises de casos a título de exemplo, em conformidade com as normas técnicas pertinentes.

2. Fundamentação Teórica

Vibração ou oscilação é qualquer movimento que se repete, regular ou irregularmente, depois de um intervalo de tempo. Assim, para o perfeito entendimento deste tipo de movimento, torna-se necessário o estudo do movimento de oscilação de um corpo em torno de uma posição de equilíbrio, bem como das forças e/ou momentos a ele associados [7].

De um modo geral, a vibração consiste em movimento inerente aos corpos dotados de massa e elasticidade. O corpo humano possui características de inércia e elasticidade que lhe conferem valores de frequência natural distintos, relativos a cada uma de suas partes (ver Figura 2). Se uma frequência externa coincide com a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que implica em amplificação do movimento. Assim, a energia vibratória associada a esse efeito é absorvida pelo corpo, como consequência da atenuação promovida pelos tecidos e órgãos [7].

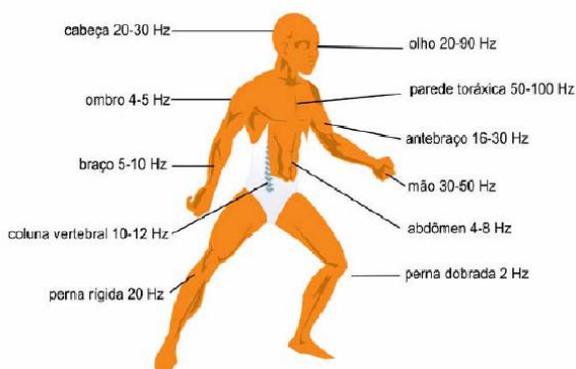


Figura 2: Vibração de Corpo Inteiro – frequências características [8].

As vibrações transmitidas ao corpo humano podem ser classificadas em dois tipos, de acordo com a região do corpo atingida:

Vibrações de Corpo Inteiro: são vibrações transmitidas ao corpo como um todo, geralmente por meio da superfície de suporte, tal como pé, costas, nádegas de um ser humano sentado, ou na área de suporte de uma pessoa reclinada [6]. São de baixa frequência e alta amplitude e situam-se na faixa de 1 a 80 Hz, mais especificamente de 1 a 20 Hz. Estas vibrações são específicas para atividades de transporte, tais como caminhão, trator, empilhadeira, ônibus, trem, entre outros (ver Fig. 1) e são afetadas à norma ISO 2631.

Vibrações de Extremidades (também conhecidas como segmentais, localizadas ou de mãos e braços): são vibrações que atingem certas partes do corpo, principalmente mãos, braços e outros (ver Figura 3). Estas vibrações são as mais estudadas, situam-se na faixa de 6,3 a 1250 Hz, ocorrendo nos trabalhos com ferramentas manuais (operador de martelo pneumático, operador de lixadeira, operador de motosserra, entre outros) e são normatizadas pela ISO 5349.



Figura 3: Vibrações de mãos e braços (extremidades).

Na avaliação ocupacional da vibração, vários fatores influenciam na caracterização do risco, entre os quais se destacam: amplitude da vibração, sua frequência, sua direção e o tempo de exposição do trabalhador.

Os principais parâmetros relacionados com a amplitude da vibração são: nível de pico, nível pico a pico e o nível rms (ver Figura 4).

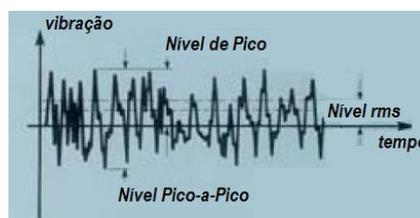


Figura 4: Quantificação dos níveis de vibração. Adaptado de [1].

O nível rms, ou valor eficaz, é o parâmetro mais adequado para a avaliação da vibração, sendo definido de acordo com a equação:

$$a_w(rms) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) \cdot dt}, \quad (1)$$

onde $a_w(t)$ é a aceleração ponderada em m/s^2 no movimento vibratório de translação, ou rad/s^2 no rotacional e t é o tempo de duração da medição em segundos.

A sensibilidade humana às vibrações é diferente nas diversas faixas de frequência. Assim, na avaliação ocupacional os valores das acelerações são ponderados,

ou corrigidos, em função da frequência, dos eixos espaciais x, y e z e do tipo de vibração (extremidades e corpo inteiro). A Tabela 1 identifica os fatores de ponderação e na Figura 5 são apresentadas as curvas para determinação destes fatores.

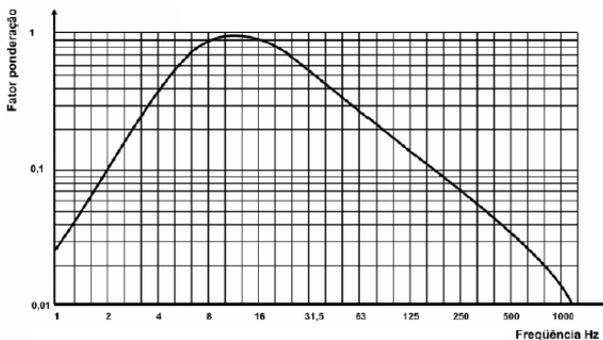
Tabela 1: Identificação dos fatores de ponderação e suas aplicações. Adaptada de [6].

Ponderação nas frequências	Aplicação
w_h	Ponderação de extremidades nos eixos x, y e z – ISO 5349.
w_k	Ponderação de corpo inteiro no eixo z – ISO 2631.
w_d	Ponderação de corpo inteiro nos eixos x e y – ISO 2631.

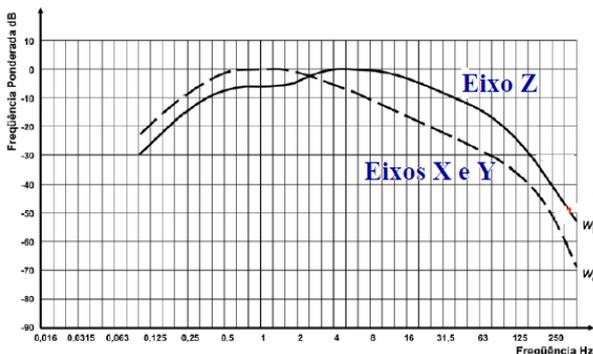
Os valores de aceleração obtidos nos três eixos podem ser somados de forma a se obter a aceleração total, com base na seguinte equação:

$$A_T = \sqrt{k_x^2 \cdot a_{wx}^2 + k_y^2 \cdot a_{wy}^2 + k_z^2 \cdot a_{wz}^2}, \quad (2)$$

onde a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} são as acelerações rms ponderadas nas direções dos eixos ortogonais x, y e z e k_x , k_y e k_z são fatores multiplicadores dos respectivos eixos ortogonais x, y e z.



(a)



(b)

Figura 5: Fatores de ponderação na frequência – (a) Vibrações de extremidades e (b) Vibração de corpo inteiro.

Os valores das acelerações rms ponderadas, em cada uma das direções dos eixos ortogonais, são obtidos pela seguinte equação:

$$a_{w,l} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_i \times a_{i,i})^2} \quad (3)$$

Na equação (3), o índice l representa as direções dos eixos ortogonais x, y e z e o índice i os distintos valores de frequência para os quais a ponderação w é determinada, em concordância com o registro feito na Tabela 1 e as curvas da Fig. 5.

Quando a exposição à vibração é diferente em dois ou mais períodos da jornada de trabalho, deve ser considerada a aceleração equivalente, conforme a seguinte equação:

$$A_{eq} = \sqrt{\frac{a_1^2 \times t_1 + a_2^2 \times t_2 + \dots + a_n^2 \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (4)$$

onde A_{eq} é a aceleração equivalente ponderada e a_n é o valor de aceleração para o tempo de exposição t_n .

A aceleração normalizada para jornada de trabalho de 8 horas é dada pela equação:

$$A(8) = A_{eq} \sqrt{\frac{T}{T_0}}. \quad (5)$$

O tempo T , na Eq. (5), corresponde à duração total diária e o tempo T_0 corresponde ao tempo de duração de uma jornada de trabalho normal, ou seja, 8 horas.

2.1 Direção e Medição da Vibração

Como já mencionado anteriormente, a vibração ocorre em diversos postos de trabalho e reúne-se em dois grupos que são denominados de Vibração de Corpo Inteiro e Vibrações de Extremidades (mãos e braços). Portanto, durante a avaliação ocupacional do agente vibração devem ser observadas as orientações de norma para a medição e registro dos valores de aceleração rms, ponderadas nas direções dos eixos ortogonais x, y e z.

No que diz respeito à vibração de corpo inteiro, a norma ISO 2631 determina que as medições sejam realizadas de acordo com as indicações da Figura 6. Por outro lado, quando se trata de vibrações de extremidade a indicação é feita de acordo com o que é mostrado na Figura 7.

A medição da vibração é feita por meio de instrumentos ligados a um transdutor de aceleração, denominado de acelerômetro. O acelerômetro é o elemento que capta o

movimento vibratório transformando-o em um sinal elétrico proporcional à aceleração.

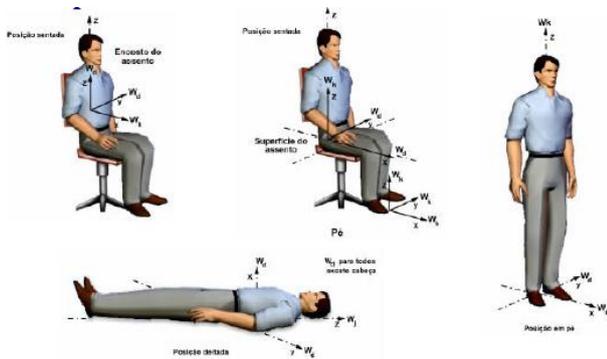


Figura 6: Direções de medição de vibração do corpo humano, segundo a norma ISO 2631.

