

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

Curso de Engenharia Civil

Giovani David Bronzatti

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO CAUSADO PELO TRANSPORTE
FERROVIÁRIO NA CIDADE DE IJUÍ/RS**

Ijuí/RS

2009

Giovani David Bronzatti

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO CAUSADO PELO TRANSPORTE
FERROVIÁRIO NA CIDADE DE IJUÍ/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil
apresentado como requisito parcial para obtenção de
grau de Engenheiro Civil.

IJUÍ

2009

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e co-orientador e pelo membro da banca examinadora.

Prof^ª. Raquel Kohler, MSc- Orientadora

Banca examinadora

Prof. Luciano Pivoto Specht, Dr

Dedico este trabalho aos meus pais, Wilson Bronzatti e Helanadir Mioso Bronzatti, aos meus irmãos e namorada.

Agradecimentos

A Deus por me dar força e proteção.

Aos meus pais profundos professores exemplo de vida, aos meus irmãos pelo incentivo.

Aos meus colegas de graduação eternos amigos, em especial aos colegas Rafael Viapiana e Moacir Soares na qual auxiliaram na coleta dos dados deste trabalho.

A minha namorada Franciele pela compreensão e palavras de carinho e motivação, sempre presente.

Aos meus professores, em especial a minha orientadora Raquel Kohler e meu co-orientador Luciano Pivoto Specht grandes mestres, amigos e incentivadores.

RESUMO

Com o desenvolvimento industrial e tecnológico, varias fontes de poluição são criadas, causando vários danos ao ser humano e ao meio ambiente. Os transportes de um modo geral causam esta preocupação, pois são grandes fontes geradoras de poluição ambiental, seja com dióxido de carbono, ou com níveis altos de ruído. O transporte ferroviário é muito importante para o desenvolvimento de um país, pois é responsável pelo deslocamento da grande parte da produção econômica e em muitos casos da população. Para Ijuí/RS o transporte ferroviário, também é utilizado para fins de escoamento ou recebimento da produção, seja ela de grãos, combustíveis, etc., representando um papel importante no desenvolvimento da sociedade. Esta pesquisa buscou verificar o perfil do ruído causado pelo transporte ferroviário nos trechos localizados na Rua José Gabriel, *Site A*, e na Rua das Chácaras, *Site B*, em Ijuí/RS. A metodologia da coleta de dados baseou-se na norma NBR 10151 a qual preconiza que as medições sejam realizadas em pontos afastados aproximadamente 1,2 metros do piso e pelo menos a 2 metros de superfícies refletoras. Para o estudo, foram realizadas medições de ruído em três diferentes distâncias da linha férrea para cada ponto especificado, sendo elas: 15 m, 30 m e 45 m. O estudo apresentou resultados de atenuação de 6,88 dB(A) para o *Site A* e 7,08 dB(A) para o *Site B* para um afastamento de 45m do eixo da linha férrea, com isto conclui-se que a distância em relação à linha férrea é um item fundamental a ser respeito. Quanto aos ruídos provocados pelas atividades cotidianas da cidade, os valores encontrados foram de 66,56dB(A) para o *Site A* e 68,29dB(A) para o *Site B*. Com afastamentos de 45m associados a outras soluções, como a utilização de barreiras sonoras naturais ou artificiais, tornaria grande parte do problema solucionado.

Palavras Chave – Ruído, Transporte ferroviário.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição da energia sonora após a incidência da onda em uma superfície.....	20
Figura 2: Faixa audível de frequências.....	21
Figura 3: Sensação da audição da frequência de som.....	21
Figura 4: Esquema da formação da escala em decibéis.....	22
Figura 5: Alguns exemplos de intensidade sonora.....	23
Figura 6: Níveis de ruído em ambientes.....	24
Figura 7: Hierarquia do controle do ruído.....	26
Figura 8: Altura da barreira sonora.....	32
Figura 9: Talude como barreira sonora	32
Figura 10: Barreira sonora transparente.....	33
Figura 11: Deficiência das barreiras sonoras.....	33
Figura 12: Ilustração das curvas de contribuições do ruído no transporte ferroviário.....	36
Figura 13: Locomotiva a vapor.....	38
Figura 14: Locomotiva diesel hidráulica alemã.....	38
Figura 15: Trem azul da Cia. Paulista de Estradas de Ferro.....	39
Figura 16: Vagão com engate europeu.....	40
Figura 17: Locomotiva com engate americano.....	41
Figura 18: Elementos da via permanente.....	42
Figura 19: Trilho perfil Vignole.....	43
Figura 20: Fixação rígida por pregos e parafusos (Tirefond).....	45
Figura 21: Fixação elástica.....	46
Figura 22: Placa de apoio.....	46
Figura 23: Dimensões dos dormentes de madeira.....	47
Figura 24: Artífícios para evitar o fendilhamento.....	48
Figura 25: Dormentes bi-bloco.....	48

Figura 26: Dormente de concreto monobloco protendido.....	49
Figura 27: Resistência do lastro a esforços transversais.....	50
Figura 28: Bombeamento de finos para o lastro.....	51
Figura 29: Sub-leito em corte.....	51
Figura 30: Sub-leito em aterro.....	52
Figura 31: Esquema típico de uma locomotiva diesel-elétrica.....	52
Figura 32: Esquema das principais rodagens de locomotivas diesel-elétrica.....	53
Figura 33: Locomotiva Macosa G22U.....	53
Figura 34: Locomotiva GE, C30-7.....	53
Figura 35: Vagão com cobertura telescópica utilizado na Europa.....	54
Figura 36: Vagão do tipo fechado.....	55
Figura 37: Vagão do tipo Hopper.....	56
Figura 38: Vagão do tipo gôndola.....	56
Figura 39: Vagão do tipo isotérmico.....	57
Figura 40: Vagão do tipo plataforma.....	58
Figura 41: Vagão do tipo tanque.....	58
Figura 42: Vagão do tipo especial.....	59
Figura 43: Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre.....	61
Figura 44: Mapa parcial da área urbana de Ijuí/RS.....	64
Figura 45: Vista superior do posicionamento do medidor do nível de pressão sonora.....	65
Figura 46: Vistas parciais do <i>Site A</i>	65
Figura 47: Vistas parciais do <i>Site B</i>	66
Figura 48: Imagem de satélite <i>Site A</i>	66
Figura 49: Imagem de satélite <i>Site B</i>	67
Figura 50: Locomotiva modelo G12	68
Figura 51: Vagão tipo hopper	68
Figura 52: Medição de ruído do trem <i>Site A</i>	68

Figura 53: Medição de ruído do trem <i>Site B</i>	69
Figura 54: Equipamentos utilizados na medição dos ruídos	70
Figura 55: Ruído do trem e ruído total.....	73
Figura 56: Ruído do trem e total comparado com o ruído da cidade no <i>Site A</i>	75
Figura 57: Ruído do trem e total comparado com o ruído da cidade no <i>Site B</i>	75
Figura 58: Variação do ruído provocado pelo trem e total comparado com o ruído da cidade no <i>Site A</i>	76
Figura 59: Variação do ruído provocado pelo trem e total comparado com o ruído da cidade no <i>Site B</i>	77
Figura 60: Distribuição dos respondentes de acordo com a percepção ao ruído do trem <i>Site A</i>	79
Figura 61: Distribuição dos respondentes de acordo com a percepção ao ruído do trem <i>Site B</i>	79
Figura 62: Distribuição dos respondentes de acordo com o ruído do trem ser incômodo do <i>Site A</i>	80
Figura 63: Distribuição dos respondentes de acordo com o ruído do trem ser incômodo do <i>Site B</i>	80
Figura 64: Distribuição dos respondentes de acordo com os ruídos da rua que mais causam incômodo <i>Site A</i>	81
Figura 65: Distribuição dos respondentes de acordo com os ruídos da rua que mais causam incômodo <i>Site B</i>	82
Figura 66: Distribuição dos respondentes de acordo com o período do dia em que os ruídos causam mais incômodo <i>Site A</i>	83
Figura 67: Distribuição dos respondentes de acordo com o período do dia em que os ruídos causam mais incômodo <i>Site B</i>	83
Figura 68: Distribuição dos respondentes de acordo com os transtornos causados pelos ruídos <i>Site A</i>	84
Figura 69: Distribuição dos respondentes de acordo com os transtornos causados pelos ruídos <i>Site B</i>	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A).....	27
Quadro 2: Distúrbios causados ao ser humano por diferentes níveis de ruído.....	29
Quadro 3: Tipos de dormentes que melhor se aplica.....	49
Quadro 4: Resumo dos dados obtido com o ruído do trem e o ruído total no <i>Site A</i> e <i>Site B</i> ..	72
Quadro 5: Resumo dos dados obtido com o ruído da cidade.....	74
Quadro 6: Distribuição dos respondentes de acordo com a percepção ao ruído do trem.....	78
Quadro 7: Distribuição dos respondentes de acordo com o ruído do trem ser incômodo.....	80
Quadro 8: Distribuição dos respondentes de acordo com os ruídos da rua que mais causam incômodo.....	81
Quadro 9: Distribuição dos respondentes de acordo com o período do dia em que os ruídos causam mais incômodo.....	82
Quadro 10: Distribuição dos respondentes de acordo com os transtornos causados pelos ruídos.....	84

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ALL – América latina logística

ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte

ANTF – Associação Nacional de Transportadores Ferroviários

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

ASTM – American Association for Testing and Materials

COPPE – Instituição Alberto Luiz Coimbra de Pós – graduação e pesquisa em engenharia

Cr – Cromo

dB(A) – Decibéis em escala A

DTL – Deslocamento temporário do limiar de audição

EUA – Estados Unidos da América

FHWA – Federal Highway Administration

GE – General Electric

HZ – Hertz

LA eq – Nível de pressão sonora equivalente em escala A

Mn – Manganês

Mo – Molibdênio

Nb – Nióbio

NBR – Norma brasileira

NIS – Nível de intensidade sonora

NPS – Nível de pressão sonora

OMS – Organização mundial de saúde

P – Fósforo

Si – Silício

SIL- Sound intensity level

Ti – Titânio

TKU – Toneladas por quilômetro útil

TTS – Mudança temporária do limiar auditivo

TU – Tonelagem útil

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UNIJUI – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

V – Vanádio

WHO – World Health Organization

Ø – Diâmetro

σ_e – Tensão de escoamento

σ_r – Tensão de ruptura

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	15
1.1 TEMA DA PESQUISA.....	15
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	15
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO.....	15
1.4 OBJETIVOS.....	15
1.4.1. <i>Objetivo geral</i>	15
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
1.5 JUSTIFICATIVAS	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 O SOM.....	18
2.1.1. <i>Ondas sonoras e o som</i>	18
2.1.1.1 <i>Classificação das ondas sonoras</i>	18
2.1.1.2 <i>Elementos da onda sonora</i>	20
2.2 RUÍDO	24
2.2.1. <i>Tipos de ruído</i>	25
2.2.2. <i>Controle dos ruídos</i>	25
2.3 EFEITOS DO RUÍDO NO CORPO HUMANO.....	27
2.3.1. <i>Classificação dos distúrbios causados pelo ruído</i>	28
2.3.2. <i>Efeitos sobre o aparelho auditivo</i>	29
2.3.3. <i>Tipos de perda de audição causadas pelo ruído</i>	30
2.4 PROCESSO PARA MITIGAÇÃO DO RUÍDO	31
2.4.1. <i>Barreiras sonoras</i>	31
2.4.2. <i>Isolamento de fachadas e interiores</i>	34
2.5 MEDIÇÃO DE RUÍDO DE CIRCULAÇÃO	35
2.5.1. <i>Ruído no transporte ferroviário</i>	35
2.6 TRANSPORTE FERROVIÁRIO.....	36
2.6.1. <i>História</i>	37
2.6.2. <i>Características técnicas do modal ferroviário</i>	42
2.6.2.1. <i>Elementos da via permanente</i>	42
2.6.2.2. <i>Tipos de Veículos</i>	52
2.7 PLANEJAMENTO URBANO	59
3. METODOLOGIA.....	62
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	62
3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA	62
3.2.1. <i>Procedimento de coleta e interpretação dos dados</i>	62
3.2.2. <i>Estudo de Caso</i>	63
3.2.3. <i>Materiais e equipamentos</i>	70
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	72
4.1 DADOS DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DOS <i>SITES</i> ESTUDADOS	72
4.2 AVALIAÇÃO DO QUESTIONÁRIO APLICADO AOS MORADORES	78
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
5.1 CONCLUSÃO	86
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	87

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXO A.....	90
ANEXO B.....	92

1. INTRODUÇÃO

1.1 Tema da Pesquisa

O tema da pesquisa é: Ruído.

1.2 Delimitação do Tema

Estudo do ruído causado pelo transporte ferroviário, na área urbana de Ijuí/RS.

1.3 Formulação das questões de estudo

- a. Qual é o perfil de influência do ruído nas adjacências da linha férrea na área urbana de Ijuí/RS?
- b. Qual é a distância mínima necessária da linha férrea para se obter níveis aceitáveis de ruído para as diferentes atividades urbanas?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é verificar o perfil do ruído causado pelo transporte ferroviário nos trechos localizados na Rua José Gabriel, *Site A*, e na Rua das Chácaras, *Site B*, em Ijuí/RS.

1.4.2 Objetivos específicos

Este estudo teve os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar o transporte ferroviário que trafega na área urbana de Ijuí;

- ✓ Efetuar medições de ruído em três diferentes distâncias (15, 30 e 45 m), do eixo da linha férrea nos trechos selecionados como estudo de caso;
- ✓ Avaliar o impacto do ruído do transporte ferroviário para a população no trecho selecionado como estudo de caso;

1.5 Justificativas

Com o desenvolvimento industrial e tecnológico, varias fontes de poluição são criadas, causando vários danos ao ser humano e ao meio ambiente. Apenas a partir da década de 70 o ruído tem recebido maior atenção como um fator importante no desconforto e insalubridade nos centros urbanos (BURGESS, 1996).

O nível de ruído percebido acusa grau de desconforto tão alto que a poluição sonora urbana passou a ser considerada como a forma de poluição que atinge o maior número de pessoas residentes nas áreas centrais do município (NUNES, 1995).

Os transportes de um modo geral causam esta preocupação, pois são grandes fontes geradores de poluição ambiental, especialmente do ar, com dióxido de carbono, ou com níveis altos de ruído.

O transporte ferroviário em questão é muito importante para o desenvolvimento de um país, pois é responsável pelo deslocamento da grande parte da nossa produção, mas que também é alvo da poluição sonora para a população urbana.

Para Ijuí/RS o transporte ferroviário, também é utilizado para fins de escoamento ou recebimento da produção, seja ela de grãos, combustíveis e etc, por isso possui um papel importante no desenvolvimento de nossa sociedade.

Sabe-se que o ruído não produz apenas efeitos sobre o bem estar das pessoas, mas atua diretamente na saúde da população (FERNANDES, 2002).

