

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FABIANA RODRIGUES DALL CORTIVO

MAPEAMENTO SONORO DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

CURITIBA

2011

FABIANA RODRIGUES DALL CORTIVO

MAPEAMENTO SONORO DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, parceria Universidade Federal do Paraná, SENAI e Universidade de Stuttgart, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin

CURITIBA

2011

TERMO DE APROVAÇÃO

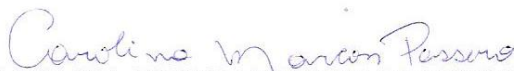
FABIANA RODRIGUES DALL CORTIVO

MAPEAMENTO SONORO DE INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL

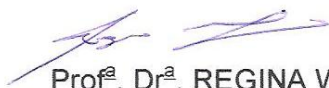
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:



Orientador: Prof. Dr. Ing. PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN
Setor de Tecnologia, UFPR



Eng^a. Dr^a. CAROLINA REICH MARCON PASSERO
LAAICA, UFPR



Prof^a. Dr^a. REGINA WEINSCHUTZ
Setor de Tecnologia, UFPR

Curitiba, 05 de agosto de 2011.

Ao meu marido e filho amados, pela paciência e sacrifício.

AGRADECIMENTOS

Ao Julio Cesar Batista Nogueira por incentivar o mestrado, mesmo quando muitos não entendiam a necessidade.

Ao Jose Augusto por me agüentar e ajudar quando precisei de mais informações.

Prof. Dr. Ing. Paulo Henrique Trombetta Zannin pela orientação dada e principalmente pela paciência dispendida, pois com certeza este trabalho não teria saído se não fosse pela sua insistência.

Temos o destino que merecemos. O
nosso destino está de acordo com os
nossos méritos.

Albert Einstein

RESUMO

A poluição sonora passou a ser considerada pela OMS (Organização Mundial da Saúde), uma das três prioridades ecológicas para a próxima década. Sendo que os ruídos causados pelas indústrias afetam o meio ambiente do trabalho e a vizinhança de um modo geral. Este trabalho tem como objetivo caracterizar o impacto do ruído advindo de uma indústria de celulose e papel sobre a sua vizinhança. Esse impacto foi estudado com o auxílio de um *software* dedicado capaz de realizar o mapeamento sonoro das suas máquinas e equipamentos (fontes). Os levantamentos dos dados foram feitos em 2008 e 2009, e no estudo foram consideradas a potência sonora das principais máquinas e equipamentos, as barreiras acústicas e silenciadores existentes e a topografia do terreno para então, traçar o mapa sonoro da situação atual. Com esse mapa foi possível visualizar qual o nível sonoro incidente na comunidade alvo de estudo. Os níveis sonoros foram comparados com a legislação ambiental de emissões sonoras em vigor, Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) n. 001 de 08 de março de 1990 e NBR 10.151 (Normas Brasileiras). Finalmente foram simuladas, através do software, ações de controle para o ruído a fim de se avaliar a redução no desconforto acústico causado pelas máquinas e equipamentos na população vizinha. Esses mapas ajudam no planejamento de investimentos, pois possibilitam o controle orçamentário, ou seja, a priorização das ações mais críticas e que realmente surtirão resultados no controle do ruído imitado.

Palavras chave: ruído, poluição sonora, mapa sonoro

ABSTRACT

The noise pollution was set as one of ecological priorities for the next decade by WHO (World Health Organization). The noise caused by the industries affects the work environment and the neighborhood in a general way. The present work has as objective to characterize the impact of the noise an industry of pulp and paper has on its neighborhood. This impact was studied with the support of specific software that is capable of carrying through the sound map of the industrial equipments and machines (source). The data survey was taken in 2008 and 2009, and in the study, the power sound of the main machines and equipments, the acoustic barriers, the existing silencers and area topography to trace the sound map of the current situation were all taken into consideration. With this map it was possible to view the incident sound level in the targeted community. The sounds levels were compared with the update environmental regulation for sound emission, CONAMA resolution (National Environment Consuel) n.001 from March 08 of 1990 and NBR 10.151 (Brazilians Standards). Finally, using the software there was a simulation of the control actions for noise, in order of evaluate the reduction of acoustic discomfort caused by the machines and equipments in the neighborhood. These maps helped to plan investments, because they allowed us to set the budget control, which now gives priority to the most critical actions and their following solutions to help eliminating the noise emission control issue.

Key word: noise, sound pollution, sound map

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EXEMPLOS DE REGISTRO AMBIENTE EM UMA COMUNIDADE URBANA	20
FIGURA 2 – FREQUENCIAS AUDÍVEIS	21
FIGURA 3 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA ENTRE O LIMAR DA AUDIBILIDADE E O LIMAR DA DOR	23
FIGURA 4 – DUAS FONTES SONORAS COMBINADAS.....	26
FIGURA 5 – EMPREGO DA OPERAÇÃO DE “SUBTRAÇÃO” DE DECIBÉIS DO RUÍDO DE FUNDO.....	27
FIGURA 6 – ESPECTROS DE UM MESMO RUÍDO OBTIDOS COM DIFERENTES FILTROS	28
FIGURA 7 – LIMAR DA AUDIBILIDADE (CURVA A) E LIMAR DO DESCONFORTO AUDITIVO (CURVA B).....	29
FIGURA 8 – MECANISMOS MAIS SIGNIFICATIVOS DA ATENUAÇÃO SONORA AO AR LIVRE (CAMPO ABERTO)	30
FIGURA 9 – ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA – RELAÇÃO DISTÂNCIA E FREQUÊNCIA	31
FIGURA 10 – FONTE SONORA, TRAJETÓRIA DE TRAMISSÃO E RECEPTOR...32	
FIGURA 11 – MODELO PARA SIMULAÇÃO DE RUÍDO NA COMUNIDADE.....	36
FIGURA 12 – SIMULAÇÃO ACÚSTICA.....	37
FIGURA 13 – NÍVEIS DE INCOMODO DE UMA FONTE DE RUÍDO.....	39
FIGURA 14 – FOTO ILUSTRATIVA DA INDÚSTRIA NA DÉCADA DE 40	45
FIGURA 15 – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE EM RELAÇÃO A INDÚSTRIA	46
FIGURA 16 – ILUSTRAÇÃO ADAPTADA SOBRE O FLUXO.....	47
FIGURA 17 – DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS EM UM PÁTIO DE MADEIRA	48
FIGURA 18 – MEDIDOR DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	51
FIGURA 19 – EXEMPLO DE MAPA GERADO PELO SOFTWARE CADNA-A	52

FIGURA 20 – DISPOSIÇÃO DOS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS MEDIÇÕES CONFORME NBR 10.151	53
FIGURA 21 – CIDADE EM RELAÇÃO À INDÚSTRIA	55
FIGURA 22 – POSIÇÃO DAS ETAPAS DO PROCESSO EM RELAÇÃO À CIDADE	55
FIGURA 23 – DISPOSIÇÃO DOS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES	58
FIGURA 24 – DISPOSIÇÃO DOS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS SIMULAÇÕES	59
FIGURA 25 – DESCASCADOR DE MADEIRA	64
FIGURA 26 – DESCASCADOR DE MADEIRA 1 – Leq 96,1 dB(A)	65
FIGURA 27 – DESCASCADOR DE MADEIRA 2 – Leq 93,4 dB(A)	65
FIGURA 28 – MESA DE RECEBIMENTO DE TORAS – Leq 96,7 dB(A)	66
FIGURA 29 – PICADOR DE MADEIRA 2 – Leq 107,7 dB(A)	67
FIGURA 30 – PICADOR DE MADEIRA 1 – Leq 102,0 dB(A)	67
FIGURA 31 – DIGESTOR CONTÍNUO	68
FIGURA 32 – DIGESTOR CONTÍNUO – Leq 94,7 dB(A)	69
FIGURA 33 – UTILIDADES E RECUPERAÇÃO – CALDEIRAS.....	70
FIGURA 34 – UTILIDADES E RECUPERAÇÃO – FORNO DE CAL	70
FIGURA 35 – CALDEIRA DE FORÇA 1 – Leq 86,5 dB(A).....	71
FIGURA 36 – CALDEIRA DE FORÇA 2 – Leq 81,7 dB(A).....	71
FIGURA 37 – CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO – Leq 78,7 dB(A)	72
FIGURA 38 – EVAPORAÇÃO – TORRES DE RESFRIAMENTO – Leq 84,70 dB(A)	72
FIGURA 39 – TURBOGERADORES – Leq 96,2 dB(A).....	73
FIGURA 40 – FORNO DE CAL – Leq 89,2 dB(A)	73
FIGURA 41 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES – TORRE BIOLÓGICA – Leq 74,9 dB(A)	74

FIGURA 42 – ÁREA DOS VENTILADORES DO MEZANINO.....	75
FIGURA 43 – PREPARO DE MASSA.....	75
FIGURA 44 – ÁREA DOS VENTILADORES DO MEZANINO – Leq 99,2 dB(A).....	76
FIGURA 45 – ÁREA DAS TORRES – Leq 94,4 dB(A).....	76
FIGURA 46 – PREPARO DE MASSA – Leq 95,5 dB(A).....	77
FIGURA 47 – MAPEAMENTO SONORO DO CENÁRIO ATUAL	79
FIGURA 48 – MAPEAMENTO SONORO – TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL.....	83
FIGURA 49 – MAPEAMENTO SONORO – TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL E FIBRAS	87
FIGURA 50 – MAPEAMENTO SONORO – TRATAMENTO ACÚSTICO EM TODAS AS FONTES.....	92

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – AVALIAÇÃO DE RUÍDO EM ÁREAS HABITADAS – PERÍODO DIURNO.....	62
GRÁFICO 2 – AVALIAÇÃO DE RUÍDO EM ÁREAS HABITADAS -PERÍODO NOTURNO.....	62
GRÁFICO 3 – COMPARATIVO DAS MEDIÇÕES REALIZADAS NO PERÍODO DIURNO X NOTURNO	63
GRÁFICO 4 – VALORES SIMULADOS X NCA NBR 10.151.....	81
GRÁFICO 5 – PERCENTUAL DE PONTOS SIMULADOS EM RELAÇÃO AO SEUS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA O CENÁRIO ATUAL	82
GRÁFICO 6 – COMPARATIVO ENTRE OS VALORES SIMULADOS COM E SEM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL CONSIDERANDO OS NCA NBR 10.151.....	85
GRÁFICO 7 – PERCENTUAL DE PONTOS SIMULADOS EM RELAÇÃO AO SEUS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA CONSIDERANDO O TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL.....	86
GRÁFICO 8 – VALORES SIMULADOS X NCA NBR 10.151 – MEDIDAS DE CONTROLE DAS MÁQUINAS DE PAPEL E FIBRAS	89
GRÁFICO 9 – COMPARATIVO ENTRE OS VALORES SIMULADOS COM E SEM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL NA ÁREA DE FIBRAS	91
GRÁFICO 10 – VALORES SIMULADOS X NCA NBR 10.151 – TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL EM TODAS AS FONTES FIBRAS	94
GRÁFICO 11 – PERCENTUAL DE PONTOS SIMULADOS EM RELAÇÃO AO SEUS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA CONSIDERANDO O TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL EM TODAS AS FONTES.....	95
GRÁFICO 12 – COMPARATIVO ENTRE AS SIMULAÇÕES NOS CINCO PONTOS DA CIDADE MAIS PRÓXIMA A INDÚSTRIA.....	96

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COEFICIENTE DE ATENÇÃO ATMOSFÉRICA PARA BANDAS DE OITAVA DE RUÍDOS EM FREQUÊNCIAS NOMINAIS INTERMEDIÁRIAS	31
TABELA 2 – NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO NCA PARA AMBIENTES EXTERNOS EM dB(A)	43
TABELA 3 – NÍVEIS DE RUÍDO MEDIDOS CONFORME NBR 10.151.....	61
TABELA 4 – VALORES SIMULADOS E MEDIDAS DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA	78
TABELA 5 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA SIMULADOS – CENÁRIO ATUAL ..	80
TABELA 6 – DIFERENÇA ENTRE OS VALORES SIMULADOS COM E SEM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL.....	84
TABELA 7 – VALORES SIMULADOS.....	88
TABELA 8 – DIFERENÇA ENTRE OS VALORES SIMULADOS COM E SEM TRATAMENTO ACÚSTICO NA ÁREA DE FIBRAS	90
TABELA 9 – VALORES SIMULADOS.....	93

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – EFEITOS DO RUÍDO.....	38
QUADRO 2 – LEGENDAS DOS LOCAIS	54
QUADRO 3 – ETAPAS DO PROCESSO E EQUIPAMENTOS CRÍTICOS.....	56
QUADRO 4 – RELAÇÃO DE PONTOS ONDE FORAM REALIZADOS AS MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES	58
QUADRO 5 – RELAÇÃO DE PONTOS PARA O CÁLCULO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA IMITIDOS	60

LISTA DE SIGLAS

p	– Pressão sonora
p_0	– Pressão sonora de referencia, 20 μPa ou $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$
$t = (t_2 - t_1)$	– Tempo total de duração [s]
p_t	– Pressão sonora instantânea
NIS ou L_i	– Nível de intensidade sonora
I	– Intensidade sonora
I_0	– Intensidade sonora de referência, 10^{-12} W/m^2
NWS ou L_w	– Nível de potência sonora
W	– Potência sonora
W_0	– Potência sonora de referencia, 10^{-12} W
$L_{p1} \dots L_{pn}$	– Níveis de pressão sonora medidos
L_p	– Níveis de pressão sonora total ou global
$L_{p\text{fundo}}$	– Níveis de pressão sonora de ruído de fundo
A_{atm}	– Atenuação atmosférica [dB]
α	– Coeficiente de atenuação atmosférica [dB/km]
d	– Distância [km]
art.	– Artigo
Art.	– Artigo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO.....	17
1.1.1 Objetivo específico	18
1.2 JUSTIFICATIVA	18
2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	19
2.1 CONCEITOS	19
2.1.1 Som e ruído.....	19
2.1.2 Frequência	20
2.1.3 Intensidade, potência e pressão sonora.....	21
2.1.4 Níveis	22
2.1.4.1 Nível de pressão sonora.....	22
2.1.4.2 Nível equivalente de pressão sonora	23
2.1.4.3 Nível total (global) de pressão sonora	24
2.1.4.4 Níveis estáticos de ruído	24
2.1.4.5 Nível de intensidade sonora	24
2.1.4.6 Nível de potência sonora.....	25
2.1.5 Decibel	25
2.1.6 Adição e subtração de níveis de pressão sonora.....	26
2.1.6.1 Adição de níveis de pressão sonora.....	26
2.1.6.2 Subtração de níveis de pressão sonora	27
2.1.7 Espectro sonoro em bandas de frequência	28
2.1.8 Curva de correção.....	29
2.1.9 Emissão e imissão sonoras.....	29
2.1.10 Propagação sonora ao ar livre	30
2.1.11 Controle de ruído.....	32
2.1.11.1 Controle na fonte.....	32
2.1.11.2 Controle na trajetória.....	33
2.1.11.3 Controle no receptor.....	33
2.2 REVISÃO DE LITERATURA	33
2.2.1 Poluição sonora.....	33
2.2.2 Simulação acústica.....	35
2.2.3 Efeitos nocivos do ruído a saúde.....	37
2.2.4 Ruído em comunidade – reação da população exposta ao ruído	38
2.2.5 Legislação e normas para avaliação do ruído ambiental.....	39
2.2.5.1 Constituição da República Federativa do Brasil	40
2.2.5.2 Lei Federal nº 6.803/1980	40
2.2.5.3 Lei Federal nº 6.938/1981	41
2.2.5.4 Lei Federal nº 10.257/01	41
2.2.5.5 Decreto-lei Federal nº 3.688/1941	42
2.2.5.6 Resolução CONOMA nº. 001/1986	42
2.2.5.7 Resolução CONOMA nº. 001/1990	43
2.2.5.8 Nbr nº 10.151 – avaliação de ruído em áreas habitadas.....	43
2.2.5.9 Nbr nº 10.152 – avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto acústico.....	44
2.3 OBJETIVOS DE ESTUDO	44
2.3.1 Vizinhança.....	44

2.3.2 Indústria	47
2.3.2.1 Preparação de madeira	47
2.3.2.2 Fabricação de celulose.....	49
2.3.2.3 Máquina de papel.....	49
2.3.2.4 Utilidades e recuperação.....	49
2.3.2.5 Parada geral.....	50
3 MATERIAS E MÉTODOS	51
3.1 EQUIPAMENTOS.....	51
3.2 SOFTWARE PARA MAPEAMENTO	52
3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS	53
3.3.1 Levantamento do ruído ambiental	53
3.3.2 Levantamento das características construtivas da fábrica	54
3.3.3 Localização dos pontos críticos.....	55
3.3.4 Realização de medições dos níveis de potencia sonora equivalente – leq, em db(a)	56
3.3.5 Realização de medições dos níveis de pressão sonora equivalente – leq - validação	57
3.3.6 Predição acústica	59
4 RESULTADOS.....	61
4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DO RUÍDO AMBIENTAL.....	61
4.2 MAPEAMENTO ACÚSTICO	63
4.2.1 Caracterização das fontes sonora	64
4.2.1.1 Preparo de madeiras.....	64
4.2.1.2 Fabricação de fibras.....	68
4.2.1.3 Utilidades e recuperação.....	69
4.2.1.4 Máquina de papel.....	74
4.2.2 Comparativo entre os valores dos níveis de pressão sonora simulados e medidos.....	77
4.2.3 Cenário atual – indústria em operação normal	78
4.2.4 Cenário desejado	82
4.2.4.1 Tratamento acústico na máquina de papel.....	83
4.2.4.2 Tratamento acústico na máquina de papel e fibras.....	87
4.2.4.3 Tratamento acústico em todas fontes.....	91
5 CONCLUSÃO	97
REFERÊNCIAS.....	100

1 INTRODUÇÃO

A poluição sonora é considerada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como um problema de saúde pública. Segundo a OMS a poluição sonora é hoje o tipo de poluição que atinge o maior número de pessoas no planeta depois da poluição do ar por emissões gasosas e da poluição das águas. Esta impacta significativamente na qualidade de vida das pessoas e provoca alterações auditivas, orgânicas, psicológicas e sociais (PAZ, 2008).

Em contraste com outros problemas ambientais, a poluição sonora continua a crescer e vem acompanhada pelo aumento do número de reclamações de pessoas expostas ao ruído (BERGLUND et al, 1999).

Diversos estudos foram realizados a respeito do incômodo causado pelo ruído urbano à população levando em consideração principalmente o tráfego de veículos automotores como a sua maior componente (ZANNIN et. al., 2002, PAZ et. al., 2005). Em adição a essa componente existe outras fontes que compõem o ruído ambiental que devem ser consideradas, como as indústrias.

Existe um interesse crescente com as questões de ruídos imitados pelas indústrias nas vizinhanças, ou seja, quando atravessa os limites da indústria e atinge um receptor diferente do interno podendo causar efeitos nocivos na saúde das pessoas e em geral é a causa de reclamação por parte da comunidade atingida. Este ruído é devido a todos os seus tipos de maquinários e usualmente aumenta com a potência instalada dos equipamentos.

Muitas vezes nas especificações de novos equipamentos, as indústrias de forma geral têm a preocupação com a temática ocupacional preconizada na Norma Regulamentadora nº15, Anexo 1 do Ministério do Trabalho e Emprego, esquecendo que essas devem atender, também, aos padrões para a imissão de ruídos na vizinhança conforme a Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) n. 001 de 08 de março de 1990 e NBR 10.151 (Normas Brasileiras).

Segundo MURGEL (2007, p.37) a comunidade convive com os ruídos imitados pelas indústrias, independente do limite legal ou efeitos a saúde. Mas, quando há uma ampliação da indústria sem os devidos cuidados com as suas fontes sonora, gerando um acréscimo ao ruído de fundo, é inevitável que haja uma perturbação na comunidade.

As indústrias devem ao ampliar os seus parques fabris, levar em consideração nas suas licenças de operação os controles da imissão de ruídos, pois ao imiti-los é preciso que arquem com as suas responsabilidades sócio-ambientais. Além disso, a poluição sonora enquadra-se como crime ambiental, conforme disposto do artigo 54 da Lei de Crimes Ambientais, basta que ocorra em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana (Machado, 2003).

Este trabalho tem seu foco em uma indústria do ramo papelero por possuir uma quantidade elevada de equipamentos ruidosos com alto potencial de atingir as vizinhanças nos seus entornos como: picadores, bombas de vácuo, máquinas de papel, válvulas de alívio, ventiladores, caldeiras, turbogeradores, entre outros.

Vários desses equipamentos como por exemplo, os picadores de madeira, normalmente são instalados em locais abertos sem a preocupação com enclausuramento ou isolamentos sonoros, pois a princípio os funcionários ficariam em salas com tratamento acústico, o que ameniza os riscos de doenças ocupacionais, mas, o impacto do ruído ambiental na vizinhança pode prevalecer em níveis substanciais.

1.1 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é o mapeamento das fontes de ruído de uma planta operacional de uma Indústria De celulose e papel que estejam impactando diretamente no conforto acústico da comunidade adotando as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades da resolução do CONAMA N.º 001 de 08 de março de 1990 e NBR 10151:2000 – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas.

1.1.1 Objetivo Específico

O trabalho se desenvolveu em três etapas:

- a) levantamento de dados de ruído nos limites da planta e no seu entorno através de medições e monitoramento de ruído no perímetro interno, áreas internas, circunvizinhanças;
- b) realização de modelo computacional para previsão de dispersão sonora da planta em operação e em diversos pontos da comunidade;
- c) avaliação da relação dos níveis medidos com os limites estabelecidos legalmente.

1.2 JUSTIFICATIVA

Na condição atual da empresa, realizar apenas o monitoramento conforme NBR 10.151 não são suficientes. Este monitoramento define os níveis de impactos da fonte no meio receptor, mas não há o detalhamento para ações de controle e redução das emissões e imissões.

O mapeamento acústico através da modelagem computacional é uma forma mais eficaz de se prever os comportamentos possíveis dos níveis de ruído da fonte, independentemente do meio em que esteja inserido, ou seja, em uma indústria onde existem vários equipamentos que contribuem no nível total de ruído, pode se simular isoladamente os seus níveis e definir prioridades nos planos de controle de ruído. Além disso, os mapas acústicos podem ser usados quando da especificação de novos equipamentos, determinando quais seriam os impactos na comunidade antes da sua instalação, permitindo um controle mais adequado.

Este trabalho é de extrema importância para a indústria, pois somente identificando os equipamentos que estão contribuindo para a poluição sonora percebida na comunidade, a indústria poderá de maneira organizada e planejada, investir em soluções e prever novas ampliações de forma sustentável.

2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

Neste capítulo são apresentadas as fundamentações teóricas utilizadas como base para execução e elaboração da dissertação.

2.1 CONCEITOS

2.1.1 Som e Ruído

Segundo GERGES:

Um ruído é apenas um tipo de som, mas um som não é necessariamente um ruído. O conceito de ruído é associado a som desagradável e indesejável. Som é definido como variação da pressão atmosférica dentro dos limites de amplitude e bandas de frequências aos quais o ouvido humano responde. GERGES (2000, p.41)

Diversas literaturas especializadas acabam indo além quanto ao entendimento de ruído, como um som indesejável, perturbador e até, podendo ser perigoso ou nocivo à saúde. (BERGLUND et al, 1999, BARRON, 2003)

O ruído ambiental é definido como uma superposição de ruídos, podendo ter as suas naturezas e origens distintas, estando próximas ou remotas (BISTAFA, 2006, p.105).

Na FIGURA 1 são apresentados exemplos de registro de ambiente em uma comunidade urbana.

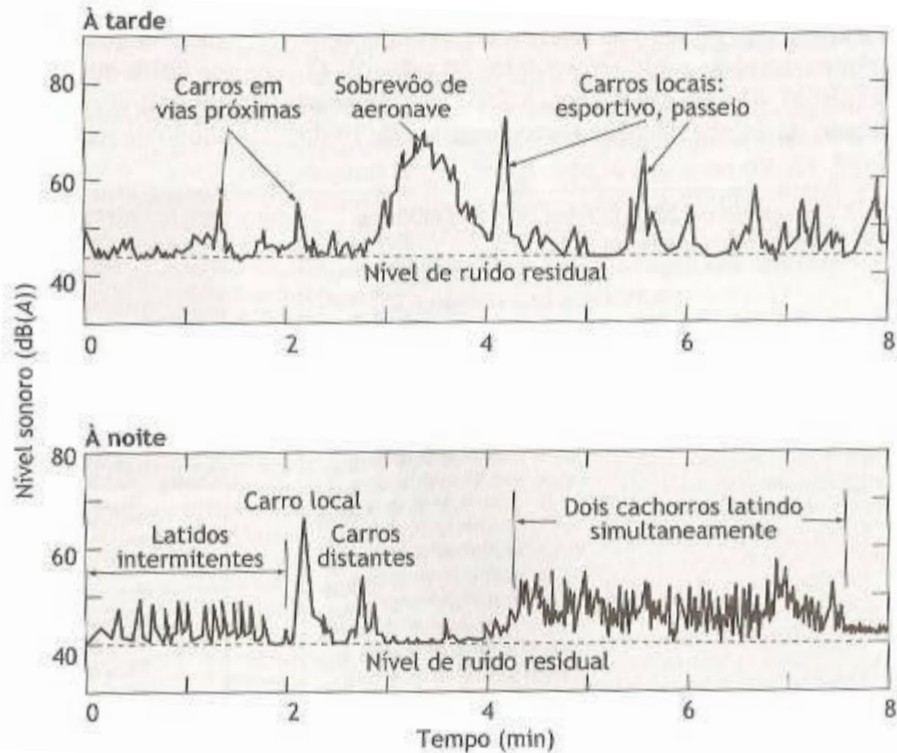


FIGURA 1 - EXEMPLOS DE REGISTRO DE AMBIENTE EM UMA COMUNIDADE URBANA

FONTES: BISTAFA, 2006, p.105

2.1.2 Frequência

Frequência (f) é o número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som, sendo a sua unidade ciclos por segundo, ou Hertz (Hz).

As faixas audíveis de frequências ou bandas audíveis são as faixas de frequência que o nosso ouvido é capaz de captar, estas vão de 20 a 20000 Hz (FIGURA 2).

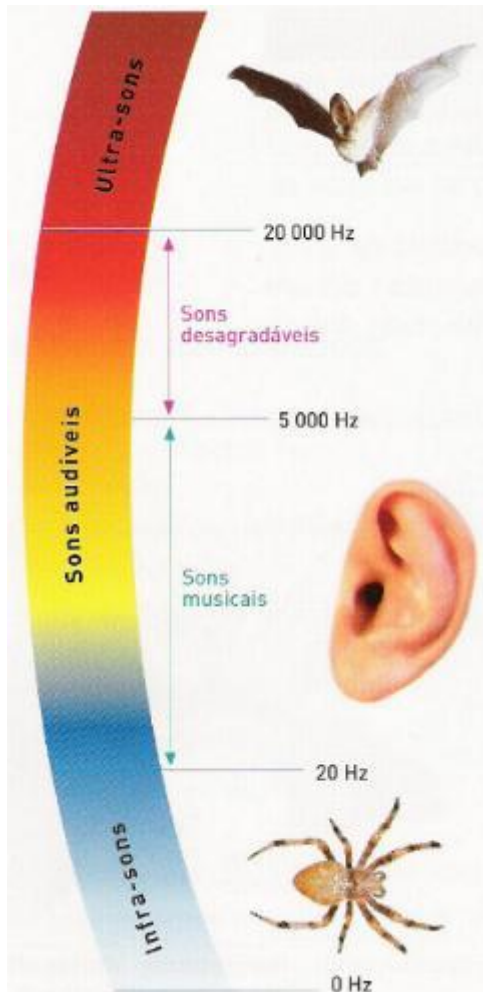


FIGURA 2 - FREQUÊNCIAS AUDÍVEIS

FONTE: <http://www.prof2000.pt/users/mrsd/8ano/Audicao.htm>

2.1.3 Intensidade, Potência e Pressão Sonora.

Intensidade sonora é definida como o fluxo contínuo de energia carregado pela onda sonora através de uma área em um ponto no espaço. A unidade usada é watts por metro quadrado (W/m^2). (VÉR E BERANECK, 2006, p.03)

Potência sonora é importante devido a ser relacionada diretamente com a fonte, é a quantidade de energia sonora gerada pela mesma na unidade de tempo, medida em watts (W). (GERER, 2000, p.37)

Pressão sonora é a pressão gerada pela energia em certo ponto (receptor), dependendo principalmente da distância entre a fonte sonora e o ponto de medição,

da absorção do meio onde se encontra etc., durante um intervalo de tempo, medida em Pascal (Pa). (BISTAFA, 2007, p.14)

Ao fazer a relação entre as três grandezas, pode se dizer que para caracterizar acusticamente uma fonte sonora o que importa é a sua potência sonora e não a pressão sonora. Devido a este fato, quando precisamos definir soluções mitigadoras para certas fontes, se faz necessário conhecer a sua potência sonora. Quando temos por objetivo avaliar o perigo e a perturbação causada por fontes de ruído, a pressão sonora é a mais pertinente. Esta é a grandeza mais importante para caracterizar os efeitos do som sobre o ser humano por ser medida diretamente. (BISTAFA, 2007, p.14)

2.1.4 Níveis

2.1.4.1 Nível de pressão sonora

Segundo (BISTAFA, 2007, p.14), “O nível de pressão sonora é a medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons.”