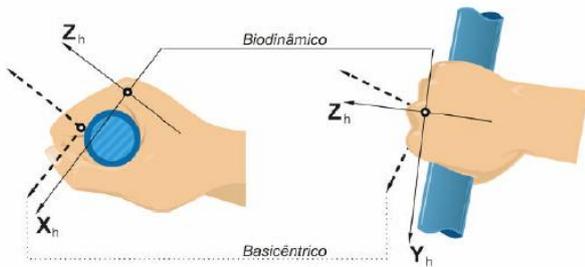


Figura 7: Direção de medição de vibração da mão, segundo a norma ISO 5349.

Os tipos mais usados de acelerômetros são os piezoelétricos (ver Fig. 8), com eletrônica integrada, uma vez que medem a aceleração absoluta da vibração e têm características gerais superiores às de qualquer outro tipo de transdutor de vibrações, com as seguintes vantagens:

- Grande faixa dinâmica $1 : 30 \times 10^6$;
- Resposta plana em ampla faixa de frequência;
- Linear, robusto e estável ao longo do tempo;
- Compacto, pequeno e leve;
- Saída proporcional à aceleração, podendo ser integrada para fornecer sinal proporcional à velocidade ou ao deslocamento de vibrações.

Durante o processo de medição da vibração, o acelerômetro é montado em adaptadores. Na vibração de corpo inteiro, o acelerômetro tri-axial é montado em um adaptador de assento, conforme mostrado na Figura 9(a), devendo ser posicionado no ponto de transmissão da superfície do corpo. Na medição de vibração de mão e braço, o acelerômetro deve ser montado na superfície vibrante utilizando-se adaptadores adequados, destacando-se entre eles os adaptadores de mão e de

bloco (ver Figura 9(b)).

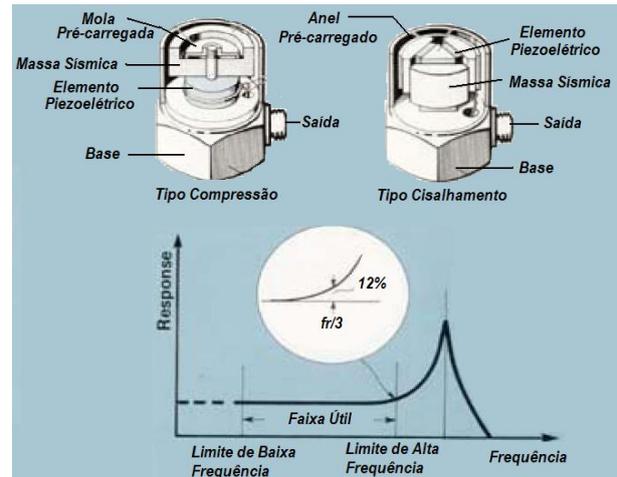


Figura 8: Acelerômetros piezoelétricos de compressão e cisalhamento, com esboço da curva de resposta em frequência. Adaptado de [1].

O medidor de vibração é o instrumento responsável pelo processamento dos dados captados pelo acelerômetro. Na avaliação ocupacional, normalmente utiliza-se instrumento portátil, que atenda às especificações da norma ISO 8041, devendo este equipamento ser do tipo 1 ou 2 (ver Figura 10).

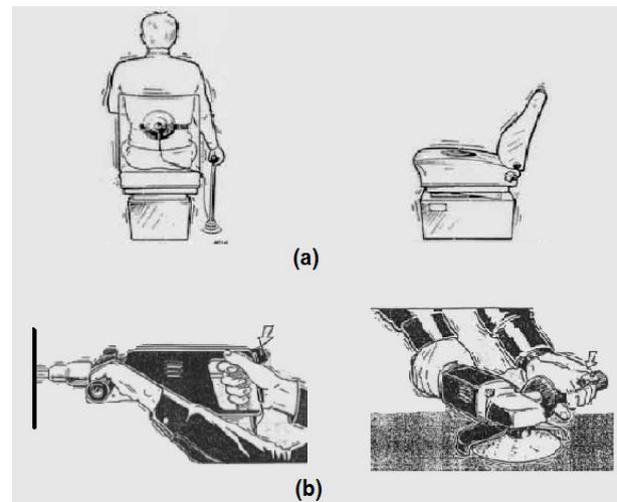


Figura 9: Montagem dos acelerômetros – (a) Vibração de Corpo Inteiro e (b) Vibração de Mão e Braço.



Figura 10: Medidores Portáteis de Vibração.

2.2 Efeitos Sobre a Saúde

2.2.1 Vibração de Corpo Inteiro

A vibração de corpo inteiro ocorre em diversas situações do cotidiano, expondo o trabalhador a danos físicos permanentes ou distúrbios no sistema nervoso. A exposição diária à vibração de corpo inteiro poderá resultar em danos na região espinhal, podendo também afetar o sistema circulatório e/ou urológico, além do sistema nervoso central. Sintomas de distúrbios frequentemente aparecem durante ou logo após a exposição sob a forma de fadiga, insônia, dor de cabeça e tremor. No entanto, esses sintomas geralmente desaparecem após um período de descanso.

Os efeitos observados em grupos expostos a condições graves de vibração foram: problemas na região dorsal e lombar, gastrointestinais, sistema reprodutivo, desordens no sistema visual, problemas nos discos intervertebrais e degeneração na coluna vertebral [6].

A Figura 11 apresenta, de forma sintética, os sinais e sintomas provocados pela exposição à vibração de corpo inteiro e que recebe a denominação de Mal dos Transportes, uma vez que está associada a veículos em geral, tais como navios, caminhões, trens, plataformas, entre outros.

Sinais e Sintomas



- NÁUSEAS
- PALIDEZ
- SUORES
- CALOR
- SALIVAÇÃO
- DORES DE CABEÇA
- TONTURAS
- RESPIRAÇÃO IRREGULAR
- SONOLÊNCIA
- VÔMITOS

Figura 11: Sinais e sintomas do Mal dos Transportes, relativos à vibração de corpo inteiro.

2.2.2 Vibrações de Mão e Braço (Extremidades)

De acordo com a norma ISO 5349, os principais efeitos devidos à exposição à vibração no sistema mão-braço podem ser de ordem vascular, neurológica, ósteo-articular e muscular. Entre esses efeitos, destacam-se as perturbações ósteo-articulares, características de vibrações de frequência menores que 30 Hz e que atingem o punho, cotovelo e o ombro (ver Figura 12(a)), e as perturbações vasculares, que são identificadas como Doença de Raynaud, características de vibrações de frequência entre 40 e 125 Hz e que provocam sintomas como: formigamento, entorpecimento, palidez, picada,

queimadura, cianose e gangrena (ver Figura 12(b)).

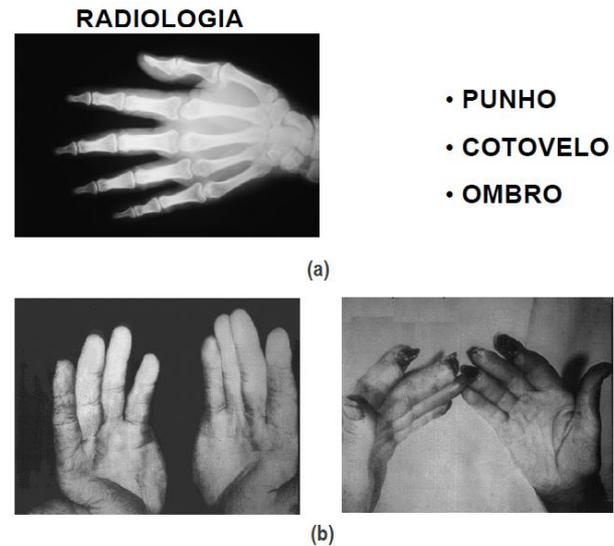


Figura 12: Vibração do sistema Mão-Braço – (a) Perturbação ósteo-articular (< 30 Hz) e (b) Doença de Raynaud (40 – 125 Hz).

2.3 Limites de Tolerância

2.3.1 Vibração de Corpo Inteiro

Atualmente, o limite de tolerância para a vibração de corpo inteiro é estabelecido apenas tendo por base os limites para efeitos sobre a saúde e conforto, excluindo-se o conceito de proficiência reduzida pela fadiga, em conformidade com a norma ISO 2631. Em seu anexo B, a referida norma estabelece um guia de efeitos à saúde conforme a Figura 13. Esse guia apresenta recomendações baseadas principalmente em exposições na faixa de 4 a 8 horas, para pessoas sentadas (eixo z). Por outro lado, a experiência na aplicação dessa parte da norma é limitada para os eixos x e y (pessoa sentada) e para todos os eixos nas posições em pé, deitada, ou inclinada.

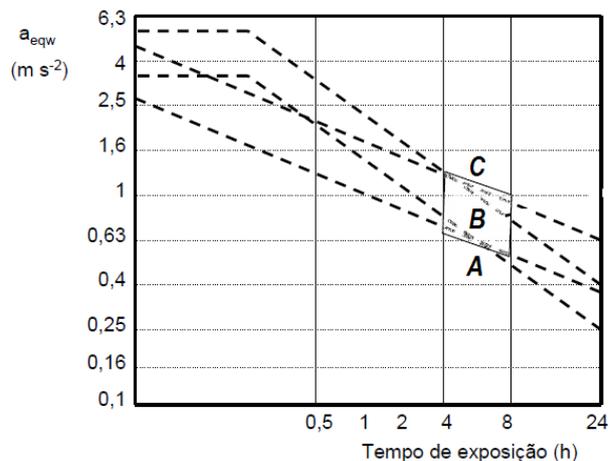


Figura 13: Gráfico do guia de efeito à saúde.