A Organização Mundial de Saúde diz que a exposição dos seres humanos a altos níveis de ruído acaba por ocasionar respostas involuntárias e inconscientes do organismo a esse estímulo. As principais alterações fisiológicas reversíveis são: dilatação das pupilas, hipertensão sanguínea, mudanças gastrintestinais, reações musculares e vaso constrição das veias. Além das alterações fisiológicas existem as bioquímicas que são: mudanças na produção de cortisona, do hormônio tiróide, de adrenalina, na glicose sanguínea e na proteína do sangue. O ruído também provoca efeitos no sistema cardiovascular, tais com aumento da pressão sanguínea causando hipertensão arterial (OMS, 1999).

O problema econômico gerado pela poluição sonora também acarreta perdas altíssimas, estas principalmente geradas pela desvalorização imobiliária (SANDBERG, 2001).

Em Ijuí/RS, ao longo da linha férrea, que atravessa a área urbana, existem situações distintas no que tange a distância entre a linha férrea e as edificações existentes. Outro motivo, para se avaliar qual é esta distância, mínima necessária para a ocupação das diferentes atividades urbanas, de acordo com os níveis de ruído encontrados.

Desta forma justifica-se a necessidade de investigar-se o perfil de influência do ruído para o transporte ferroviário no perímetro urbano de Ijuí, para melhor avaliação dos níveis de ruído a que a população esta exposta.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 O som

O som é o resultado das vibrações dos corpos elásticos, quando essas vibrações se encontram em determinados limites de frequência. Essas vibrações são mais ou menos rápidas e recebem o nome de vibrações sonoras. As vibrações sonoras se propagam com velocidade uniforme em todas as direções, se a propriedade elástica do meio for igual em todos os sentidos (COSTA, 2003).

Sob o ponto de vista psicofísico, o som é uma sensação percebida pelo aparelho auditivo, resultante de vibrações mecânicas, cuja energia é transmitida pelo movimento oscilatório das moléculas em torno de sua posição de equilíbrio, através de um meio elástico, o ar, criando alternadamente zonas de compressão e rarefação que alteram a pressão atmosférica (TEIXEIRA, 2000).

2.1.1 Ondas sonoras e o som

Onda é qualquer perturbação que se propaga transmitindo energia sem transmitir matéria.

2.1.1.1 Classificação das ondas sonoras

As ondas podem ser classificadas, RAMALHO *et.al* (1992), quanto a:

a. *Natureza*

- *Ondas Mecânicas* – são as constituídas por impulsos mecânicos que se transmitem através das vibrações das partículas que constituem o meio;
- *Ondas Eletromagnéticas* – ondas compostas de dois campos, o elétrico e o magnético, variáveis com o tempo e com a posição, um perpendicular ao outro, e ambos perpendiculares à direção de propagação.

b. *Direção de Propagação e Vibração*

- *Ondas Longitudinais* – são ondas em que a direção de vibração das moléculas coincide com a direção de propagação;

- *Ondas Transversais* – são ondas em que a direção de propagação é perpendicular à direção do movimento vibratório das moléculas;
- *Ondas Mistas* – são ondas em que as moléculas vibram longitudinalmente e transversalmente, ao mesmo tempo.

c. *Frente de Onda*

- *Ondas Esféricas* – a frente de onda é uma superfície de área igual a $4\pi x^2$, onde x é a distância da fonte ao ponto considerado;
- *Ondas Circulares* – a frente de onda é uma circunferência de comprimento igual a $2\pi x$, sendo x a distância da fonte ao ponto considerado;
- *Ondas Retas* – a frente de onda é constituída por segmentos de retas.

d. Dimensão de Propagação da Onda

- *Unidimensional* – a propagação ocorre em uma única direção;
- *Bidimensional* – a propagação ocorre ao longo de um plano;
- *Tridimensional* – a propagação ocorre em todas as direções.

Denominam-se ondas sonoras as ondas longitudinais de pressão que se propagam em um meio elástico e apresentam as seguintes propriedades:

- *Reflexão* – é o retorno da onda, ao meio onde se propagava, após ter incidido em uma superfície;
- *Reverberação* – é o som refletido que chega ao receptor antes do som direto estar extinto;
- *Refração* – é a passagem da onda de um meio para outro após incidir em uma superfície;
- *Difração* – ocorre quando a onda sonora contorna um obstáculo ou encontra aberturas menores que seu comprimento de onda, modificando sua direção e magnitude. Dos vários elementos arquitetônicos que podem provocar a difração, pode-se citar as janelas, os pilares, as vigas, etc;
- *Difusão* – é consequência das irregularidades das superfícies refletoras, pois são capazes de espalhar a onda sonora em todas as direções, promovendo uma distribuição mais uniforme da pressão sonora;

- *Interferência* – ocorre quando um ponto do meio recebe dois ou mais sons, originados por várias fontes ou reflexões em obstáculos, podendo ser destrutiva ou construtiva.

Então uma onda sonora ao incidir em uma superfície pode ser refletida, absorvida, difratada, difundida ou transmitida. A distribuição da energia sonora entre estes fenômenos é função dos coeficientes de reflexão (ρ), absorção (α), dissipação (δ) e transmissão (τ) da superfície incidente.

A Figura 1 ilustra estes tipos de fenômenos.

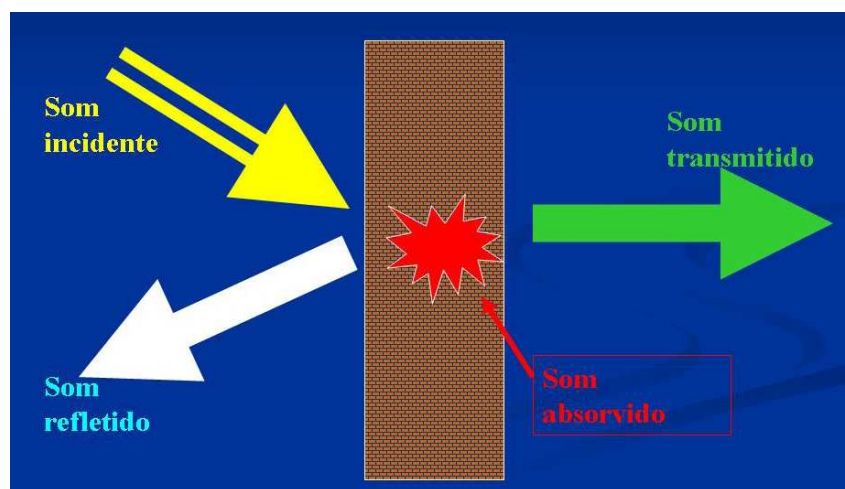


Figura 1: Distribuição da energia sonora após a incidência da onda em uma superfície
Fonte: Fernandes, 2002

As ondas que se propagam da fonte ao receptor sem sofrer qualquer transformação em suas características ou mudança na direção por refração, reflexão ou absorção, são denominadas diretas e as que sofrem uma ou mais reflexões são as refletidas.

2.1.1.2 Elementos da onda sonora

Basicamente, todo som se caracteriza por três variáveis físicas: frequência, intensidade e timbre.

- *Frequência* (f) – é a número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som. A unidade para medir frequência sonora é o hertz (Hz), que corresponde à frequência de um som que executa uma vibração completa ou ciclo. O ouvido humano é capaz de captar sons de 20 a 20.000 Hz. Os sons com menos de 20 Hz são chamados de infra-sons e os sons

com mais de 20.000 Hz são chamados de ultra-sons. Esta faixa de frequências entre 20 e 20 kHz é definida como faixa audível de frequências ou banda audível, como mostra a Figura 2.

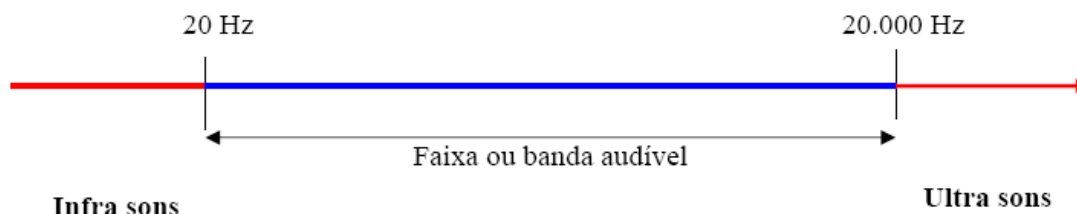


Figura 2: Faixa audível de frequências

Fonte: Fernandes, 2002

Dentro da faixa audível, verifica-se que o ouvido percebe as frequências de uma maneira não linear. Experiências demonstram que o ouvido humano obedece a Lei de Weber de estímulo/sensação, ou seja, as sensações como cor, som, odor, dor, etc., variam como o logaritmo dos estímulos que as produzem (Figura 3).



Figura 3: Sensação da audição das frequências de som

Fonte: Fernandes, 2002

- *Intensidade* – é outra variável, ela se caracteriza como a quantidade de energia contida no movimento vibratório. Esta intensidade se traduz com maior ou menor amplitude na onda sonora ou na vibração.

A intensidade do som é medida por meio de potência sonora, propagada por unidade de superfície, a qual o som toma o nome de intensidade energética (GERGES, 1998). Assim podendo ser medido através de dois parâmetros que são: a pressão sonora causada pela onda sonora que é medida em BAR (dina/cm²) e, a energia contida no movimento vibratório que é medida em (W/cm²). Os valores de referência podem ser vistos na Figura 4.

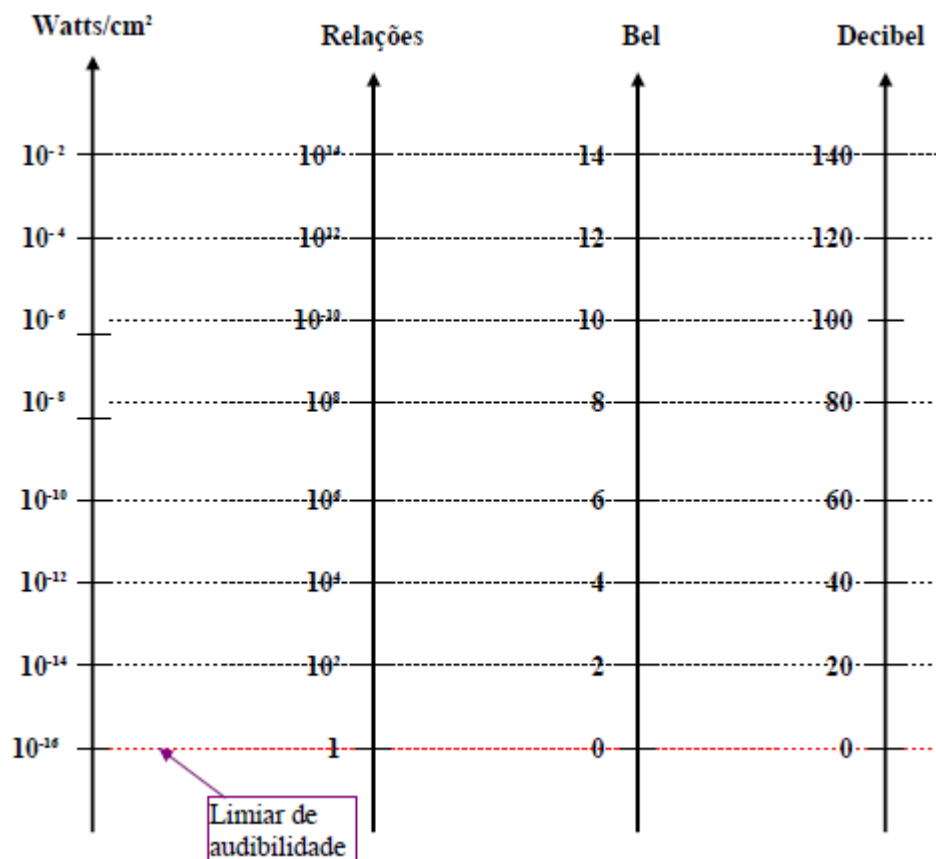


Figura 4: Esquema da formação da escala em decibéis

Fonte: Fernandes, 2002

A Lei de Weber explica a avaliação da sensação auditiva, conforme aumenta – se a intensidade sonora o ouvido humano fica cada vez menos sensível, ou ainda é preciso que se aumente o som de maneira exponencial para que o ouvido perceba o som de maneira linear. A Figura 04, acima demonstra isso com exatidão.

O decibel é uma escala logarítmica que usa a expoente da relação da (Figura 4), chamada de Bel, então é multiplicada por 10 para obter – se uma escala mais ampla e representativa. O nome Bel foi dado em homenagem a Alexandre Graham Bell, o inventor do telefone e pesquisador de acústica. Assim sendo o decibel não é uma unidade de medida e sim uma escala.

A intensidade sonora medida em decibels é definida como Nível de Intensidade Sonora (NIS) ou Sound Intesity Level (SIL), em inglês. Para satisfazer a construção fisiológica do ouvido humano podemos usar a seguinte formula matemática (Equação 1):

$$\text{Equação 1: } NIS = 10 \times \log \frac{I}{I_{ref}}$$

Sendo I a intensidade sonora de um som, e $I_{ref} = 10^{-16} \text{ W / cm}^2$ (limiar da audibilidade) Para exemplificar, se um aparelho de som com 20 Watts de potência reproduz 60 decibéis de intensidade sonora num ambiente, com 40 Watts ele reproduzirá 63 decibéis e com 80 reproduzirá 66 dB. Da mesma forma uma britadeira produz 120 dB; duas britadeiras reproduzem 123 dB. Na Figura 5 encontram se alguns níveis de intensidade sonora (FERNANDES, 2002).

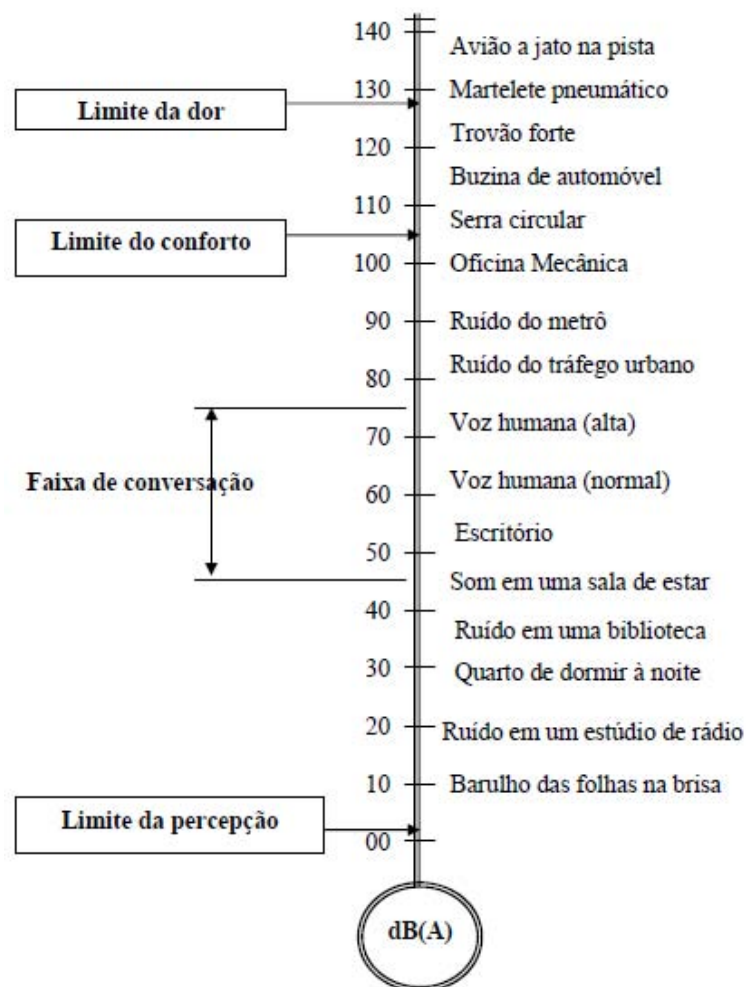


Figura 5: Alguns exemplos de intensidade sonora

Fonte: Fernandes, 2002

- *Timbre* – em linguagem comum, o timbre permite reconhecer a fonte geradora de som, portanto se relaciona diretamente com a composição harmônica da onda sonora, isto é, permite identificar a procedência do som seja ele de uma pessoa, animal ou instrumento musical, mesmo estando em uma mesma frequência e intensidade.