O nível de pressão sonora (NPS ou L_p), é sempre calculado em função do valor eficaz da pressão sonora, como visto na equação (1).

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P_{eficaz}^2}{p_0^2} \right) = 20 \log \left(\frac{P_{eficaz}}{p_0} \right) \quad [dB] \quad (1)$$

Onde: p é a pressão sonora

p_0 é a pressão sonora de referencia, $20 \mu Pa$ ou $2 \times 10^{-5} N/m^2$

A FIGURA 3 apresenta pressões sonora compreendidas entre o limiar da audibilidade e o limiar da dor, e os correspondentes níveis de pressão sonora e ilustra atividades geradoras de sons associados.

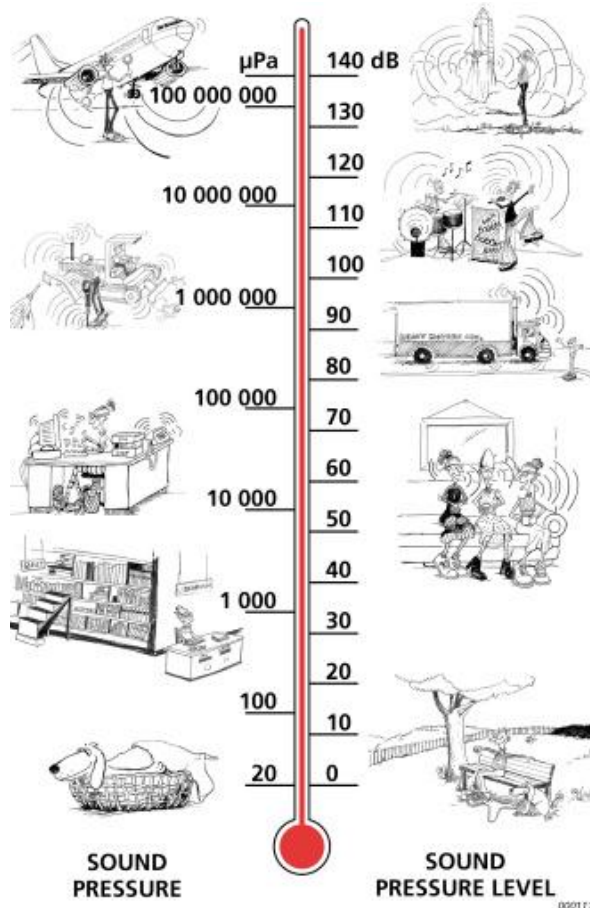


FIGURA 3 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA ENTRE O LIMIAR DA AUDIBILIDADE E OLIMIAR DA DOR

FONTE: BRUEL KJAER, 2001,p.09

2.1.4.2 Nível equivalente de pressão sonora

O nível equivalente de pressão sonora (L_{eq}) é um nível constante médio que equivale, em termos de energia sonora, aos níveis variáveis do ruído durante o período de medição, expresso em decibel (ZANNIN, 2004, p.14). O L_{eq} é dado por :

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left\{ \left(\frac{1}{t} \right) \cdot \left[\int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \right\} \quad [dB] \quad (2)$$

Onde: $t = (t_2 - t_1)$ é o tempo total de duração [s]

p_t é a pressão sonora instantânea

p_0 é a pressão sonora de referência, $20 \mu\text{Pa}$ ou $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$

2.1.4.3 Nível total (Global) de pressão sonora

Segundo GERGES (2000, p.55), nível total de pressão sonora: “É uma grandeza que fornece apenas um nível em dB ou dB(A) sem a sua distribuição em níveis de freqüências. Constitui-se portanto de uma medida global simples [...]”

2.1.4.4 Níveis estatísticos de ruído

Os níveis estatísticos de ruído são níveis de pressão sonora que são ultrapassados ou mascarados durante uma determinada fração do tempo total de medição. (ZANNIN, 2004, p.14)

Em estudos ambientais os mais importantes são:

- L_{10} que representa o ruído que foi ultrapassado durante 10% do tempo da medição;
- L_{50} que representa o ruído que foi ultrapassado durante 50% do tempo da medição;
- L_{90} que representa o ruído que foi ultrapassado durante 90% do tempo da medição, podendo ser considerado como o ruído de fundo do ambiente.

2.1.4.5 Nível de intensidade sonora

O nível de intensidade sonora (NIS ou L_i) pode ser dado por:

$$L_i = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad [dB] \quad (3)$$

Onde: I é a intensidade sonora

I_0 é a intensidade sonora de referência, 10^{-12} W/m^2

2.1.4.6 Nível de potência sonora

Como mencionado anteriormente no item 2.1.3, esta é uma grandeza muito importante, ou seja, a partir da medição da potência sonora emitida por uma máquina, é possível calcular a pressão sonora em qualquer ambiente, indiferentemente de tamanho, forma e absorção do ambiente. (GERER, 2000, p.37)

O nível de potência sonora (NWS ou L_w) é dado pela fórmula (4).

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right) \quad [dB] \quad (4)$$

Onde: W é a potência sonora

W_0 é a potência sonora de referencia, 10^{-12} W

2.1.5 Decibel

A Lei de Fechner Weber descreve sobre a resposta humana a estímulos físicos, então, ao aumentar a intensidade sonora o ouvido humano fica cada vez menos sensível, ou ainda, é preciso aumentar a intensidade de maneira exponencial para que o ouvido "sinta" o som de maneira linear. Portanto, usa-se uma escala logarítmica para a intensidade sonora. (FERNANDES, 2002, p.21, COSTA, 2003, p.19)

Por causa da ampla faixa de pressões sonora a qual a audição responde, a pressão sonora é uma quantidade inconveniente para ser usada em gráficos e tabelas (VÉR E BERANECK, 2006, p.03). Para resolver esses problemas deve se desconsiderar a escala logarítmica e usar apenas o expoente da relação. Com a redução da escala, a grandeza ficou menor, mas, ainda não atendia as expectativas. Então, para deixar a escala da grandeza adequada foi criado, então, o décimo do BEL, ou seja, o decibel. (FERNANDES, 2002, p.21)

2.1.6 Adição e Subtração de Níveis de Pressão Sonora

2.1.6.1 Adição de níveis de pressão sonora

Caso existam duas fontes sonoras e seja necessário determinar o nível de pressão sonora das suas combinações, devem ser adicionados os seus respectivos níveis de pressão sonora. (BRUEL KJAER, 2001, p.11)

A FIGURA 4 ilustra a combinação de duas fontes sonora.

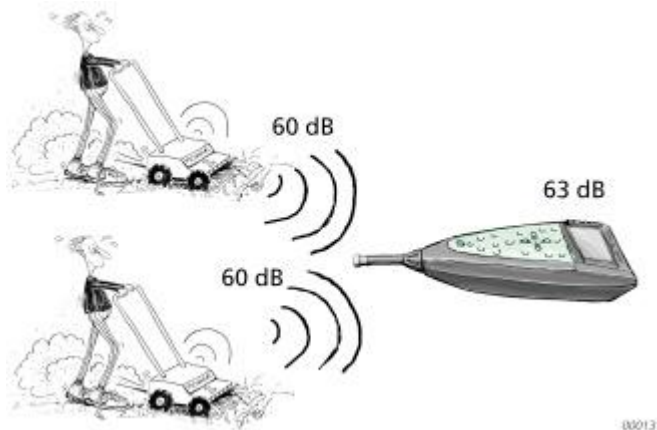


FIGURA 4 - DUAS FONTES SONORA COMBINADAS
 FONTE: BRUEL KJAER, 2001,p.09

Contudo, como os valores dos níveis de pressão sonora são logarítmicos, eles não podem ser simplesmente adicionados. Uma maneira de se adicionar decibels é convertendo os valores individuais em decibel para valores lineares e então realizar a somatória. Com o seu resultado, basta transformá-lo novamente em decibel usando a equação (5). (BRUEL KJAER, 2001, p.11)

$$L_p = 10 \cdot \log \left(\sum_{p=1}^{pn} 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right) \quad [dB] \quad (5)$$

Onde: $L_{p1} \dots L_{pn}$ são os níveis de pressão sonora medidos

2.1.6.2 Subtração de níveis de pressão sonora

Quando definido o objeto de estudo, deve se considerar o ambiente em que está inserido, onde possivelmente existem outros ruídos que não gerados pela fonte de estudo que estão impactando nos resultados das medições. Estes são conhecidos como ruído de fundo (*background*).

Em algumas condições onde existe o ruído de fundo, é preciso realizar uma correção no nível sonoro desejado. Conforme ilustra a FIGURA 5.

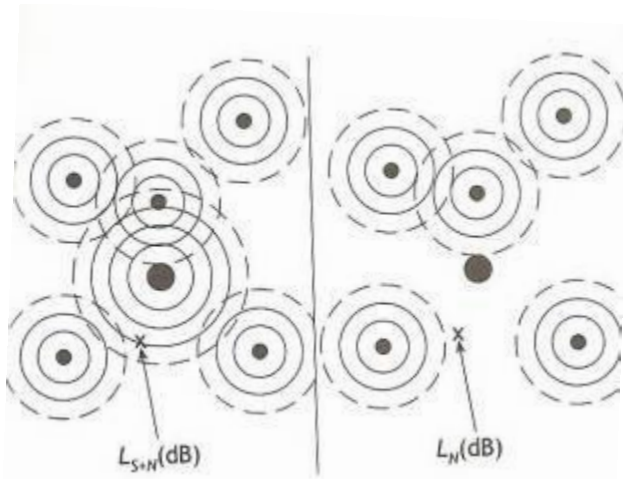


FIGURA 5 - EMPREGO DA OPERAÇÃO DE “SUBTRAÇÃO” DE DECIBEIS DO RUÍDO DE FUNDO

FONTA: BISTAFA, 2007, p.27

A correção da medição do ruído gerado pela fonte em relação aos ruídos de ambientes pode ser feita subtraindo o ruído de fundo do nível total usando a fórmula (6).

$$L_p = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_p}{10}} - 10^{\frac{L_{p\text{fundo}}}{10}} \right) \quad [dB] \quad (6)$$

Onde: L_p são os níveis de pressão sonora total ou global

$L_{p\text{fundo}}$ são os níveis de pressão sonora de ruído de fundo

2.1.7 Espectro Sonoro em Bandas de Freqüência

Segundo HANSEN (2005, p.37), o ruído ou som pode ser descrito como bandas de freqüência, cada uma caracterizada por um intervalo de freqüências.

Os espectros sonoros em banda de freqüência dependem normalmente do equipamento de medição, ou seja, do filtro que está sendo usado conforme a aplicação.

Os medidores de ruído, normalmente só medem os níveis globais. Para se ter uma análise de freqüência ou espectral, se faz necessário o uso de filtros. Estes limitam a passagem de componentes do sinal do ruído contidos em certa banda de freqüência. (GERGES, 2000, p.102)

A FIGURA 6 ilustra espectros de um mesmo ruído obtidos com o uso de filtros distintos.

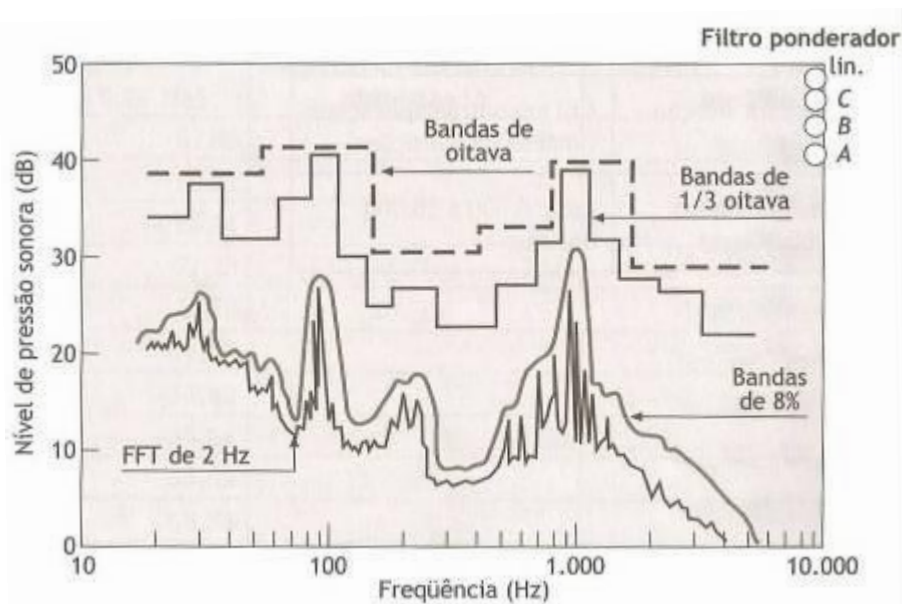


FIGURA 6 - ESPECTROS DE UM MESMO RUÍDO OBTIDOS COM DIFERENTES FILTROS

FONTES: BISTAFÁ R.S., 2007, p.87

Os filtros mais comumente usados na análise ambiental são os de 1/1 oitava e de 1/3 oitava.

2.1.8 Curva de Correção

Devido a variação de sensibilidade no ouvido humano em relação a percepção do som nas freqüências sonora foram desenvolvidas curvas de correção nas escalas A, B, C e D. A escala A é a mais usada atualmente. (COSTA, 2003, p.78)

A escala A é chamada de curvas isoaudível ou isofonica, sendo a sua curva inferior a curva do limiar da audibilidade e pode ser observada na FIGURA 7. Ao interpretar esta curva percebe-se que para baixas freqüências há necessidade de mais energia sonora a fim de provocar o mesmo nível de audibilidade que nas altas freqüências. (BISTAFA, 2007 p55)

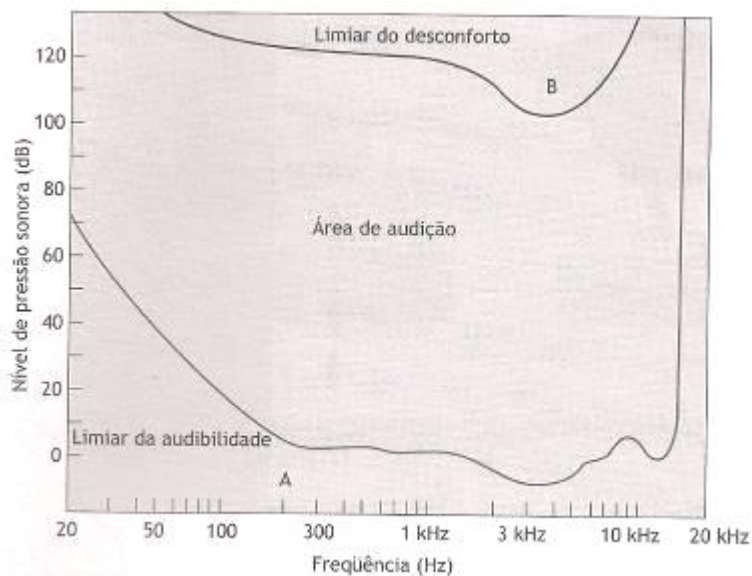


FIGURA 7 – LIMIAR DA AUDIBILIDADE (CURVA A) E LIMIAR DO DESCONFORTO AUDITIVO (CURVA B)

FONTE: BISTAFA R.S., 2007, p.54

2.1.9 Emissão e Imissão Sonoras

A diferença entre emissão e imissão é que no primeiro é a pressão sonora emitida pela fonte geradora do som, quanto que no segundo é a pressão sonora recebida nos pontos de recepções, sendo esta uma variação entre o nível de

pressão sonora emitido por uma fonte menos as perdas na transmissão entre a fonte e o receptor.

2.1.10 Propagação Sonora ao Ar Livre

Segundo GERGES (2000, p.235), a energia gerada por fontes sonora sofre atenuação ao se propagar em campo aberto. Existem alguns fatores responsáveis por essa atenuação, como: distância percorrida, barreiras, absorção atmosférica, vegetação, variação da temperatura e efeito do vento.

A fonte sonora emite, conforme a sua potência sonora, um nível pressão sonora. Este por consequência da sua trajetória é atenuado a medida que se propaga, até a chegada ao seu receptor. É possível verificar isso na FIGURA 8.

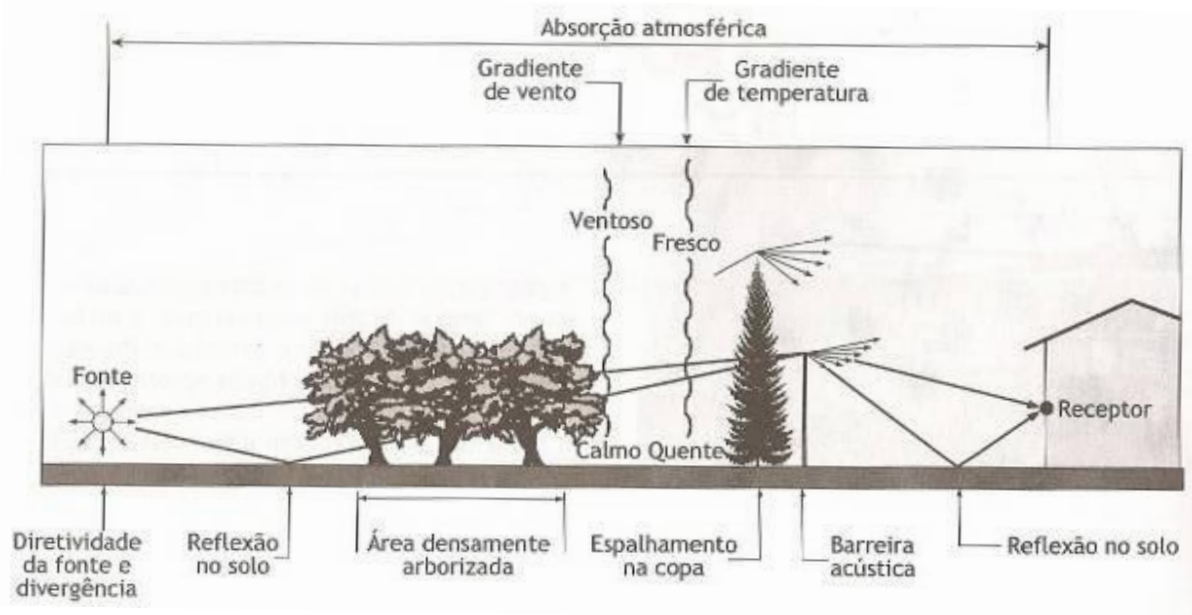


FIGURA 8 – MECANISMOS MAIS SIGNIFICATIVOS DA ATENUAÇÃO SONORA AO AR LIVRE (CAMPO ABERTO)

FONTE: BISTAFA, 2007, p.188

Em função da emissão sonora das fontes, a qual é caracterizada pela potência sonora de cada fonte, haverá naturalmente a propagação do som até o receptor, porta de emissão sonora. Devido as atenuações ao longo da propagação,

conforme FIGURA 8, é de se esperar que a grandes distâncias da fonte, preferencialmente os sons de baixa frequência venham a ser ouvidos

Segundo VÉR E BERANECK (2006 p.136), a atenuação devido a absorção atmosférica (Fórmula 7) para as predições acústicas, quando definidas as condições de humidade relativa, temperatura e pressão atmosférica, é relativamente baixa em frequências inferiores a 500 Hz (TABELA 1 e FIGURA 9).

$$A_{atm} = \alpha \times d \quad (7)$$

Onde: A_{atm} atenuação atmosférica [dB]
 α coeficiente de atenuação atmosférica [dB/km]
 d : distância [km]

TABELA 1 – COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA PARA BANDAS DE OITAVA DE RUÍDOS EM FREQUÊNCIAS NOMINAIS INTERMEDIÁRIAS.

Temperatura, °C	Humidade relativa, %	Coeficiente de atenuação atmosférica α , dB/km							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	33	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	23	77
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	24	83

FONTE - VÉR E BERANECK, 2006, P.136

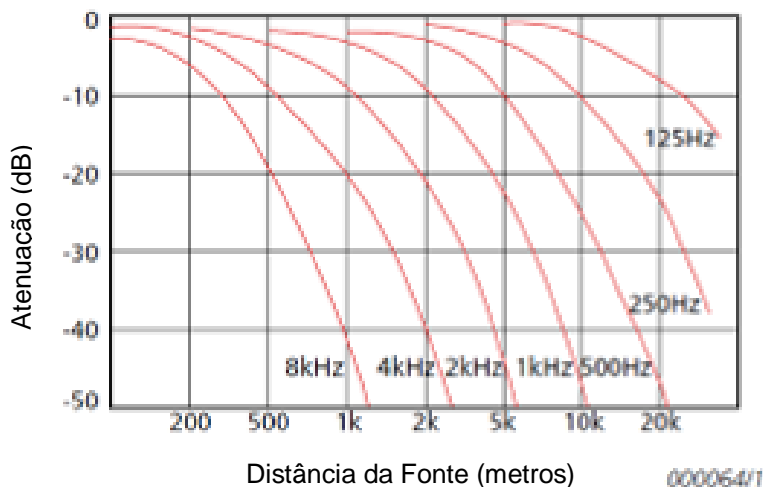


FIGURA 9 – ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA – RELAÇÃO DISTÂNCIA E FREQUÊNCIA

FONTE: BRUEL KJAER, 2001,p.19

2.1.11 Controle de ruído

Com dito anteriormente, para caracterizar o ruído é preciso três componentes, fonte sonora, trajetória de transmissão e o receptor (FIGURA 10).

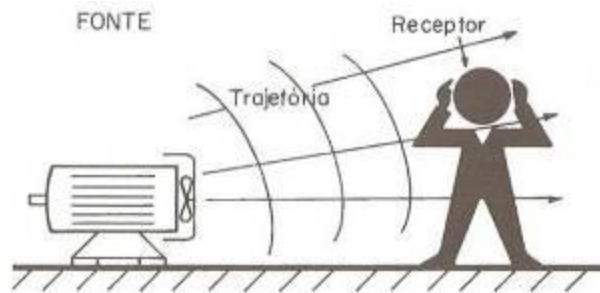


FIGURA 10 – FONTE SONORA, TRAJETÓRIA DE TRANSMISSÃO E RECEPTOR
FONTE: GERGES .2000, p.580

A fim de se controlar o ruído é necessário que sejam realizadas ações em uma ou mais das três componentes, ou seja, controle na fonte de origem, controle na transmissão ou controle no receptor.

2.1.11.1. Controle na fonte

É no momento do projeto de um produto ou de uma instalação que se tem a melhor oportunidade para controlar o problema do ruído. Através de especificações prévias dos níveis máximos permitidos, predições dos níveis de potência sonora para as fontes a serem instaladas, substituição de máquinas e equipamentos por sistemas mais silenciosos e modificações na fonte (GERGES, 2000, p.581).

2.1.11.2. Controle na trajetória

Quando um equipamento ou instalação gera ruídos e não é possível realizar alterações que elimine a geração desses ruídos e vibrações, então se busca interromper a via de transmissão que leva esta energia oscilante até o receptor, ou seja, o ser humano.

Algumas soluções são citadas por GERGES (2000, p.580) como: o enclausuramento, as barreiras acústicas, a absorção ou o isolamento acústico e, os silenciadores.

2.1.11.3 Controle no receptor

Esta ação se aplica muito mais ao ruído ocupacional, uma vez que não se pode pedir para que a população de uma comunidade faça uso de protetor auditivo quando em suas residências.

2.2 REVISÃO LITERATURA

2.2.1 Poluição sonora

Ao se comparar a poluição sonora com outros problemas ambientais, é possível verificar que esta, está indo em direção contrária, ou seja, está em crescimento contínuo, e isto sempre acompanhado pelo aumento de reclamações das pessoas que estão expostas ao ruído. (BERGLUND et al, 1999)

O ruído ambiental é produzido por uma variedade de fontes em vários ambientes, e a maioria das pessoas que reclamam, estão expostas a diferentes tipos de fontes. O ruído está presente em todos os lugares nas vidas das pessoas. (MUZET, 2008)

A necessidade de estudos sobre a poluição sonora e sua influência no meio ambiente é crescente, especialmente pelo número de fontes como máquinas, mercados, indústrias e veículos automotores. Por essa razão, muitos estudos relacionados a poluição sonora e propagação do ruído tem sido conduzidos. (ZANNIN et al, 2008)

Em uma pesquisa realizada em Curitiba por ZANNIN et al (2002), foi realizado um questionário onde as pessoas respondiam a respeito das fontes sonora que as incomodavam. A maioria apontou o tráfego de veículos automotores como o principal incômodo seguido pelos vizinhos, confirmando as expectativas. Apesar disso, outras fontes com relação direta a vizinhança foram relacionadas e que são significativas nas suas percepções (sirenes, fogos de artifícios, igrejas, casas noturnas e construção civil).

Da mesma forma CALIXTO et al (2003) cita que o aumento da população causa a ocupação de áreas livres, expandindo os limites urbanos da cidade. Sendo uma das suas consequências a ocupação ao longo das marginais de estradas. Então estas estradas que antes serviam de acesso a cidade agora eram vias comuns de trânsito, que por consequência aumentou o seu fluxo de veículos e seu impacto sonoro na vizinhança.

Fazendo uma analogia à condição das indústrias, com a crescente da população, o mesmo avanço da população ocorreu para áreas livres próximas as indústrias. Passando então a ser afetadas diretamente pelos ruídos gerados nestes ambientes. Sendo assim, o que antes era considerada área industrial passa a ser classificada como residencial.

Um estudo conduzido na província de Fujian por MING (2008), cita como uma das fontes que compõem o ruído ambiental as indústrias, e que são responsáveis por 20% da poluição sonora total, sendo que 98,67% do ruído produzido pela indústria está entre 80-105 dB(A).

Mesmo com as circunstâncias apresentadas, as recomendações normativas e legais oneram as fontes geradoras de ruído, ou seja, toda vez em que exista a possibilidade de uma população ter danos a saúde, as ações a serem tomadas para proteger a saúde pública devem ser de responsabilidade única e exclusiva dos emissores.

De acordo com BARRON (2003, p.07) existem três formas básicas para se atuar em um controle de ruído: a fonte, o caminho percorrido pelo ruído e o receptor.

Sendo que o seu princípio básico é a redução do ruído no receptor. Isto só é possível se houver alterações em uma das três formas ou uma combinação entre elas.

Existem duas formas distintas de controles de ruído na indústria, o primeiro é o controle de ruído ocupacional e o segundo, é o controle de ruído ambiental.

O controle de ruído ocupacional é voltado aos cuidados com a exposição dos seus trabalhadores, sendo o controle de ruído ambiental, aplicado a fim de evitar perturbações e reclamações da comunidade próxima.