De acordo com a norma ISO, a interpretação do gráfico do guia de efeitos à saúde pela vibração deve ser feita do seguinte modo:

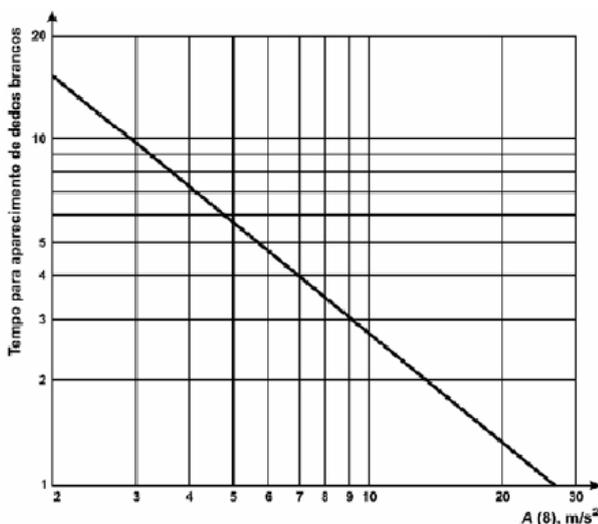
- **A Região A** (até $0,43 \text{ m/s}^2$) significa que os efeitos à saúde não têm sido claramente documentados e/ou observados objetivamente;
- **A Região B** ($0,43$ a $0,78 \text{ m/s}^2$) significa precauções em relação aos riscos potenciais à saúde;
- **A Região C** (acima de $0,78 \text{ m/s}^2$) significa riscos prováveis à saúde.

Segundo a norma ISO 2631, a avaliação do efeito à saúde deve ser feita independentemente para cada eixo, devendo ser considerada para fins de comparação com o guia à saúde, a maior intensidade da aceleração ponderada obtida em qualquer um dos eixos. Por outro lado, a referida norma recomenda que, para os casos em que as vibrações de dois ou mais eixos forem similares, deverá ser calculada a aceleração total através da Eq. (2), fazendo-se o uso dos seguintes valores de ponderação 1,4, 1,4 e 1 relativos às direções ortogonais x , y e z , respectivamente.

Havendo a exposição à vibração de diferentes intensidades e durações, deve-se calcular a aceleração equivalente no período, de acordo com a Eq. (4).

2.3.1 Vibração de Extremidades (Sistema Mão-Braço)

A norma ISO 5349 estabelece os valores de exposição diária de aceleração $A(8)$, com estimativa esperada de produzir a síndrome do dedo branco em 10% das pessoas expostas para determinado número de anos (D), conforme o gráfico da Figura 14.



D , anos	1	2	4	8
$A(8)$, m/s^2	26	14	7	3,7

Figura 14: Valores de exposição diária.

Segundo a referida norma, o valor a ser comparado é a aceleração total obtida pela Eq. (2), fazendo-se os valores de ponderação unitário em todas as direções ortogonais x_h , y_h e z_h .

A relação entre $A(8)$ e D é estabelecida pela seguinte equação:

$$D = 31,8 \times [A(8)]^{-1,06} \quad (6)$$

Da mesma forma que na vibração de corpo inteiro, quando da exposição à vibração de diferentes intensidades e durações, deve-se usar a Eq. (4) para o cálculo da aceleração equivalente.

2.4 Medidas de Controle

As medidas de controle deverão ser adotadas sempre que for verificado risco potencial e/ou evidente à saúde. Tais medidas deverão, de preferência, ser de proteção coletiva e terão caráter construtivo, operacional, organizacional e a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI).

As medidas de caráter construtivo têm a ver com o projeto de máquinas, equipamentos e veículos, tal que os níveis de vibração gerados sejam baixos, estabelecendo-se uma técnica de controle na fonte. Por outro lado, as medidas de caráter operacional apóiam-se na técnica de controle na trajetória e fazem a utilização de isoladores e absorvedores dinâmicos de vibração.

No que diz respeito às medidas de caráter organizacional podemos citar: reorganização do trabalho; alteração do tempo de exposição; promover treinamento para formação de consciência crítica por parte do trabalhador; uso de técnicas de manutenção preditiva por análise de vibração das máquinas e ações de correção, como por exemplo, balanceamento estático e dinâmico; etc.

Finalmente, usar as medidas de proteção individual, destacando-se a vigilância médica e o uso de EPI. Entretanto, uma vez que não há EPI com fator de atenuação capaz de reduzir a intensidade de vibração abaixo do limite de tolerância, como ocorre, por exemplo, com o ruído, isto deverá ser o último recurso. A Figura 15 ilustra alguns tipos de EPI que são utilizados nas empresas por trabalhadores durante a jornada de trabalho.



Figura 15: Equipamentos de proteção individual (EPI).

3. Estudo de Caso

Para o caso a ser descrito, as medições de vibração realizadas, tiveram por objetivo a avaliação de postos de trabalho de uma empresa, localizada na Grande Belém, estado do Pará, no que diz respeito à exposição de trabalhadores aos níveis de vibração, por utilização de equipamentos inerentes as suas atividades. A análise considera os aspectos envolvidos na avaliação da exposição ocupacional à vibração do sistema mão-braço (extremidades), em conformidade com a norma ISO 5349.

O conjunto de elementos utilizados nas medições de vibração de extremidade consiste de um sistema de análise de vibração, conforme mostrado na Figura 16, composto por: Analisador Pulse de 4 Canais Bruel & Kjaer; Acelerômetros Bruel & Kjaer; e Notebook Toshiba.



Figura 16: Fotografia do sistema de medição e análise de vibração.

O acelerômetro foi fixado na empunhadura do equipamento, muito próximo da mão do operador e em condições de operação, sem influenciar o trabalho normal do operador.

3.1 Descrição dos Postos de Trabalho

As medições de vibração foram realizadas em um equipamento do setor de montagem e desmontagem de esteiras rolantes e duas ferramentas pneumáticas usadas nos diversos postos de trabalho, as quais foram selecionadas a partir da indicação do responsável pela área de segurança no trabalho da empresa.

3.1.1 Parafusadeira Hidráulica

Trata-se de equipamento usado para montar e desmontar as sapatas das esteiras usadas na propulsão de máquinas de terraplenagem, o qual é apresentado na Figura 17. Para este equipamento, foi estabelecido um ciclo operacional, tal que simulasse as condições desfavoráveis de montagem e desmontagem, resultando na sequência abaixo, para a qual foram registrados os valores de aceleração rms:

- **Aproximação:** o mecanismo de acionamento e transmissão de potência do equipamento é posicionado para acesso à cabeça sextavada do parafuso e o pré-aperto;
- **Aperto:** é dado o torque de aperto no parafuso;
- **Desaperto:** é dado o torque de desaperto no parafuso;
- **Afastamento:** o mecanismo de acionamento e transmissão de potência do equipamento é afastado do parafuso.



Figura 17: Vista geral da parafusadeira hidráulica montada sobre esteira.

3.1.2 Chaves Pneumáticas Manuais

Nos diversos ambientes da oficina da empresa, as Chaves Pneumáticas Manuais são ferramentas extremamente úteis, uma vez que permitem montar e desmontar uma série de sistemas e/ou componentes mecânicos, nos quais existe a presença de parafusos. Assim, foram selecionadas as Chaves Pneumáticas de $\frac{3}{4}$ e de 1 polegada, seguindo a orientação do Técnico em Segurança do Trabalho, as quais encontram intensa utilização por parte dos funcionários. A Figura 18 mostra o momento em que uma ferramenta pneumática está em uso.



Figura 18: Ferramenta pneumática em uso.

3.2 Resultado das Medições

As medições de vibração foram realizadas em bandas de terço de oitava, sobre a empunhadura das ferramentas pneumáticas e da parafusadeira hidráulica montada sobre esteira. No caso desta última, um total de três medições para cada direção monitorada foi executado e o ciclo operacional, como já mencionado, foi dividido em quatro etapas. Na Tabela 2 encontram-se os valores já tabulados, em conformidade com a norma ISO 5349 e as Figuras 19, 20, 21 e 22 mostram os valores médios de aceleração rms registrados.

Tabela 2: Valores de a_{hwX} , a_{hwY} , a_{hwZ} , a_{hv} e A_T para a Parafusadeira Hidráulica Montada sobre Esteira.

CICLO DE OPERAÇÃO	A_{hwX} (ms ⁻²)	A_{hwY} (ms ⁻²)	A_{hwZ} (ms ⁻²)	A_{hv} (ms ⁻²)	T operação (s)	A_T (ms ⁻²)
	Aproximação	0.78	0.42	0.96	1.31	3.00
Aperto	2.08	0.81	3.90	4.50	2.75	
Desaperto	0.96	31.65	2.74	31.79	2.25	
Afastamento	0.76	0.41	1.72	1.93	2.50	
	Total do Ciclo (s)				10.50	

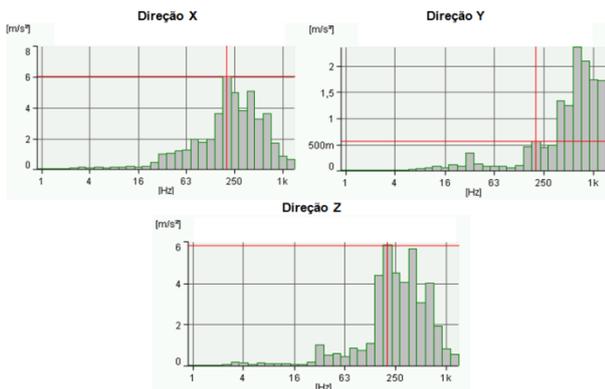


Figura 19: Acelerações rms medidas em terços de oitava, para a Parafusadeira Hidráulica – Operação de Aproximação.