2.2 Ruído

No sentido fisiológico, o som é o resultado das variações dos níveis de pressão do ar no ouvido humano que os convertem em sinais elétricos, que são interpretados pelo cérebro. Quando estas variações são indesejáveis ou desagradáveis passam a ser denominadas de ruído, que na atualidade se encontra entre os contaminantes mais nocivos ao homem, pois estão presentes nos grandes centros urbanos causando seqüelas por ultrapassar os limites toleráveis e/ou exposição excessiva.

Conforme a NBR 7731/83 o ruído possui duas definições aplicáveis, que são:

- O ruído é uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa;
- Todo aquele som indesejável.

A NBR 10152 estabelece os níveis máximos de ruídos considerados adequados aos diversos tipos de ambiente. Seu objetivo é orientar sobre os valores recomendados para se atingir o conforto, levando em consideração o uso e a atividade que serão realizadas no ambiente e as condições a que o ambiente será exposto (Figura 6).

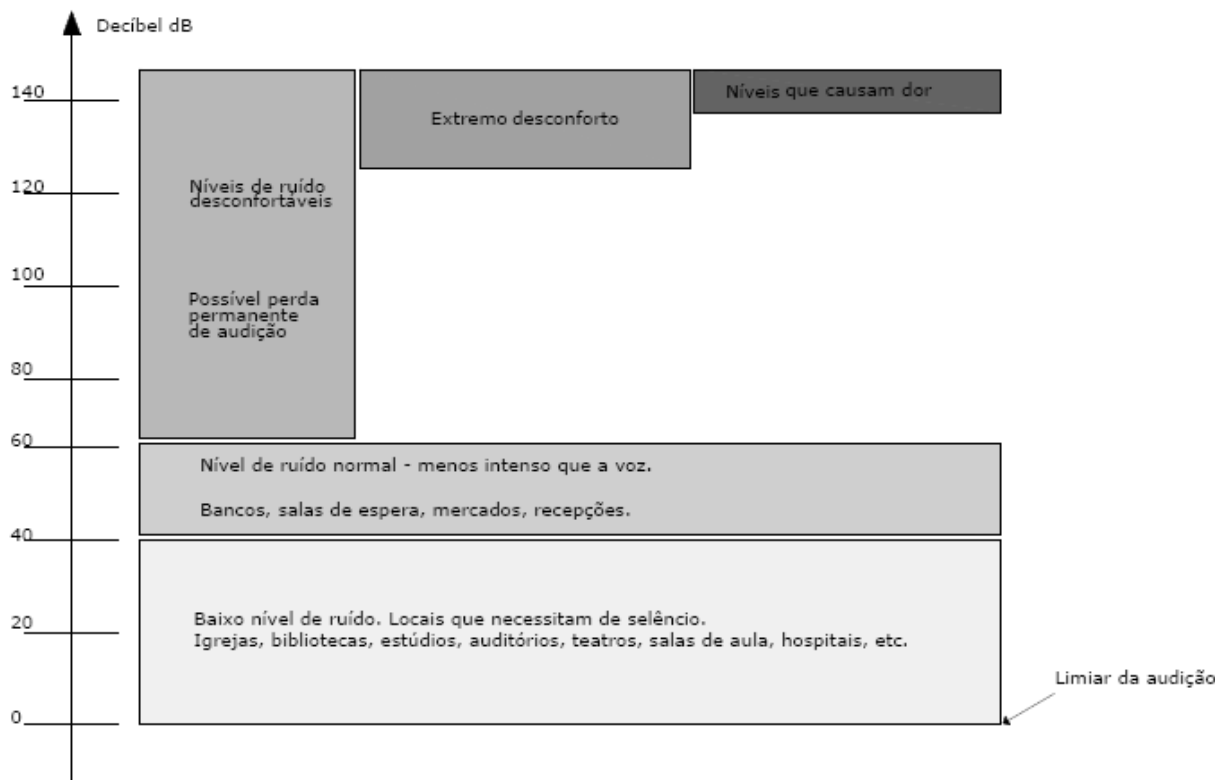


Figura 6: Níveis de ruído em ambientes

Fonte: Fernandes, 2000

2.2.1 Tipos de ruído

Quanto à duração no tempo, são:

- a. *Ruído Contínuo ou Permanente* – são os que duram todo o intervalo de tempo de observação (período superior a quinze minutos) com flutuações de nível de pressão acústica pequenas que podem ser desprezadas dentro do período de observação.
- b. *Ruídos Não-contínuos* – são aqueles os quais o nível de pressão acústica muda significativamente durante o período de observação, podendo ser:
 - *Intermitente* – o nível de pressão acústica cai bruscamente ao nível do ambiente (ruído de fundo) várias vezes ao longo do período de observação, com variações maiores que ± 3 dB, desde que o tempo de ocorrência seja superior a um segundo;
 - *Flutuante* – o nível de pressão acústica varia continuamente e em grau apreciável durante o período de observação.
- c. *Ruído Impulsivo ou de Impacto* – consiste em uma ou mais elevações de energia acústica, de duração inferior a um segundo, em intervalos de ocorrência superiores a um segundo.
- d. *Ruído Impulsivo Quase Contínuo* – consiste em uma série de elevações de energia acústica com amplitude energética comparáveis, sendo que os intervalos entre as explosões individuais são inferiores a 0,2 segundo.

Quanto ao meio de propagação, são:

- a. *Impacto* – produzido através do meio sólido e transmitido através do ar.
- b. *Aéreo* – produzido e transmitido através do ar.

2.2.2 Controle dos ruídos

Todo problema de controle de ruído envolve uma fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor.

As fontes sonoras são das mais diversas naturezas e incluem máquinas, equipamentos e processos industriais, tráfego (rodoviário, ferroviário e aéreo), instalações industriais, atividades de serviços e de lazer, atividades domésticas e instalações de serviços (elevadores, sistemas hidráulicos e de segurança) num condomínio vertical, etc.

A trajetória de transmissão inclui invariavelmente o ar, estruturas sólidas (paredes, divisórias, tubulações) e até líquidos, etc.

O receptor é normalmente o ser humano. Abaixo na Figura 7, é mostrada a hierarquia do controle do ruído.

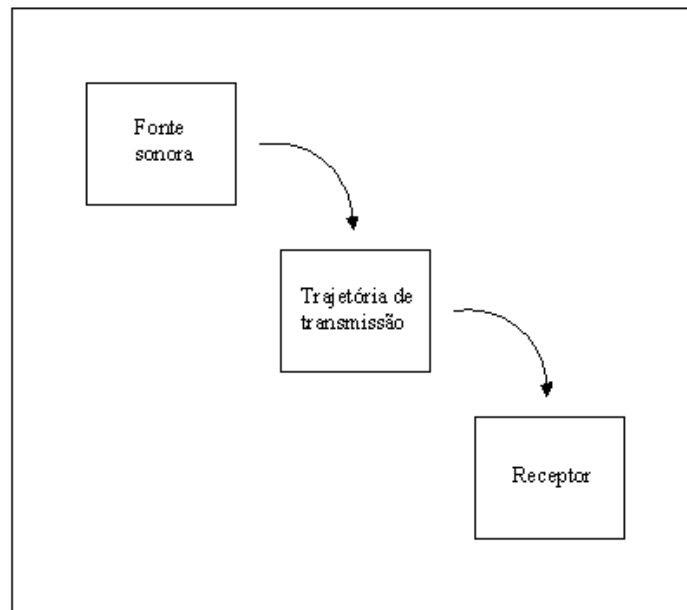


Figura 7: Hierarquia do controle do ruído

Fonte: Anderson e Kurze apud Bistafa, 2006

Para evitar danos a saúde pública, objetivando o conforto e o bem estar da população, bem como para evitar o excesso de ruído característico das atividades, governos de vários países tem estabelecido normas para controlar o nível de ruído exagerado em diversos ambientes.

Os critérios adotados são amplos e se direcionam ao estabelecimento de limites do nível de pressão acústica, considerando como de conforto, ou mesmo aceitável para a finalidade a que se destina, de acordo com o horário e até mesmo com o tempo de duração, a fim de evitar danos à saúde humana (COSTA, 2003).

Para avaliação dos níveis de conforto acústico em ambientes externos com níveis de ruídos sem caráter impulsivo e sem componentes tonais, ou seja, os ruídos flutuantes são determinados pelo nível de pressão sonora equivalente em A (LAeq). O método de avaliação do ruído flutuante baseia-se em uma comparação entre o nível de pressão sonora equivalente em A (LAeq) e o nível de critério de avaliação NCA, apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

Fonte: ABNT, NBR 10151, 2000

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Áreas 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

Este método é largamente empregado para avaliar o incômodo causado pelos ruídos ferroviário e rodoviário. Foi criado com o objetivo de descrever o ruído ambiental, sendo recomendado pela NBR 10151.

O ruído ambiental ou doméstico é definido como o ruído gerado por diversas fontes como o tráfego de veículos, atividades comerciais, animais domésticos etc., excetuando o ruído dos ambientes industriais.

2.3 Efeitos do ruído no corpo humano

Estudos têm demonstrado que os danos causados pelo ruído à saúde humana encontram-se associados principalmente à intensidade sonora, à frequência e ao tempo de exposição do receptor que, associados à sua suscetibilidade, podem causar danos irreparáveis.

A Poluição Sonora que ocorre através de energia mecânica ou acústica causa reflexo não só no aparelho auditivo do homem, mas também em todo o seu organismo.

As pessoas que habitam as cidades vivem constantemente num meio agitado e, na maioria dos casos, sujeitas a altos níveis de ruído que geralmente ultrapassam os níveis recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Isto se deve ao avanço tecnológico, ao crescimento desordenado das cidades, aos hábitos de vida e ao lazer moderno.

Os efeitos causados pelo ruído não são suscetíveis de mensuração direta com instrumentos físicos atualmente disponíveis, mas, sob certas condições, os métodos de levantamentos acústicos fornecem dados valiosos na avaliação dos estímulos provocados pelo ruído sobre o homem, através de correlações entre as propriedades físicas do ruído e a escala

de efeitos subjetivos, quando se tem conhecimento da influência dos fatores fisiológicos, psicológicos e sociais.

O ruído de circulação pode ser considerado como um problema ambiental importante, visto que o tráfego intenso e intermitente pode acarretar diversos distúrbios às pessoas que com ele convivem.

2.3.1 Classificação dos distúrbios causados pelo ruído

A exposição ao ruído intenso e intermitente pode acarretar uma série de distúrbios que podem ser classificados como:

- *Distúrbios psicológicos* – são os que levam a alterações significativas no sono, no desempenho das atividades, no comportamento das pessoas, na inteligibilidade das palavras, no trabalho e na concentração, perturbações na comunicação verbal e moléstias psicossomáticas como o estresse e as desordens psiquiátricas, etc;
- *Distúrbios fisiológicos* – são imediatamente constatados no homem a partir do efeito causado pela fonte sonora (por exemplo, ruído intenso), como alergia, perda temporária da audição podendo atingir a surdez permanente, levar a certos tipos de câncer, provoca disfunções digestivas, dores de cabeça, distúrbios cardiovasculares e hormonais, etc;
- *Distúrbios prejudiciais ou patológicos* – são os que acarretam seqüelas irreversíveis, como a perda definitiva da audição.
- *Distúrbios bioquímicos* – mudanças na produção de cortisona, do hormônio tiróide, de adrenalina, na glicose sanguínea e na proteína do sangue. O ruído também provoca efeitos cardiovasculares, tais com aumento da pressão sanguínea causando hipertensão arterial (WHO, 1999; FERNANDES, 2002).

O Quadro 2 apresenta de forma ilustrativa alguns dos distúrbios causados ao ser humano por diferentes níveis de ruído, que foi extraída dos estudos desenvolvidos na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG, s/d).

Quadro 2: Distúrbios causados ao ser humano por diferentes níveis de ruído

Fonte: UFMG, s/d

NPS em dB	Reação	Efeitos Negativos	Exemplo de
< 50	Confortável	-	Rua sem tráfego, etc
> 50	Organismo começa a sofrer impactos do ruído		
De 50 a 65	O indivíduo fica em estado de alerta e não relaxa	Diminui o poder de concentração prejudicando o serviço intelectual	Agência Bancária, etc
De 65 a 70	Reação do organismo em se adequar ao ambiente, diminuindo suas defesas.	Aumenta o nível de cortisona no sangue diminuindo a resistência imunológica. Induz a liberação de endorfina, tornando o organismo dependente do ruído. Aumenta a concentração de colesterol no sangue.	Bar ou restaurante lotado, etc.
> 70	Organismo sujeito ao estresse degenerativo além de afetar a saúde mental	Aumento do risco de infarto, infecções, etc.	Praças de alimentação de Shopping, vias de alto tráfego, etc.
Esta tabela exemplifica ruídos inseridos no cotidiano das pessoas. Ruídos eventuais alcançam NPS mais elevados, como por exemplo shows que podem chegar facilmente a 130 dB (A), o que pode ocasionar a perda auditiva induzida, temporária ou permanente em pequenos intervalos de tempo.			

2.3.2 Efeitos sobre o aparelho auditivo

O princípio básico da percepção do som é a transformação da energia acústica que se propaga no meio em impulsos nervosos. Esta função é exercida pelo ouvido, cuja suscetibilidade é maior para ruídos de frequências altas.

Os efeitos sobre o aparelho auditivo são reconhecidos pela legislação brasileira e podem ser divididos em três fases, que são:

- *Mudança temporária do limiar auditivo* – é um efeito a curto prazo que representa uma mudança da sensibilidade da audição (depende muito da sensibilidade de cada pessoa), do tempo de exposição e da intensidade do ruído. Essa queda do limiar auditivo retorna após um período de 2 ou 3 horas cessada a exposição.
- *Mudança permanente do limiar auditivo* – É decorrente da exposição acumulativa ao ruído. Inicia-se com zumbido, cefaléia e tontura, tendo o indivíduo dificuldade de escutar sons agudos, tais como o tic-tac do relógio, o barulho da chuva, etc. Numa fase mais adiantada pode ocorrer um zumbido permanente que piora as condições auditivas

ao ponto de tornar quase impossível a conversação. Este zumbido permanente afeta de maneira irreversível o bem estar das pessoas e principalmente o repouso do indivíduo.