É preciso que a indústria se antecipe a emissão de ruído quando de novas instalações ou equipamentos. A resposta da comunidade próxima deve ser um fator na seleção do local, no *layout* e nas relações públicas. É melhor prevenir e corrigir os problemas com ruído antes da planta ser construída ou novo equipamento instalado do que ter ações judiciais devido ao ruído produzido pela indústria. (BARRON R.F., 2003, p.243)

Em parceria com a indústria, as cidades, como cita MACEDO E SLAMA, (2000); NAGEM (2004) apud GUEDES (2005), deveriam se preocupar com um planejamento urbano eficaz e consciente, prevendo os impactos acústicos devido às alterações nas áreas urbanas, seja, no sistema viário, no uso e ocupação do solo ou na própria edificação e com isso estabelecer diretrizes para o desenvolvimento e organização dos seus espaços.

2.2.2 Simulação Acústica

As medições dos níveis de pressão sonora são sempre necessárias na avaliação do ruído industrial e ambiental.

Complementar às medições, surge a simulação acústica, a qual fornece uma visão da situação atual e pode também fornecer um panorama de situações futuras, como por exemplo o impacto nos níveis de pressão sonora devido a:

- a) Ampliação de uma fábrica;
- b) Substituição de equipamentos;
- c) Mudanças de procedimentos operacionais;
- d) Implementação de proteções sonora, etc.

A simulação acústica nada mais é do que a simulação computacional com intuito de simular os níveis de pressão sonora emitidos pelas máquinas (fontes) e seus comportamentos no receptor.

Além da determinação das potências das fontes, é requerida a análise da propagação do som no ar livre. Sendo que esta propagação é atenuada ao longo do caminho de transmissão por diversos fatores (absorção do ar, efeitos da vegetação, etc.). (GERGES, 2000, p.235).

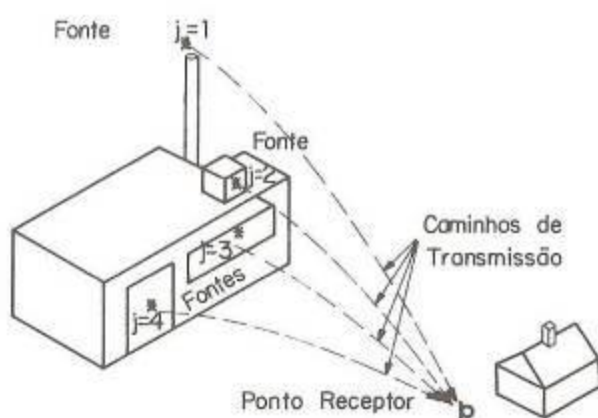


FIGURA 11 – MODELO PARA SIMULAÇÃO DE RUÍDO NA COMUNIDADE
 FONTE: GERGES ., 2000, p.236

HANSEN (2005) apud MARSCH (1976) destaca que a precisão da simulação é sempre importante e que a experiência sugere que é esperada uma diferença de ± 5 dB, entre os dados medidos e calculados.

LICITRA E MEMOLI (2008) destacam, ainda, que 4,6dB é a incerteza esperada para o cálculo dos níveis de pressão sonora. Sendo este valor aceito pela *European Comission Working Group Assessment of Exposure to Noise - WG-AEN*, para a geração de mapas acústicos.

Com a simulação acústica é possível levantar a contribuição de cada equipamento no ruído ambiental, estabelecer critérios para o máximo de emissões para novas fábricas e/ou equipamentos, permitir rearranjos no parque fabril e estabelecer controles.

A FIGURA 12 considera algumas contribuintes que possibilitam a simulação acústica e determinação

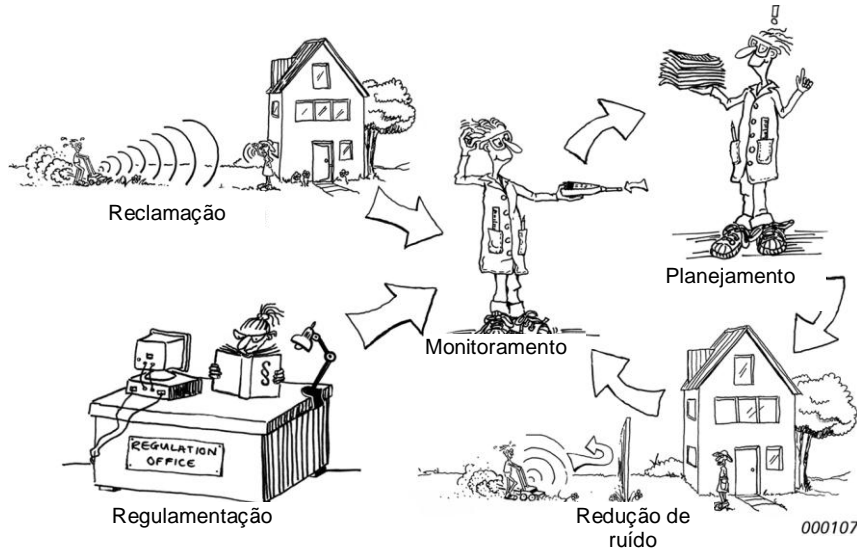


FIGURA 12 – SIMULAÇÃO ACUSTICA
 FONTE: BRUEL & KJAER

2.2.3 Efeitos Nocivos do Ruído a Saúde

Segundo CARMO (1999), quando uma população está exposta a um ruído prolongado fica susceptível ao esgotamento físico e às alterações químicas, metabólicas e mecânicas do órgão sensorial auditivo. Tendo como consequência, o estresse e/ou perturbação no rumo biológico, resultando em distúrbios do sono e da saúde (transtornos respiratórios, comportamentais, endocrinológicos, neurológicos, entre outros), passando a ser um agente provedor de doenças.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o ruído até 50 dB (A) pode perturbar, mas é adaptável. A partir de 55 dB (A) a poluição sonora provoca estresse, causando dependência e gerando durável desconforto. Efetivamente, o estresse degradativo inicia-se em torno de 65 dB (A) com o desequilíbrio bioquímico, elevando o risco de infarto, derrame cerebral, infecções, osteoporose e outros.

Em torno de 80 dB (A) o organismo já libera morfina biológica no corpo, provocando prazer e completando o quadro de dependência. Por volta de 100 dB (A) pode ocorrer perda imediata da audição.

O QUADRO 1 mostra a relação entre os níveis sonoros e seus efeitos nocivos a saúde.

NÍVEL SONORO	EFEITOS
>= 30 dB (A)	Reações Psíquicas
>= 65 dB (A)	Reações Fisiológicas
>= 85 dB (A)	Trauma Auditivo
>= 120 dB (A)	Lesões Irreversíveis no Sistema Auditivo

QUADRO 1 – EFEITOS DO RUÍDO

FONTE: O autor (2010)

Conforme a frequência, intensidade e duração da exposição, assim como a susceptibilidade individual, o ruído ambiental pode afetar direta ou indiretamente a comunidade exposta e ter seus efeitos agravados.

2.2.4 Ruído em comunidade – reação da população exposta ao ruído

O ruído é produzido por diversas fontes em vários ambientes, e quando há um grande número de pessoas reclamando do ruído, sendo estas expostas a diferentes fontes de ruídos, isto é conhecido como multiexposição (MUZET, 2008).

Conforme o receptor os níveis de aceitação do ruído pode variar, independentemente dos limites legais e dos efeitos a saúde. O ruído incomoda as pessoas individualmente ao interferir no seu dia a dia, e os parâmetros entre uma pessoa são diferentes na reação a esse ruído.

BISTAFA (2007, p.112) comenta que a reação comunitária depende das características do ruído intrusivo.

E segundo MURGEL (2007, p.37) apresenta na FIGURA 13 um ruído pode provocar perturbações quando apresentar variações acima do ruído de fundo a partir de 3 dB(A), aumentando assim, o seu nível de incomodo.

Alta perturbação	R.F. + 10 dB(A)
Média perturbação	← R.F. + 5 dB(A)
Pequena perturbação	← R.F. + 3 dB(A)
Audível	← R.F. – Ruído de fundo
Não audível	←

FIGURA 13 – NÍVEIS DE INCOMODO DE UMA FONTE DE RUÍDO
 FONTE: MURGEL, 2007 p37

2.2.5 Legislação e normas para avaliação do ruído ambiental

Cada país procura estabelecer métodos para quantificar e avaliar o impacto que o ruído produz nas pessoas. Tais métodos estão associados a critérios de aceitabilidade que refletem o grau de incomodo ou interferência com as atividades humanas. (BISTAFA, 2007 p101)

De acordo com o entendimento de BRESSANE:

A negligência quanto a poluição sonora está sob pena de comprometer a qualidade de vida urbana, o que tem provocado o despertar da consciência ecológica e a atenção da cultura jurídica contemporânea, visando coibir atividades e/ou condutas lesivas a terceiros e ao meio ambiente. BRESSANE et. al. (2008)

A legislação brasileira previne e controla, através de padrões, normas e diretrizes para orientação a atuação dos diversos agentes envolvidos. (BRESSANE et. al. 2008)

2.2.5.1 Constituição da República Federativa do Brasil

O art. 182 dispõe os objetivos da política urbana, entre eles o de ordenar plenamente o desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. O que é reforçado pelo art. 225 do mesmo diploma:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

[...]

§ 3º - As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados.

[...]¹

2.2.5.2 Lei Federal nº 6.803/1980

A Lei Federal nº 6.803/1980 estabelece em seu art. 9º a necessidade da destinação de zonas para instalações industriais mediante zoneamento urbano, considerando, entre as características do processo de produção, a vibração mecânica e a emissão de ruídos.

Reforçando esta lei, a Constituição da República Federativa do Brasil, em seu art. 30 institui dentre as responsabilidades dos municípios, a promoção do adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano.

¹ BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 5 de outubro de 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm> Acesso em: 10 mar. 2010.

2.2.5.3 Lei Federal 6.938/1981

Na Política Nacional do Meio Ambiente, fala da necessidade de que o desenvolvimento socioeconômico, a preservação da qualidade ambiental e o equilíbrio ecológico sejam compatíveis e não concorrentes.

Neste contexto, a Lei n. 6.938/81 que institui a Política Nacional do Meio Ambiente previu no art. 3º, Inciso III, a seguinte definição de poluição:

Art. 3º - Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por:

[...]

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente e/ou
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

[...]²

Além disso, estabelece em seu art. 9º como instrumentos de atuação o próprio zoneamento, a avaliação de impactos ambientais e o licenciamento de atividades potencialmente poluidoras, entre elas, as ruidosas.

No seu art. 10 descreve a necessidade do Licenciamento Ambiental:

Art. 10. A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.

[...]³

2.2.5.4 Lei Federal 10.257/01

A Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001 – Estatuto da Cidade, no art. 2º, I, VI, alíneas “a” e “g”, normatiza o respeito social e ambiental:

² BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília. DF, 31 de agosto de 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm> Acesso em: 10 mar. 2010.

³ BRASIL. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília. DF, 31 de agosto de 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938compilada.htm> Acesso em: 10 mar. 2010.

Art. 2º A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais:

I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infra-estrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;

[...]

VI – ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar:

a) a utilização inadequada dos imóveis urbanos;

[...]

g) a poluição e a degradação ambiental;

[...]⁴

2.2.5.5 Decreto-lei Federal 3.688/1941

As contravenções penais estão previstas nos arts. 42 e 65 do Decreto-Lei n. 3.688/41 tem por conteúdo:

Art. 42 - Perturbar alguém, o trabalho ou o sossego alheios:

I - com gritaria ou algazarra;

II - exercendo profissão incômoda ou ruidosa, em desacordo com as prescrições legais;

III - abusando de instrumentos sonoros ou sinais acústicos;

IV - provocando ou não procurando impedir barulho produzido por animal de que tem guarda:

Pena - prisão simples, de 15 (quinze) dias a 3 (três) meses, ou multa.

[...]

Art. 65 - Molestar alguém ou perturbar-lhe a tranqüilidade, por acinte ou por motivo reprovável:

Pena - prisão simples, de 15 (quinze) dias a 2 (dois) meses, ou multa.⁵

2.2.5.6 Resolução CONAMA nº. 001/1986

A resolução CONAMA nº. 001/1986 dispõe sobre a execução e elaboração do Estudo do Impacto Ambiental e Relatório de Impacto ao Meio Ambiente, utilizados no sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental. Isto

⁴ BRASIL. **Estatuto da Cidade**. Brasília. DF, 10 de julho de 2001. Disponível em: <http://www.presidencia.gov.br/ccivil_03/LEIS/LEIS_2001/L10257.htm> Acesso em: 10 mar. 2010.

⁵ BRASIL. **Lei das Contravenções Penais**. Brasília. DF, 03 de outubro de 1941. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/Del3688.htm> Acesso em: 10 mar. 2010.

acaba por regulamentar o previsto na Lei 6.938/1981, no art. 9º, onde há a obrigatoriedade do Licenciamento Ambiental.

2.2.5.7 Resolução CONAMA n.º. 001/1990

A resolução CONAMA n.º. 001/1990 dispõe sobre a emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, determinando padrões, critérios e diretrizes.

Em adição, a norma faz referência direta aos padrões indicados nas Normas técnicas: NBR 10.151 e NBR 10.152.

2.2.5.8 NBR n.º. 10.151 – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas

Conforme VALADARES, (2008), Resolução CONAMA 01/1990 recomenda que os procedimentos da NBR 10.151 devem ser utilizados na avaliação de poluição sonora em vizinhanças em situação de exposição sonora potencialmente crítica em relação às instalações industriais.

Esta norma define os níveis de critérios de avaliação – NCA, ou seja, define uma classificação para o tipo de área e os valores para cada conforme o período da exposição (diurno e noturno). Isto pode ser visto na TABELA 2.

TABELA 2 – NÍVEL DE 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

FONTE: NBR 10.151

A norma estabelece que os períodos diurnos e noturnos devem ser determinados pelas autoridades conforme o hábito da população. Contudo, o período noturno não deve começar depois da 22 horas e não deve terminar antes da 07 horas, com exceção de domingos e feriados, onde o período noturno deve ser considerado no mínimo até 09 horas.

De acordo com o item 6.2.4 da Norma NBR 10.151, caso o nível de ruído ambiente (fundo) seja superior ao valor da TABELA 01 na área e horário, deve ser considerado este valor como novo NCA.

2.2.5.9 NBR nº. 10.152 – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto Acústico

Esta norma estabelece as curvas de avaliação de ruído (NC) recomendadas e os níveis sonoros A-ponderados correspondentes para os ruídos ambientais em diversos locais. A sua aplicação deve ser observada quando na execução dos projetos de construção ou de reformas das edificações.

2.3 OBJETOS DO ESTUDO

2.3.1 Vizinhança

A cidade impactada pela poluição sonora teve a sua origem em função da instalação da indústria de celulose e papel no final dos anos quarenta.

A representatividade da produção de papel e celulose na indústria da cidade é significativa, ou seja, com pouca diversificação. Ainda assim, essa diversificação é focada no aproveitamento principal do recurso abundante e matéria prima principal na indústria de papel e celulose, a madeira proveniente da floresta existente ao seu redor, levando a indústria da madeira como a segunda atividade principal.

O início da empresa se deu em meados dos anos 40, com a construção da unidade de fabricação de papel situada as margens de rios locais, o que facilitava a captação de água. (FIGURA 14)



FIGURA 14 – FOTO ILUSTRATIVA DA INDÚSTRIA NA DECADA DE 40
FONTE: O autor (2010)

Pessoas externas a indústria migraram estimuladas pela possibilidade de emprego e rendas que os levassem a um futuro melhor aumentando consideravelmente a sua população. Devido a isso, a vila industrial já não comportava o crescimento e nem mesmo era de interesse da indústria, pois era oneroso. Ainda que, foi possível observar o surgimento de moradias clandestinas do outro lado do rio.

Em função desses fatores, iniciou do lado oposto à fábrica com relação ao rio que a margeava um loteamento de 300 alqueires de terra (FIGURA 15).



FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DA CIDADE EM RELAÇÃO A INDÚSTRIA
FONTE: INFORMATIVO “NOSSO PAPEL” (ABTCP)

Segundo o recenseamento realizado pelo IBGE (2009), a cidade possui atualmente uma área de 1.226 km² e sua população estimada é aproximadamente 69.278 habitantes.

Segundo estudo realizado pela SEFA (2005), o impacto gerado na economia da cidade pela fabricação de celulose, papel e produtos de madeira representa 76,3%. Isto só vem a confirmar a dependência na indústria.

Não houve um adequado planejamento de ocupação do espaço urbano da cidade, de modo que os ruídos imitados fossem separados fisicamente da vizinhança. E como a fronteira da cidade é direta com a indústria, sendo separados apenas pelo rio local, um aumento da população as margens representa um número proporcional de pessoas afetadas pela poluição sonora gerada pela indústria. Deve-se levar em consideração que algumas áreas impactadas são de preservação permanente (APP), ou seja, áreas que não deveriam ser ocupadas conforme legislação ambiental.

2.3.2 Indústria

O processo produtivo de uma indústria de celulose e papel que tem na sua fabricação o uso de fibras virgens, ou seja, faz uso de madeira proveniente de áreas de reflorestamento como matéria prima principal é apresentado na FIGURA 16 de forma simplificada e nos itens a seguir (2.3.2.1 a 2.3.2.5).

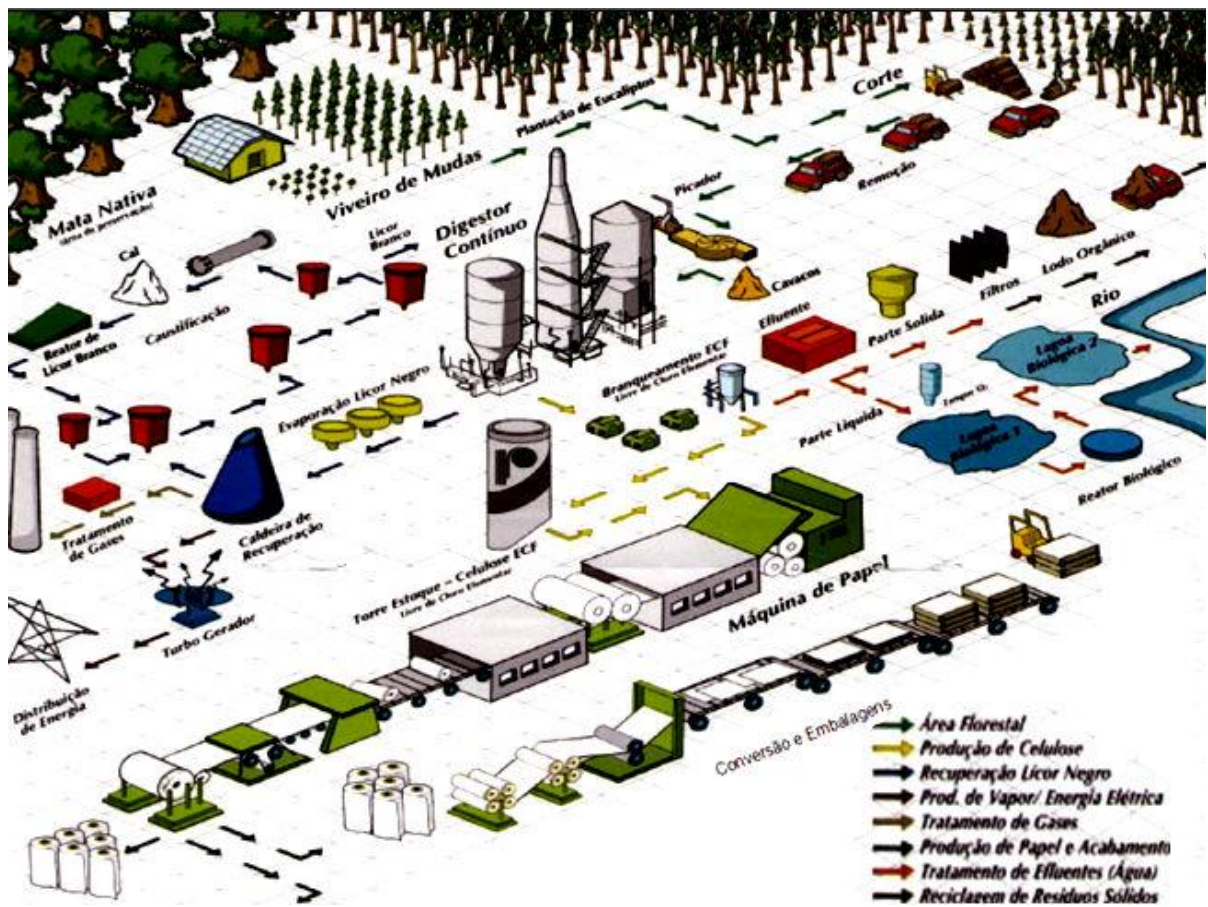


FIGURA 16 – ILUSTRAÇÃO ADAPTADA SOBRE O FLUXO PRODUTIVO DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL
 FONTE: INFORMATIVO “NOSSO PAPEL” (ABTCP)

2.3.2.1 Preparação de madeira

A madeira é transportada da área florestal para a indústria sendo encaminhada para a preparação da madeira, onde pode ser estocada, ou ser

encaminhada seqüencialmente para o traçamento, descascamento, picagem, classificação e estocagem de cavacos.

Os equipamentos que podem compor as instalações de um preparo de madeiras são a mesas receptoras, transportadores de toras de madeira, descascadores, picadores, peneiras de separação de cavacos e correias transportadoras de cavacos (FIGURA 17). Sendo esses instalados comumente em área semi-aberta sobre estrutura de concreto e armações metálicas, sendo grandes geradores de ruído ambiental.

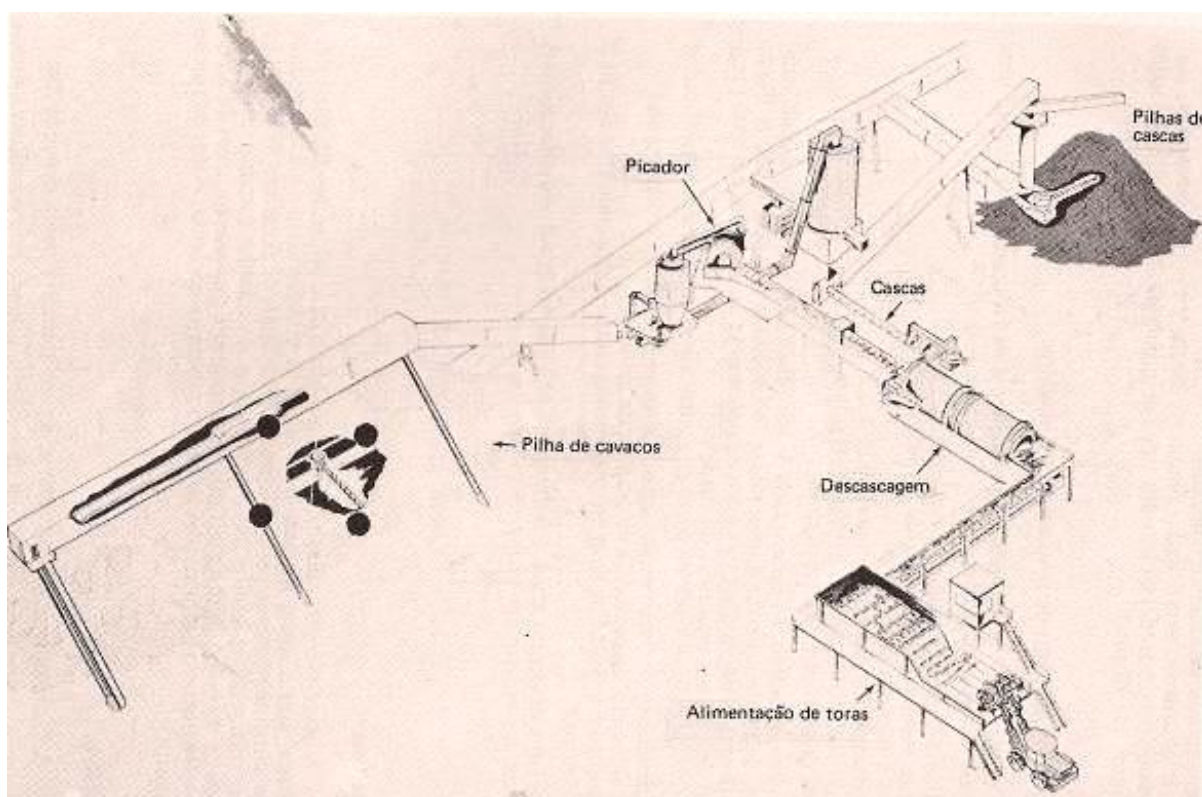


FIGURA 17 – DISPOSIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS EM UM PÁTIO DE MADEIRAS
FONTE: CELULOSE E PAPEL – TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DA PASTA CELULÓSICA

São equipamentos de grande robustez, como por exemplo o descascador de toras. Normalmente é na forma de tambor com diâmetros que podem variar de 2,5 a 5,5 m e comprimentos de 7,0 a 35,0 m, conforme o comprimento das toras a serem descascadas. (SENAI/IPT, 1988).

2.3.2.2 Fabricação de celulose

Nesta etapa os cavacos são misturados ao licor branco e cozidos no digestor a temperaturas elevadas

Após, a celulose, é lavada para retirar as impurezas. Na seqüência, é submetida ao processo de depuração e, caso necessário, a um processo de branqueamento.

2.3.2.3 Máquina de papel

O Preparo de Massa é o primeiro estágio, onde são misturadas as matérias-primas e é realizado o tratamento mecânico que vai conferir ao papel as propriedades desejadas.

Na máquina de papel se dá a formação da folha, através da deposição das fibras sobre uma tela, é onde se extrai a maior parte de água da massa por processo mecânico de drenagem e sucção. A seguir a folha já formada passa pela seção de prensagem que promove uma extração adicional de água ainda por ação mecânica. Após as prensas a folha de papel é secada em contato com cilindros secadores aquecidos com vapor. Então a folha é bobinada e cortada.

Para um correto programa de boas práticas de fabricação, focado na indústria alimentícia, se faz necessário um controle rigoroso da ventilação do prédio onde se encontra a Máquina de Papel, impedindo a entrada de insetos no seu interior.

2.3.2.4 Utilidades e recuperação

A área de utilidades é responsável pela sustentação da fábrica, executando as atividades de geração de vapor, distribuição e geração de energia elétrica e do tratamento de água e efluentes.

A produção de energia vem de turbogeradores, que são movidos por vapor proveniente da caldeira, e podem vir de redes externas.

A fim de minimizar as perdas de produtos químicos e o consumo de energia é necessária a recuperação de reagentes e da energia dos processos.

Os equipamentos que podem compor estas instalações são caldeiras de força, evaporadores, caldeiras de recuperação, forno de cal, turbogeradores entre outros.

2.3.2.5 Parada geral

A indústria de celulose e papel possui um regime contínuo, ou seja, trabalha vinte e quatro horas corridos sem intervalos. Existe um período que acontece uma vez ao ano para manutenção de seus processos críticos, este período é chamado de Parada Geral. Neste momento todos os seus processos são interrompidos gradativamente até a parada completa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão explicados os equipamentos e métodos utilizados na execução dos trabalhos.

3.1 EQUIPAMENTOS

As medições de ruído foram efetuadas com Medidor de Pressão Sonora (classe 1), modelo Solo SLM do fabricante 01dB - Metravib, devidamente calibrado, provido de protetor de vento e operando no circuito de compensação A (FIGURA 18).



FIGURA 18 - MEDIDOR DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA
FONTE: O autor (2010)

3.2 SOFTWARE PARA PREDIÇÃO ACÚSTICA

A predição acústica é peça fundamental para a análise e diagnósticos precisos do meio ambiente acústico, evidenciando os pontos críticos onde a fonte sonora está impactando na comunidade.

O mapeamento acústico foi desenvolvido com o programa computacional de predição CadnaA versão 3.6, desenvolvido pela Datakustik. Sendo intrínseca ao equipamento a referencia a norma ISO 9613.

A ISO 9613 especifica método para calcular a atenuação sonora durante a propagação externa de forma a predizer os níveis de ruído ambiental a uma distância de várias fontes.