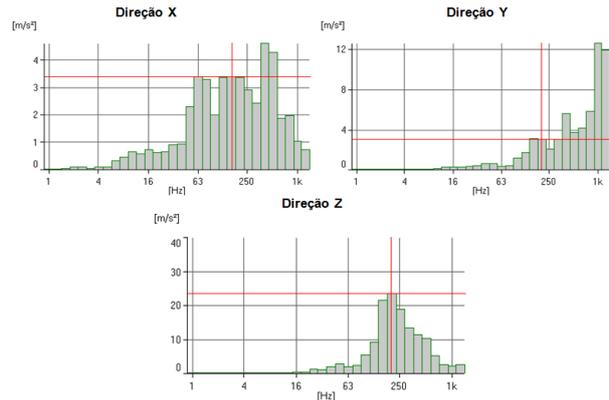


Figura 20: Acelerações rms medidas em terços de oitava, para a Parafusadeira Hidráulica – Operação de Aperto.

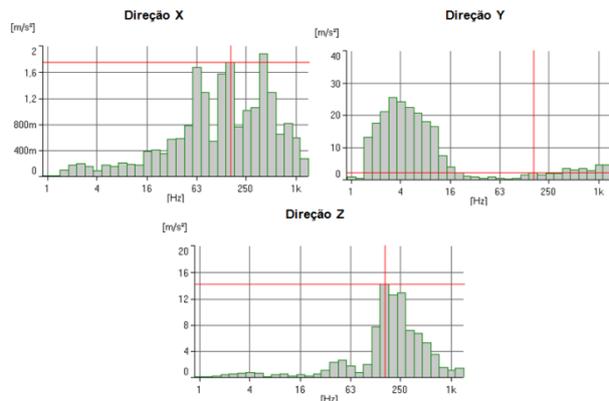


Figura 21: Acelerações rms medidas em terços de oitava, para a Parafusadeira Hidráulica – Operação de Desaperto.

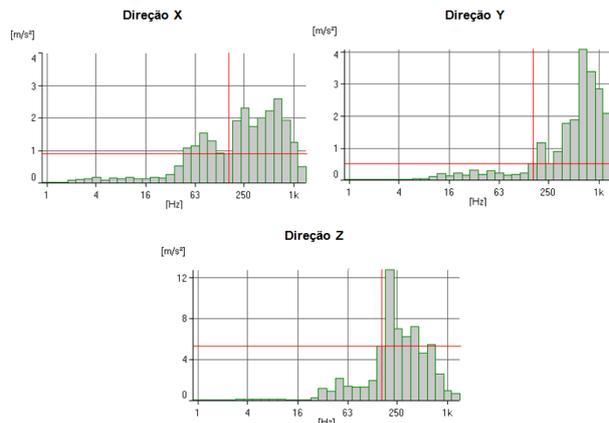


Figura 22: Acelerações rms medidas em terços de oitava, para a Parafusadeira Hidráulica – Operação de Afastamento.

Com os valores acima calculados, obteve-se $A(8) = 9,15 \text{ m/s}^2$, para um tempo de exposição estimado em 3 horas, em conformidade com a Eq. (5), o que permite chegar ao seguinte resultado, em consonância com a Figura 14: probabilidade de aproximadamente 3 (três) anos para o aparecimento da doença “Dedos Brancos” em 10% do

grupo de trabalhadores que ficam submetidos a estes níveis de aceleração.

No que diz respeito às Chaves Pneumáticas de ¾ e de 1 polegada, as medições, em um total de três em cada ponto, foram realizadas em somente duas das direções (direções *x* e *z*) do sistema de referência apresentado na Figura 7, devido à não possibilidade de fixação do acelerômetro na empunhadura das ferramentas na direção *y*. Assim, os valores de $A(8)$ para as duas ferramentas foram determinados usando-se um fator de correção de 1,2, que multiplicou o maior valor de aceleração medido, em conformidade com as recomendações da norma ISO 5349-1, no seu item 4.5 (*Multi-axis Vibration*). Este fator, embora possa variar entre 1,0 e 1,7, foi escolhido pela observação de que a vibração na direção *y* (sensibilidade do operador) era significativamente menor do que o maior valor observado. As Figuras 23 e 24 apresentam os valores em terço de oitavas para as duas chaves pneumáticas e as Tabelas 3 e 4 listam os valores já tabulados, em conformidade com a norma ISO 5349.

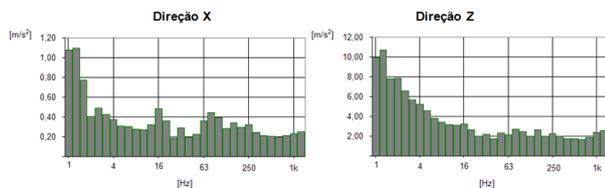


Figura 23: Acelerações rms medidas, em terços de oitava, para a Chave Pneumática de ¾ de polegada.

Tabela 3: Valores de a_{hw_x} , a_{hw_z} , a_{hv} e A_T para a Chave Pneumática de ¾ de Polegada.

A_{hw_x} (m/s^2)	A_{hw_z} (m/s^2)	A_{hv} (m/s^2)	T exposição (h)
0,81	7,87	9,48	0,5

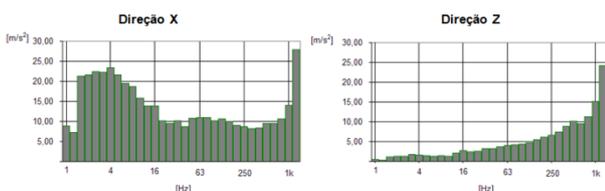


Figura 23: Acelerações rms medidas, em terços de oitava, para a Chave Pneumática de ¾ de polegada.

Tabela 4: Valores de a_{hw_x} , a_{hw_z} , a_{hv} e A_T para a Chave Pneumática de 1 polegada.

A_{hw_x} (m/s^2)	A_{hw_z} (m/s^2)	A_{hv} (m/s^2)	T exposição (h)
37,65	5,62	45,53	0,5

A partir dos valores listados na Tabela 3, obteve-se $A(8) = 2,37 m/s^2$, para um tempo de exposição estimado em meia hora, em conformidade com a Eq. (5). Assim, conforme observado, no gráfico da Figura 14, para este nível de vibração, os levantamentos estatísticos indicam

probabilidade de aproximadamente 15 anos para que ocorra a doença “Dedos Brancos” em 10% do grupo de trabalhadores expostos.

Do mesmo modo, a partir dos valores listados na Tabela 4, obteve-se $A(8) = 11,38 m/s^2$, para um tempo de exposição estimado em meia hora, o que permite chegar ao seguinte resultado, em consonância com a Figura 14: probabilidade de pouco mais de 2,5 (dois vírgula cinco) anos para o aparecimento da doença “Dedos Brancos” em 10% do grupo de trabalhadores que ficam submetidos a estes níveis de aceleração.

3.3 Avaliação e Diagnóstico

No Brasil, a Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego, NR-15, anexo 8, faz referência à necessidade de medição da exposição às vibrações no trabalhador e indica duas normas ISO:

- ISO 2631 – Vibração transmitida para corpo inteiro (nova versão 1999);
- ISO 5349 – Vibrações localizadas (mãos e braços).

A *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* – ACGIH faz referências aos limites admissíveis para tempo de exposição às vibrações localizadas podendo ser utilizados como critério de avaliação já que a ISO 5349 é muito superficial, isto é, não há um limite estabelecido e sim probabilidades de ocorrência de determinadas lesões.

Os limites de tolerância da ACGIH, para vibrações localizadas, reproduzidos na Tabela 5, referem-se aos níveis e tempos de exposição para os quais se acredita que a maioria dos trabalhadores possa ser repetidamente exposta, dia após dia, sem evoluir para além do primeiro estágio da Classificação de Estocolmo para o aparecimento dos Dedos Brancos induzidos por vibrações. Para os valores apresentados na Tabela 5, somente haverá risco para o aparecimento dos Dedos Brancos para o trabalho com a Parafusadeira Hidráulica e possibilidade mínima para a Chave Pneumática de 1 polegada.

Tabela 5: Limites de tolerância da ACGIH para vibrações localizadas.

Duração total da exposição diária	valores do componente de aceleração dominante em rms, frequência ponderada, que não devem ser excedidos	
	m/s^2	g
4 horas e menos de 8	4	0,40
2 horas e menos de 4	6	0,61
1 hora e menos de 2	8	0,81
menos de 1 hora	12	1,22

4. Comentários Finais e Recomendações

Segundo a NR-15, a exposição às vibrações acima dos limites de tolerância é considerada uma insalubridade de grau médio, isto é, deve-se conceder ao empregado um adicional de 20% do salário mínimo aos seus proventos.