- *Trauma acústico* – Ocorre quando o indivíduo é submetido a uma única exposição a um ruído muito intenso, que ocasiona um zumbido, podendo ainda haver perda súbita da audição por rompimento do tímpano.

2.3.3 Tipos de perda de audição causada pelo ruído

- *Surdez Temporária* – A surdez temporária também denominada de Deslocamento Temporário do Limiar de Audição (DTL) é definida como a surdez reversível que ocorre quando o indivíduo é exposto a ruídos/sons intensos durante um determinado intervalo de tempo.

A audibilidade é recuperada gradativamente após o cessar da fonte, sendo que nas primeiras horas após a exposição ocorre a maior parte desta recuperação, que é mais lenta para ruídos de alta frequência. Se não houver um intervalo de descanso suficiente para a recuperação total, este tipo de surdez pode se transformar em permanente.

- *Surdez Progressiva* – A surdez progressiva depende basicamente do tempo e dos níveis de ruído aos quais o indivíduo se encontra exposto, como apresentado por CAMAROTTO (1983), que são: ruídos contínuos acima de 80dB(A), ruído de impacto acima de 120 dB(A), exposição prolongada (anos) a ruídos acima de 80 dB(A) e ruídos de 4.000 Hz e nível de pressão sonora de 70 dB(A).

Nos primeiros estágios da surdez progressiva, não é possível verificar nenhuma evidência clara, como a dor ou mudanças fisiológica no aparelho auditivo, conforme relatado por (CAMAROTTO, 1983); apenas surgem algumas dificuldades como ouvir a própria voz e, conseqüentemente, o indivíduo passa a falar mais alto e sem modulação; distinguir sons em altas frequências chegando a 10.000 Hz; interpretar conversações em ambientes pouco ruidosos (até 50dB(A)) e, no caso da surdez na cóclea (parte anterior do labirinto, ouvido interno), pode apresentar sintomas de origem nervosa.

- *Surdez Permanente ou Total* – A surdez permanente causada por traumas acústicos é derivada da destruição das células auditivas que se encontram no ouvido interno tornando o indivíduo incapaz de perceber qualquer excitação sonora, de forma

irreversível. Os ruídos capazes de provocar este tipo de patologia são, em geral, os de impacto ou impulsivo, ou seja, ruídos acima de 120 dB(A).

Verifica-se que para frequências baixas, a sensibilidade do ouvido é baixa, para frequências médias, da ordem de 1000 a 4000 Hz, o sistema auditivo é altamente sensível, sendo que para altas frequências a sensibilidade do ouvido volta a ser reduzida.

Os ruídos menos nocivos são os que apresentam uma gama de frequências fazendo parte de várias bandas, enquanto os ruídos com pouca frequência, no limite do tom puro, em uma banda, concentram a energia num pequeno grupo de células, sendo assim mais lesivos. Frequências altas são mais lesivas que as baixas, mas geralmente são mais fáceis de controlar.

2.4 Processo para mitigação do ruído

Existem inúmeras maneiras para a mitigação do ruído cada uma com suas vantagens e particularidades assim como defeitos.

2.4.1 Barreiras sonoras

Entre várias maneiras de atenuação do ruído uma das mais utilizadas é a das barreiras sonoras, por sua relativa simplicidade e relativa eficácia. As barreiras sonoras podem ser feitas de diversas formas e materiais, dependendo do ambiente onde se encontram e do nível de ruído que se tem por objetivo atenuar.

A barreira sonora baseia-se em princípios básicos da física acústica, ou seja, ela funciona como um obstáculo à onda sonora, desviando ou absorvendo-a. A sua altura é um dos fatores mais importantes como mostra a Figura 8, onde cada metro adicionado na altura reduz 1,5 dB do ruído (FHWA, 2001).

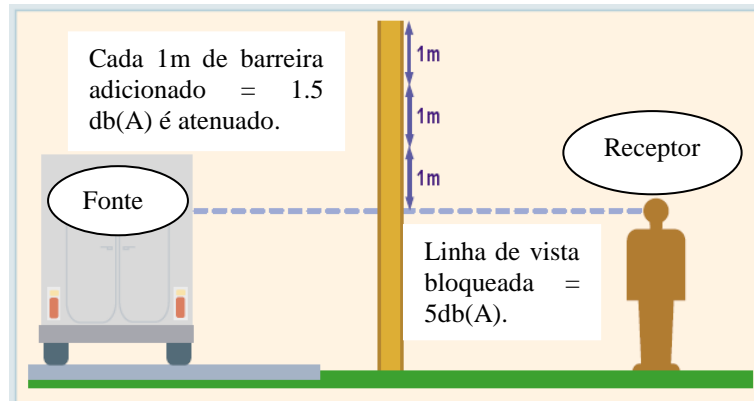


Figura 8: Altura da barreira sonora

Fonte: Adaptado de FHWA 2001

A barreira sonora pode ser inclusive de terra (Figura 9) ou árvores na qual são denominadas de barreiras naturais não ocasionando uma poluição visual, porém, as barreiras artificiais podem ser feitas de um modo a não causar nenhuma diferença gritante ao local onde estão colocadas (Figura 10), ainda as barreiras podem ser mistas, com uso de taludes onde barreiras artificiais são implantadas.



Figura 9: Talude como barreira sonora

Fonte: Adaptado de FHWA 2001

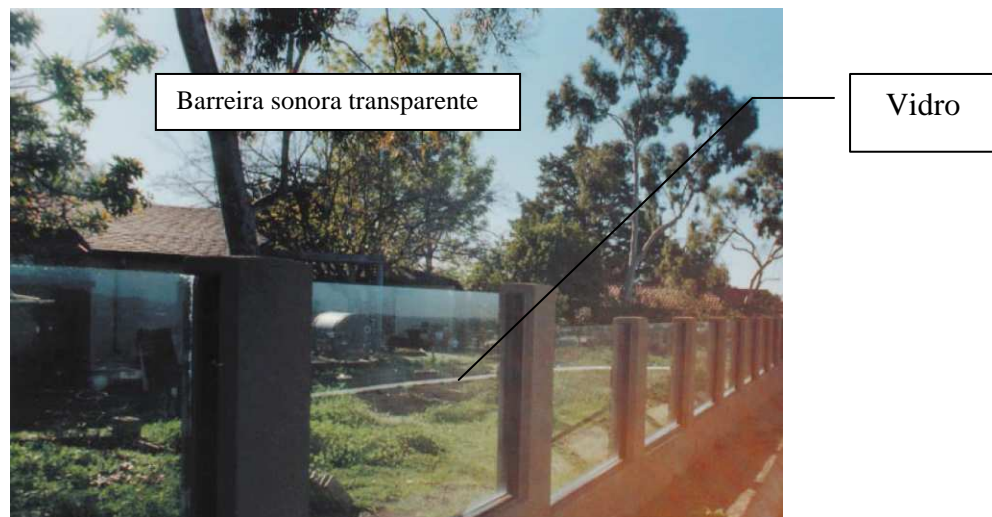


Figura 10: Barreira sonora transparente

Fonte: Adaptado de FHWA 2001

Entretanto, as barreiras sonoras não são eficientes em trechos rodoviários que transpassam centros urbanos, pois sua construção não é possível e, devido à movimentação física do som (Figura 11) a barreira não teria altura suficiente para impedir sua propagação a prédios de grande porte.

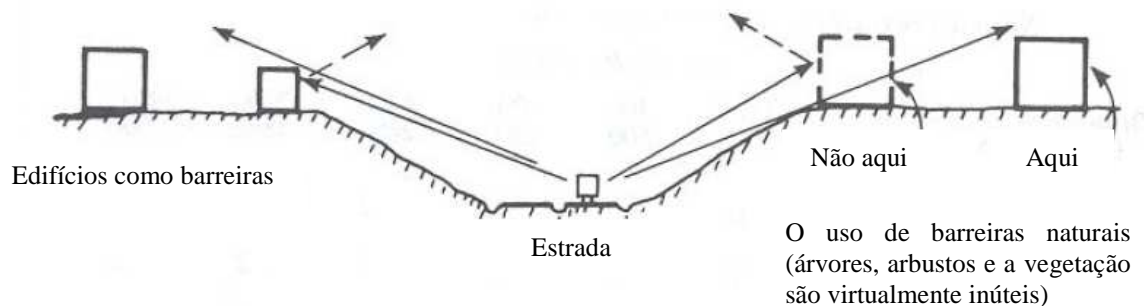


Figura 11: Deficiência das barreiras sonoras

Fonte: Adaptado de Garcia, R. *et al*, 2002

As barreiras sonoras somente começaram a ser amplamente utilizadas nos Estados Unidos da América por volta de 1970, em resposta à lei ambiental nacional promulgada em 1969, e a lei de auxílio as rodovias, promulgada em 1970 pela FHWA (Ministry of Transportation and Highways). Nos EUA, 41 estados gastaram aproximadamente 1,4 bilhões de dólares no período de um ano (1994) apenas na manutenção das barreiras sonoras existentes (GARCIA, R, *et al*, 2002).

2.4.2 Isolamento de fachadas e interiores

O isolamento consiste em dificultar a transmissão sonora. Um bom isolante deve ser rígido, compacto e pesado. A capacidade que um elemento de vedação (parede, divisória, esquadria, etc.) tem de se opor a transmissão do ruído depende de seu índice de redução sonora (KRAUSE *et.all*, 2002).

Em geral temos:

- *Paredes simples* – Onde o isolamento depende da massa superficial (do “peso”) desta. Segunda a “Lei da Massa”, a cada vez que a espessura é dobrada o isolamento aumenta 4dB, sendo maior para as altas frequências (aumenta cerca de 4dB a cada vez que a frequência é dobrada) (KRAUSE *et.all*, 2002).
- *Paredes compostas* – Este tipo de opção de vedação é conveniente quando se deseja evitar o uso de paredes muito espessas e pesadas. Materiais absorventes, quando colocados entre painéis rígidos, funcionam como “mola” minimizando a transmissão do ruído. Este conjunto não obedece rigorosamente à lei da massa, costuma apresentar um índice de redução sonora maior que o de uma parede homogênea, com a mesma espessura (KRAUSE *et.all*, 2002).

Quanto aos materiais absorventes empregados podemos citar dois principais tipos:

- *Materiais fibrosos e porosos* – Permitem que a onda sonora penetre e se propague em seu interior. Após sucessivas reflexões sobre as paredes dos poros a energia sonora é dissipada sob a forma de calor (energia térmica). Os materiais porosos (ex: espumas sintéticas) ou fibrosos (ex: lãs minerais) são, de modo geral, mais eficientes nas altas frequências (KRAUSE *et.all*, 2002).
- *Painéis flexíveis* – Quando uma onda sonora atinge um painel flexível, a vibração provocada pela pressão exercida sobre o painel transforma parte da energia sonora em energia térmica. Painéis flexíveis afastados da parede por uma camada de ar são excelentes para absorver as baixas frequências. Se o painel estiver colado diretamente sobre a parede, a eficiência será maior nas altas e médias frequências (KRAUSE *et.all*, 2002).

2.5 Medição de ruído de circulação

Na medição deste tipo de ruído são empregados equipamentos capazes de avaliar os níveis de pressão sonora equivalentes, durante um período de tempo, e situados em diferentes posições.

Cabe ressaltar que na norma brasileira (NBR 10151) a altura do microfone ao solo é de 1,20 m e pelo menos 2,0 m de distância da superfície refletora. A quantidade e a localização dos pontos a serem avaliados é função do tipo de medição a ser realizada, do estudo a ser desenvolvido, e das condições de emissão e propagação do som na região.

2.5.1 Ruído no transporte ferroviário

A crescente preocupação com as questões relacionadas com a poluição sonora tem vindo a ser assumida como uma prioridade em diversos países europeus (PEREIRA; COELHO, 2004).

Em termos de ruído de tráfego ferroviário, os modelos de previsão que são atualmente usados na Europa, ou são empíricos ou semi-empíricos e tendem a seguir um "padrão" comum.

Considera-se ruído de tráfego ferroviário o ruído gerado e irradiado lateralmente, em relação à linha férrea, somado ao ruído existente dentro das próprias composições.

Este ruído apresenta algumas características particulares:

- a. Tem uma "assinatura" temporal, ou seja, a passagem de um comboio tem uma evolução no tempo distinta de outro tipo de fontes;
- b. A fonte de ruído encontra-se bem situada no espaço.

O ruído do tráfego ferroviário resulta de um variado número de fontes sonoras: vibração da carroceria do comboio, ruído de tração, ruído de rolamento e ruído aerodinâmico (ALARCÃO; COELHO, 2008).

Para o ruído de tração temos como exemplo: motores a diesel, movimentações das engrenagens e ventiladores de refrigeração.

No ruído de rolamento seria a interação entre a roda da locomotiva ou vagão e o trilho propriamente dito.

Quanto ao ruído aerodinâmico, este terá grande importância com o aumento da velocidade, muito estudado para trens de alta velocidade.

A Figura 12 apresenta as curvas de distribuição do ruído do transporte ferroviário, onde nos mostra a contribuição do ruído de tração, rolamento e aerodinâmico em função da velocidade.

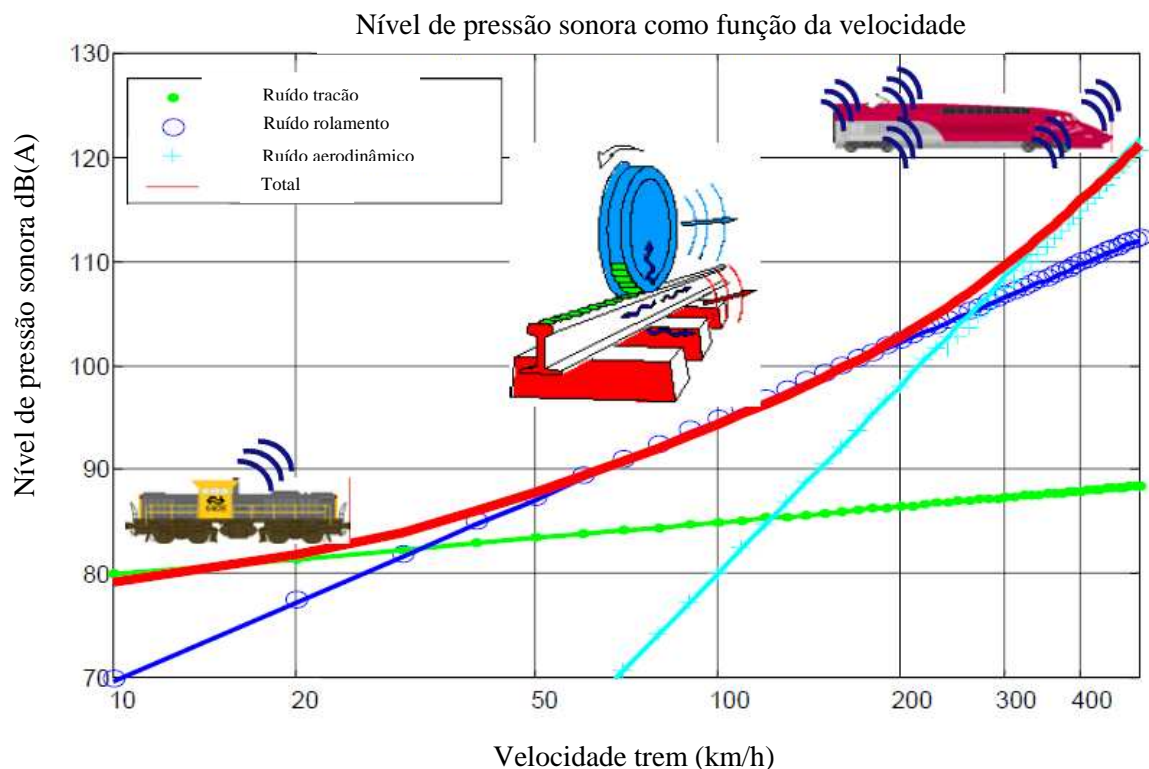


Figura 12: Ilustração das curvas de contribuições do ruído no transporte ferroviário
 Fonte: Adaptado de Technical Regulations for Methods of Measuring Emission Rail Traffic, 2006

2.6 Transporte ferroviário

O mundo dispõe de diversos meios de transporte. Os mais utilizados são o rodoviário, o ferroviário, o aéreo, o fluvial e o marítimo. A viabilidade de utilização dessas diversas modalidades depende das características e exigências do material a ser transportado, distância de transporte e outros fatores (PORTO, 2004).