O programa faz uma representação das curvas isofônicas dos pontos com a mesma intensidade de ruído da área estudada. Os diversos níveis de intensidade sonora são mostrados por zonas com cores padronizadas em trechos de 5dB (FIGURA 19).

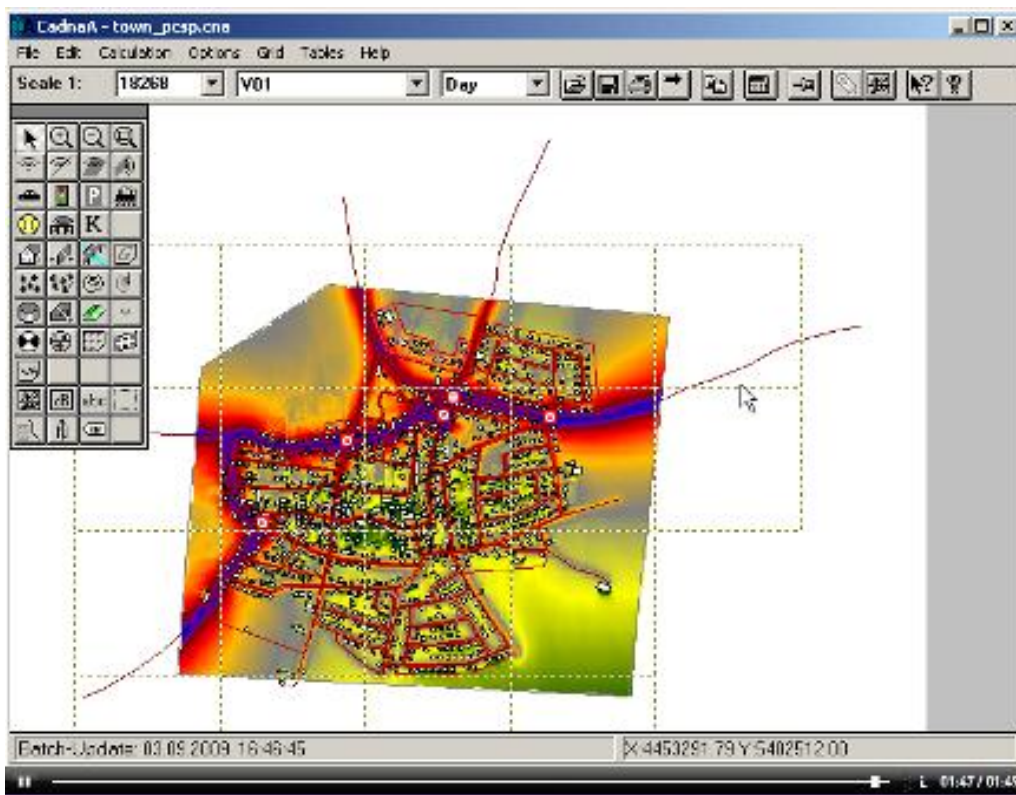


FIGURA 19: EXEMPLO DE MAPA GERADO PELO SOFTWARE CADNA-A
FONTE: DATAKUSTIK

3.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

3.3.1 Levantamento do ruído ambiental

Como primeira medida foi realizada o levantamento do nível de ruído imitado pela indústria em conformidade com a norma NBR nº. 10.151 – Avaliação de Ruído em Áreas Habitadas.

Foram realizados os monitoramentos de níveis de ruído externamente aos limites da propriedade da indústria. Como não havia reclamações, os locais foram definidos próximos a divisa entre o terreno da indústria e a cidade, proximidades de escolas e hospitais e locais selecionados em função da topografia (FIGURA 20 e QUADRO 2).



FIGURA 20 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS MEDIÇÕES CONFORME NBR 10.151

FONTE: CELULOSE E PAPEL – TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DA PASTA CELULÓSICA

LOCAIS DE AVALIAÇÃO	PONTO
Divisa Indústria / Cidade	1
Divisa Indústria / Cidade	2
Estação Teleférica	3
Hospital Atrás	4
Hospital Frente	5
Colégio 1	6
Colégio 2	7
Rodoviária	8

QUADRO 2: LEGENDA DOS LOCAIS

FONTE: O autor (2010)

Os valores de níveis de pressão medidos foram corrigidos para se obter uma melhor avaliação do incomodo a comunidade, eliminando assim os níveis de pressão de fundo (ruído de fundo), conforme preconiza a NBR 10.151.

As medições foram realizadas de forma a não existirem interferências de intempéries.

Para comparação dos valores com os Níveis de Critério de Avaliação (NCA) presentes na NBR 10.151, foram consideradas as características da região da cidade impactada como “área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas”. Então os NCAs utilizados de acordo com o horário e a zona de uso do solo foram de 50 dB(A) no período diurno e 45 dB(A) no período noturno.

As medições respeitaram os horários, sendo realizadas às 10h00 da manhã e 23h00 da noite.

3.3.2 Levantamento das características construtivas da fábrica

O primeiro passo desse trabalho foi o levantamento topográfico da região onde está inserida a indústria em questão e a cidade, para serem alimentados no software para o mapeamento acústico. Esta foi uma etapa importante, pois apesar da empresa estar a uma distância considerável da comunidade, elas se encontram em mesma altitude. Existe um vale entre a cidade e indústria. Esta situação é ilustrada na FIGURA 21 em foto proporcionando uma visão da indústria para cidade.



FIGURA 21 – CIDADE EM RELAÇÃO A INDÚSTRIA
FONTE: O autor (2010)

3.3.3 Localização dos pontos críticos

Foram identificados no processo produtivo os pontos de maior impacto que poderiam ser percebidos na comunidade, levando em consideração a ampliação recente da indústria e sua posição em relação a cidade, estes podem ser verificados na FIGURA 22.



FIGURA 22 - POSIÇÃO DAS ETAPAS DO PROCESSO EM RELAÇÃO À CIDADE
FONTE: CELULOSE E PAPEL – TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DA PASTA CÉLULÓSICA

No QUADRO 3 estão relacionadas as etapas do processo e equipamentos críticos conforme FIGURA 22.

ETAPA DO PROCESSO E EQUIPAMENTO CRÍTICO	PONTO
Preparo de Madeiras Descascadores de Madeira Picadores de Madeira Mesas de Recebimento de Toras	1
Fabricação de Fibras Digestor de celulose	2
Utilidades e Recuperação Estação de tratamento de efluentes - Torre biológica Caldeira de Força 1 Caldeira de Força 2 Turbo geradores Caldeira de Recuperação Evaporação – torres de resfriamento Forno de Cal	3
Máquina de Papel Área próxima às torres de resfriamento Mezanino (Ventiladores) Preparo de massa	4

QUADRO 3 – ETAPAS DO PROCESSO E EQUIPAMENTOS CRÍTICOS

FONTE: O autor (2010)

3.3.4 Realização de medições dos níveis sonoros equivalentes dos pontos críticos – Leq

Foram realizadas medições dos níveis sonoros por bandas de frequência de cada ponto identificado anteriormente. Esta informação é importante para se conhecer o comportamento do ruído presente no local e inserir no software possibilitando o cálculo estimado das potências sonora dos equipamentos, para posterior predição acústica.

A determinação dos níveis sonoros de cada ponto identificado foi feita através de medições em sua volta sob condições meteorológicas favoráveis (sem chuvas e ou ventos fortes).

Um problema comum para grandes fábricas que desejam reduzir o ruído ambiental impactante na comunidade é a definição dos níveis de pressão sonora das fontes. Existe apenas um período por ano onde é possível para processos, é

durante a Parada Geral. Com a parada gradativa dos processos produtivos conforme cronograma específico foi possível verificar a contribuição de cada equipamento no nível de pressão sonora equivalente total. Permitindo uma melhor comparação com os valores simulados a partir das potências dos equipamentos.

3.3.5 Realização de medições dos níveis de pressão sonora equivalente – Leq - validação

Com base nos levantamentos topográficos e nos níveis de potência sonora dos equipamentos críticos, foi realizada a simulação computacional para a geração dos mapas de impacto sonoro com utilização do software Cadna-A.

A simulação computacional foi realizada, tomando-se 6 pontos distribuídos pela área da cidade. Para validação dos dados simulados foram realizados monitoramentos dos níveis de pressão sonora impactantes nos mesmos pontos da cidade.

Então, a sua validação se deu conforme critérios descritos por HANSEN (2005) apud MARSCH (1976) onde cita que a diferença deverá ser de ± 5 dB, entre os dados medidos e calculados e LICITRA e MEMOLI (2008) onde cita que a incerteza deverá ser de 4,6dB para o cálculo dos níveis de pressão sonora.

A FIGURA 23 mostra a disposição dos pontos onde foram realizadas as medições e simulações dos níveis de pressão sonora e a QUADRO 4 apresenta a descrição desses pontos.



FIGURA 23 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES

FONTE: CELULOSE E PAPEL – TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DA PASTA CELULÓSICA

LOCAIS DE AVALIAÇÃO	PONTO
Estação Teleférica	1
Hospital	2
Colégio 1	3
Rodoviária	4
Colégio 2	5
Colégio 3	6

QUADRO 4 - RELAÇÃO DE PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS MEDIÇÕES E SIMULAÇÕES

FONTE: O autor (2010)

3.3.6 Predição acústica

A partir do comparativo realizado entre os valores simulados e medidos de níveis de pressão sonora, é possível realizar a simulação computacional de mais pontos distribuídos na cidade.

Foram realizadas simulações sonora tomando-se 24 pontos distribuídos pela área da cidade.

A FIGURA 24 mostra a disposição dos pontos onde foram realizadas as simulações dos níveis de pressão sonora e a QUADRO 5 apresenta a descrição desses pontos.

Estas simulações sonora foram realizadas a fim de se determinar os níveis de pressão sonora atuais e futuros com os tratamentos acústicos da indústria considerando em operação normal e para o período noturno.



FIGURA 24 - DISPOSIÇÃO DOS PONTOS ONDE FORAM REALIZADAS AS SIMULAÇÕES

FONTE: CELULOSE E PAPEL – TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO DA PASTA CELULÓSICA

LOCAIS SIMULADOS	PONTOS
Estação Teleférica	1
Hospital	2
Colégio1	3
Rodoviária	4
Colégio 3	5
Colégio 2	6
Hotel 1	7
Escola 1	8
Escola 2	9
Hotel 2	10
Clinica Médica 1	11
Escola 3	12
Hotel 3	13
Clínica Médica 2	14
Hotel 3	15
Hotel 4	16
Hotel 5	17
Transportadora 1	18
Transportadora 2	19
Colégio 4	20
Transportadora 3	21
Transportadora 4	22
Transportadora 5	23
Colégio 5	24

QUADRO 5 - RELAÇÃO DE PONTOS PARA O CÁLCULO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA IMITIDOS

FONTE: O autor (2010)

4 RESULTADOS

Neste capítulo poderá ser visto os resultados conseguidos a partir da aplicação da metodologia descrita anteriormente, assim como, as suas análises.

4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DO RUÍDO AMBIENTAL

A TABELA 3 apresenta os níveis de pressão sonora medidos em oito pontos localizados na área de observação, conforme descrito no item 4.3.1.

TABELA 3 - NÍVEIS DE RUÍDO MEDIDOS CONFORME NBR 10.151

LOCAIS DE AVALIAÇÃO	PONTO	Leq dB(A) – DIURNO	Leq dB(A) - NOTURNO
Divisa Indústria / Cidade	1	59	58
Divisa Indústria / Cidade	2	58	58
Estação Teleférica	3	58	59
Hospital Atrás	4	62	61
Hospital Frente	5	44	42
Colégio 1	6	44	42
Colégio 2	7	47	44
Rodoviária	8	48	43

FONTE: O autor (2010)

Após a medição foram realizadas as análises dos dados em relação ao contexto da NBR 10.151.

Os GRÁFICOS 1 e 2 relacionam os níveis medidos nos diferentes pontos e comparados aos limites da NBR 10.151, lembrando que foram consideradas as características da região da cidade impactada como “área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas”. Então os NCAs utilizados de acordo com o horário e a zona de uso do solo foram de 50 dB(A) no período diurno e 45 dB(A) no período noturno.

Ao analisar os níveis sonoros imitados pela indústria nas proximidades da região de sua propriedade com a cidade (Pontos 1 a 4) estão acima dos permitidos tanto para o período diurno como noturno.

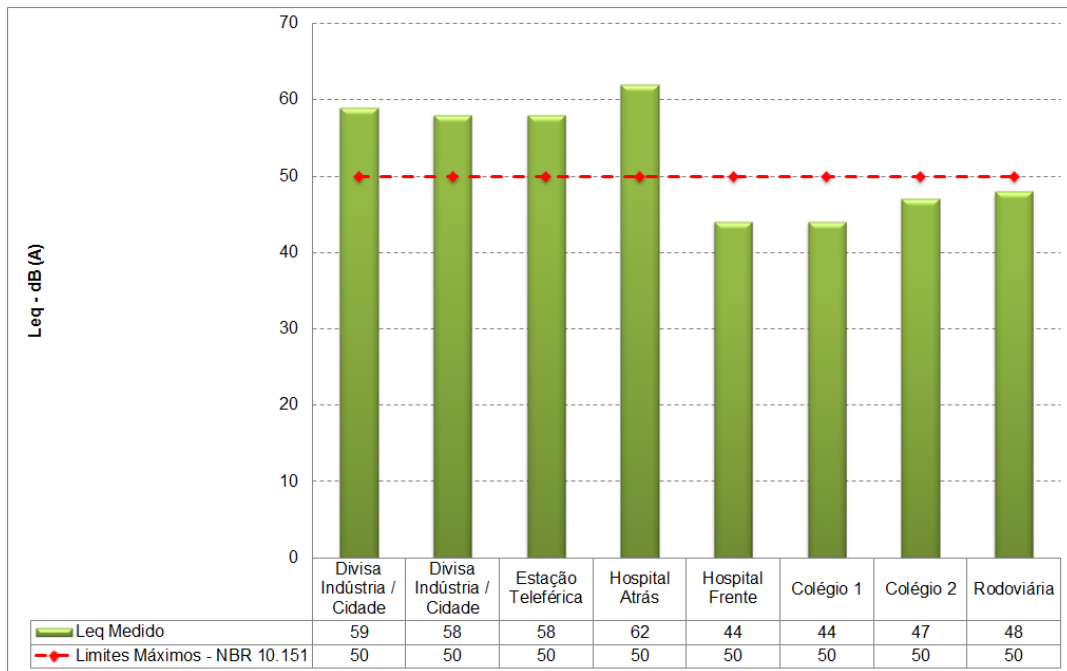


GRÁFICO 01 - AVALIAÇÃO DE RUÍDO EM ÁREAS HABITADAS – PERÍODO DIURNO

FONTE: O autor (2010)

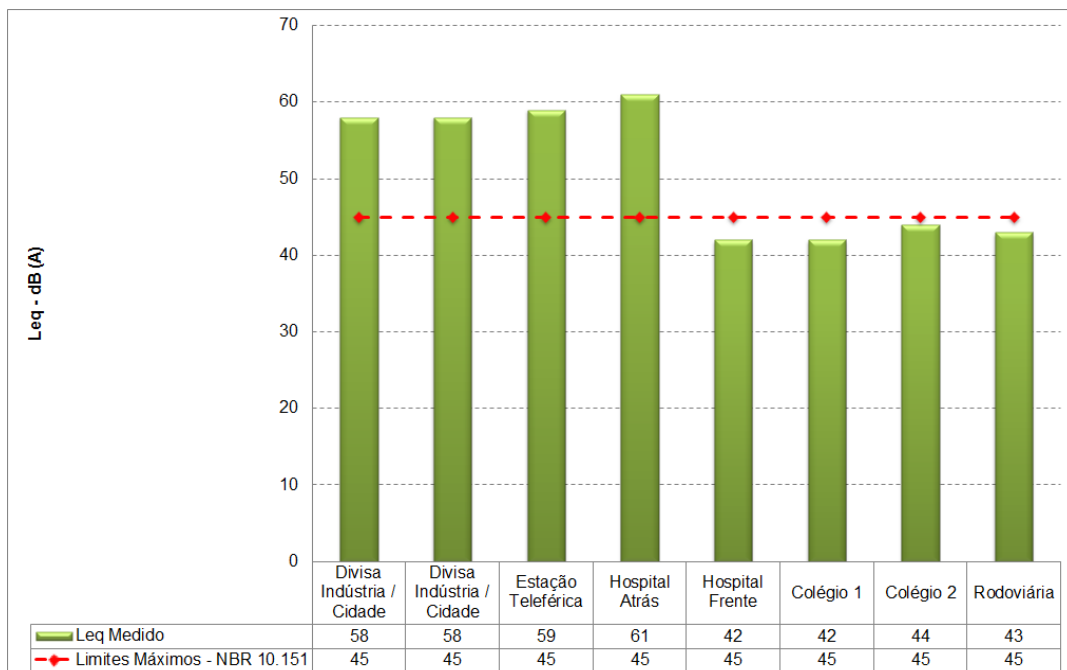


GRÁFICO 02 - AVALIAÇÃO DE RUÍDO EM ÁREAS HABITADAS – PERÍODO NOTURNO

FONTE: O autor (2010)

O GRÁFICO 3 mostra um comparativo entre os oito pontos de medições de níveis de pressão sonora para os períodos diurnos e noturnos.

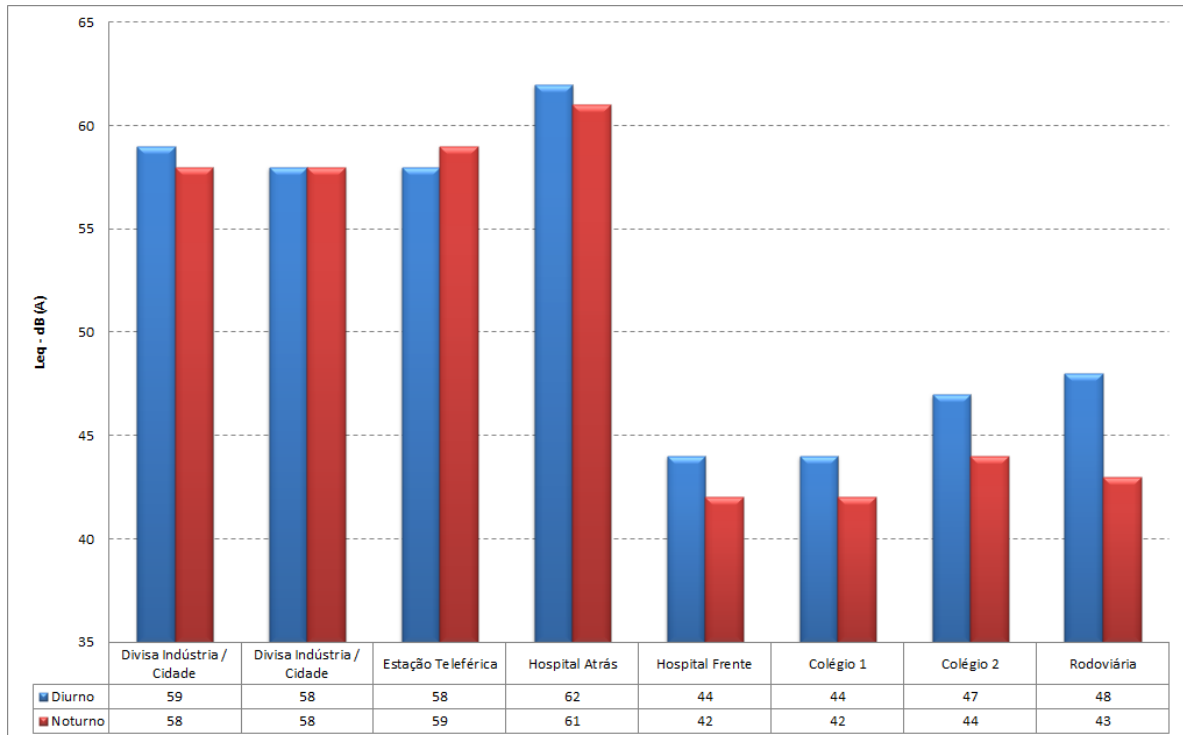


GRÁFICO 3 - COMPARATIVO DAS MEDIÇÕES REALIZADAS NO PERÍODO DIURNO X NOTURNO

FONTE: O autor (2010)

Da observação do GRÁFICO 3, conclui-se que a geração de ruído pela indústria em operação normal é contínuo, havendo pouquíssima diferença entre os níveis sonoros medidos nos períodos diurnos e noturnos. Devido a isso, foram realizados os mapas sonoros apenas para o período noturno e por ter os seus limites mais restritivos.

4.2 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Os níveis sonoros de todas as situações avaliadas serão apresentados a seguir através de mapa acústico e de valores pontuais posicionados em locais representativos da cidade e localizados na FIGURA 24. Cabe ressaltar que os

valores apresentados são relativos aos níveis sonoros imitados pela indústria em operação normal e não leva em consideração o ruído de fundo da cidade.

4.2.1 Caracterização das fontes sonora

Na sequência serão apresentadas as medições dos níveis de pressão sonora realizadas por bandas de frequência das principais fontes de ruídos:

4.2.1.1 Preparo de madeiras

No preparo de madeiras são utilizados equipamentos de grande porte, tais como: mesa receptora, descascadores (tambores) e picadores de toras.

Os descascadores de madeira são cilindros que giram vagarosamente, produzindo um impacto entre toras e destas com as suas paredes, removendo as cascas (FIGURA 25).



FIGURA 25 – DESCASCADOR DE MADEIRA

FONTE: O autor (2010)

Este atrito entre as toras e o cilindro é responsável pela geração de níveis de pressão sonora elevados, conforme pode ser observado nas FIGURAS 26 e 27.

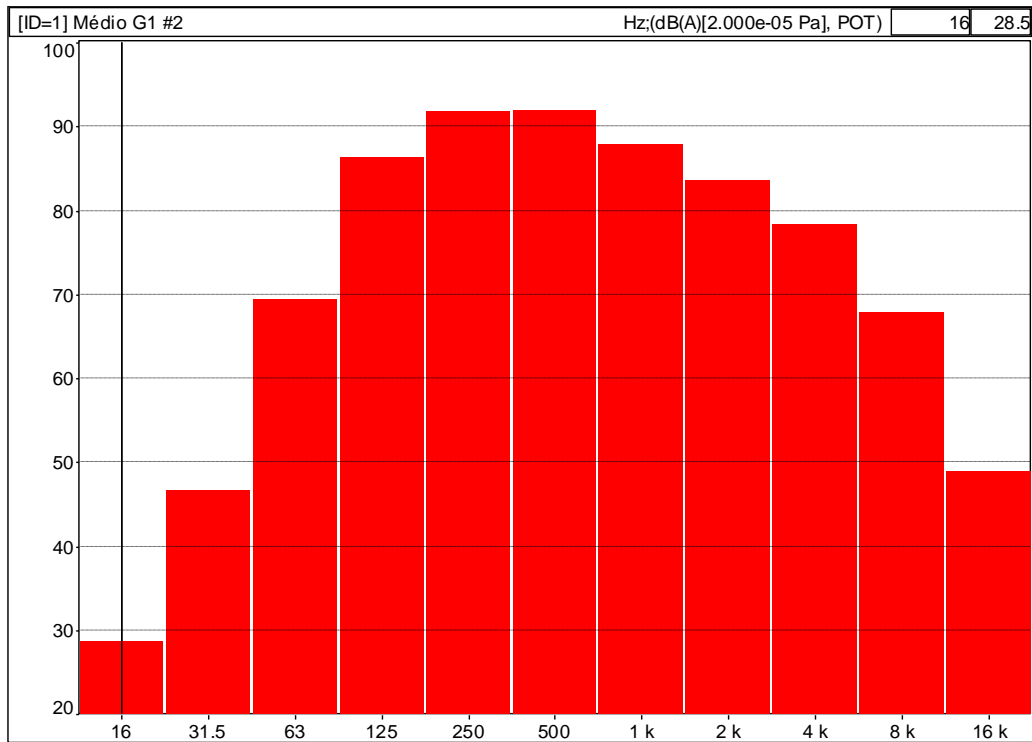


FIGURA 26 – DESCASCADOR DE MADEIRA 1 – Leq 96,1 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

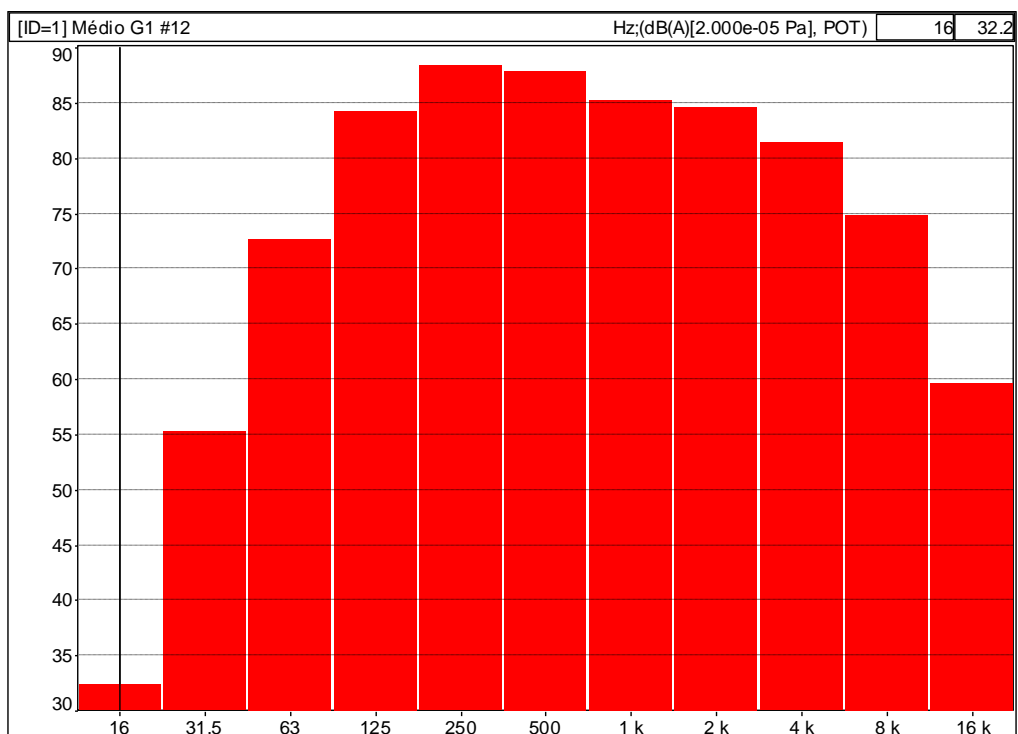


FIGURA 27 – DESCASCADOR DE MADEIRA 2 - Leq 93,4 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

A partir da descascagem, a tora segue para as mesas receptoras, auxiliando o processo de picagem das toras, ou seja as toras são inseridas em uma mesa com serras onde são alinhadas, distribuídas em comprimentos adequados e transportadas para os picadores. A mesa de recebimento de toras é responsável pela geração de níveis de pressão sonora bastante elevados, conforme pode ser observado na FIGURA 28.