O acidente de trabalho pode acarretar várias consequências jurídicas ao empregador, resultando, inclusive, na indenização ou, até mesmo, numa ação criminal. Toda doença ocupacional que se origina da exposição a agentes físicos, químicos ou biológicos é considerada acidente de trabalho. Portanto, objetivando contribuir para que se evite a ocorrência de doença ocupacional motivada por exposição às vibrações, listam-se abaixo algumas recomendações:

Medidas Médicas Preventivas

- a) Qualquer trabalhador que possa ficar exposto à vibração de corpo inteiro, ou localizada, deve ser examinado fisicamente e ter um registro de qualquer histórico prévio;
- b) Indivíduos que usam equipamento vibratório devem ser esclarecidos sobre o risco de exposição à vibração transmitida;
- c) Providências devem ser tomadas no sentido de estimular o relato de sintomas e, em intervalos regulares, efetivar a realização de exames médicos dos indivíduos em risco;
- d) Os indivíduos com as condições médicas seguintes podem estar em maior risco e devem ser avaliados cuidadosamente antes de usarem equipamento que vibre:
 - Doença primária de Raynaud;
 - Doença causada por dificuldades na circulação do sangue nas mãos;
 - Danos nas mãos que causem dificuldades circulatórias;
 - Desordens do sistema nervoso periférico;
 - Desordens do sistema músculo-esquelético.

Medidas Técnicas Preventivas

- a) Quando for possível a escolha entre diferentes processos, o processo que resulte na exposição do indivíduo aos níveis mais baixos de vibração deverá ser o escolhido;
- b) Quando for possível a escolha entre diferentes ferramentas, aquela que resulte na exposição do indivíduo aos níveis mais baixos de vibração deverá ser a escolhida;
- c) Os equipamentos e ferramentas devem ser mantidos de acordo com as instruções dos fabricantes;
- d) Devem ser evitadas as ferramentas com formas de empunhadura que resultam em pressão alta na pele, na área de contato;

- e) Quando há escolha, devem ser selecionadas as ferramentas que requerem as menores forças de contato;
- f) Utilização de luvas anti-vibratórias, como definido na norma ISO 10819.

Referências

- [1] Bruel & Kjaer. *Measuring Vibration*. DK-2850, Naerum, Denmark.
- [2] ISO 2631-1. Mechanical vibration – *Evaluation of human exposure to whole-body vibration* - Part 1: General requirements.
- [3] ISO 2631-1. Mechanical vibration – *Evaluation of human exposure to whole-body vibration* - Part 2: General requirements.
- [4] ISO 5349-1. Mechanical vibration – *Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration* - Part 1: General requirements.
- [5] ISO 5349-2. Mechanical vibration – *Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration* - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace.
- [6] SALIBA, T. M. *Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração*. São Paulo: LTR, 2009.
- [7] SOEIRO, N. S. *Curso de Fundamentos de Vibração e Balanceamento de Rotores*. Belém: UFPA-ELETRONORTE, 2008.
- [8] SOEIRO, N. S. *Curso de Análise de Ruído e Vibrações*. Belém: Curso de Especialização em Eng. de Segurança do Trabalho - UFPA, 2009.

Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído – (INAD) – edição 2011 no Brasil

Com o lema “não deixe o ruído invadir nossa cidade”, o Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído – INAD (*International Noise Awareness Day*) foi celebrado no dia 27 de abril de 2011 pelo quarto ano consecutivo no Brasil. Nesta edição, o ruído urbano foi o tema condutor das ações e contou com a participação de 135 municípios de 18 estados (Figura 1), o que corresponde a doze vezes o número de municípios participantes de 2008. O INAD é uma campanha promovida mundialmente há 16 anos pelo *League for the Hard of Hearing*, atualmente *Center for Hearing and Communication*, caracterizada pelo estabelecimento de 60 segundos de silêncio para destacar o impacto do ruído na vida cotidiana. No Brasil o INAD acontece desde 2008, com o apoio nacional da Academia Brasileira de Audiologia-ABA, da Sociedade Brasileira de Acústica-SOBRAC e do Curso de Eng. Acústica da Universidade Federal de Santa Maria-UFSM e, regionalmente, de entidades locais. O INAD conta com uma coordenação nacional e coordenações estaduais as quais, na medida do possível, são compartilhadas por um profissional da saúde e outro da área técnica.

Atividades realizadas

As atividades da campanha extrapolaram o ambiente escolar, ganhando visibilidade em feiras livres, ruas, unidades de saúde, igrejas, shoppings, restaurantes, pontos turísticos, terminais de ônibus, semáforos e tantos outros. Desde 2008 algumas ações tem se tornado constante como panfletagem; entrevistas; medição de níveis de pressão sonora; exames audiométricos; palestras; reuniões com autoridades. Embora a denominação da campanha sugira “um dia”, as ações não ficam restritas à data, pois os organizadores vêm incentivando atividades que tenham repercussão mais duradoura, em detrimento de ações pontuais. Justificam-se por entenderem que somente assim haverá a mudança de hábitos e conscientização para a problemática. Sendo assim, em 2011 destacaram-se as ações voltadas a escolares, porque a mudança de mentalidade deve ser fomentada desde cedo e que, além disso, a preocupação dos pais em relação à formação das crianças é uma importante ferramenta para impactar hábitos já cristalizados na sociedade.

As ações foram desenvolvidas por equipes multidisciplinares de colaboradores, compostas por professores, alunos e profissionais da

Fonoaudiologia, da Engenharia, Arquitetura, Física, agentes de fiscalização (Secretarias municipais do meio ambiente, batalhões de polícia ambiental), colaboradores do SESI, SENAC, INFRAERO, de empresas particulares e instituições públicas (Ministérios Públicos, FUNDEMA, CEREST etc.). A diversidade de ações, cujo número cresce junto ao número de municípios e colaboradores envolvidos, configura a extensão geográfica e riqueza cultural do país.

Atividades de destaque

Conduzidas pelo Centro de Referência de Saúde do Trabalhador - CEREST, as atividades do INAD em Joinville vêm tomando uma proporção tal que em 2011 a campanha constava no calendário escolar com atividades planejadas desde o início do ano. Ressalta-se que a idéia do lema da campanha de 2011 surgiu a partir de um concurso feito entre os alunos de uma escola da rede municipal como estratégia da campanha em 2010. Além disto, destacaram-se outras ações voltadas ao público escolar como palestras, distribuição de brindes e leitura na biblioteca móvel que funciona num ônibus. Também, em Santa Catarina, organizadas pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Universidade do Vale do Itajaí-UNIVALI e Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC, outras ações voltadas ao público escolar seguiram as diretrizes da coordenação estadual.



Figura 2. Atividades desenvolvidas em Santa Catarina

Em Porto Velho-RO, uma parceria estabelecida desde o INAD 2010 tem se mostrado profícua em projetos que se estendem pelo ano todo. Por se tratar de um problema que extrapola o setor saúde, o Curso de Fonoaudiologia da Faculdade São Lucas ampliou os



Figura 1: Municípios participantes da edição 2011 do INAD no Brasil

propósitos da campanha para as questões ambientais e legais firmando parcerias com o Batalhão da Polícia Ambiental (BPA), o Ministério Público do Estado de Rondônia e a Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Porto Velho (SEMA). O Ministério Público, por intermédio do centro de apoio operacional do meio ambiente (CAOMA/MP-RO) e o BPA adotam o material oficial da campanha em todas as ações educativas promovidas por estes órgãos. Da parceria com a SEMA, culminou a realização do Seminário Ruído Urbano, Saúde Pública e Meio Ambiente que aconteceu em 19 de agosto com o intuito de discutir a situação da poluição sonora no município de Porto Velho com todas as instituições envolvidas com a problemática.

Em Santa Maria, o Curso de Graduação em Engenharia Acústica desde a edição 2010 vem desenvolvendo projetos de pesquisa e extensão relacionados ao INAD com a supervisão e orientação da coordenação nacional da campanha. O folder com informações sobre o risco da exposição ao ruído, a cartilha de orientação sobre o uso do medidor de nível de pressão sonora (MNPS), o *jingle* e diferentes *spots* de áudio que compuseram o material oficial de 2011 são resultados deste empenho. Além deles, há dois projetos em andamento que visam o desenvolvimento de jogos eletrônicos que desafiam o jogador a reduzir o ruído em atividades cotidianas. Um deles é voltado para o público infantil e outro ao público adolescente. No primeiro, é preciso fazer escolhas que reduzirão o incômodo produzido por diferentes fontes

sonoras em casa, em sala de aula ou num parque. No segundo, o jogador é o prefeito de uma cidade e tem o desafio de reduzir a poluição sonora tomando decisões administrativas e técnicas. Ambos os jogos estão em fase de desenvolvimento aguardando principalmente a verba necessária para implementação computacional.

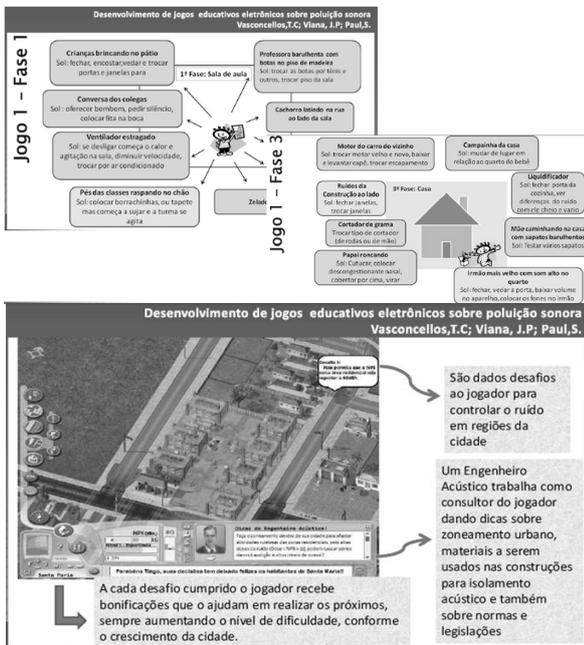


Figura 3. Jogos eletrônicos desenvolvidos em projetos acadêmicos do Curso de Engenharia Acústica da UFSM.