2.6.1 História

O engenheiro inglês Richard Trevithick construiu em 1803 um veículo a vapor similar a uma locomotiva, que pesava 5 toneladas e atingia 5 Km/h. George Stephenson, também engenheiro inglês, foi o verdadeiro criador da tração a vapor em estrada de ferro. Primeiro a compreender o princípio de aderência de rodas lisas sobre uma superfície também lisa, construiu em 1813 a locomotiva “Blucher”, testada em 25 de julho de 1814, puxando 8 vagões com 30 toneladas (PORTO, 2004).

Segundo Porto (2004) a partir de 1840 houve uma expansão explosiva da construção ferroviária na Inglaterra, fundamental para o crescimento tecnológico que consolidou aquele país como potência econômica mundial a partir da revolução industrial.

A distribuição das mercadorias foi facilitada, pois os trens transportavam rapidamente cargas pesadas, a longas distâncias e por fretes reduzidos.

Desde o advento da ferrovia, as estradas de ferro justificavam tal nome, pois, ao utilizarem trilhos de ferro, eram mesmo ferrovias ou vias férreas. Os trilhos apresentavam o inconveniente do desgaste, encarecendo a conservação das vias permanentes. A contribuição de Henry Bessemer em 1856 consistiu-se na fabricação de trilhos de aço que, praticamente, não se desgastavam. A partir de então, as estradas de ferro passaram a trafegar sobre trilhos de aço com maior segurança e conservação (PORTO, 2004).

Conforme Porto (2004) o sucesso inglês despertou o interesse do governo imperial brasileiro, que elaborou uma lei em outubro de 1835 incentivando a construção de estradas de ferro. Estas deveriam ligar a capital do país, Rio de Janeiro, às províncias de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Bahia. Em 30 de abril de 1854, foi inaugurada a primeira linha ferroviária do Brasil, ligando o Porto de Mauá (Baía de Guanabara) a Petrópolis, na Vila do Frágoso. Com 14,5 Km de extensão, puxado pela locomotiva “Baronesa”, o primeiro trem a circular no Brasil fazia a ligação entre a capital e Petrópolis, cidade serrana onde a corte despachava no verão e para onde convergia a nobreza carioca.

Incentivado pela Inglaterra, que fornecia equipamentos, técnicos e empréstimos, o Brasil construiu diversas linhas que atendiam principalmente a exportação de matérias primas e produtos agrícolas, como o café (PORTO, 2004).

Entre as duas grandes guerras mundiais, ocorre o desenvolvimento da tração a diesel, renunciando-se a substituição da locomotiva a vapor. A expansão do capitalismo exigia a necessidade de maior velocidade no transporte de cargas e passageiros. A combinação dessa nova fonte de energia com a aerodinâmica atendeu a essa exigência. As primeiras

experiências ocorreram na Alemanha (país de origem de Ludwig Diesel), em 1933, na linha Berlim-Hamburgo, com o trem de passageiros aerodinâmico, a uma velocidade de 160 Km/h. Em 1934, as companhias americanas Union Pacific e Burlington Railroad, com o trem “Zephyr” de três carros de aço inoxidável, movido por um motor diesel de 600 HP e acionado por um gerador, percorreram a linha entre Denver e Chicago (164 Km) a uma velocidade de 120 Km/h (PORTO,2004).

Figura 13 ilustra a primeira locomotiva a vapor que teve utilização prática em uma mina de carvão no país de Gales; foi construída por Richard Trevithick. Na Figura 14 uma das primeiras locomotivas diesel hidráulica alemã com motor de 600 HP.

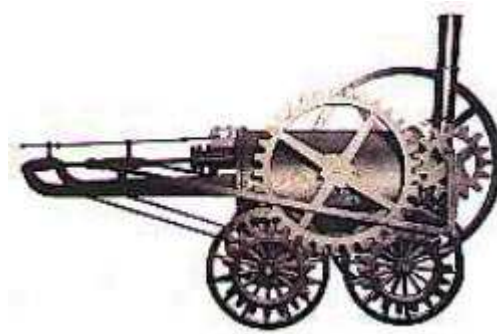


Figura 13: Locomotiva a vapor

Fonte: PORTO,2004



Figura 14: Locomotiva diesel hidráulica alemã

Fonte: PORTO,2004

No final do século passado, ocorreram muitas tentativas para a aplicação da energia elétrica na tração dos trens. Dentre as bem sucedidas, temos a de Von Siemens, na Alemanha. Nos EUA, a primeira eletrificação aconteceu em 1895, na Baltimore e Ohio Railroad (PORTO, 2004).

Segundo Porto (2004) no começo do século XX, nos EUA e Europa, centenas de quilômetros de linhas férreas foram eletrificadas. Com isso, o serviço de passageiros suburbanos ganhou qualidade, pois freqüentes paradas exigiam maior poder de aceleração. Os empresários concluíram que a tração elétrica diminuía os custos operacionais tornando os serviços mais atraentes. Em 1945, vários países apresentavam redes eletrificadas: Itália, Suécia, EUA, Suíça, França, Alemanha, Rússia e Grã-Bretanha.

A maioria das eletrificações ocorria em vias de intenso tráfego e em linhas que apresentavam restrições à tração a vapor. As locomotivas elétricas exerciam grande força de tração por longos períodos sobre trechos muito íngremes (PORTO, 2004).

No Brasil, a pioneira na eletrificação foi a Companhia Paulista de Estradas de Ferro, no trecho Jundiaí – Campinas, em 1927. A Figura 15 ilustra o trem azul da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, movido pela energia elétrica.



Figura 15: Trem azul da Cia. Paulista de Estradas de Ferro

Fonte: Cia. Paulista de Estradas de Ferro, 1927

Conforme Santos (2005) a primeira ação para a modernização da ferrovia brasileira teve opção pelo modelo americano, quando em 1952, o Presidente Getúlio Vargas incluiu o sistema ferroviário na pauta da Comissão Mista Brasil-Estados Unidos.

A criação da Rede Ferroviária Federal S. A., também tem origem no segundo governo do Presidente Getúlio Vargas, 1950 a 1954, segundo a Associação Nacional de Transportadores Ferroviários (2004).

Segundo Santos (2005) após os estudos da Comissão Mista Brasil - Estados Unidos a ferrovia brasileira começou a mudar, adotando:

- Tração diesel-elétrica em substituição a tração a vapor;
- Truque 2 eixos com 20 toneladas/eixo;
- Trilhos pesados;
- Engates do tipo americano em substituição ao tipo europeu;
- Freios a ar comprimido em substituição a vácuo;
- Erradicação dos ramais deficitários;
- Prioridade para o transporte de carga;
- Trens unitários;
- Trens longos.

A Figura 16 mostra o antigo vagão da companhia Docas de Santos com antigo engate europeu. Na Figura 17, a locomotiva da Companhia Paulista com engate americano.

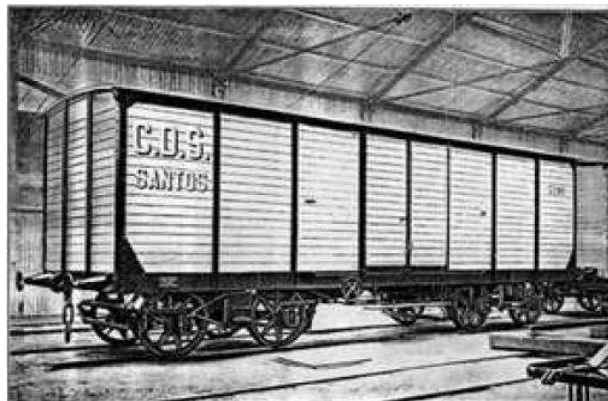


Figura 16: Vagão com engate europeu

Fonte: SANTOS, 2005



Figura 17: Locomotiva com engate americano
Fonte: SANTOS, 2005

Conforme Santos (2005) com essas modificações a ferrovia brasileira adotou o padrão americano, o qual se tornou seu principal fornecedor de material rodante, vagões e locomotivas, e material ferroso: trilhos, fixações e aparelhos de mudança de via.

Posteriormente com a industrialização do Brasil, essa fabricação ocorre aqui inclusive das locomotivas. Entretanto, a mudança para o padrão americano não recuperou as ferrovias brasileiras, pois ao contrário dos EUA a administração e operação das ferrovias brasileiras estava sob o regime estatal (SANTOS, 2005).

No regime estatal começa o declínio operacional, novas linhas não são construídas. Apesar de optar pelo modelo americano e ter a mesma área territorial, a malha brasileira é praticamente 10 vezes menor, fator que limita a participação da ferrovia na matriz de transporte (SANTOS, 2005).

Segundo Santos, 2005 nas primeiras décadas do século XX a extensão da ferrovia brasileira era de 35 mil quilômetros, foi diminuída com a erradicação dos ramais antieconômicos, durante o século XX, especialmente nas décadas de 60 e 70. Novas linhas somente foram construídas nas décadas de 80 e 90 com as ferrovias. Estrada de Ferro Carajás – Maranhão e Pará; Ferroeste – Paraná; Ferrovia Norte Sul – Maranhão.

Atualmente a extensão da malha brasileira soma aproximadamente 28,5 mil quilômetros. Com a privatização ocorrida na segunda metade da década de 90, a ferrovia brasileira começou uma recuperação, hoje, de acordo com a Superintendência de Serviços de Transporte de Cargas da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), o transporte ferroviário no país representa 24% do total em relação à matriz de transportes. Os números da

agência registram um volume transportado no ano passado de 416 milhões de Tonelagem Útil (TU), o que corresponde a uma produção de transportes de 258 milhões de Toneladas por Quilômetro Útil (TKU) (SANTOS, 2005).

As principais cargas transportadas pelo modal ferroviário em 2007, segundo a ANTT, foram minério de ferro, com 307,4 milhões de toneladas, produtos siderúrgicos, com 21,4 milhões de toneladas, e soja e farelo, com 19,56 milhões de toneladas.

2.6.2 Características técnicas do modal ferroviário

2.6.2.1 Elementos da via permanente

Abaixo na Figura 18 os principais elementos de uma via permanente:

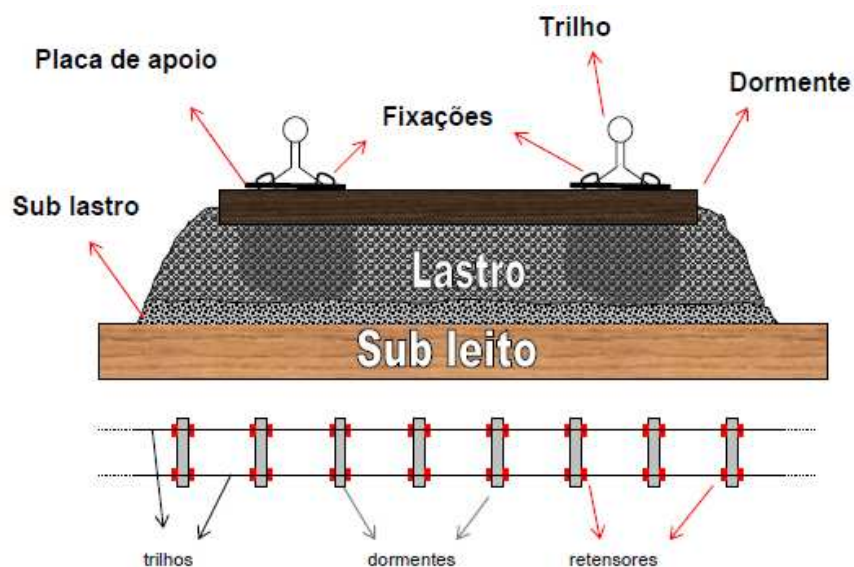


Figura 18: Elementos da via permanente

Fonte: PORTO, 2004

- Trilhos

Segundo Porto (2004) os trilhos são elementos da via permanente que guiam o veículo no trajeto e dão sustentação ao mesmo. Funcionam como viga contínua e transferem as solicitações das rodas para os dormentes. Os trilhos são designados pelo peso que apresentam

por metro linear. Exemplos: TR – 37, 45, 50, 57 e 68 kg/m. O mais usual no Brasil é o perfil Vignole, (Figura 19).

O emprego de cada tipo de trilho depende do tipo de tráfego que utiliza cada linha. Para trens pesados de minério, com tráfego intenso, são utilizados os trilhos TR-57 e TR-68. Para uma linha de trens de carga geral, transportados em contêineres e vagões especializados, é normal a utilização de trilhos TR-45 (Tabela 1). Para linhas secundárias, ramais e desvios, é normal a utilização de trilhos usados. Os trilhos mais leves, abaixo do TR-45, são utilizados em minas, indústrias e pontes rolantes (SANTOS, 2005).

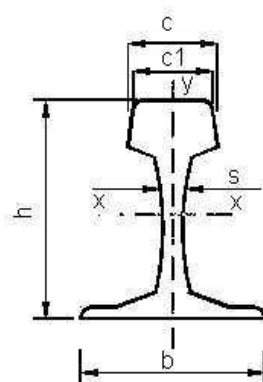


Figura 19: Trilho perfil Vignole
Fonte: SANTOS, 2005

Os trilhos mais leves, TR-32 e TR-37 permitem a circulação de locomotivas e vagões com a carga máxima de 16 e 18 t/eixo respectivamente. O TR-45 e o TR-57 admitem 20 t/eixo e 25 t/eixo respectivamente. As ferrovias modernas, para trens longos e pesados para o transporte minério e grãos, utilizam os trilhos TR-68 que permitem a circulação de material rodante com 30 toneladas por eixo (SANTOS, 2005).

Tipo	Dimensões					Área	Peso
	h	c	c1	b	s		
TR 45	142,9	65,1	61,5	130,1	14,3	56,9	44,7
TR 57	168,3	69,1	69,1	139,7	15,9	72,4	56,9
TR 68	185,7	74,6	72,6	152,4	17,5	86,1	67,6
Unidade	mm					cm²	kg/m

Tabela 1: Dimensões, áreas e pesos dos respectivos trilhos
Fonte: SANTOS, 2005

Outros fatores limitantes da capacidade dos trens são as características geométricas da linha, isto é, a inclinação das rampas (subidas e descidas), os raios das curvas e os desvios de cruzamento de trens (PORTO, 2004).