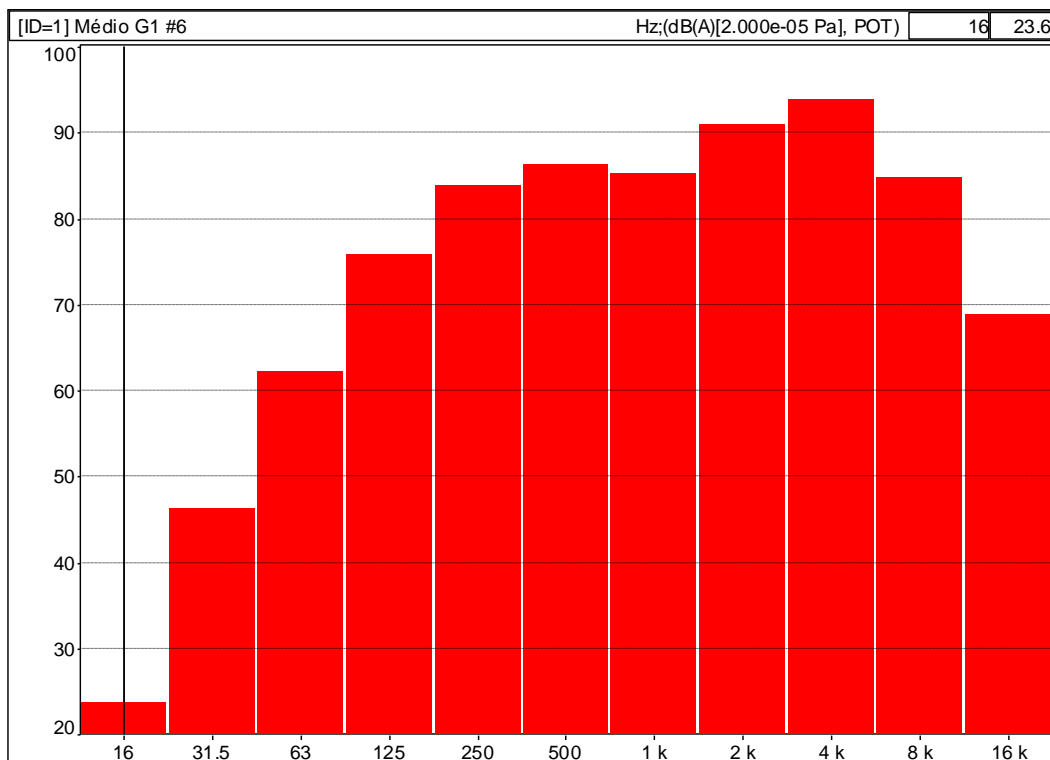


FIGURA 28 – MESA DE RECEBIMENTO DE TORAS - Leq 96,7 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

Para o processo de cozimento se faz necessário a redução das toras em fragmentos (cavacos). Para este processo a empresa utiliza os picadores de disco. Quando a tora passa através de um bocal com discos de facas é gerado níveis de pressão sonora bastante elevados, conforme pode ser observado nas FIGURAS 29 e 30.

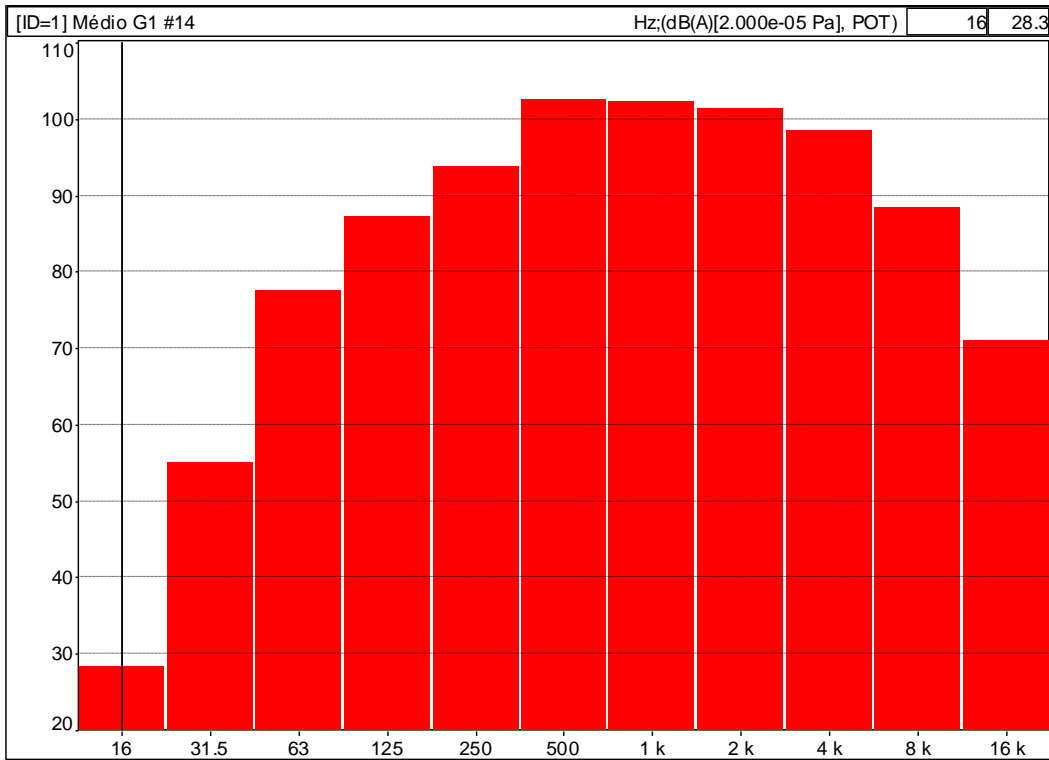


FIGURA 29 – PICADOR DE MADEIRA 2 – Leq 107,7 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

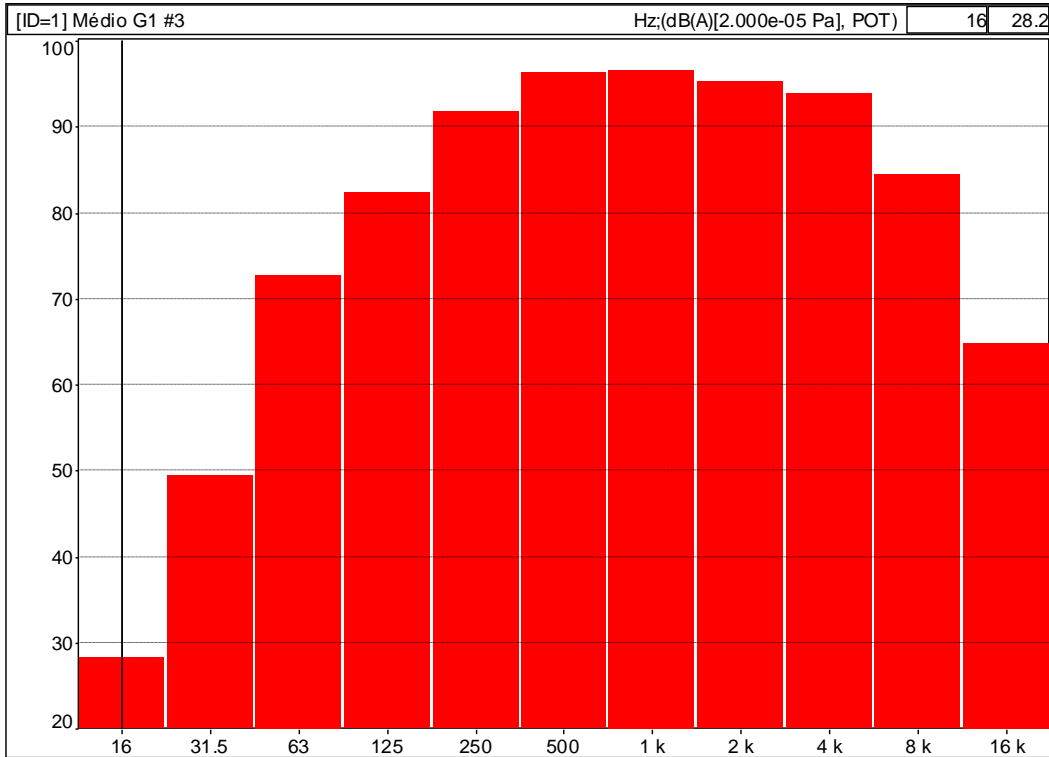


FIGURA 30 – PICADOR DE MADEIRA 1 – Leq 102,0 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

Pode-se observar das FIGURAS 26 a 30 que os espectros sonoros gerados pelos equipamentos são de banda larga, com frequências dominantes entre 63 Hz e 16.000 Hz.

4.2.1.2 Fabricação de fibras

Os digestores contínuos presentes no processo servem, de forma simplificada, para realizar o cozimento do cavaco com agentes químicos (FIGURA 31).



FIGURA 31 – DIGESTOR DE CONTÍNUO
FONTE: O autor (2010)

Na FIGURA 32 pode se verificar a geração do nível de pressão sonora referente ao digester contínuo.

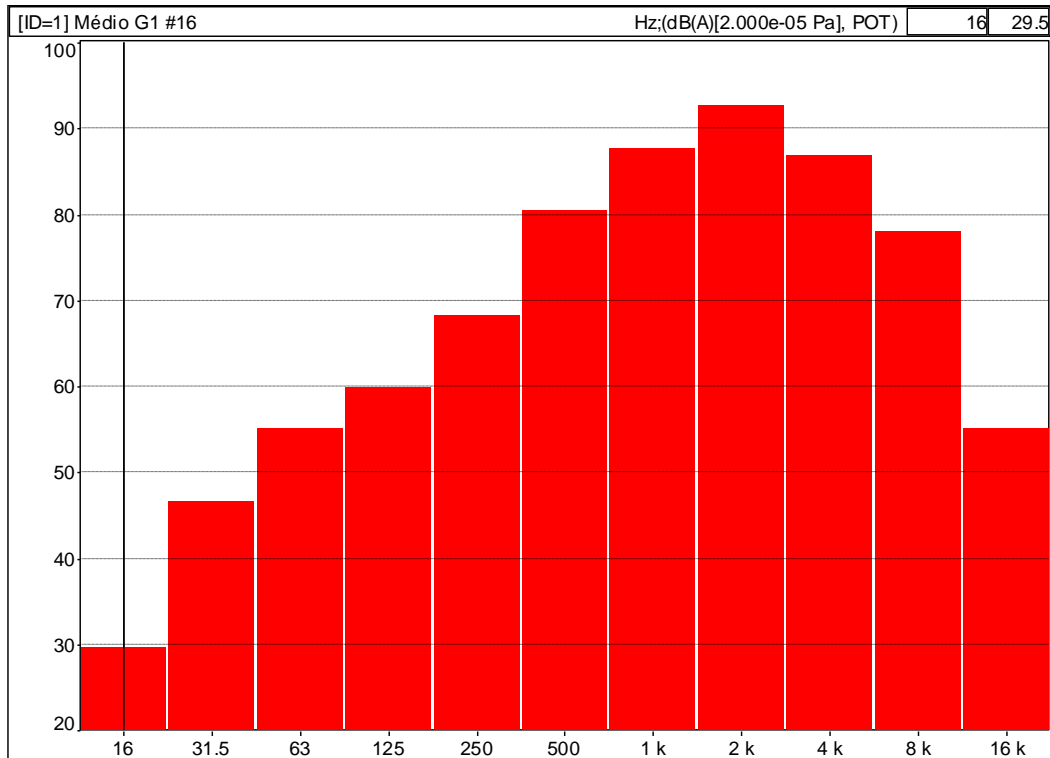


FIGURA 32 – DIGESTOR DE CONTÍNUO – Leq 94,7 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

Pode-se observar da FIGURA 32 que o espectro sonoro gerado pelo equipamento é de banda larga, com frequências dominantes entre 500 Hz e 8.000 Hz.

4.2.1.3 – Utilidades e recuperação

Em grandes empresas de celulose e papel, o seu processo básico de Utilidades e Recuperação é composto por Caldeira de Força, Turbogenerador, Tratamento de Água e Efluentes, Caldeira de Recuperação Química, Evaporação de Licor Negro, Forno de Cal e Caustificação.

A posição em relação à cidade desses equipamentos levou à necessidade do seu monitoramento, assegurando assim que os seus impactos não fossem significativos a ponto de influenciarem no resultado final do trabalho.



FIGURA 33 – UTILIDADES E RECUPERAÇÃO – CALDEIRAS
FONTE: O autor (2010)



FIGURA 34 – UTILIDADES E RECUPERAÇÃO – FORNO DE CAL
FONTE: O autor (2010)

Nas FIGURAs 35 a 41 apresentam os níveis de pressão sonora imitados por esses equipamentos em função da frequência.

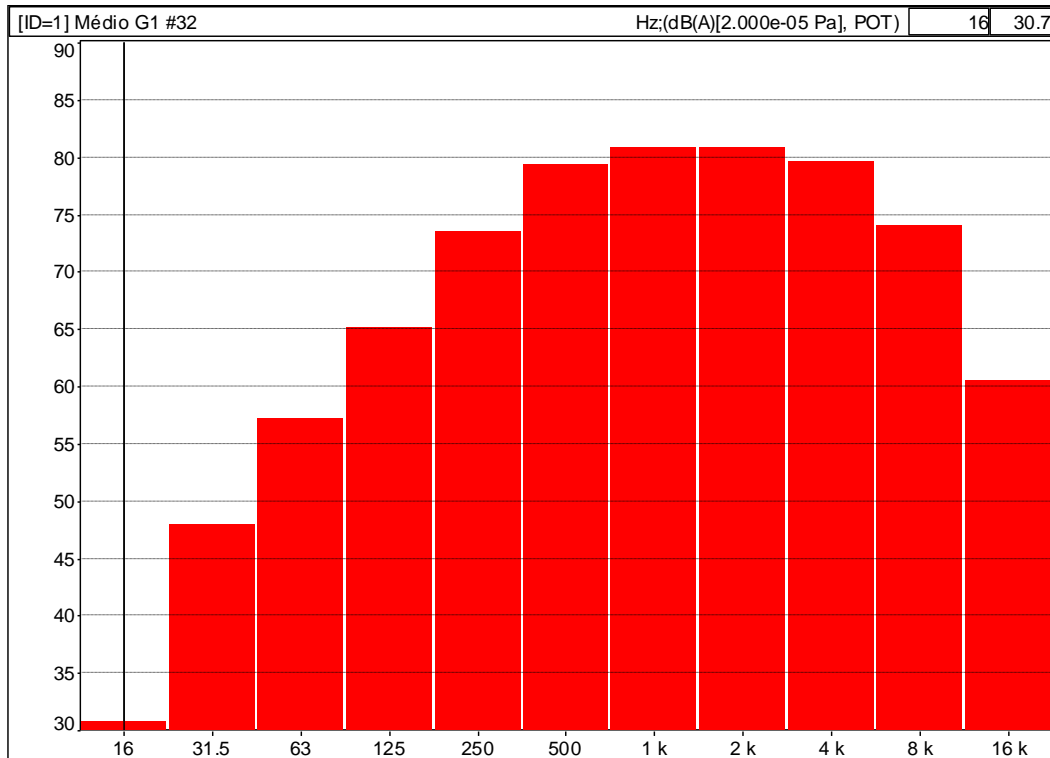


FIGURA 35 - CALDEIRA DE FORÇA 1 – Leq 86,5 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

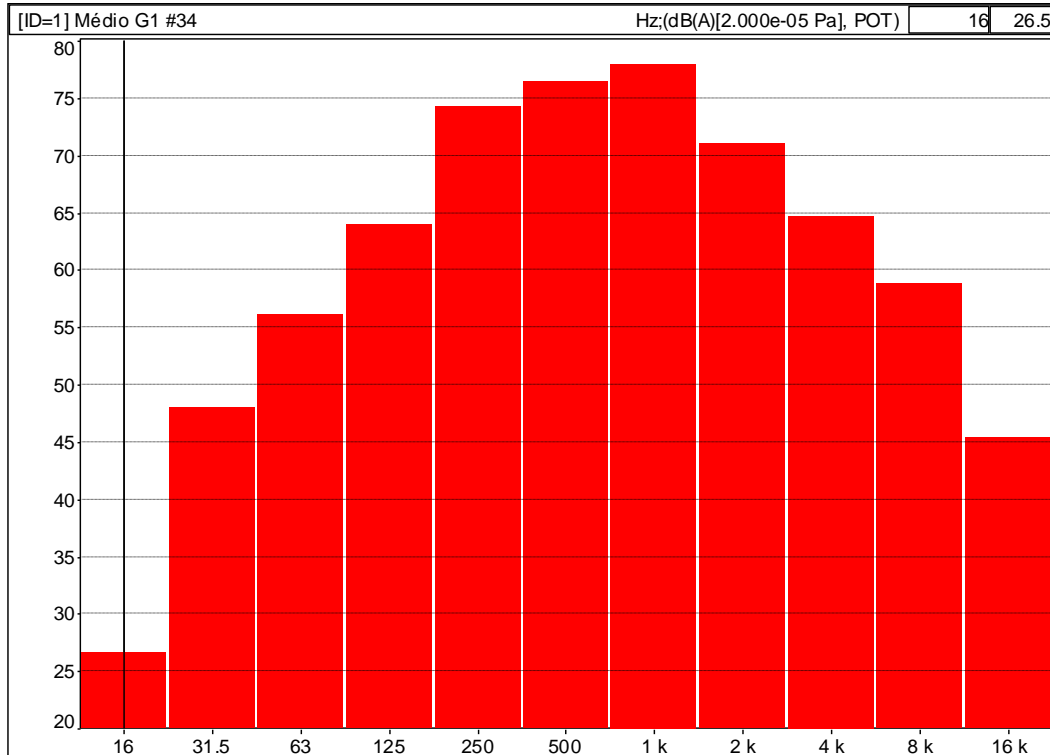


FIGURA 36 - CALDEIRA DE FORÇA 2 – Leq 81,7 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

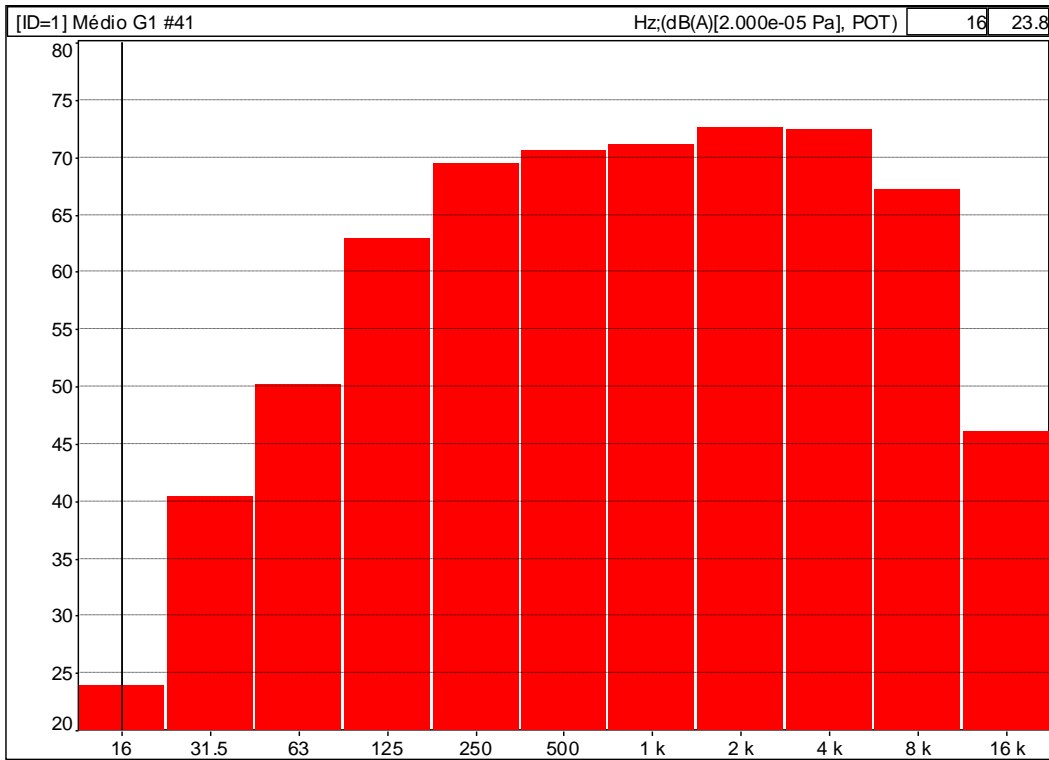


FIGURA 37 - CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO – Leq 78,7 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

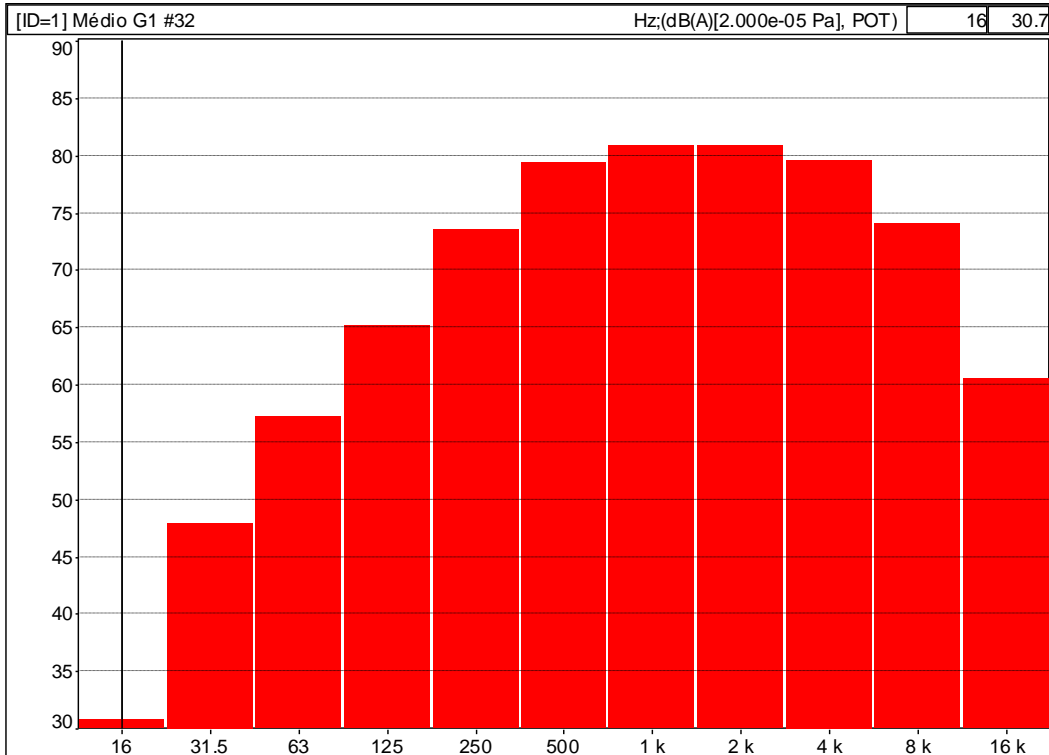


FIGURA 38 - EVAPORAÇÃO - TORRES DE RESFRIAMENTO – Leq 84,7 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

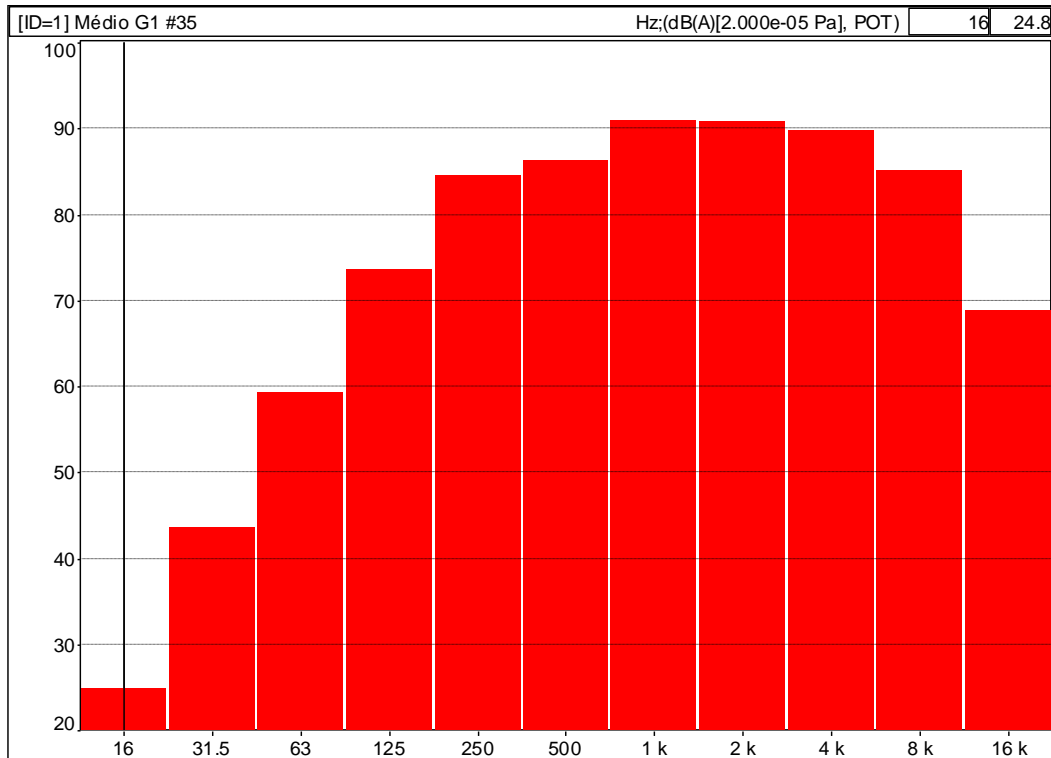


FIGURA 39 - TURBOGERADORES – Leq 96,2 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

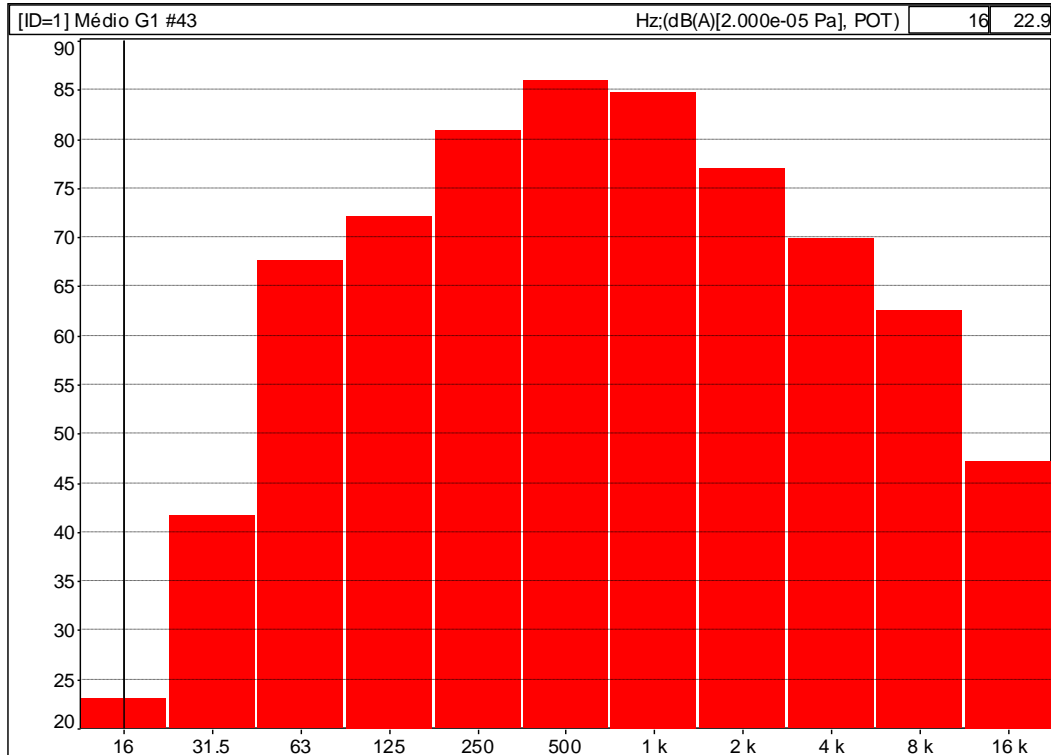


FIGURA 40 – FORNO DE CAL – Leq 89,2 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

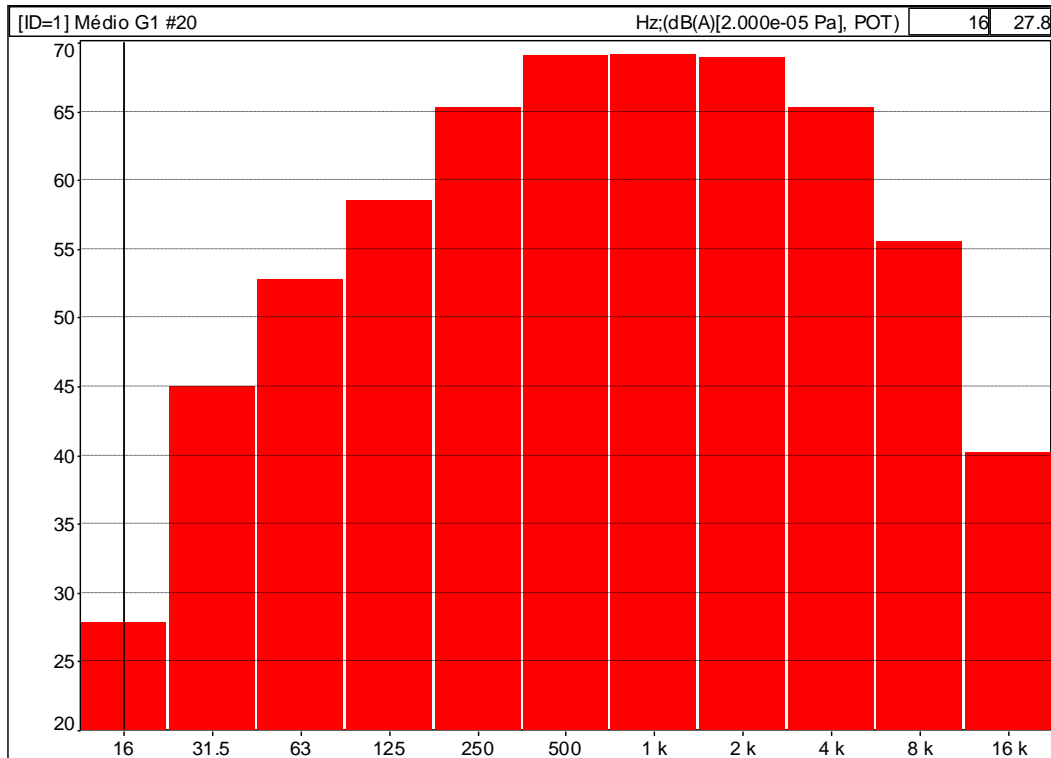


FIGURA 41 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES – TORRE BIOLÓGICA – Leq 74,9 dB(A)

FONTE: O autor (2010)

Pode-se observar das FIGURAS 35 a 41 que os espectros sonoros gerados pelos equipamentos são de banda larga, com frequências dominantes entre 63 Hz e 16.000 Hz.