Slogan, material de divulgação e site

O slogan, elemento importante da campanha, foi desenvolvido em discussões entre os participantes da coordenação nacional, a partir dos resultados de um concurso realizado entre os alunos da escola de ensino fundamental Tuffi Dippe, de Joinville-SC, como estratégia da campanha em 2010. Depois de extensas discussões, o slogan escolhido foi “**não deixe o ruído invadir nossa cidade**”, sendo esta frase a parte da letra “*um mal que não escolhe / nem pessoa nem idade / não deixe o ruído / invadir nossa cidade*”, que foi transformada em música para a campanha 2011. A parte “**não deixe o ruído invadir nossa cidade**” foi adotada como slogan mínimo em todos os materiais de divulgação. O cartaz, material de maior destaque desde o início da campanha no Brasil em 2008, deu lugar a um conjunto de materiais diversos como o cartaz, avisos de porta, adesivos, calendários de bolso, marcadores de página, camisetas entre outros, mantendo um padrão gráfico e a arte criada a partir do lema da campanha.

Como materiais informativos impressos, foram elaborados um folder que apresenta informações sobre ruído, seus efeitos no homem e estratégias para combate à poluição sonora e uma cartilha com informações sobre o uso correto de um medidor de nível de pressão sonora. Na elaboração do folder, o ruído foi considerado como

agente físico, por base na teoria acústica, como agente insalubre, na saúde, e como agente poluidor, no meio ambiente. O assunto poluição sonora e possíveis medidas de controle são abordados a partir de exemplos do cotidiano para favorecer a compreensão do público leigo.



Figura 4. Materiais de divulgação com a arte INAD 2011

Na cartilha, intitulada “Você sabe usar um medidor de nível de pressão sonora?” há informações técnicas sobre os componentes do equipamento, funções e uso correto, apresentadas em linguagem acessível a qualquer usuário, além de tópicos de curiosidade para tornar o material mais atraente. Atualmente a cartilha está em processo de avaliação pelos usuários de MNPS a fim de medir a qualidade do material desenvolvido. Devido à diversidade cultural e socioambiental existente no Brasil, na elaboração desses materiais houve a preocupação em evitar questões que comprometessem sua adoção em alguma região. Além disso, foi considerado o cuidado de se fazer um material de qualidade suficiente para que não seja desprezado e acabe por contribuir com outra forma de poluição, o lixo.



Figura 5. Materiais educativos impressos, desenvolvidos para a campanha do INAD

Os materiais sonoros, *jingle* e *spots*, foram desenvolvidos para a divulgação do INAD em rádios e em canais de mídia na Internet e tiveram como linha de linguagem uma comunicação impactante, porém com linguagem simples, para um público alvo mais abrangente.

Os materiais desenvolvidos configuraram diferentes canais de divulgação atendendo a todos os públicos e contribuíram para o incentivo a atitudes que reduzem os prejuízos provocados pela exposição ao ruído excessivo. Dado o desempenho das coordenações estaduais e

patrocinadores locais e nacionais, os materiais foram impressos em quantidade total superior a 20.000 exemplares, atendendo desta forma a todos os municípios participantes. A distribuição por meio do site oficial e a impressão local contribuíram para uma distribuição rápida, econômica e ambientalmente correta. A criatividade dos parceiros locais nas edições anteriores culminou em diversidade de atividades que deu visibilidade para a campanha. Da mesma forma, porém, a extensão da campanha e, principalmente, a extensão geográfica do Brasil, começou em 2011 demandar estratégias diferenciadas para coordenação no âmbito nacional. A fim de dar continuidade ao incentivo de ações locais em respeito às identidades regionais, mas de forma a não descaracterizar os propósitos da campanha e padronizar o material de divulgação, a coordenação nacional reformulou algumas diretrizes para 2011 a fim de zelar pela unidade da campanha e lançou o site oficial www.inadbrasil.org em que é possível acessar informações sobre o histórico da campanha, coordenadores nacionais e regionais, planejamento, cronograma, os materiais para download, relatórios, entre outros. O novo site possibilitou também a integração com ferramentas de microblogging como o twitter oficial do INAD: @inadbrasil. Da mesma forma desde 2011 o INAD está presente nas redes sociais, como facebook e orkut.

Participação em eventos científicos

A participação do INAD em eventos de cunho científico e tecnológico foi outra estratégia adotada em 2011. Entre os dias 17 e 19 de abril o INAD esteve presente no 26º Encontro Internacional de Audiologia-EIA com um stand, divulgando a campanha e distribuindo os materiais da campanha de 2011. O stand serviu também para que mais pessoas de todo o Brasil se interessassem pela campanha e pudessem aderir a ela, organizando atividades nas suas cidades ou então apoiando as que já estavam planejadas para ocorrer.



Figura 6. Stand do INAD durante o 26º Encontro Internacional de Audiologia em Maceió-AL.

Na programação técnico-científica do 26º EIA, a organização do evento possibilitou a apresentação do INAD na sessão técnica “Fórum Ruído”, como exemplo de campanha de educação no combate da poluição

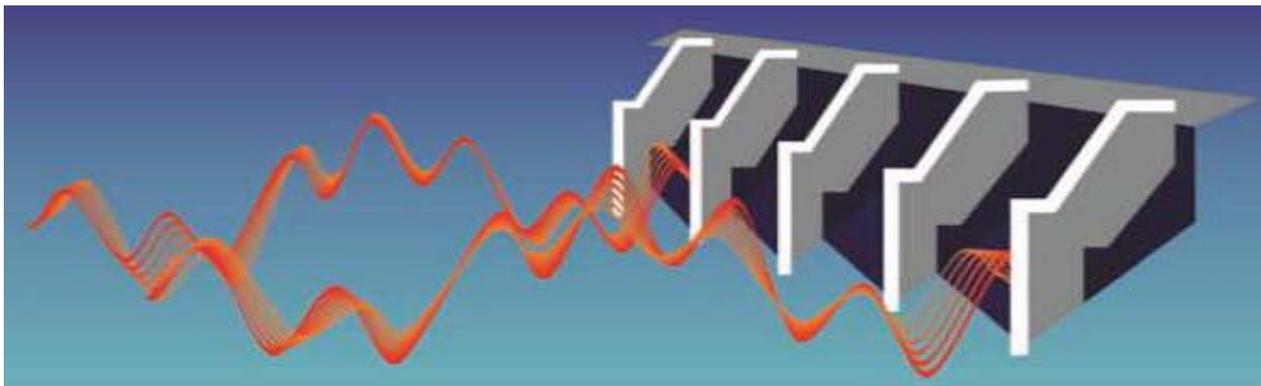
sonora, viabilizando a reunião da coordenação geral, coordenadores estaduais e demais interessados.

No dia 30 de maio, o INAD participou de uma mesa de debates no Seminário Ruído e Saúde Pública que aconteceu na Câmara Municipal de São Paulo. O objetivo do seminário foi discutir os impactos da exposição ao ruído de trânsito e a necessidade de barreiras acústicas nas rodovias que cortam a cidade de São Paulo. Para tanto, autoridades, arquitetos, engenheiros, fonoaudiólogos e membros de comunidades atingidas por ruídos em rodovias participaram do evento. A Coordenação nacional apresentou os dados prévios da última edição da campanha, além das experiências de sucesso em ações educativas e destacou a ideia de que o cidadão precisa conhecer os programas de combate à poluição sonora existentes em seu município, além de ser um multiplicador da ideia de que é preciso se proteger e denunciar, mas também é preciso se responsabilizar por reduzir a produção de ruído na vida cotidiana.

Na ocasião do *18th International Congress of Sound and Vibration-ICSV* (www.icsv18.org), um dos maiores congressos internacionais da área de acústica e vibrações, o INAD foi apresentado pela coordenação nacional na sessão técnica S22: *Noise Awareness Campaign*. Como resultado da sessão técnica a coordenação nacional do INAD no Brasil iniciou uma parceria com os organizadores do *International Noise Awareness Day* na Suíça.

Numa iniciativa conjunta da Faculdade São Lucas (Curso de Fonoaudiologia) e da Prefeitura de Porto Velho (Secretaria do Meio Ambiente), foi realizado no dia 19 de agosto o Seminário Ruído Urbano, Saúde Pública e Meio Ambiente. A meta foi proporcionar um debate para discutir a situação do ruído urbano em Porto Velho, com vistas ao controle e melhoria da qualidade de vida e saúde da população. Para tanto, o seminário teve como convidado o Dr. Stephan Paul, coordenador nacional do INAD, para falar sobre os aspectos técnicos da poluição sonora. O seminário contou também com a participação de órgãos públicos municipais e estaduais ligados à causa, dentre os quais: Ministério Público do Estado de Rondônia, Secretaria Estadual do Desenvolvimento Ambiental, Batalhão de Polícia Ambiental, IBAMA e Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

Por fim, cabe informar que a apresentação dos resultados preliminares da campanha 2011 por estados ou do âmbito nacional já foi aprovada em eventos vindouros como 19º Congresso Brasileiro e 8º Congresso Internacional de Fonoaudiologia, 5º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária e também na *10th International Conference on Urban Health*.