O aço é o material utilizado nos trilhos por diversas razões relacionadas à resistência e qualidade:

- Elevada tensão de escoamento e ruptura (σ_e e σ_r);
- Composição química uniforme;
- Isenção (garantia pelo processo de fabricação) de inclusões não metálicas, vazios e trincas térmicas;

Conforme Porto (2004) o aço comum possui como impurezas o Manganês (Mn) ou o Silício (Si). Quando combinado com o Fósforo (P), fica quebradiço. Os trilhos de aço especial são trilhos de alta qualidade (mais resistência e dureza), produzidos com ligas que combinam em geral o ferro com Vanádio (V), Cromo (Cr), Molibdênio (Mo), Titânio (Ti), Nióbio (Nb), entre outros.

Para um aumento da dureza superficial, os trilhos podem ainda ser tratados termicamente. Tal processo consiste num resfriamento rápido do trilho, que é reaquecido pelo calor interno, esfriando lentamente depois. Quanto ao processo de soldagem, desde a década de 1950 os trilhos são soldados de maneira contínua, virtualmente eliminando juntas e proporcionando vantagens de conforto, eliminação da vibração e ruído, menor resistência ao movimento, vida útil mais longa para a via (PORTO,2004).

- Bitolas dos trilhos

- Métrico (estrito): 1,00 m;
- Normal: 1,435 m;
- Largo: 1,60 m.

No Brasil são utilizados bitolas de 1,00 m ou 1,60 m para o transporte de minério de ferro (PORTO,2004).

- Fixações

Segundo Porto (2004) as fixações são elementos que tem como função manter o trilho na posição correta e garantir a bitola da via. Oferecem resistência ao deslocamento longitudinal e horizontal do trilho, provocado por variação de temperatura ou frenagem dos veículos. As cargas horizontais devem ser transferidas para os dormentes sem prejudicar o sistema de fixação.

As fixações devem permitir a substituição dos trilhos sem afrouxar seus embutimentos no dormente de madeira. As fixações podem ser rígidas ou elásticas conforme descrição abaixo (PORTO, 2004).

- Fixações rígidas

São pregos e parafusos Tirefond (Figura 20). Soltam com o tempo devido à vibração, perdendo a capacidade de resistir a esforços longitudinais (PORTO, 2004).



Figura 20: Fixação rígida por pregos e parafusos (Tirefond)

Fonte: PORTO, 2004

- Fixações elásticas

Conforme Porto (2004) a fixação elástica tem por característica, manter a pressão constante sobre o trilho, não afrouxando-se com o tráfego. É indicado para trilhos soldados. Existem diversos modelos, como a Pandrol, Mckay e Vossloh (Figura 21).

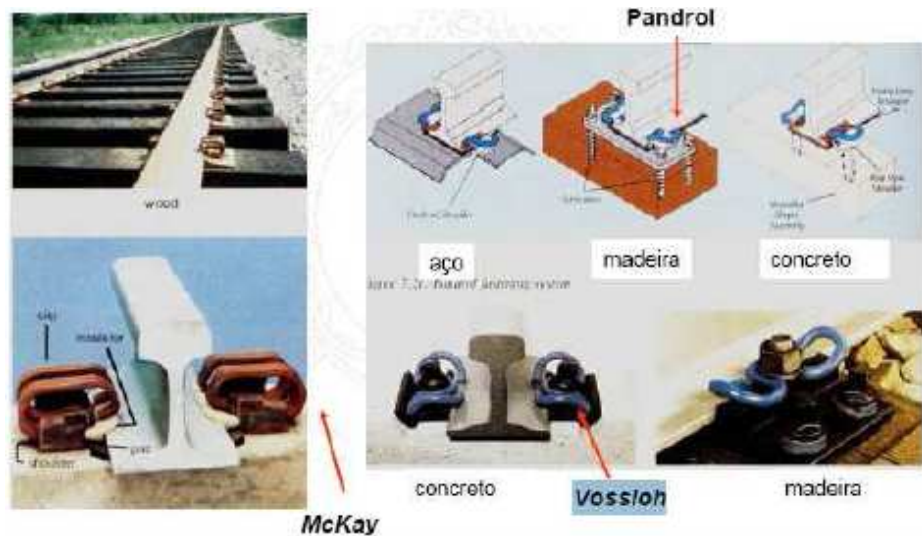


Figura 21: Fixação elástica
Fonte: PORTO, 2004

- Placa de apoio

A placa de apoio serve para distribuir a tensão do trilho ao dormente (PORTO, 2004).

A Figura 22 ilustra o detalhe da placa de apoio do trilho, utilizada em dormente de madeira.



Figura 22: Placa de apoio
Fonte: PORTO, 2004

- Dormentes

Segundo Porto (2004) suas principais funções são:

- Distribuir as cargas no lastro;
- Dar suporte adequado aos trilhos;
- Manter estabilidade vertical e horizontal;
- Reduzir a vibração;
- Facilitar manutenção.

- Dormentes de madeira

A resistência das madeiras cresce com a densidade. Utiliza-se comumente madeira de lei (aroeira, ipê, angico, etc.) e madeira mole (pinho, eucalipto, etc.), tendo as primeiras, maior durabilidade e resistência (PORTO, 2004).

Na Figura 23 observa-se o detalhe das dimensões dos dormentes de madeira.

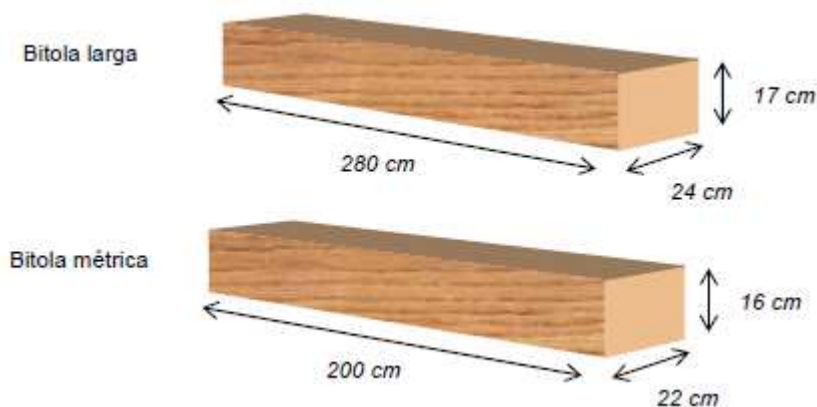


Figura 23: Dimensões dos dormentes de madeira

Fonte: PORTO, 2004

Quanto ao tratamento das madeiras, o mesmo atua evitando o apodrecimento, mas não atua na resistência. O custo do tratamento varia de 60 a 100% do custo inicial do dormente.

A durabilidade é função da qualidade da madeira, clima, drenagem, tráfego, época do ano em que a madeira foi cortada (no inverno há menos seiva), grau de secagem, tipo de fixação, lastro, existência de placa de apoio, etc (PORTO, 2004).

No Brasil:

- Madeira de lei: 15 a 20 anos, dependendo do tratamento;
- Madeiras comuns (cerne, alburno): 5 a 6 anos, se tratados;
- Madeiras não tratadas: 2 a 10 anos.

No mundo:

- Madeiras tratadas: 15 a 30 anos;
- Madeiras não tratadas: 3 a 18 anos.

Segundo Porto (2004) para evitar o fendilhamento da madeira, faz-se o uso de cintas galvanizadas ou (S) metálicos, (Figura 24).



Figura 24: Artíficos para evitar o fendilhamento
Fonte: PORTO, 2004

- Dormentes de concreto

Conforme Porto (2004) estes tipos de dormentes começaram a ser utilizado após a segunda guerra mundial. Era de concreto armado monobloco, não protendido.

Atualmente temos em uso os seguintes tipos:

- Dormente de dois blocos (70 x 29 x 23 cm), (Figura 25), com haste metálica interligando-os. Podem ser armados (França) ou protendidos (Suécia).

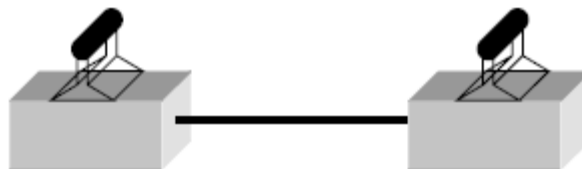


Figura 25: Dormentes bi-bloco
Fonte: PORTO, 2004

- Protendidos monobloco (Figura 26):

- Postencionados: protensão após a cura do concreto;

- Pretencionados: formas contínuas, formas individuais.



Figura 26: Dormente de concreto monobloco protendido
Fonte: PORTO, 2004

Os dormentes monoblocos protendidos possuem diversas vantagens sobre o tipo misto, como por exemplo:

- Maior área de apoio sobre o lastro;
- Maior peso: mais estabilidade (entretanto, maior dificuldade de manuseio);
- Resistência a flexão no centro;
- Absorve e transmite bem esforços horizontais e verticais, mesmo em caso de desnivelamento transversal.

A vida útil dos dormentes de concreto é cerca de 40 anos, se não houver descarrilamento. Ainda existem outros tipos de material para dormentes (Quadro 3), os feitos de aço, nylon ou fibrocimento (Itália), (PORTO, 2004).

Quadro 3: Tipos de dormentes que melhor se aplica
Fonte: PORTO, 2004

	Tipo de dormente que melhor se aplica
Vida útil	Concreto
Manuseio	Madeira/aço
Estabilidade	Concreto
Isolamento	Madeira/concreto

- Lastro

Segundo Porto (2004) o lastro é feito de uma camada de brita (\emptyset entre 19 e 38 mm).

Suas principais funções são:

- Distribuir os esforços do dormente (Figura 27);
- Drenagem;
- Resistir a esforços transversais (empuxo passivo atuando no dormente);
- Permitir reconstituição do nivelamento (através de equipamentos de manutenção).

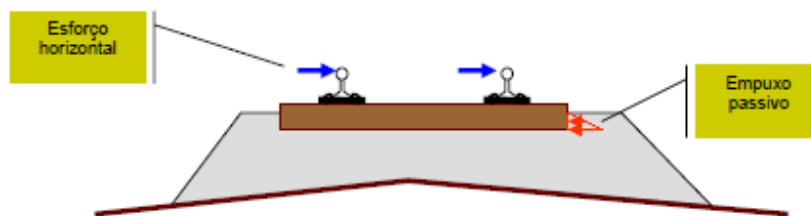


Figura 27: Resistência do lastro a esforços transversais

Fonte: PORTO, 2004

- Sub-lastro

Conforme Porto (2004) o sub-lastro tem como função evitar o fenômeno do bombeamento de finos do subleito e diminuir a altura necessária de lastro, uma vez que seu custo é menor.

O bombeamento de finos é um processo auto-alimentado que consiste no enrijecimento do lastro e posterior ruptura devido à secagem de lama proveniente do sub-leito bombeada pelo tráfego. Ocorre na presença de solo fino, água e super-solicitação (PORTO,2004).

Segundo Porto, 2004 o sub-lastro é uma camada situada entre o lastro e o sub-leito, com função de filtro, impedindo a subida da lama (Figura 28). Seu dimensionamento segue os critérios de Terzaghi para granulometria e de Araken Silveira para altura. Para vias menos importantes, utiliza-se pedra britada sem seleção de diâmetro.

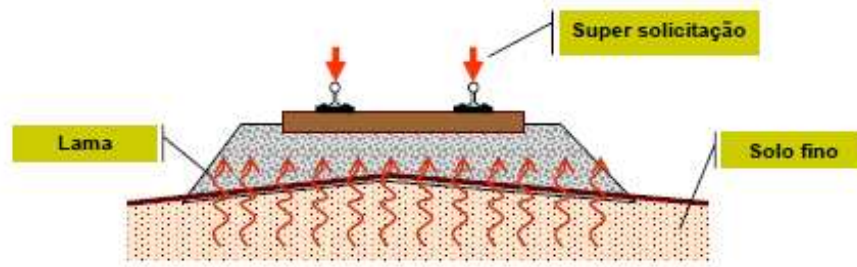


Figura 28: Bombeamento de finos para o lastro
Fonte: PORTO, 2004

- Sub-leito

Segundo Porto (2004) o sub-leito deve receber compactação, com o objetivo de aumentar sua resistência. Cuidados devem ser tomados quanto à drenagem, com o uso de trincheiras e drenos para rebaixar o nível d'água quando necessário em cortes no terreno, (Figura 29) e aterros (Figura 30).

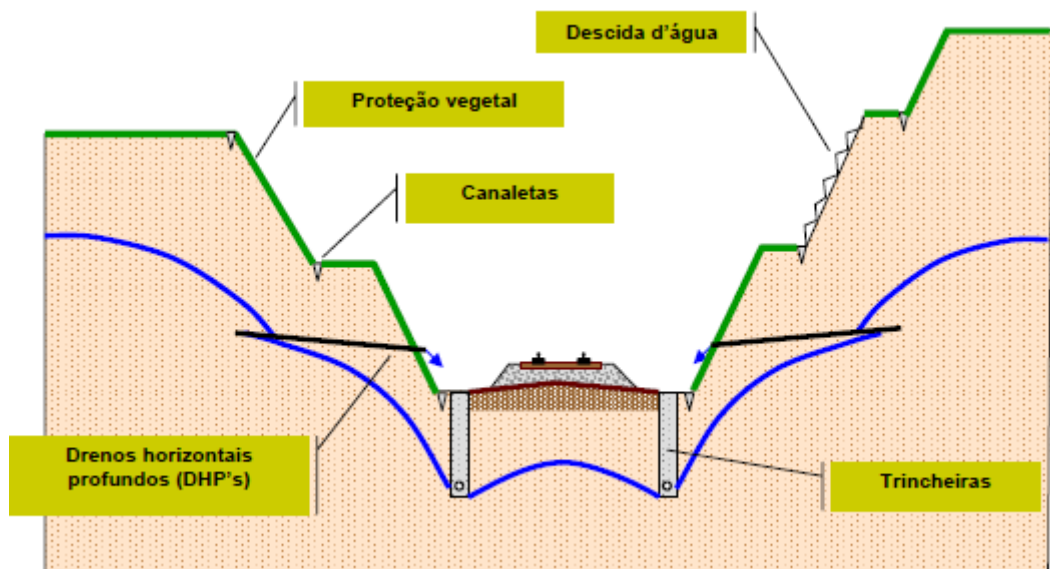


Figura 29: Sub-leito em corte
Fonte: PORTO, 2004

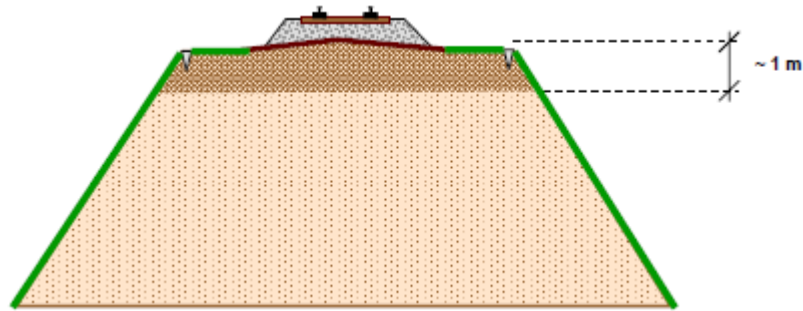


Figura 30: Sub-leito em aterro
Fonte: PORTO, 2004

2.6.2.2 Tipos de Veículos

- Locomotivas

As locomotivas que estão sendo usadas em toda a América são as locomotivas diesel-elétricas (Figura 31), onde o motor diesel aciona um gerador que produz a energia elétrica destinada aos motores de tração localizados nos truques e acoplados às rodas motrizes por engrenagens. Em ferrovias de alta capacidade, são utilizadas as locomotivas elétricas (SANTOS, 2005).