4.2.1.4 – Máquina de papel

As principais fontes de ruído em uma máquina de papel são ventiladores industriais posicionados no seu mezanino e as bombas e linhas pertencentes ao preparo de massa, estes estão ilustrados nas FIGURAS 42 e 43.



FIGURA 42 – ÁREA DOS VENTILADORES DO MEZANINO
FONTE: O autor (2010)



FIGURA 43 – PREPARO DE MASSA
FONTE: O autor (2010)

Nas FIGURAS 44 a 46 apresentam os níveis de pressão sonora imitados por esses equipamentos em função da frequência.

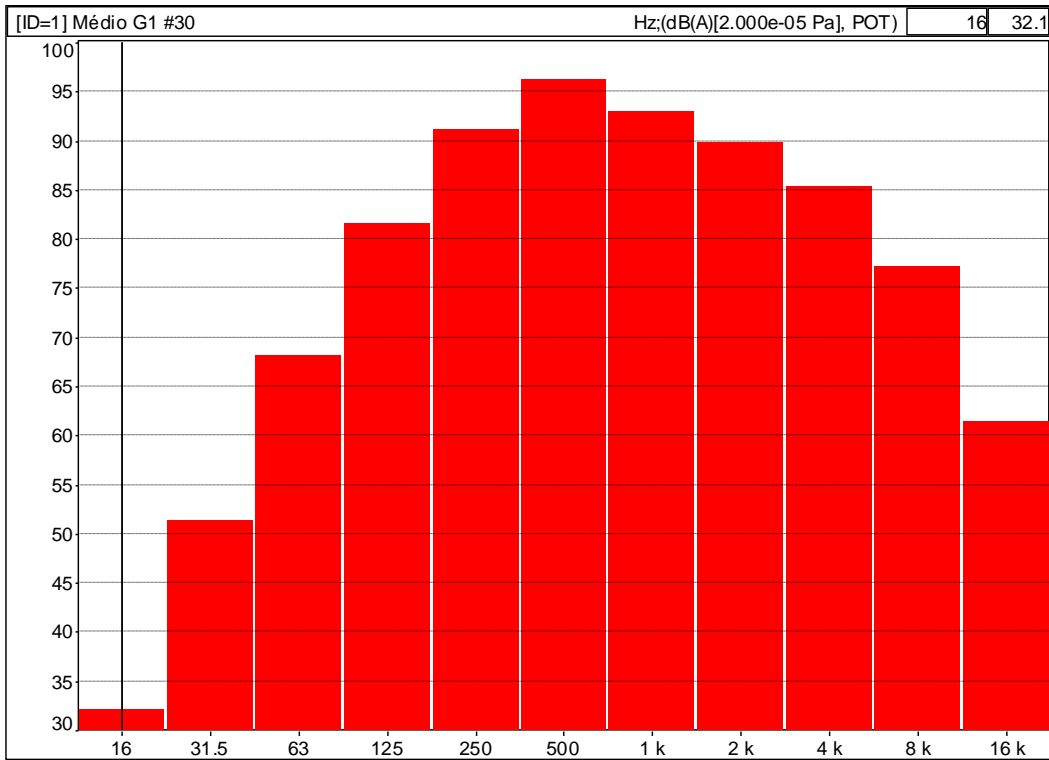


FIGURA 44 – ÁREA DOS VENTILADORES DO MEZANINO – Leq 99,2 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

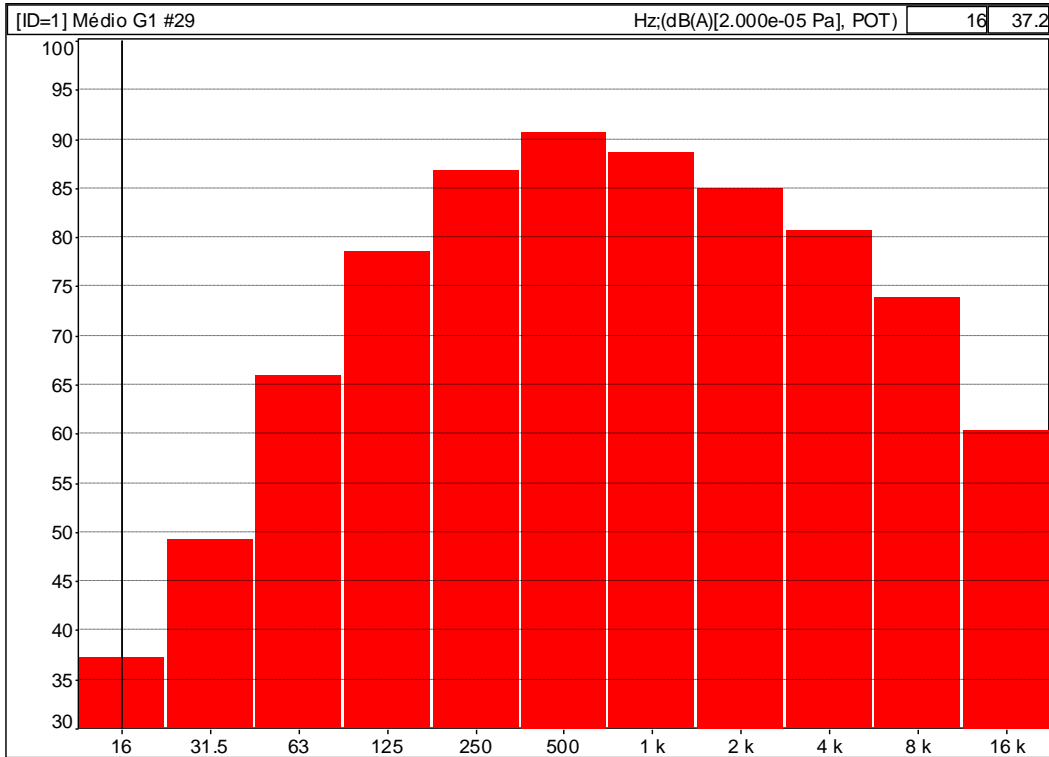


FIGURA 45 – ÁREA DE TORRES – Leq 94,4 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

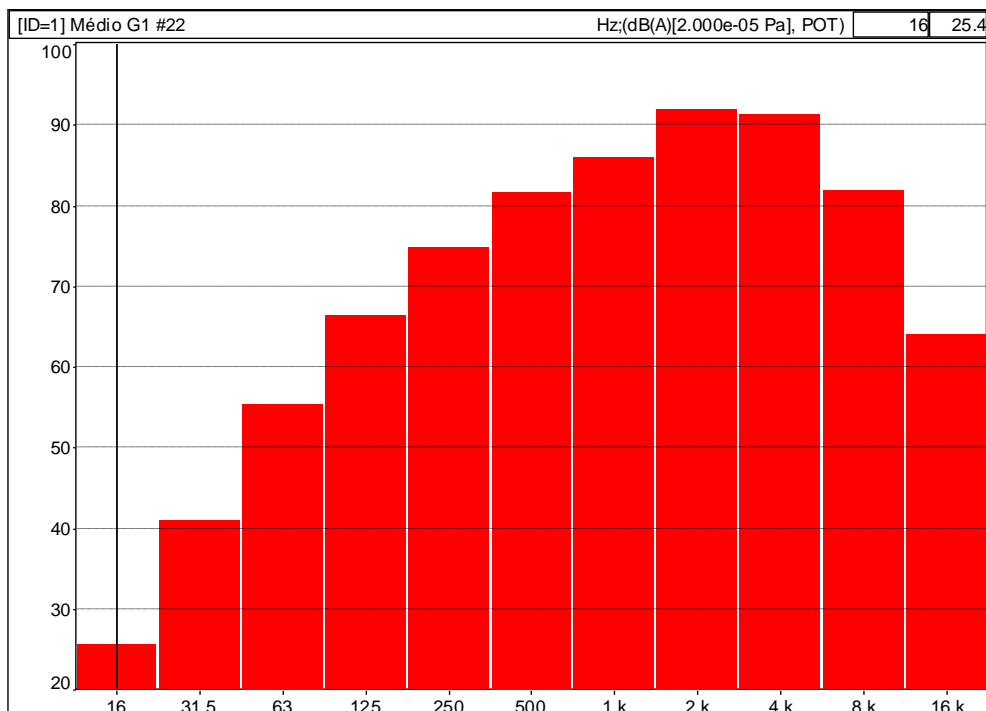


FIGURA 46 – PREPARO DE MASSA – Leq 95,5 dB(A)
 FONTE: O autor (2010)

Pode-se observar das FIGURAS 44 a 46 que os espectros sonoros gerados pelos equipamentos é de banda larga, com frequências dominantes entre 63 Hz e 16.000 Hz.

4.2.2 Comparativo entre os valores dos níveis de pressão sonora simulados e medidos

A simulação computacional foi realizada, tomando-se 6 pontos distribuídos pela área da cidade conforme item 3.3.5. A fim de validar os dados simulados foram realizados monitoramentos dos níveis de pressão sonora nos mesmos pontos da cidade.

A TABELA 4 mostra que a variação (Δ Leq) entre os valores simulados e medidos encontram-se entre 0,3-1,3 dB(A).

TABELA 4 – VALORES SIMULADOS E MEDIDOS DE NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA

LOCAIS DE AVALIAÇÃO	PONTO	Leq dB(A) - MEDIDO	Leq dB(A) - SIMULADO	Δ Leq dB(A)
Estação Teleférico	1	59,8	60,6	0,8
Hospital	2	61,2	61,5	0,3
Colégio 1	3	52,8	53,1	0,3
Rodoviária	4	47,3	48,5	1,2
Colégio 2	5	43,8	45,1	1,3
Colégio 3	6	39,7	40,5	0,8

FONTE: O autor (2010)

A TABELA 4 aponta para a variação esperada entre os níveis de pressão sonora simulados e medidos conforme padrões definidos nos estudos de HANSEN (2005) apud MARSCH (1976) onde sugere diferenças de ± 5 dB entre os dados medidos e calculados e, LICITRA e MEMOLI (2008) onde sugerem que 4,6 dB é a incerteza esperada para o cálculo dos níveis de pressão sonora. Sendo que, o estudo de LICITRA e MEMOLI (2008) aponta para um intervalo de variação aceito pela *European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AN)*.

4.2.3 Cenário atual – indústria em operação normal

A FIGURA 48 apresenta o mapeamento sonoro realizado com o software Cadna-A do cenário acústico atual da indústria e comunidade em estudo para o período noturno (conforme item 4.1). A legenda abaixo do mapa indica escala gradual de cores, os níveis mais elevados de pressão sonora tendem para a cor azul e o mais baixos se aproximam da cor verde. Através deste mapeamento foram simulados os níveis de pressão sonora em 24 pontos da recepção, os quais são apresentados na sequência na TABELA 5.

Com base no mapa, percebe-se a geração de ruído pela disposição das fontes conforme FIGURA 22 do item 3.3.3. Com estes resultados, observa se quais são as etapas do processo da indústria que geram os maiores níveis sonoros. São

os instalados no Preparo de Madeiras e na Máquina de Papel, sendo que, com menor intensidade na área de fibras.

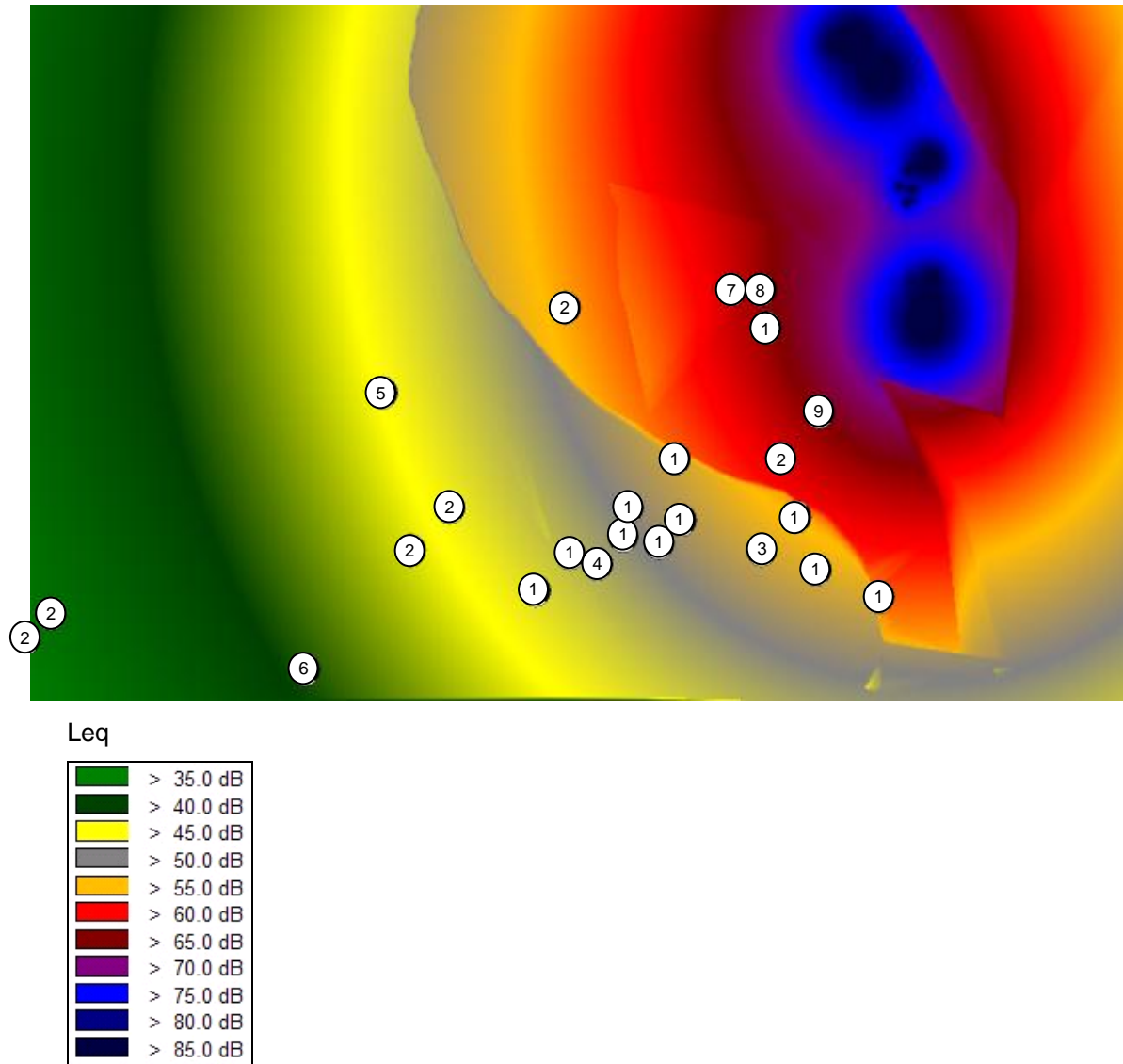


FIGURA 47 – MAPEAMENTO SONORO DO CENÁRIO ATUAL
FONTE: O autor (2010)

TABELA 5 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA SIMULADOS – CENÁRIO ATUAL

LOCAIS SIMULADOS	PONTOS	Leq dB(A) - SIMULADOS	LIMITE NOTURNO - NBR 10.151
Estação Teleférica	1	60,6	45
Hospital	2	61,5	45
Colégio1	3	53,1	45
Rodoviária	4	48,5	45
Colégio 3	5	45,6	45
Colégio 2	6	40,5	45
Hotel 1	7	62,7	45
Escola 1	8	64,3	45
Escola 2	9	65,3	45
Hotel 2	10	55,5	45
Clinica Médica 1	11	53,6	45
Escola 3	12	53,3	45
Hotel 3	13	54,5	45
Clínica Médica 2	14	53,1	45
Hotel 3	15	52	45
Hotel 4	16	52,1	45
Hotel 5	17	51,4	45
Transportadora 1	18	49,8	45
Transportadora 2	19	48,3	45
Colégio 4	20	54,1	45
Transportadora 3	21	46	45
Transportadora 4	22	46,2	45
Transportadora 5	23	36,3	45
Colégio 5	24	35,7	45

FONTE: O autor (2010)

Observando-se a distribuição dos níveis sonoros na cidade, verificou-se que os pontos mais afastados da Indústria estão expostos a menores níveis de ruído, não acontecendo com os pontos localizados mais próximos, estando expostos a níveis de ruído de até 65 dB(A).

Após a simulação para a situação atual foram realizadas as análises dos dados em relação ao contexto da NBR 10.151.

O GRÁFICO 4 relaciona os níveis medidos nos diferentes pontos e comparados aos limites da NBR 10.151, lembrando que foram consideradas as características da região da cidade impactada como “área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas”. Então o limite utilizado de acordo com o horário e a zona de uso do solo foi de 45 dB(A) no período noturno.

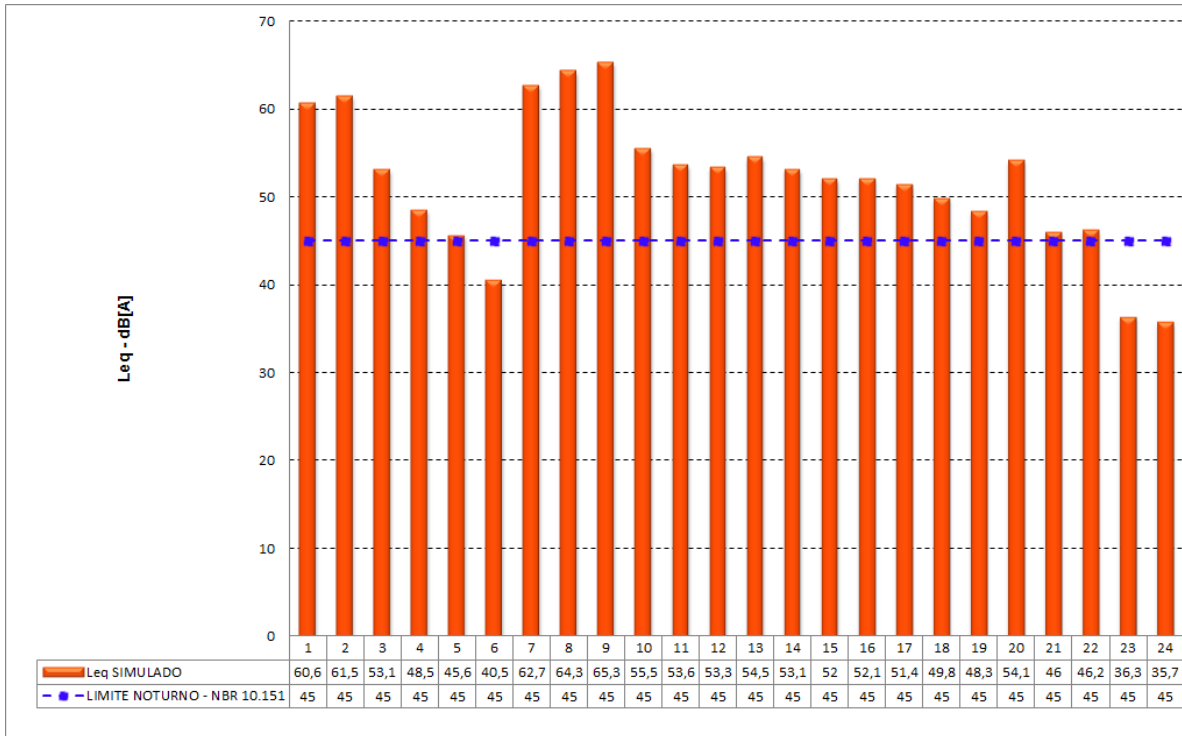


GRÁFICO 04 – VALORES SIMULADOS X NCA NBR 10.151
 FONTE: O autor (2010)

Ao analisar o GRÁFICO 4, dos 24 pontos simulados, apenas três satisfazem o critério estipulado para o período noturno, ou seja, a indústria está imitando níveis sonoros acima do legislado.

O GRÁFICO 5 mostra o percentual de pontos simulados em relação aos seus valores de níveis de pressão sonora. Deste, ainda analisando o cenário atual, pode-se concluir que dos 24 pontos simulados apenas 12% destes atendem o valor limite de 45 dB(A).

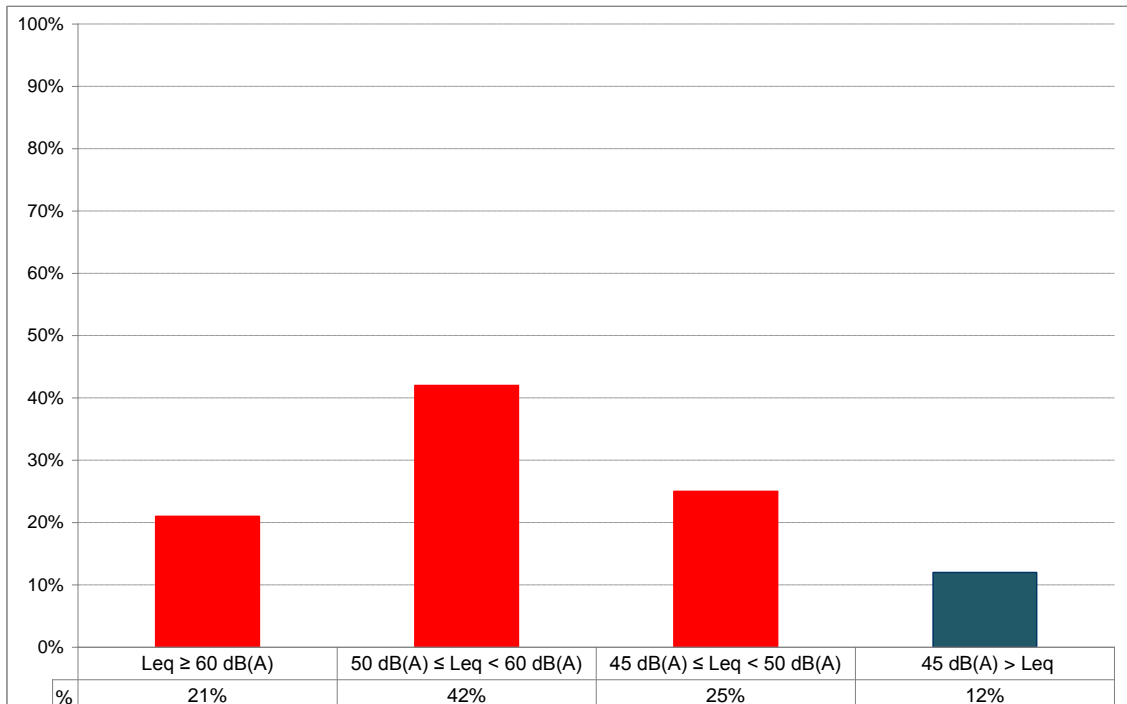


GRÁFICO 5 – PERCENTUAL DE PONTOS SIMULADOS EM RELAÇÃO AOS SEUS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA O CENÁRIO ATUAL
 FONTE: O autor (2010)

4.2.4 Cenário desejado

Como dito anteriormente, com a medição dos níveis sonoros dos equipamentos e a sua relação com o simulado, foi possível determinar as fontes geradoras de ruído de impacto na comunidade. Estas são a máquina de papel e preparo de madeiras.

Para estes casos mais críticos de incômodo causado pelo ruído, foram feitas novas simulações sonora na comunidade nos pontos estudados após medidas de isolamento acústico para o período noturno (conforme item 5.1).

Essas simulações foram realizadas para três situações:

- a) tratamento acústico na Máquina de Papel;
- b) tratamento acústico na Máquina de Papel e Fibras;
- c) tratamento acústico na Máquina de Papel, Fibras e Preparo de Madeiras.

4.2.4.1 – Tratamento acústico na máquina de papel

A FIGURA 48 representa o mapeamento sonoro a partir do tratamento acústico na área da Máquina de Papel, ou seja, considerando a aplicação dos seguintes sistemas atenuantes:

- a) silenciadores nos ventiladores do mezanino;
- b) venezianas acústicas em frente a atual no mezanino;
- c) enclausuramento próximo às bombas do Preparo de Massa.

Através deste mapeamento foram simulados os níveis de pressão sonora em 24 pontos da recepção, os quais são apresentados na TABELA 6.

Com base no mapa, percebe-se a diferença no nível sonoro na região da Máquina de Papel a partir do seu tratamento acústico, se comparado ao Cenário Atual presente na FIGURA 47.