I WORKSHOP DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA DA REGIÃO NORTE – 03 a 05/08/2011 – TUCURUÍ-PA.

Com o apoio de infraestrutura e de transporte da Eletronorte/Eletróbras, foi realizado no município de Tucuruí-PA, o I Workshop de Vibração e Acústica da Região Norte, no período de 03 a 05/08/2011. O evento é resultado da parceria entre a Diretoria Regional Norte da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC e a Secretaria Regional Norte da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas – ABCM. A organização do referido evento ficou a cargo do Grupo de Vibrações e Acústica – GVA, da Universidade Federal do Pará, e da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEM, do Campus de Tucuruí.



Foto 1. Momento de abertura do workshop com os representantes da Eletronorte/Eletróbras, SOBRAC e ABCM Regional Norte, FEM e GVA.

Participaram do evento alunos da Universidade Federal do Pará, ligados ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e aos Cursos de Graduação em Engenharia Mecânica, Elétrica e Civil, do Campus de Tucuruí, bem como colaboradores da Superintendência de Geração Hidráulica – OGH, da Hidroelétrica de Tucuruí, pertencentes ao quadro funcional da Eletronorte/Eletróbras.



Figura 2. Colaboradores da Eletronorte/Eletróbras com os professores Newton Soeiro e Gustavo Melo.

A programação do I Workshop de Vibrações e Acústica da Região Norte contou com a realização de palestras proferidas por docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFPA e sessões de apresentação de trabalhos técnicos desenvolvidos pelos integrantes do GVA, muitos dos quais são resultados de Projetos de Pesquisas financiados pela Eletronorte/Eletróbras, dentro do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da ANEEL.



Foto 3. Participantes do I Workshop de Vibrações e Acústica, no momento de uma das palestras.

Durante o período de realização do evento foram ofertados dois minicursos, com duração de oito horas cada um, atendendo a demanda por parte dos alunos do Campus de Tucuruí e dos colaboradores da Eletronorte/Eletronorte. O Prof. Dr. Newton Sure Soeiro ministrou o minicurso de Manutenção Preditiva por Análise de Vibração e o Prof. Dr. Gustavo da Silva Vieira de Melo ministrou o minicurso de Análise de Ruído Ocupacional.



Foto 4. Momento de realização do minicurso de Análise de Ruído Ocupacional.

O colaborador da Eletronorte/Eletronorte Jimmison Levi de Oliveira, que participou do workshop e dos minicursos, deu o seguinte depoimento: “O minicurso de Análise de Ruído Ocupacional abordou a influência dos ruídos no ser humano, suas vantagens e desvantagens, quais os cuidados que se deve ter para preservar a audição do trabalhador, além da legislação em vigor relacionada com o tema. Já o de Manutenção Preditiva por Análise de Vibração apresentou a fundamentação teórica para quantificação e análise das vibrações, relacionando as características principais das vibrações para a identificação do estado operacional das máquinas e de seus componentes”.

As seções técnicas de apresentação de trabalhos foram desenvolvidas após a realização das palestras e do *Coffee Break*, atendendo ao tempo de 15 minutos para a apresentação do trabalho e 5 minutos para perguntas, seguindo a programação abaixo:

DIA: 03/08/2011

03.T01 – Influência dos métodos experimentais no desenvolvimento de modelo matemático para a quantificação de vibração de corpo inteiro em veículo automotor. Autores: Leonardo Pereira, Adriano Mendonça, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

03.T02 – Projeto e dimensionamento de absorvedor dinâmico viscoelástico para controle de vibração da tampa de inspeção de um reator elétrico. Autores: Gabriel Ohana, Alan do Vale, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

21:00/21:20 – Procedimento experimental de determinação do campo de velocidade de uma chapa vibrante. Autores: Bruno Andrade, Danilo Braga, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

21:20/21:40 – Análise modal numérica e experimental de condutores de linhas de transmissão de energia elétrica. Autores: Danilo Braga, Alexandre Sá, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

21:40/22:00 – Modelagem dinâmica pelo método de elementos finitos de um hidrogerador da hidroelétrica de Tucuruí. Autores: Rodrigo Galvão, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

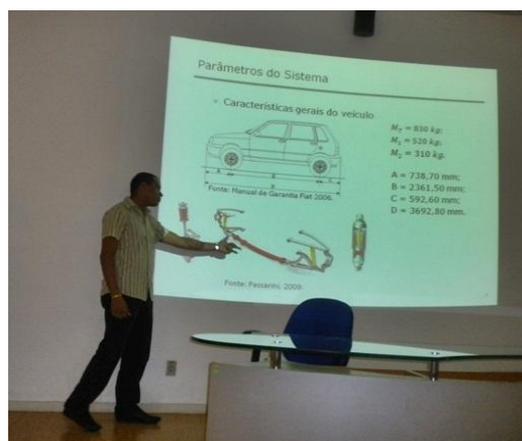


Foto 5. Apresentação do trabalho 03.T01.

DIA: 04/08/2011

04.T01 – Avaliação acústica de salas de aula de escolas públicas da grande Belém-PA. Autores: André Santana, Marlene Uriá, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

04.T02 – Desenvolvimento de bancada experimental para determinação de impedância normal de superfície e do coeficiente de absorção sonora de amostras de painéis de fibra de coco. Autores: João Silvestre, Rodrigo Vieira, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

04.T03 – Análise acústica de um auditório pelo método da acústica de raios: uma comparação entre os softwares Raynoise e Odeon. Autores: Lucas Celestino, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

04.T04 – Metodologia para controle de ruído no piso dos geradores de uma usina hidrelétrica. Autores: Alysson Lima, Helder Cardoso, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

04.T05 – Simulação do fluxo hidráulico em regime permanente de um hidrogerador da hidroelétrica de Tucuruí, pelo método dos volumes finitos. Autores: Adry Lima, Marcos Feitosa, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

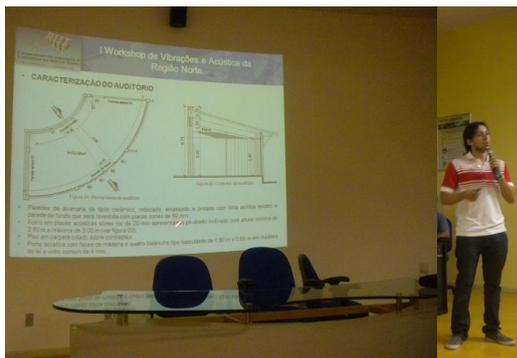


Foto 6. Apresentação do trabalho 04.T03.

DIA: 05/08/2011

05.T01 – Análise de ruído ocupacional nas instalações de beneficiamento de madeira de uma indústria localizada no distrito industrial de Icoaraci-PA. Autores: Sérgio Custódio Filho, Hélio Vitor, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

05.T02 – Caracterização de material viscoelástico pelo método da viga vibrante. Autores: Adriano Mendonça, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

05.T03 – Análise de vibração eólica de espaçadores de linhas de transmissão de energia elétrica multicabos. Autores: Walter Souza, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

05.T04 – Modelagem eletromagnética de um gerador da hidroelétrica de Tucuruí pelo método de elementos finitos. Autores: Fábio Setubal, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

05.T05 – Desenvolvimento de software de análise de vibração para identificação de defeitos em máquinas rotativas. Autores: Keliene de Jesus, Newton Soeiro e Gustavo Melo.

Durante o período de realização do workshop a Superintendência de Geração Hidráulica – OGH, da Hidroelétrica de Tucuruí autorizou a realização de visita técnica as suas instalações, dando a oportunidade aos integrantes do GVA de conhecer suas instalações.



Foto 8. Equipe do GVA em visita às instalações externas da Hidroelétrica de Tucuruí. A realização deste evento em Tucuruí oportunizou uma experiência muito boa para colaboradores da Eletronorte/Elektrobras, alunos e docentes da Universidade Federal do Pará, pela troca de informações e experiências que dizem respeito à área de vibração e acústica.



Foto 8. Equipe do GVA em visita às instalações internas da Hidroelétrica de Tucuruí.

Finalizando, o evento foi coroado de sucesso e representa mais uma atividade dentre outras que estão sendo programadas e que irão culminar com a realização do XXIV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC 2012) em Belém-PA. Na página seguinte, é apresentado o *folder* de divulgação do evento.



WORKSHOP DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA DA REGIÃO NORTE

03 A 05/08/2011 - TUCURUÍ - PA

PROGRAMAÇÃO

DIA: 03/08/2011

18:30/19:50

PALESTRA

Vibrações e o Corpo Humano:
uma avaliação ocupacional.
Prof. Dr. Newton Sure Soeiro

19:50/20:20

Coffee break

20:20/22:00

SEÇÃO TÉCNICA

DIA: 04/08/2011

18:30/19:50

PALESTRA

Ruído Comunitário: avaliação e
ações de controle.
Prof. Dr. Gustavo Melo

19:50/20:20

Coffee break

20:20/22:00

SEÇÃO TÉCNICA

DIA: 05/08/2011

18:30/19:50

PALESTRA

A Vibração como Elemento de
Alívio de Tensões Residuais em
Cordões de Solda.
Prof. Dr. Eduardo Braga

19:50/20:20

Coffee break

20:20/22:00

SEÇÃO TÉCNICA

ORGANIZAÇÃO

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - REGIONAL NORTE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIÊNCIAS MECÂNICAS - REGIONAL NORTE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - CAMPUS DE TUCURUÍ - UFPA
GRUPO DE VIBRAÇÕES E ACÚSTICA - GVA - UFPA

PATROCÍNIO

ELETRÓBRAS / ELETRONORTE





SOBRAC promove encontro histórico em São Paulo

A entidade comemora 27 anos e assume o compromisso de promover o desenvolvimento da acústica no País e no Exterior.