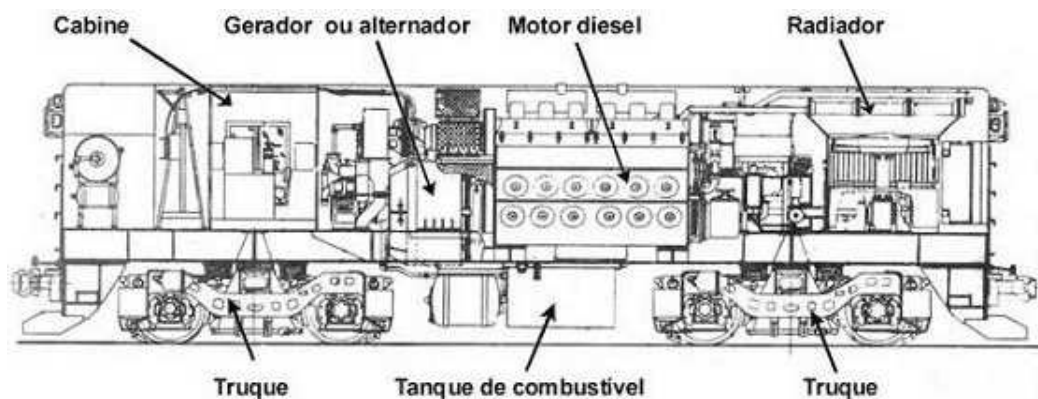


Figura 31: Esquema típico de uma locomotiva diesel-elétrica
Fonte: ANTF, 2009

Conforme Santos (2005) de acordo com o arranjo das rodas nos truques as locomotivas têm uma classificação, igual a das locomotivas elétricas, atribuindo-se letra às rodas motrizes e número às rodas livres sem tração, conforme Figura 32.

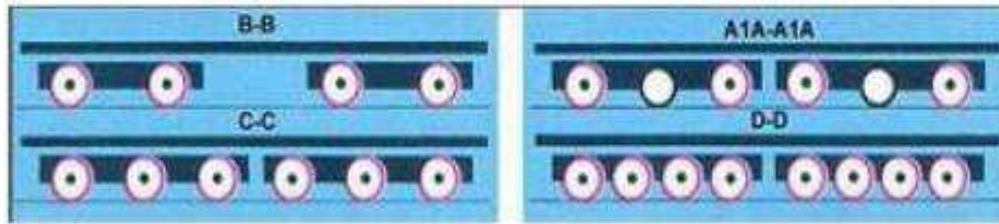


Figura 32: Esquema das principais rodagens de locomotivas diesel-elétrica
Fonte: SANTOS, 2005

As Figuras 33 e 34 ilustram respectivamente a locomotiva diesel-elétrica Macosa modelo G22U, com rodagem B-B; e locomotiva diesel-elétrica GE modelo C30-7, com rodagem C-C, ambas da América Latina Logística (ALL).



Figura 33: Locomotiva Macosa G22U
Fonte: SANTOS, 2005



Figura 34: Locomotiva GE, C30-7
Fonte: SANTOS, 2005

- Vagões

Assim como as locomotivas, os vagões ferroviários também evoluíram durante os quase 2 séculos da utilização da ferrovia. Se no início do século XIX, havia praticamente um só tipo de vagão para todas as cargas, atualmente tem-se um tipo específico de vagão para cada um dos grupos de mercadorias. Entretanto, a especialização que permite o transporte adequado de cada tipo de produto apresenta a desvantagem do retorno vazio caso não haja o mesmo tipo de mercadoria no fluxo contrário (SANTOS, 2005).

Segundo Santos (2005) de um modo geral os diversos tipos de vagões têm as mesmas características técnicas e operacionais nos diversos países do mundo, havendo, entretanto algumas diferenças específicas para um ou outro vagão como é o caso da cobertura telescópica utilizada na Europa para o transporte de bobinas de aço para a indústria automotiva, que não podem sofrer as intempéries, (Figura 35).



Figura 35: Vagão com cobertura telescópica utilizado na Europa
Fonte: SANTOS, 2005

Segundo a Associação Brasileira de Transportadores Ferroviários – ANTF, no Brasil estão sendo utilizados sete tipos de vagões. Os vagões possuem comprimento de 10 a 27 m e capacidade de 25 a 91t.

- Vagões tipo fechados

Os vagões do tipo fechado (Figura 36), são utilizados para o transporte dos seguintes produtos: granéis sólidos, ensacados, caixarias, cargas unitizadas e transporte de produtos em geral que não podem ser expostos as intempéries (SANTOS, 2005).

Quanto a sua classificação:

- FR - Convencional, caixa metálica com revestimento;
- FS - Convencional, caixa metálica sem revestimento;
- FM - Convencional, caixa de madeira;
- FE - Com escotilhas e portas plug;
- FH - Com escotilhas, tremonhas no assoalho e portas plug;
- FL - Com laterais corrediças (all-door);
- FP - Com escotilhas, portas basculantes, fundo em lombo de camelo;
- FV – Ventilado;



Figura 36: Vagão do tipo fechado

Fonte: SANTOS, 2005

- Vagões tipo hopper

Os vagões do tipo Hopper (Figura 37), são utilizados para o transporte dos seguintes produtos: granéis corrosivos e granéis sólidos (SANTOS, 2005).

Quanto a sua classificação:

- HF - Fechado convencional;
- HP - Fechado com proteção anti-corrosiva;
- HE - Tanque (center-flow) com proteção anti-corrosiva;
- HT - Tanque (center-flow) convencional;
- HA – Aberto;



Figura 37: Vagão do tipo Hopper
Fonte: SANTOS, 2005

- Vagões tipo gôndola

Os vagões do tipo gôndola (Figura 38), são utilizados para o transporte dos seguintes produtos: granéis sólidos e produtos diversos que podem ser expostos ao tempo (SANTOS, 2005).

Quanto a sua classificação:

- GD - Para descarga em giradores de vagão;
- GP - Com bordas fixas e portas laterais;
- GF - Com bordas fixas e fundo móvel (drop - bottom);
- GM - Com bordas fixas e cobertura móvel;
- GT - Com bordas tombantes;
- GS - Com semi-bordas tombantes;
- GH - Com bordas Basculantes ou semi-tombantes com fundo em lombo de Camelo;
- GC - Com bordas tombantes e cobertura móvel;
- GB – Basculante;



Figura 38: Vagão do tipo gôndola
Fonte: SANTOS, 2005

- Vagões tipo isotérmico

Os vagões do tipo isotérmico (Figura 39), são utilizados para o transporte de produtos congelados em geral (SANTOS, 2005).

Quanto a sua classificação:

- IC - Convencional com bancos de gelo;
- IF - com unidade frigorífica;

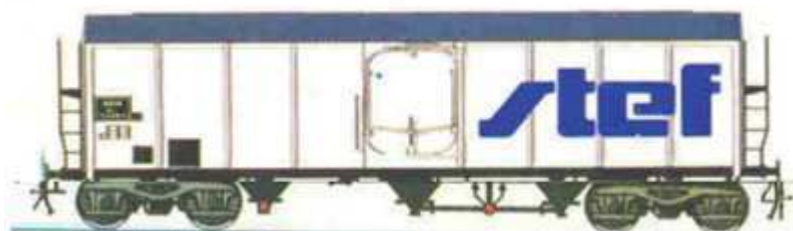


Figura 39: Vagão do tipo isotérmico

Fonte: SANTOS, 2005

- Vagões tipo plataforma

Os vagões do tipo plataforma (Figura 40), são utilizados para o transporte dos seguintes produtos: contêineres, produtos siderúrgicos, grandes volumes, madeira, peças de grandes dimensões (SANTOS, 2005).

Quanto a sua classificação:

- PM - Convencional com piso de madeira;
- PE - Convencional com piso metálico;
- PD - Convencional com dispositivo para contêineres;
- PC - Para contêineres;
- PR - Com estrado rebaixado;
- PG - Para serviço piggyback;
- PP - Com cabeceira (bulkhead);
- PB - Para bobinas;
- PA - Com dois pavimentos para automóveis;

- PH - Com abertura telescópica;



Figura 40: Vagão do tipo plataforma
Fonte: SANTOS, 2005

- Vagões tipo tanque

Os vagões do tipo tanque (Figura 41), são utilizados para o transporte dos seguintes produtos: cimento a granel, derivados de petróleo claros e líquidos não corrosivos em geral (SANTOS, 2005).

Quanto a sua classificação:

- TC – Convencional;
- TS - Com serpentinas para aquecimento;
- TP - Para produtos pulverulentos;
- TF - Para fertilizantes;
- TA - para ácidos e líquidos corrosivos;
- TG - para gás liquefeito.



Figura 41: Vagão do tipo tanque
Fonte: SANTOS, 2005

- Vagões tipo especiais

Os vagões do tipo especiais (Figura 42), são utilizados para o transporte de produtos com características bem distintas das anteriores (SANTOS, 2005).

Quanto a sua classificação:

- ST - Torpedo (produtos siderúrgicos de alta temperatura);
- SB – Basculante;
- SP - Plataforma para lingotes, placas de aço, etc.;
- SG - Gôndolas para sucata, escórias, etc.



Figura 42: Vagão do tipo especial
Fonte: SANTOS, 2005

2.7 Planejamento urbano

O planejamento urbano é definido pela Constituição Federal Brasileira no Art. 182, tendo como objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. Remete a política de desenvolvimento urbano ao Poder Público Municipal, a partir de diretrizes gerais fixadas em lei.

Via de regra, o planejamento urbano é feito para um município ou para uma determinada região, como nos casos das Regiões Metropolitanas. Para estes é estabelecida, mediante legislação local, observados os índices estabelecidos em legislação superior (no caso do Brasil a NBR 10151 e NBR10152), a tolerância de ruído que deverá ser observada nos períodos matutino, vespertino e noturno, onde o Poder Público determina os limites máximos admitidos por período.

O planejamento urbano é fundamental na definição dos patamares e controle de emissões de ruídos. Através do Plano Diretor e de outros instrumentos de prevenção e controle é possível estabelecer mecanismos para combater à poluição sonora, como o

Zoneamento Urbano, o Estudo de Impacto Ambiental, o Relatório de Impacto Ambiental, etc. Desta forma, a concessão ou indeferimento de Licença Ambiental toma por molde o atendimento de todos os requisitos necessários para a manutenção dos padrões de qualidade ambientais.

No que diz respeito ao planejamento com vistas à qualificação do ambiente urbano, ressalta-se algumas recomendações:

- Planejar o zoneamento de uso e os índices urbanísticos para garantir boa qualidade da saúde e do sono do cidadão nas suas áreas residenciais e nas áreas onde as atividades de trabalho específico o exigirem;
- Organizar o tráfego interno nas áreas urbanas, dando prioridade ao transporte público e ao pedestre;
- Incentivar uso de veículos automotores e aparelhos domésticos e industriais, com nível adequado de emissão de ruído,
- Considerar os mecanismos de atenuação sonora ao ar livre (Figura 43) planejar as rodovias, corredores de tráfego, aeroportos e outras atividades urbanas barulhentas a partir de medidas que protejam a população;
- Equipar áreas urbanas com praças silenciosas e recreativas;
- Instalar sistema de controle preventivo de níveis máximos e médios de ruído ambiental em lugares públicos;
- Implantar a educação ambiental no currículo das escolas e em campanhas publicitárias.

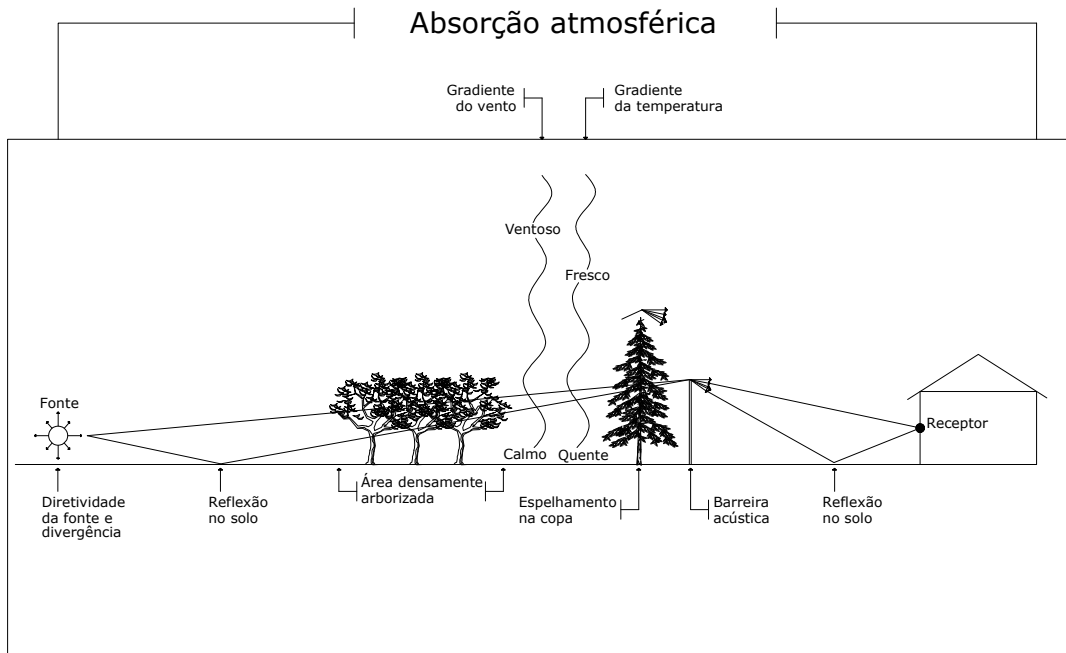


Figura 43: Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre
 Fonte: Anderson e Kurze apud Bistafa, 2006

3. METODOLOGIA

3.1 Classificação da pesquisa

Esta pesquisa pode ser classificada como estudo de caso.

Quanto aos procedimentos é uma pesquisa de campo, com observação e coleta de dados no local de estudo, e de fonte de papel, com pesquisa bibliográfica e documental.

Do ponto de vista da forma de abordagem a pesquisa pode ser classificada como quantitativa e qualitativa.

3.2 Planejamento da pesquisa

3.2.1 Procedimento de coleta e interpretação dos dados

Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica, onde se definiu conceitualmente assuntos como som, ruído, processos para mitigação de ruído, medição de ruído de circulação, transporte ferroviário e planejamento urbano. A partir da revisão bibliográfica, obteve-se suporte de informações necessárias para o entendimento da pesquisa.