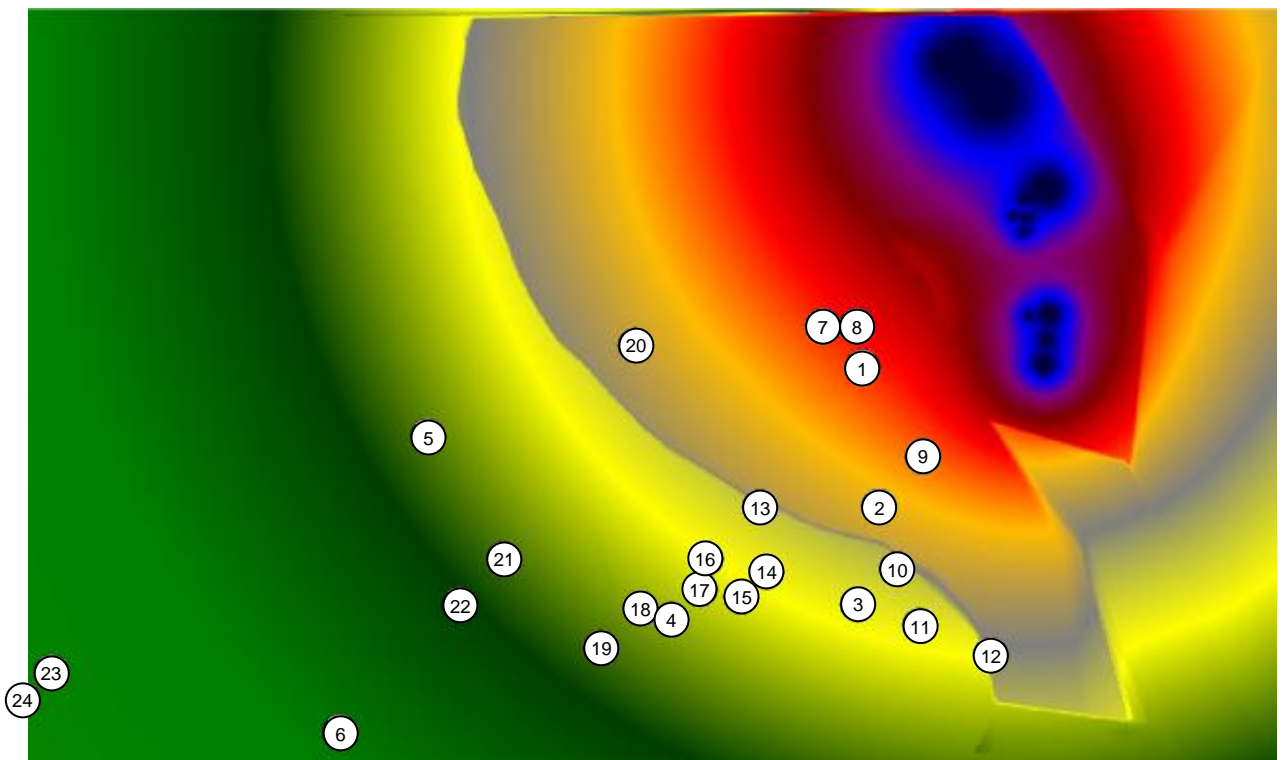


FIGURA 48 – MAPEAMENTO SONORO – TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O autor (2010)

Leq	> 35.0 dB
	> 40.0 dB
	> 45.0 dB
	> 50.0 dB
	> 55.0 dB
	> 60.0 dB
	> 65.0 dB
	> 70.0 dB
	> 75.0 dB
	> 80.0 dB
	> 85.0 dB

Na TABELA 6 é possível verificar além dos valores simulados considerando o tratamento acústico na área da Máquina de Papel, o seu comparativo com os valores simulados para o cenário atual da Indústria. Observa-se um decaimento nos níveis de pressão sonora simulados, na ordem de 2,6 dB(A) até 11 dB(A).

TABELA 6 – DIFERENÇAS ENTRE OS VALORES SIMULADOS COM E SEM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL

LOCAIS SIMULADOS	PONTOS	Leq dB(A) - SIMULADOS COM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL	Leq dB(A) - SIMULADOS - CENÁRIO ATUAL	Δ Leq dB(A)
Estação Teleférica	1	55,9	60,6	4,7
Hospital	2	54,2	61,5	7,3
Colégio	3	43,9	53,1	9,2
Rodoviária	4	42,4	48,5	6,1
Colégio 3	5	41,9	45,6	3,7
Colégi 2	6	35,8	40,5	4,7
Hotel 1	7	58,9	62,7	3,8
Escola 1	8	60,0	4,3	4,3
Escola 2	9	57,2	65,3	8,1
Hotel 2	10	46,5	55,5	9,0
Clinica Médica 1	11	43,4	53,6	10,2
Escola 3	12	42,3	53,3	11,0
Hotel 3	13	48,7	54,5	5,8
Clínica Médica 2	14	46,5	53,1	6,6
Hotel 3	15	45,9	52,0	6,1
Hotel 4	16	44,8	52,1	7,3
Hotel 5	17	43,7	51,4	7,7
Transportadora 1	18	41,9	49,8	7,9
Transportadora 2	19	41,7	48,3	6,6
Colégio 4	20	51,5	54,1	2,6
Transportadora 3	21	41,2	46,0	4,8
Transportadora 4	22	42,5	46,2	3,7
Transportadora 5	3	32,2	36,3	4,1
Colégio 5	24	31,5	35,7	4,2

FONTE: O autor (2010)

O GRÁFICO 6 traz um comparativo entre os valores simulados de níveis de pressão sonora com e sem tratamento acústico na área da Máquina de Papel. Além de relacionar os níveis medidos nos diferentes pontos e compará-los aos limites da NBR 10.151, lembrando que foram consideradas as características da região da cidade impactada como “área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas”. Então o limite utilizado de acordo com o horário e a zona de uso do solo foi de 45 dB(A) no período noturno.

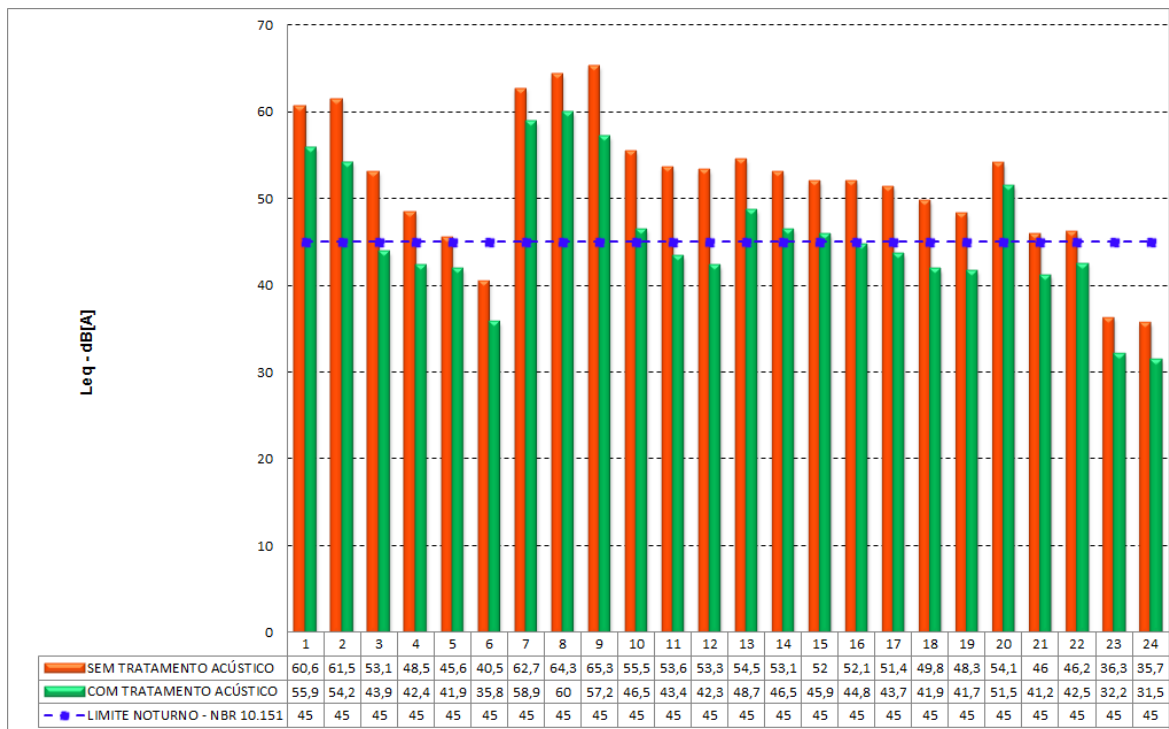


GRÁFICO 6 – COMPARATIVO ENTRE OS VALORES SIMULADOS COM E SEM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL, CONSIDERANDO OS NCA NBR 10.151

FONTE: O autor (2010)

Ao analisar o GRÁFICO 6, é possível perceber a eficiência do tratamento acústico, pois, dos vinte e quatro pontos simulados, catorze passaram a atender o critério noturno. A indústria permanece imitando níveis sonoros acima do legislado, mas o decaimento já é considerado significativo.

O GRÁFICO 7 apresenta o resultado percentual dos pontos simulados em relação aos seus níveis de pressão sonora considerando o tratamento acústico na Máquina de Papel. Ao analisá-lo é comprovada a melhora nos valores, aumentando

consideravelmente o número de pontos em conformidade com NBR 10.151, ou seja, 58% de atendimento ao valor mínimo para o período noturno.

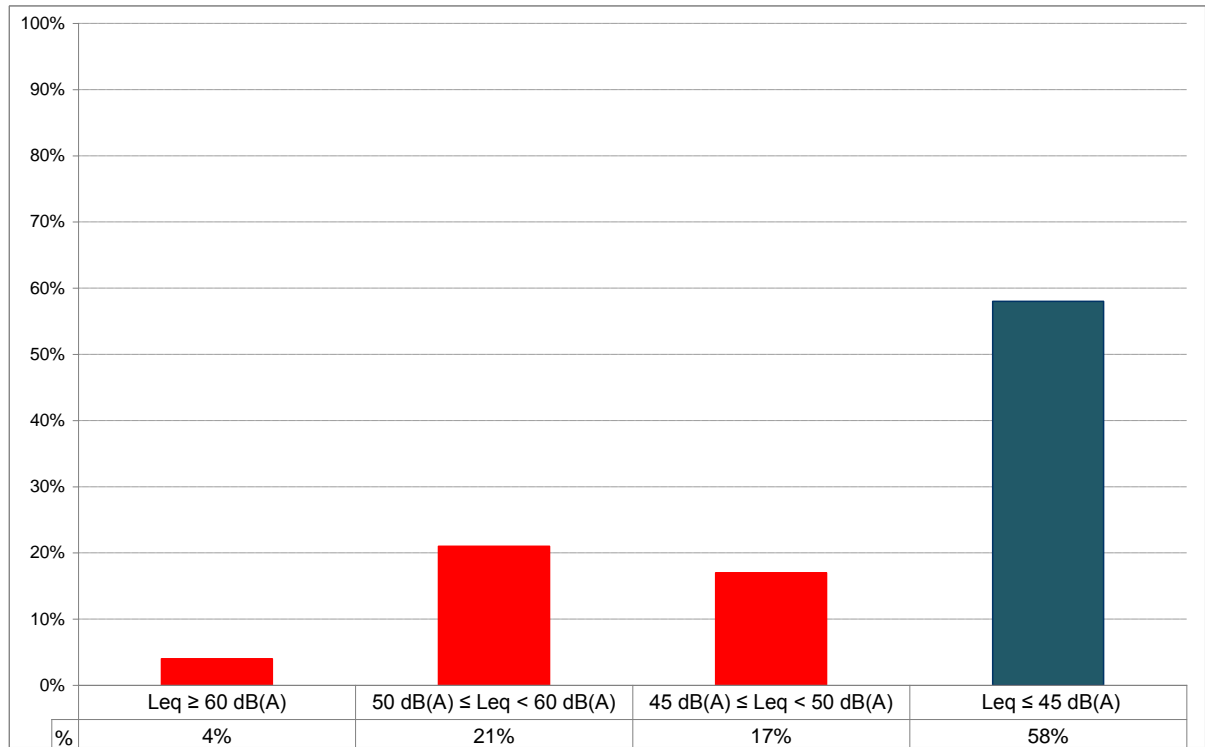


GRÁFICO 7 – PERCENTUAL DE PONTOS SIMULADOS EM RELAÇÃO AOS SEUS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA CONSIDERANDO O TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O autor (2010)

4.2.4.2 – Tratamento acústico na máquina de papel e fibras

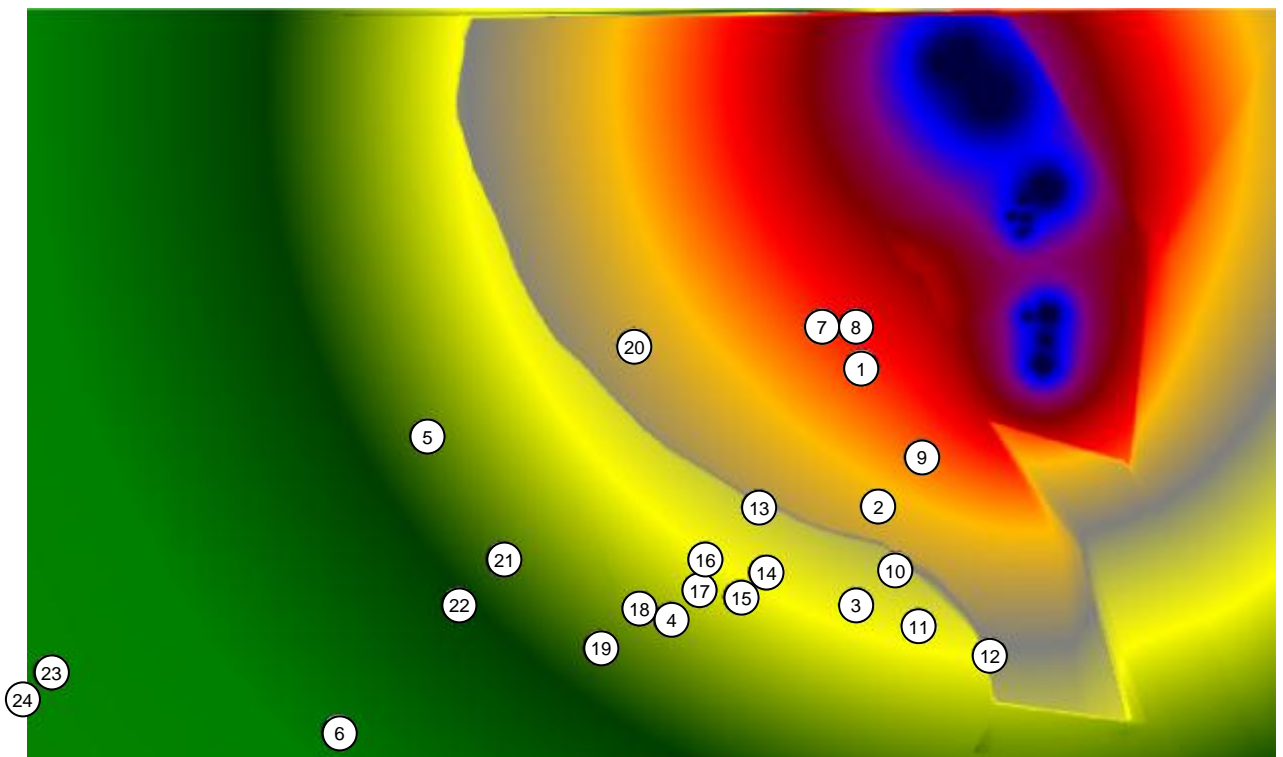
A FIGURA 49 representa o mapeamento sonoro a partir do tratamento acústico na área da Máquina de Papel e Fibras, ou seja, considerando a aplicação dos seguintes sistemas atenuantes:

- a) silenciadores nos ventiladores do mezanino;
- b) venezianas acústicas em frente a atual no mezanino;
- c) enclausuramento próximo às bombas do Preparo de Massa;
- d) enclausuramento de ponto específico na área de Fibras (4ºAndar do Digestor - bombas).

Através deste mapeamento foram simulados os níveis de pressão sonora em 24 pontos da recepção, os quais são apresentados na TABELA 7.

Com base no mapa, percebe-se a diferença no nível sonoro na região da Máquina de Papel e Fibras a partir dos seus tratamentos acústicos se comparados ao Cenário Atual presente na FIGURA 47.

Comparando o mapa da FIGURA 48 com o da FIGURA 49, essa diferença já se torna praticamente imperceptível.



Leq












	> 35.0 dB
	> 40.0 dB
	> 45.0 dB
	> 50.0 dB
	> 55.0 dB
	> 60.0 dB
	> 65.0 dB
	> 70.0 dB
	> 75.0 dB
	> 80.0 dB
	> 85.0 dB

FIGURA 49 – MAPEAMENTO SONORO – TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL E FIBRAS

FONTE: O autor (2010)

Na TABELA 7 são apresentados os níveis de pressão sonora simulados considerando os tratamentos acústicos nas áreas da Máquina de Papel e Fibras e, os valores simulados para o cenário atual da Indústria. Observa-se um decaimento nos níveis de pressão sonora simulados (Δ Leq), na ordem de 2,6 dB(A) até 11,5 dB(A).

TABELA 7 – VALORES SIMULADOS

LOCAIS SIMULADOS	PONTOS	Leq dB(A) - SIMULADOS COM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL E FIBRAS	Leq dB(A) - SIMULADOS - CENÁRIO ATUAL	Δ Leq dB(A)
Estação Teleférica	1	55,5	60,6	5,1
Hospital	2	53,8	61,5	7,7
Colégio1	3	43,6	53,1	9,5
Rodoviária	4	41,8	48,5	6,7
Colégio 3	5	40,6	45,6	5,0
Colégio 2	6	35,9	40,5	4,6
Hotel 1	7	58,6	62,7	4,1
Escola 1	8	59,5	64,3	4,8
Escola 2	9	56,9	65,3	8,4
Hotel 2	10	46,1	55,5	9,4
Clínica Médica 1	11	43,4	53,6	10,2
Escola 3	12	41,8	53,3	11,5
Hotel 3	13	48,6	54,5	5,9
Clínica Médica 2	14	46,1	53,1	7,0
Hotel 3	15	45,9	52	6,1
Hotel 4	16	44,8	52,1	7,3
Hotel 5	17	43,5	51,4	7,9
Transportadora 1	18	41,8	49,8	8,0

LOCAIS SIMULADOS	PONTOS	Leq dB(A) - SIMULADOS COM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL E FIBRAS	Leq dB(A) - SIMULADOS - CENÁRIO ATUAL	□ Leq dB(A)
Transportadora 2	19	41,7	48,3	6,6
Colégio 4	20	51,5	54,1	2,6
Transportadora 3	21	41,2	46	4,8
Transportadora 4	22	42,5	46,2	3,7
Transportadora 5	23	32,2	36,3	4,1
Colégio 5	24	31,5	35,7	4,2

FONTE: O autor (2010)

O GRÁFICO 8 traz um comparativo entre os valores simulados de níveis de pressão sonora com e sem tratamento acústico nas áreas da Máquina de Papel e Fibras. Além de relacionar os níveis medidos nos diferentes pontos e compará-los aos limites da NBR 10.151, lembrando que foram consideradas as características da região da cidade impactada como “área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas”. Então o limite utilizado de acordo com o horário e a zona de uso do solo foi de 45 dB(A) no período noturno.

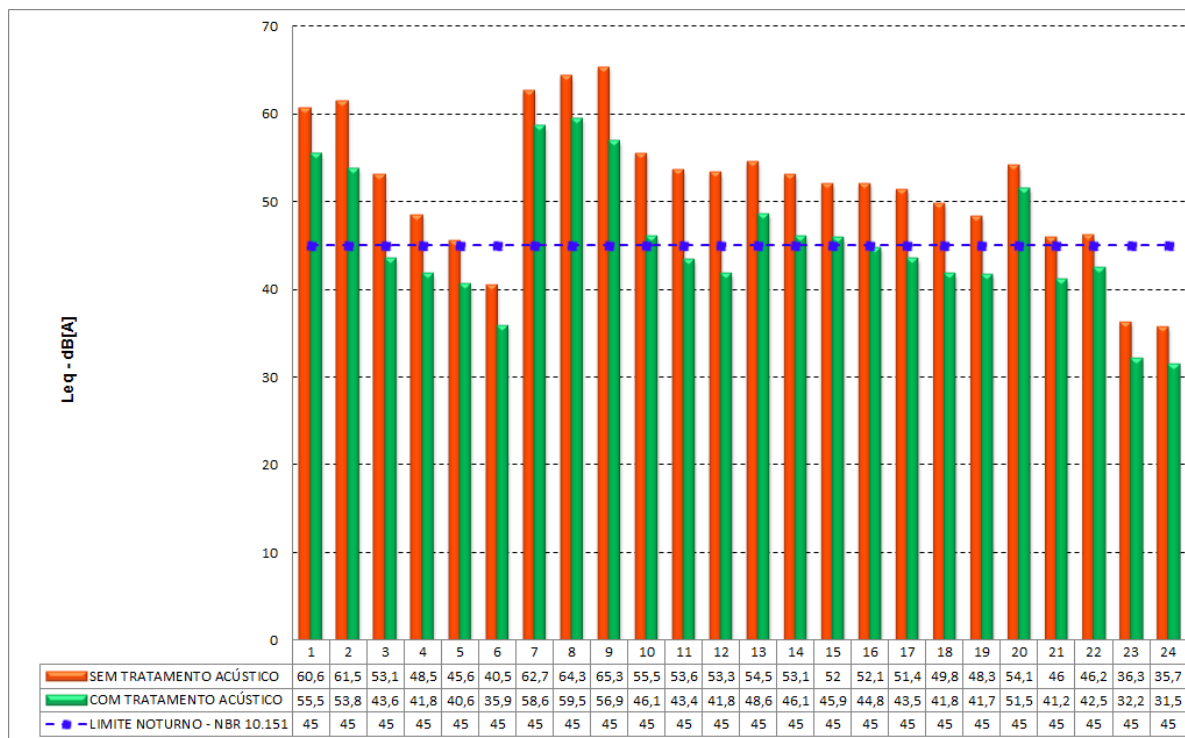


GRÁFICO 8 – VALORES SIMULADOS X NCA NBR 10.151 – MEDIDAS DE CONTROLE MÁQUINA DE PAPEL E FIBRAS

FONTE: O autor (2010)

Ao analisar o GRÁFICO 8, de forma semelhante ao representado pelo GRÁFICO 6, é possível perceber a eficiência do tratamento acústico pois, dos vinte e quatro pontos simulados, catorze passaram a atender o critério noturno.

A TABELA 8 traz as diferenças (Δ Leq) entre os valores simulados com e sem tratamento acústico na área de fibras, sendo representado graficamente no GRÁFICO 9. Conclui-se então que, o tratamento acústico na área de Fibras pouco influi no resultado final, pois a diferença em decibéis não passa de 1,3 dB[A]. Isto reforça que, se as ações forem concentradas na área da Máquina de Papel e no Preparo de Madeiras haverá uma efetiva redução de ruído na comunidade.

TABELA 8 – DIFERENÇAS ENTRE OS VALORES SIMULADOS COM E SEM TRATAMENTO ACÚSTICO NA ÁREA DE FIBRAS

LOCAIS SIMULADOS	PONTOS	Leq dB(A) - SIMULADOS COM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL E FIBRAS	Leq dB(A) - SIMULADOS COM TRATAMENTO ACÚSTICO NA MÁQUINA DE PAPEL	Δ Leq dB(A)
Estação Teleférica	1	55,5	55,9	0,4
Hospital	2	53,8	54,2	0,4
Colégio1	3	43,6	43,9	0,3
Rodoviária	4	41,8	42,4	0,6
Colégio 3	5	40,6	41,9	1,3
Colégio 2	6	35,9	35,8	(0,1)
Hotel 1	7	58,6	58,9	0,3
Escola 1	8	59,5	60,0	0,5
Escola 2	9	56,9	57,2	0,3
Hotel 2	10	46,1	46,5	0,4
Clinica Médica 1	11	43,4	43,4	-
Escola 3	12	41,8	42,3	0,5
Hotel 3	13	48,6	48,7	0,1
Clínica Médica 2	14	46,1	46,5	0,4
Hotel 3	15	45,9	45,9	-
Hotel 4	16	44,8	44,8	-
Hotel 5	17	43,5	43,7	0,2
Transportadora 1	18	41,8	41,9	0,1
Transportadora 2	19	41,7	41,7	-
Colégio 4	20	51,5	51,5	-
Transportadora 3	21	41,2	41,2	-
Transportadora 4	22	42,5	42,5	-
Transportadora 5	23	32,2	32,2	-
Colégio 5	24	31,5	31,5	-

FONTE: O autor (2010)

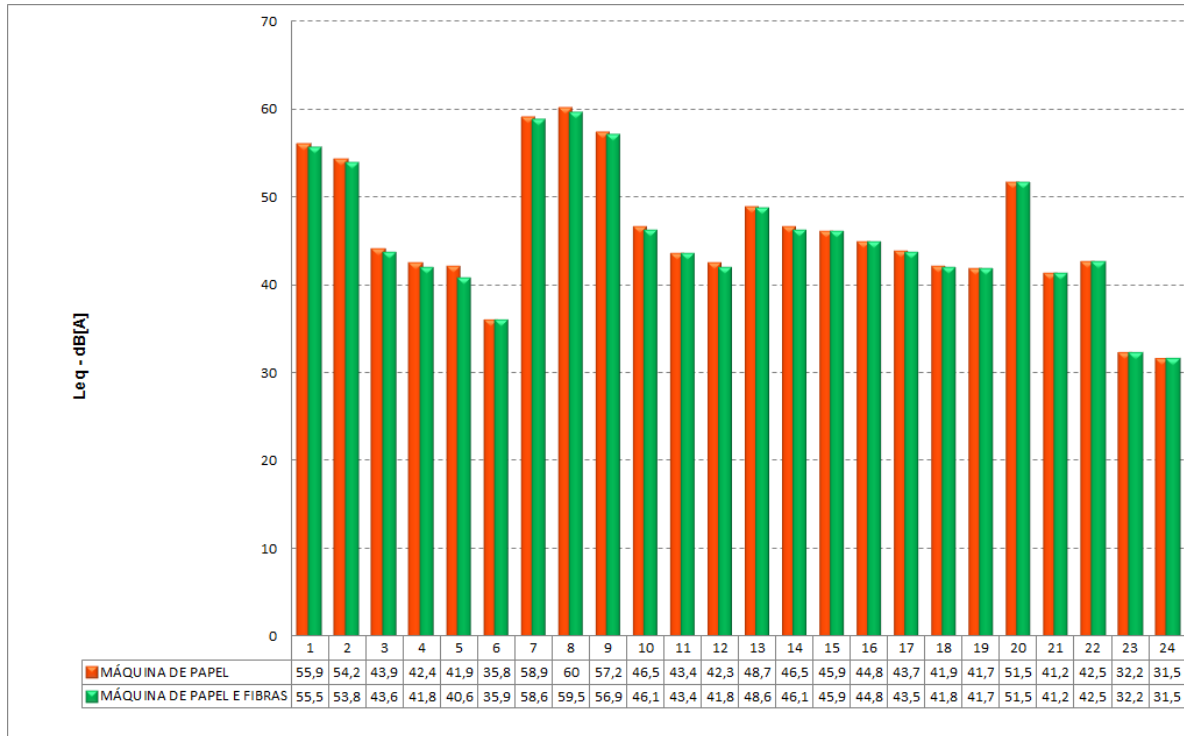


GRÁFICO 9 – COMPARATIVO ENTRE OS VALORES SIMULADOS COM E SEM TRATAMENTO ACÚSTICO NA ÁREA DE FIBRAS
 FONTE: O autor (2010)

4.2.4.3 – Tratamento acústico em todas fontes

A FIGURA 50 representa o mapeamento sonoro a partir do tratamento acústico nas áreas da Máquina de Papel, Fibras e Preparo de Madeiras, ou seja, considerando a aplicação dos seguintes sistemas atenuantes:

- a) silenciadores nos ventiladores do mezanino;
- b) venezianas acústicas em frente a atual no mezanino;
- c) enclausuramento próximo às bombas do Preparo de Massa;
- d) enclausuramento de ponto específico na área de Fibras (4ºAndar do Digestor - bombas);
- e) enclausuramento da área do Preparo de Madeiras.

Através deste mapeamento foram simulados os níveis de pressão sonora em 24 pontos da recepção, os quais são apresentados na TABELA 9.

Com base no mapa, percebe-se a diferença significativa no nível sonoro na região da Indústria a partir dos tratamentos acústicos se comparados ao Cenário Atual presente na FIGURA 47.