O Encontro Anual da SOBRAC (Sociedade Brasileira de Acústica), realizado, no MuBE (Museu Brasileiro de Escultura), no dia 21 de novembro, em São Paulo, marca um novo capítulo em sua história de 27 anos. Com a aprovação dos novos estatutos e a consequente reforma administrativa, a entidade - que representa a comunidade científica, empresarial e institucional do setor - assume o compromisso de promover o desenvolvimento da Acústica e suas subáreas no País e no Exterior.

A implantação de uma certificação profissional para estabelecer “quem é quem no mercado” foi debatida pela diretoria e pela platéia formada por professores, engenheiros, arquitetos, consultores, empresários e demais profissionais do setor. Eles apresentaram sugestões, prós e contras, e analisaram modelos adotados por duas associações. O assunto será retomado, de forma deliberativa, no 24º Congresso Internacional Técnico-Científico da SOBRAC www.sobrac2012.com.br marcado para o período de 29 de maio a 1º de junho do ano que vem, em Belém do Pará. O evento contou também com apresentação de “cases” e uma homenagem aos engenheiros Schaia Akkerman e Fernando Aidar com o título de “Associado Honorário” da instituição.

A professora Dinara Paixão, presidente da SOBRAC, comentou que o evento superou todas as expectativas em função da participação e presença do público, que lotou o auditório do MuBE. Além disso, serviu para a apresentação de um relatório das atividades e as novas propostas da diretoria.



“Foi um marco na história da nossa entidade. Abriu um novo canal de comunicação com o nosso associado. A partir de agora, vamos discutir nossos problemas; mostrar o que podemos fazer e conhecer aquilo que os profissionais querem de nós”, frisou a dirigente, responsável pela implantação do primeiro curso de graduação de Engenharia Acústica do País, na Universidade Federal de Santa Maria (RS).



Presidente e integrantes da Diretoria da SOBRAC

As palestras

A engenheira Irene Saad, da Associação Brasileira de Higienistas Ocupacionais (ABHO) e o engenheiro Luiz Mauro Alves, da Associação Brasileira de Ensaaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI), apresentaram os programas de certificação profissional adotados pelas duas entidades. Com isso, ofereceram subsídios para a SOBRAC desenvolver o tema.

Os arquitetos Marcos Holtz, da Harmonia Acústica, e Débora Barretto, traçaram um panorama do mercado imobiliário sob o ponto de vista acústico e da certificação profissional; o engenheiro Davi Akkerman, presidente da ProAcústica, fez um breve relato das ações desenvolvidas pela entidade, lançada este ano com comprometimento de apoiar a SOBRAC; Peter Joseph Barry, físico e pesquisador do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), analisou os desdobramentos da Norma de Desempenho 15.575, que está em revisão. Prevista para entrar em vigor no dia 12 de março do ano que vem, a Norma pode ser adiada mais uma vez; e o presidente nacional da ANAVIDRO, José Joaquim Miguel, chamou a atenção para a necessidade de aumentar a divulgação dos benefícios da acústica na construção civil. E concluiu com uma frase de efeito:

-- Pra vender silêncio, temos que fazer mais barulho!

A engenheira Ana Paula Elias, da Claris, apresentou a palestra Desempenho Acústico das Esquadrias de PVC; Nicole Fischer, da Atenua Som, destacou Soluções Térmicas e Acústicas; Samuel Abrahão, da Cebrace, mostrou como os novos vidros contribuem para o dia a dia das pessoas; o arquiteto Fernando Neves, da Isover, do Grupo Saint Gobain, analisou a aplicação da acústica em instalações hidráulicas; Marcos Borges de Lima, da Ambi Brasil, mostrou uma linha de divisórias corporativas e painéis em MDF de absorção acústica; a engenheira Nancy Devai, da Owa Brasil, apresentou forros e revestimentos para projetos sustentáveis como, por exemplo, o Teatro Riachuelo, de Natal (RN); e Otávio Inácio, da InAcoustics, apresentou um software para cálculo de isolamento sonoro de edifícios.

O Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Acústica contou com o patrocínio da Cebrace, Isover, Owa, Claris, Ambi, Atenua Som, Total Safety, Woodfit e InAcoustics; e apoio da ProAcústica e do Vibranews, informativo dirigido ao mercado de acústica.

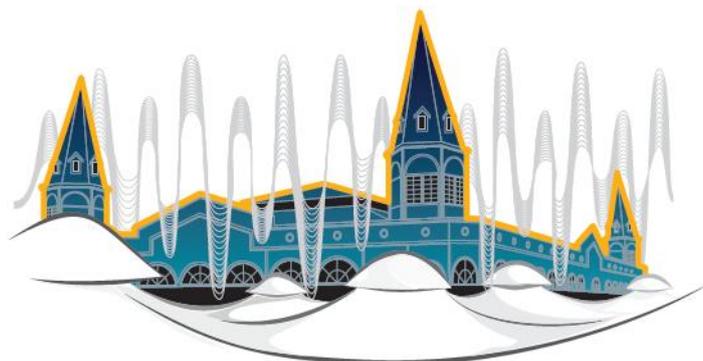


Eng Schaia recebendo título de Associado Honorário concedido na gestão anterior e agora formalizado



Eng Fernando reconhecido Associado Honorário na gestão anterior e formalizado pelo Conselho atual





BELÉM – PA
29/05 A 01/06/2012

XXIV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA

A Sociedade Brasileira de Acústica – SOBAC promove, a cada 2 anos, o encontro de profissionais das universidades e das empresas ligadas às diversas especialidades das áreas de Acústica e Vibrações, reunindo profissionais do Brasil e de outros países, reconhecidos nacional e internacionalmente, com o objetivo de promover intercâmbio entre os agentes de produção, divulgação e apropriação de conhecimentos, contribuindo na difusão de métodos e técnicas nas áreas de Acústica e Vibração. Nesta versão a Comissão Organizadora do evento estabeleceu o tema “**Acústica e Vibrações Voltadas à Segurança e Conforto de Estruturas e Seres Humanos**”, assunto de grande relevância na atualidade.

O **XXIV SOBAC** está sendo organizado pelo Grupo de Vibrações e Acústica – GVA, da Universidade Federal do Pará, em conjunto com a Diretoria da Regional Norte da SOBAC e outros integrantes de instituições de ensino superior do estado do Pará. **Belém**, a capital paraense que sediará o evento, é a segunda cidade mais populosa da região Norte e a maior Região Metropolitana do Norte, também conhecida como "Metrópole da Amazônia". A cidade possui o maior IDH entre as capitais nortistas e concentra a maior população metropolitana da região. A capital paraense, excluindo-se a população metropolitana, conta com cerca de 1.424.124 habitantes. Assemelhando-se a uma península, cercada por água, áreas militares e de proteção ambiental, teve pouco espaço para expansão, ocasionando conurbação com municípios próximos dando origem a Grande Belém, que tem população estimada em 2,1 milhões de habitantes. Pela abundância de mangueiras em suas ruas, é popularmente chamada de “Cidade das Mangueiras”. Denominada também de “Cidade Morena”, característica herdada da miscigenação do povo português com os índios Tupinambás, nativos habitantes da região à época da fundação.



O **XXIV SOBAC** contará com o tradicional espaço onde as empresas, que atuam nas áreas de Acústica e Vibrações, apresentarão seus produtos e tecnologias e sua programação inclui seções técnicas, palestras, mini-cursos e mesas redondas contendo o estado da arte nos seguintes tópicos nas áreas de Acústica e Vibrações: Acústica de Edificação; Acústica de Salas e Inteligibilidade; Acústica Musical; Acústica Submarina; Acústica Teórica; Bioacústica; Controle de Ruído e Vibração; Eletroacústica; Ensino de Acústica e Vibração; Materiais de Absorção; Processamento de Sinais em Acústica e Vibrações; Métodos Numéricos em Vibroacústica; Normalização em Acústica e Vibração; Ruído Ambiental, Ruído e o Homem - saúde auditiva, aspectos subjetivos, psicoacústica; Ultrassom; e Vibração e Ruído Induzidos por Fluxo.



Local de Realização do XXIV SOBAC

O CROWNE PLAZA é um hotel 5 estrelas com o que há de mais moderno em tecnologia, conforto e segurança. Conta com um dos mais versáteis centros de convenções de Belém e possui uma completa infraestrutura com internet banda larga e wireless, bem como de serviços personalizados.



Coordenação Geral:

Prof. Dr. Newton Sure Soeiro (UFPA)

Comitê Científico:

Prof. Dr. Gustavo da Silva Vieira de Melo (UFPA)
Prof. Dr. Márcio Henrique de Avelar Gomes (UNB)

Datas Importantes:

Submissão de Artigos, 20/01/2012
Aceite dos Artigos, 23/03/2012

Comitê de Organização:

Profa. Dra. Elcione Moraes (UFPA)
Prof. Dr. Antônio Marcos de Lima Araújo (IESAM)
Msc. Antônio Carlos Lobo Soares (MPEG)
Msc. Débora Barreto (AUDIUM)
Profa. Msc. Francisca Araújo (UNAMA)
Prof. Odorico Nina Ribeiro (IFPA)
Prof. Itamar Vilhena de Brito (CESUPA)