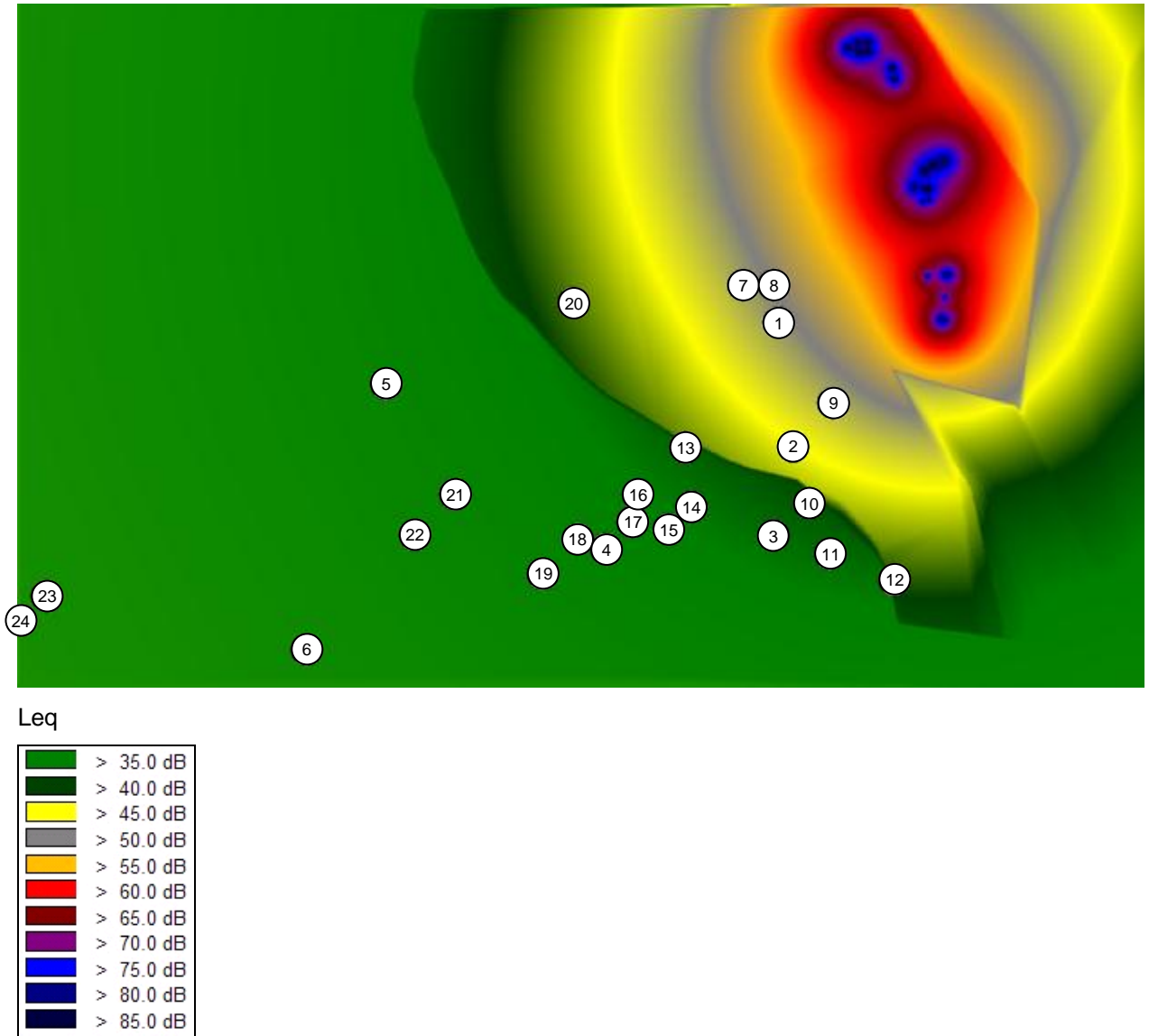


FIGURA 50 – MAPEAMENTO SONORO - TRATAMENTO ACÚSTICO EM TODAS AS FONTES

FONTE: O autor (2010)

Na TABELA 9 é possível verificar além dos valores simulados considerando o tratamento acústico na Indústria, o seu comparativo com os valores simulados para o cenário atual. Observa-se um decaimento nos níveis de pressão sonora simulados, na ordem de 14,0 dB(A) até 21,0 dB(A).

TABELA 9 – VALORES SIMULADOS

LOCAIS SIMULADOS	PONTOS	Leq dB(A) - SIMULADOS - TRATAMENTO ACÚSTICO EM TODAS AS FONTES	Leq dB(A) - SIMULADOS - CENÁRIO ATUAL	Δ Leq dB(A)
Estação Teleférica	1	44,9	60,6	15,7
Hospital	2	43,7	61,5	17,8
Colégio1	3	36,2	53,1	16,9
Rodoviária	4	32,5	48,5	16,0
Colégio 3	5	30,7	45,6	14,9
Colégio 2	6	24,8	40,5	15,7
Hotel 1	7	44,7	62,7	18,0
Escola 1	8	45,8	64,3	18,5
Escola 2	9	44,7	65,3	20,6
Hotel 2	10	42,9	55,5	12,6
Clinica Médica 1	11	36,4	53,6	17,2
Escola 3	12	32,3	53,3	21,0
Hotel 3	13	37,3	54,5	17,2
Clínica Médica 2	14	35,7	53,1	17,4
Hotel 3	15	34,6	52	17,4
Hotel 4	16	34,9	52,1	17,2
Hotel 5	17	33,9	51,4	17,5
Transportadora 1	18	32,4	49,8	17,4
Transportadora 2	19	30,8	48,3	17,5
Colégio 4	20	40,1	54,1	14,0
Transportadora 3	21	30,4	46	15,6
Transportadora 4	22	28,9	46,2	17,3
Transportadora 5	23	20,9	36,3	15,4
Colégio 5	24	20,2	35,7	15,5

FONTE: O autor (2010)

O GRÁFICO 10 traz um comparativo entre os valores simulados de níveis de pressão sonora com e sem tratamento acústico nas áreas da Indústria. Além de relacionar os níveis medidos nos diferentes pontos e compará-los aos limites da NBR 10.151, lembrando que foram consideradas as características da região da cidade impactada como “área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas”. Então o limite utilizado de acordo com o horário e a zona de uso do solo foi de 45 dB(A) no período noturno.

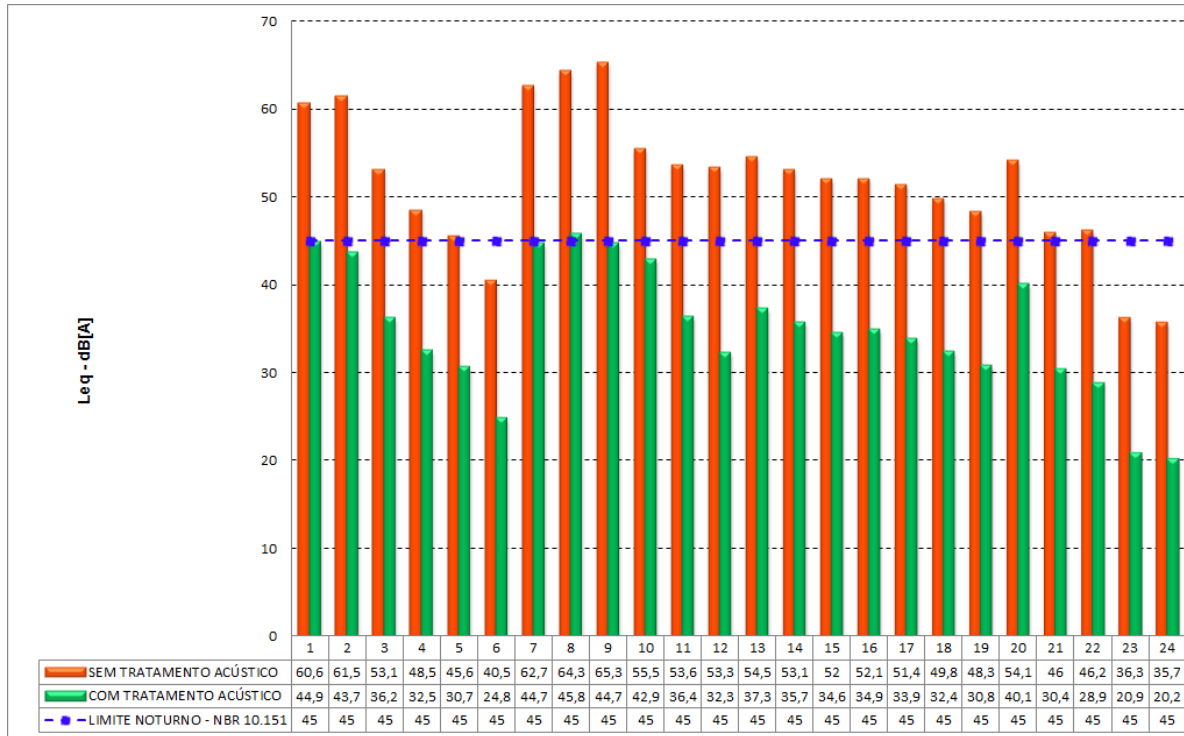


GRÁFICO 10 – VALORES SIMULADOS X NCA NBR 10.151 – TRATAMENTO ACÚSTICO EM TODAS AS FONTES

FONTE: O autor (2010)

Ao analisar o GRÁFICO 10, dos vinte e quatro pontos simulados, vinte e três pontos satisfazem o critério noturno. Sendo que, este o ponto que ficou fora, tem um diferença de 0,8 dB(A) em relação ao limite. O decaimento é significativo e os tratamentos acústicos eficientes.

O GRÁFICO 11 apresenta o resultado percentual dos pontos simulados em relação aos seus níveis de pressão sonora considerando o tratamento acústico em todas as fontes identificadas a partir da quarta simulação. Para esta condição, o decréscimo nos valores é nitidamente explicitado através do número de pontos em conformidade com NBR 10.151, que passaram para 96%, demonstrando a eficiência das ações de controle de ruído. Com estas simulações conclui-se que sem o enclausuramento do Preparo de Madeiras, a Indústria não chegará a níveis de pressão sonora imitados aceitáveis conforme NBR 10.151.

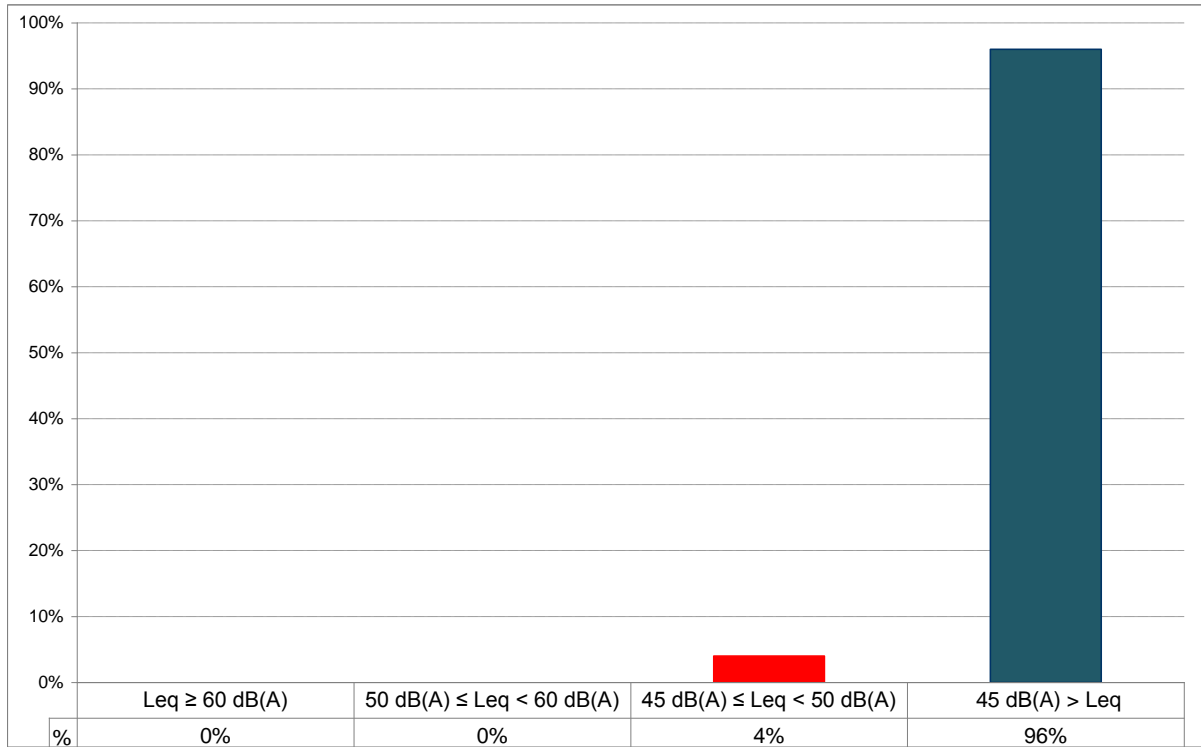


GRÁFICO 11 – PERCENTUAL DE PONTOS SIMULADOS EM RELAÇÃO AOS SEUS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA CONSIDERANDO O TRATAMENTO ACÚSTICO EM TODAS AS FONTES

FONTE: O autor (2010)

No GRÁFICO 12 é apresentado o comparativo entre os cenários simulados realizados. Este mostra os cinco pontos com maior impacto pelo ruído imitado, ou seja, os pontos mais próximos da Indústria.

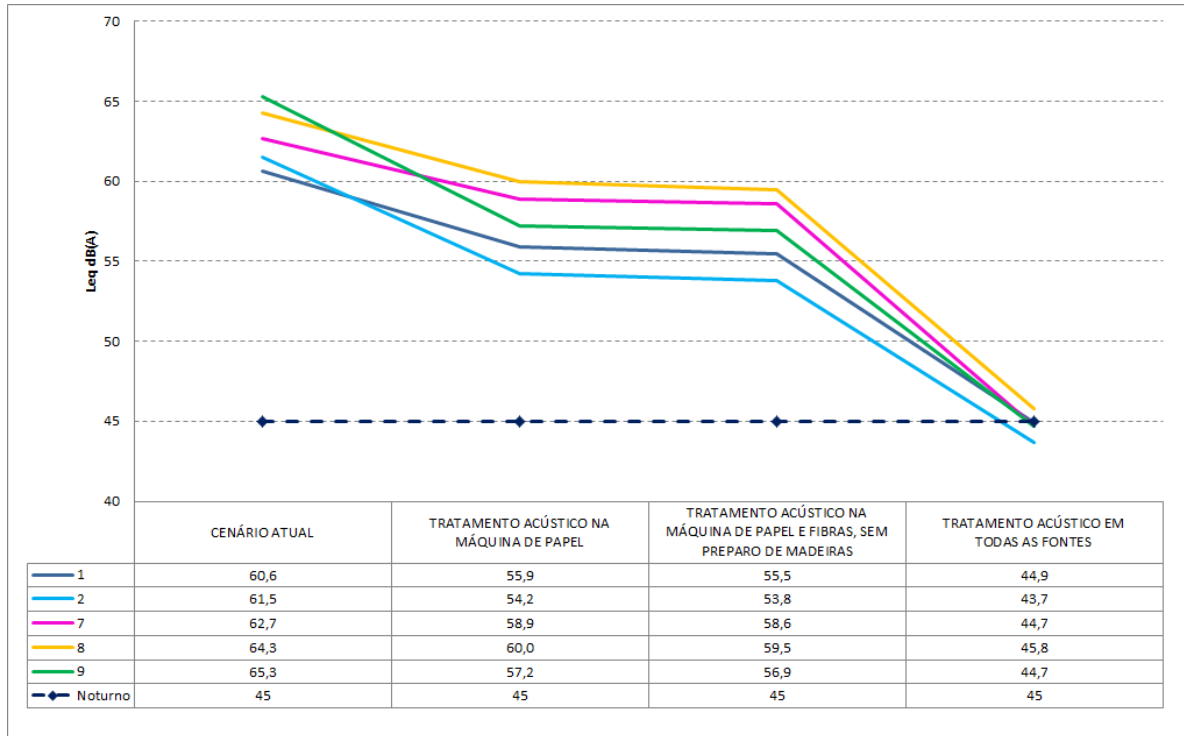


GRÁFICO 12 – COMPARATIVO ENTRE AS SIMULAÇÕES NOS CINCO PONTOS DA CIDADE MAIS PRÓXIMOS A INDÚSTRIA
 FONTE: O autor (2010)

O GRÁFICO 12 comprova que, para todos os cenários simulados, ocorrem atenuações do ruído incidente na comunidade devido aos tratamentos acústicos.

5 CONCLUSÃO

Nesta dissertação foram realizadas as medições dos níveis de emissão e imissão sonora e gerados os mapas de ruído de uma indústria de papel e celulose a fim de caracterizar o seu impacto ambiental na comunidade vizinha.

O primeiro levantamento realizado a fim de caracterizar se os pontos aonde foram feitas as medições estão de acordo com a NBR 10.151, onde estabelece para os períodos diurno e noturno os níveis sonoros equivalentes de 50dB(A) e 45dB(A) respectivamente, em áreas residenciais urbana ou de hospitais e escolas. Feitas medições foi possível comprovar que a indústria está imitando níveis de pressão sonoros acima dos preconizados na NBR 10.151.

Feitas as medições, foi possível observar que o ruído gerado pela indústria tem comportamento praticamente homogêneo nos períodos diurnos e noturnos, ou seja, não há diferença significativa entre os níveis de pressão sonora gerados nos períodos diurno e noturno, conforme discutido na seção 4.1, GRÁFICO 3. Devido a isso, para as etapas seguintes foi considerado o período noturno por possuir o valor limite normativo mais restritivo.

Precedendo a realização dos mapeamentos sonoros, foi realizado um comparativo entre os valores dos níveis de pressão sonora simulados e medidos nos pontos. A comparação entre os valores simulados e medidos apontou diferenças compatíveis com os limites estabelecidos em HANSEN (2005) apud MARSCH (1976) e, LICITRA e MEMOLI (2008). Nesses trabalhos são aceitas diferenças de até ± 5 dB(A) entre dados medidos e simulados quando do tratamento da poluição sonora ambiental. Em conclusão, as simulações apresentadas nos mapas sonoros são alternativas satisfatórias e completamente válidas, que refletem as situações encontradas nos pontos em relação aos seus ambientes.

A partir deste comparativo, foi realizado o mapeamento em 23 pontos, comprovando que os níveis de pressão sonoros simulados a partir do levantamento dos níveis sonoros gerados pelas máquinas e equipamentos pertencentes a indústria, encontram-se acima dos valores limites estabelecidos na NBR 10.151.

Com os mapas obtidos, foi possível verificar a distribuição dos níveis sonoros na cidade e o impacto das fontes em quatro momentos:

- a) cenário atual;
- b) tratamento acústico na Máquina de Papel;
- c) tratamento acústico na Máquina de Papel e Fibras;
- d) tratamento acústico na Máquina de Papel, Fibras e Preparo de Madeiras.

Considerando o cenário atual da Indústria, foram identificadas as fontes de maior influência nos níveis de pressão sonora, as quais são: a Máquina de Papel, Fibras e o Preparo de Madeiras.

Da sua simulação, foi possível uma comparação, concluindo-se que dos 23 pontos previamente situados na área de estudo, apenas 12% atende ao critério da NBR 10.151.

Na sequência foram simulados os mapas sonoros considerando os tratamentos acústicos, demonstrando a sua importância no decaimento dos níveis sonoros na comunidade.

Quando consideradas as ações de controle planejadas para a Máquina de Papel, observou-se um aumento significativo dos pontos em conformidade com os critérios da NBR 10.151, ou seja, de 12% passaram para 58%.

Em relação a terceira simulação, onde foram realizadas as simulações considerando os tratamentos acústicos na Máquina de Papel e Fibras, não houve variação significativa.

Notoriamente, percebe-se que o resultado percentual dos pontos simulados em relação aos seus níveis de pressão sonora em conformidade com NBR 10.151, considerando o tratamento acústico em todas as fontes identificadas a partir da quarta simulação, passou para 96%.

A partir dessas informações, conclui-se que se faz necessário os tratamentos acústicos na Máquina de Papel e Preparo de Madeiras para o atendimento aos limites desejados. E obrigatoriamente, sem as ações no Preparo de Madeiras, a indústria não chegará a níveis de pressão sonora admitidos aceitáveis.

Os resultados obtidos comprovam a importância da simulação computacional, onde é possível levantar a contribuição de cada equipamento no ruído total gerado para o meio ambiente, permitindo o estabelecimento de ações de controle eficazes.

Do acima exposto, percebe-se que o controle de ruído tanto industrial como ambiental, é um problema extremamente complexo. Para se buscar a solução do mesmo, diversas estratégias devem ser usadas simultaneamente. Aqui apresentado foi, o uso de medições dos níveis sonoros em campo e simulações computacionais. As simulações computacionais são ferramentas interessantes e importantes, pois possibilitam a visualização da eficácia ou não das ações de controle de ruído planejadas. Assim, tem-se notadamente, a busca pela solução do problema considerando-se a ação menos dispendiosa.

Atualmente é uma exigência dos órgãos de controle, apenas as medições dos níveis de pressão sonora conforme a NBR10.151 no processo de licenciamento, mas com este trabalho, ficou claro que a empresa alvo da presente dissertação compreendeu a importância das simulações computacionais e as realizou de modo a buscar a melhor solução visando o controle ambiental e a satisfação da população.

É esperado com o trabalho apresentado, que se descubra que a simulação acústica prévia e o levantamento dos problemas que podem surgir, pode até ser um exercício estimulante de composição de benefícios, na medida em que consegue antecipar claramente os seus bons resultados. É na concepção de um projeto que se decidem os aspectos mais importantes das suas condições de ambientação.

Finalmente, fica a sugestão para que se inclua a necessidade simulações computacionais, como uma ferramenta eficaz para análise e controle dos impactos gerados pelo ruído imitados pelas indústrias nas comunidades circunvizinhas nos processos de licenciamentos dos órgãos de controle.

REFERÊNCIAS

ANNE V. **Real Noise from the Urban Environment, How Ambient Community Noise Affects Health and What Can Be Done About It.** American Journal of Preventive Medicine. 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico.** Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: **Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade.** Rio de Janeiro, 2000.

BARRON, RANDALL F. **Industrial Noise Control and Acoustics.** CRC Press. 2002

BERANEK, L.L. E VÉR, I.L. **Noise Vibration Control Engineering: Principles and Applications.** Wiley. 2002

BERGLUND B., LINVALL T., SCWELA D.H. Guidelines for Community Noise. Guidelines for Community Noise, World Health Organization, London, 1999.

BISTAFA, SYVIO R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído.** Editora Edgard Blucher. 2006

Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama N.001**, de 08 De Março De 1990.

BRESSANE A., MOCHIZUKI P.S., GOBBI N., CARVALHO M.D. Legislação Ambiental Aplicável à Poluição Sonora Urbana: Um Estudo das Normas e Diretrizes Disciplinares. Holos Environmental, v.08 -2. 2008

BRUEL & KJAER, **Industrial Noise Control and Hearing Testing.** 1992

BRUEL & KJAER, **Environmental Noise,** 2001

BRUEL & KJAER, **Sound and Vibration Master Catalogue.** 2002.

CALIXTO A. **O Ruído gerado pelo Tráfego de Veículos em “Rodovias-Grandes Avenidas”, situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisados sobre parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, 2002.

CARMO L.I.C. **Efeitos do Ruído Ambiental no Organismo Humano e Suas Manifestações Auditivas.** Monografia, Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica – CEFAC, Goiânia, 1999.

Celulose e Papel. Volume 1 - Tecnologia de Fabricação da Pasta Celulósica. Publicação IPT. São Paulo, 1988

COELHO, J.L. B. **Noise Mapping and Noise Reduction Plans as Urban Noise - Management Tools.** In: Proc of 5th European Conference on Noise Control, Nápoles, 2003

CHO DS, KIM JH, MANVELL D. **Noise mapping using measured noise and GPS data.** Applied Acoustics 2007; 68: 1054-1061.

COENSEL BD, MUER TD, YPERMAN I, BOTTELDOOREN D. **The influence of traffic dynamics on urban soundscapes.** Applied Acoustics 2005; 175: 194-66.

DA PAZ EC. **Estudo de um Modelo de Avaliação e Predição para o Ruído de Tráfego.** Dissertação de Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004

DA PAZ EC, FERREIRA AMC, ZANNIN PHT. **Comparative study of the perception of urban noise.** Revista de Saude Publica 2005.

DA PAZ EC, ZANNIN PHT. **Urban daytime traffic noise predictions models.** Environmental Monitoring and Assessment 2009. Published online: 08 April 2009.

DINIZ FB. **Impacto Ambiental Sonoro Gerado por Subestações de Energia Elétrica na Cidade de Curitiba.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2003

DINIZ FB, ZANNIN PHT. **Calculation of noise maps around electrical energy substations.** Applied Acoustics 2005; 66: 467-477.

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

FERNANDES, JOÃO CANDIDO. **Acústica e Ruídos. UNESP. 2002**

GERGES S. N. Y. **Ruído – Fundamentos e Controle**. Florianópolis, 2000

GUEDES, I.C.M. **Influencia da Forma Urbana em Ambiente Sonoro: Um Estudo no Bairro Jardins em Aracaju**. 126p. Dissertação - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2005

HANSEN, C. **Noise Control. Taylor & Francis. 2005**

HASSAL J. R, ZAVERI, K. **Acoustic Noise Measurement**. 4. ed. 1979.

HARRIS, C. M. **Noise Control in Buildings. A Practical Guide for Architects and Engineers**. Nova Iorque: McGraw-Hill.

HARRIS, C.M. **Handbook of Noise Control**. 2 ed. New York: McGraw-Hill. Inc. 1979

HOBBS R.J. **Quality Noise and Environment**

IBGE, **Produto Interno Bruto dos Municípios 2009**

IPARDES - **Caracterização socioeconômica e ambiental da área de influência de Telêmaco Borba**

Istavan L. Ver e Leo L. Beranek – **Noise and Vibration Engineering, Principles and Applications**, 2 ed., 2006, John Wiley and Sons.

International Organization for Standardization. **ISO 1996/1: Acoustics: Description and Measurements of Environmental Noise. Part 1: basic quantities and procedures**, 1996/1. Suíça, 1982.

International Organization for Standardization. **ISO 9613/1: Acoustics: Attenuation of Sound During Propagation Outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere**, 9613/1. Suíça, 1993.

International Organization for Standardization. ISO 9613/2: **Acoustics: Attenuation of Sound During Propagation Outdoors. Part 2: General Methods of Calculation**, 9613/2. Suíça, 1993.

JESPER KRISTIANSEN. **Is noise exposure in non-industrial work environments associated with increased sickness absence?** The National Research Centre for the Working Environment, Copenhagen, Denmark, Revista NOISE & VIBRATION *WORLDWIDE*, 2010

LICITRA G, MEMOLI G. **Limits and advantages of Good Practice Guide to Noise Mapping**. Forum Acusticum – Paris 2008. (in CD).

MURGEL, EDUARDO. **Fundamentos de Acústica Ambiental**. Editora Senac São Paulo. 2007

MUZET A. **Environmental noise, sleep and health**, Sleep Medicine Reviews. Volume 11, 2007,

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. 119 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2004
Plano diretor de desenvolvimento urbano – Planejamento estratégico municipal – Telêmaco Borba – Gestão 2005-2008, leitura socioespacial, ordenamento jurídico e diretrizes de desenvolvimento sustentável
Revista de Saúde Pública, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 521-524, 2002.

R. KLÆBOE. **Are adverse impacts of neighbourhood noisy areas the flip side of quiet area benefits?** Applied Acoustics 68, 2005

SCHULTZ, T. **Community Noise Rating**. 2. ed. Inglaterra: Applied Science Publishers LTD, 1982.

TIAN-SYUNG LAN, MIN-CHIE CHIU. **Identification of noise sources in factory's sound field by using genetic algorithm**. Applied Acoustics 69, 2007

VALADARES, V. M. **Premissas para Aplicação Idônea da NBR 10151: a questão do ruído ambiente**. 2008.

ZANNIN P. H. T., DINIZ, F. B., CALIXTO A., BARBOSA W. A. **Environmental Noise Pollution in Residential Areas of the City of Curitiba**. *Acustica Acta Acustica*, Alemanha, v. 87, p. 625-628, 2001.

ZANNIN P. H. T., DINIZ F. B., BARBOSA W. A. **Environmental Noise Pollution in the City of Curitiba**, Brazil. *Applied Acoustics*, Grã-Bretanha, , v. 63, p. 351-358, 2002.

ZANNIN PHT, DINIZ FB, CALIXTO A, FERREIRA JAC. **A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis**. *Environmental Impact Assessment Review* 2003.