A coleta dos dados foi realizada em dois pontos estratégicos da área urbana de Ijuí/RS, nas proximidades da linha férrea.

Para coleta dos dados foi utilizado o método de nível de pressão sonora equivalente em resposta rápida A (LAeq), estipulado pela NBR 10151 para medição de ruído flutuante em ambientes externos. A NBR 10151 preconiza que as medições sejam realizadas em pontos afastados aproximadamente 1,2 metros do piso e pelo menos a 2 metros de superfícies refletoras. Para o estudo, foram realizadas medições de ruído em três diferentes distâncias da linha férrea para cada ponto especificado, sendo elas: 15, 30 e 45 m. Foi estipulado estas distâncias em função da Lei Complementar nº 2.888 no Art. 12º do Plano Diretor do município de Ijuí/RS, na qual o mesmo especifica a faixa de domínio para a ferrovia de 15 m. As demais distâncias foram acrescidas deste valor para poder avaliar um perfil do ruído.

A norma NBR 10151 também recomenda que o decibelímetro utilizado possua recursos para medição de nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A” (LAeq), conforme a IEC 60804. Como o medidor de pressão sonora disponível não possui medição do

nível de pressão sonora equivalente LAeq, foi utilizado o modo alternativo para cálculo do LAeq descrito abaixo (Equação 2).

$$\text{Equação 2: } L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}$$

onde:

- L_i é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5 segundos, durante pelo menos cinco minutos;
- n é o número total de leituras.

3.2.2 Estudo de Caso

O estudo de caso foi desenvolvido na Rua José Gabriel *Site A*, e na Rua das Chácaras, *Site B* ambas situadas na área urbana de Ijuí/RS.

Para melhor localização geográfica dos lugares investigados na Figura 44 observa-se o mapa parcial da área urbana de Ijuí/RS, assinalado por dois círculos, que identificam os locais de avaliação do estudo.

Os *Sites* estudados estão situados numa área mista, que segundo a Lei Complementar nº 2.887 no Art. 19º “Destina-se à multiplicidade de usos, incluindo variadas atividades econômicas e o uso residencial permanente que, para a convivência conjunta, devem ser adequados à capacidade instalada ou projetada da infra-estrutura, sem prejuízo da utilização compatível com a qualidade ambiental, com a segurança e a saúde da coletividade”. (PREFEITURA MUNICIPAL DE IJUÍ/RS, 1993).

De acordo com a Lei Complementar nº 2.888 no Art. 12º “Ao Longo das águas correntes e dormentes e das faixas de domínio das rodovias, *ferrovias*, dutos e linhas de transmissão de energia é obrigatória a reserva de uma faixa “non aedificandi” de 15 (quinze) metros de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica”. (PREFEITURA MUNICIPAL DE IJUÍ/RS, 1993).

No que se refere à questão do ruído urbano em Ijuí/RS a uma lei nº 4.543, que estabelece normas especiais à garantia do sossego público, o funcionamento de bares e similares no município. Salienta-se, entretanto que para os *Sites* estudados a mesma não estabelece nenhuma especificação (PREFEITURA MUNICIPAL DE IJUÍ/RS, 2006).

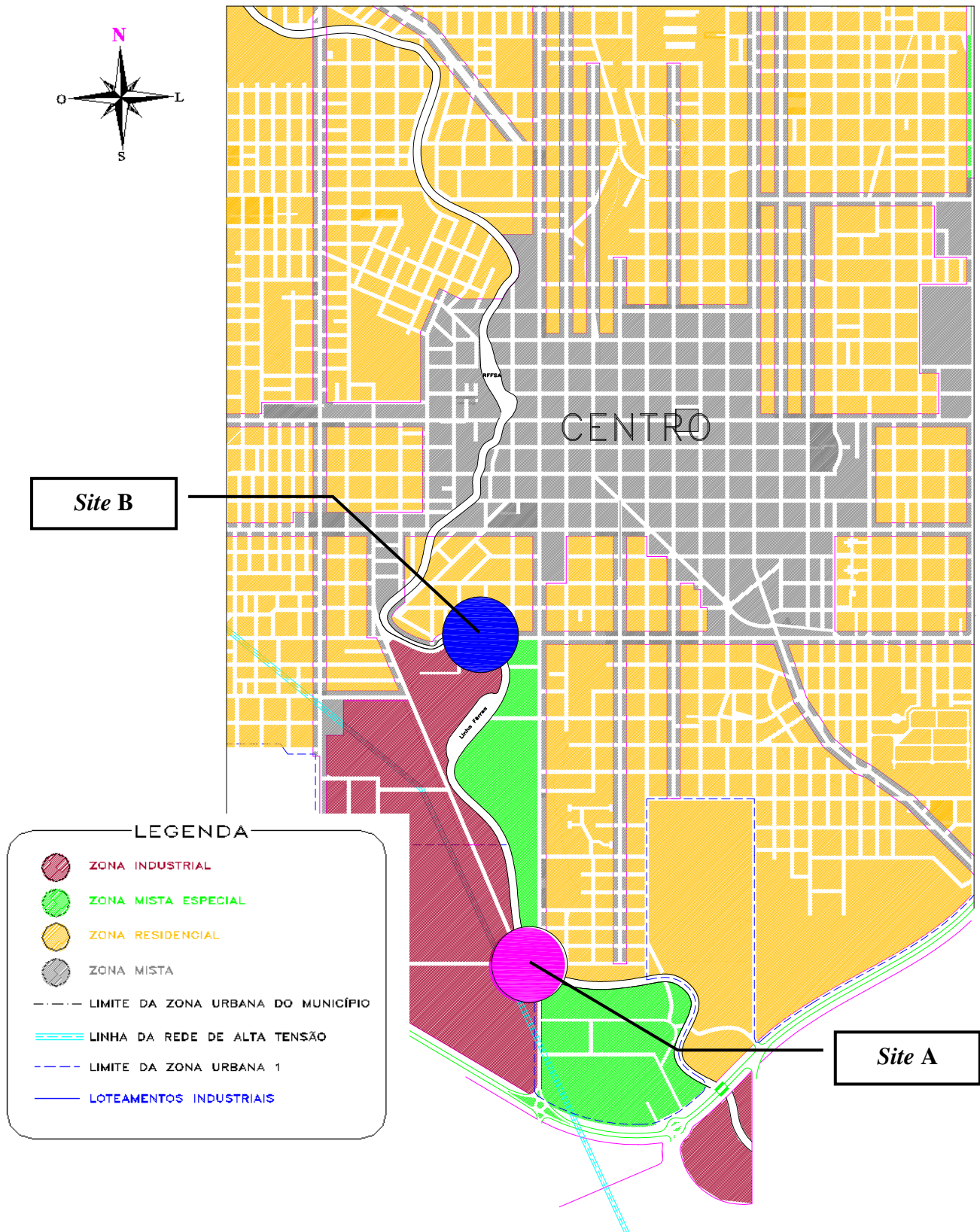


Figura 44: Mapa parcial da área urbana de Ijuí/RS
 Fonte: Adaptado do Mapa do plano diretor de Ijuí/RS, 2009

A Figura 45 apresenta na forma esquemática o posicionamento do medidor do nível de pressão sonora emitido pelo tráfego, na primeira distância a ser analisada de 15,0 m.

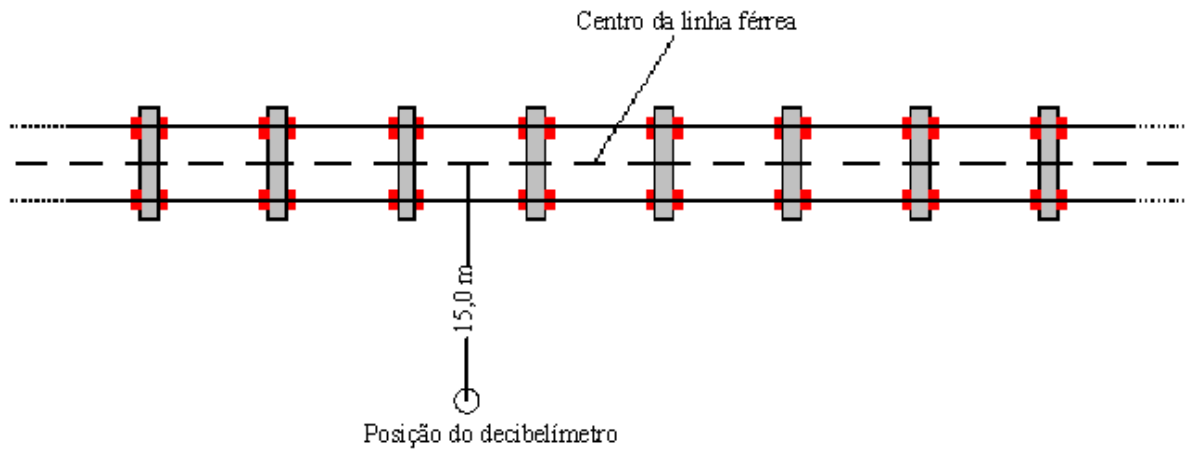


Figura 45: Vista superior do posicionamento do medidor do nível de pressão sonora

Abaixo na Figura 46 local de estudo do *Site A* na Rua José Gabriel. E na Figura 47 local de estudo do *Site B* na Rua das Chácaras.



Figura 46: Vistas parciais do *Site A*
Fonte: Autoria própria, 2009



Figura 47: Vistas parciais do *Site B*
Fonte: Autoria própria, 2009

As Figuras 48 e 49 ilustram a imagem de satélite do *Site A*, e a imagem de satélite do *Site B*. Pode-se observar a distribuição das residências ao entorno da linha férrea.



Figura 48: Imagem de satélite *Site A*
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2009

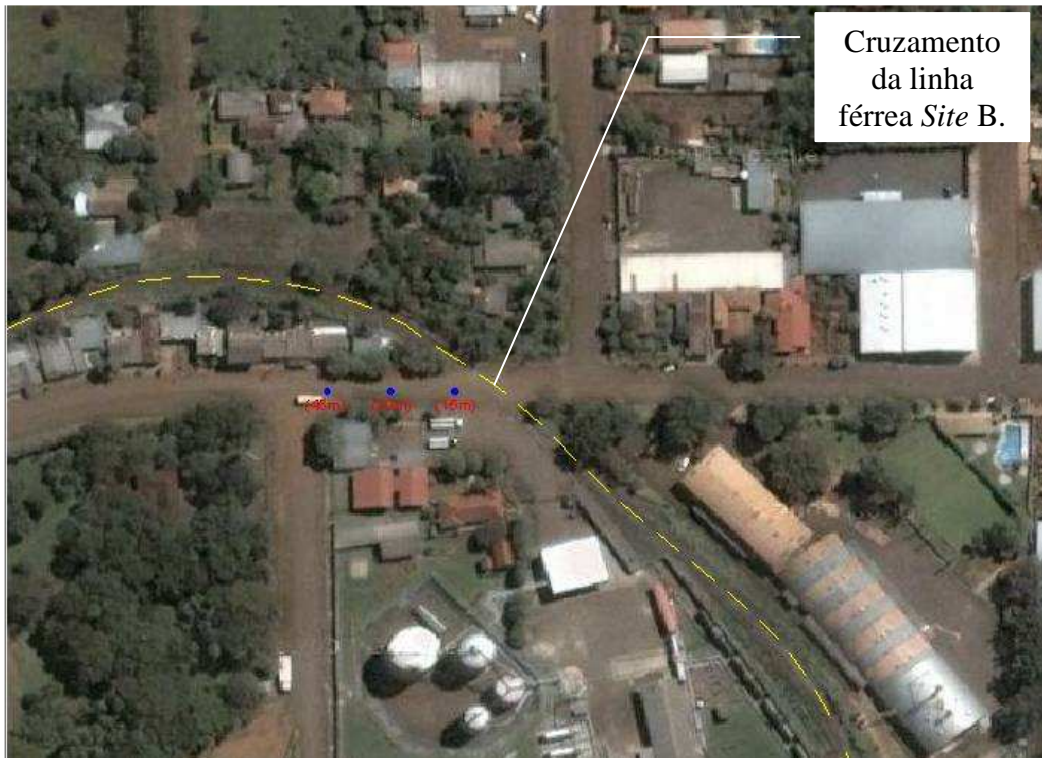


Figura 49: Imagem de satélite *Site B*
Fonte: Adaptado de Google Earth, 2009

A coleta dos dados foi realizada no mês de julho e agosto de 2009. Foram feitas medições de ruído para um trem carregado de grãos contendo duas locomotivas diesel-elétrica modelo G12 com 1425hp (capacidade de tração de 1300 T e rodagem B-B) e 15 vagões tipo hopper. Sua circulação é da cidade de Santo Ângelo para a cidade de Cruz Alta, passando por Ijuí. Também foi realizada a medição de ruído de fundo provocado somente pela cidade. Todas as medições foram feitas nas distâncias de 15,30 e 45m do eixo da linha férrea, para os dois *Sites* estudados.

A Figura 50 mostra a locomotiva diesel-elétrica modelo G12, e a Figura 51, o vagão tipo hopper, ambos utilizados pela ALL, empresa concessionária da ferrovia.



Figura 50: Locomotiva modelo G12
Fonte: ANTF, 2009



Figura 51: Vagão tipo hopper
Fonte: ANTF, 2009

Nas Figuras 52 e 53 observa-se a medição de ruído do trem no *Site A* e a medição de ruído do trem no *Site B*.



Figura 52: Medição ruído do trem *Site A*
Fonte: Autoria própria, 2009



Figura 53: Medição ruído do trem *Site B*

Fonte: A autoria própria, 2009

Foram também medidas as velocidades dos trens, na qual foi utilizadas estacas de madeira posicionadas em uma distância conhecida e com o auxílio de um cronômetro era possível determinar o tempo necessário para o trem percorrer a distâncias conhecida entre as estacas, através disto a média de velocidade encontrada no *Site A* foi de 23,25 km/h, já no *Site B* a média de velocidade encontrada foi de 19,04 km/h.

Foi aplicado um questionário aos moradores próximos aos *Sites* estudados, contendo perguntas referentes a percepção do ruído originado pelo trem em quatro distâncias 15,30,45 e mais de 45m.

O questionário (Anexo B) foi elaborado com 8 questões. Foram entrevistados 14 pessoas no *Site A*; destas 57,1% pertencem ao sexo feminino e 42,9% pertencem ao sexo masculino. No *Site B* foram entrevistados 17 pessoas; destas 52,9% pertencem ao sexo masculino e 47,1% pertencem ao sexo feminino.

De acordo com a distribuição dos respondentes por faixa etária, no *Site A*, à maior porcentagem encontrada é de pessoas de mais de 60 anos com 36% seguido de 22% para pessoas de 50 à 60 anos. Já para o *Site B* à maior porcentagem encontrada é de pessoas de 20 à 30 anos com 35%, seguido de 24% para pessoas de 10 à 20 anos.

De acordo com a distribuição dos respondentes pela distância de suas moradias em relação a linha férrea, no *Site A*, à maior porcentagem encontrada mostra que 36% dos entrevistados moram a 30 m do eixo da linha férrea. Para o *Site B* à maior porcentagem encontrada mostra que 47% dos entrevistados moram a 45 m do eixo da linha férrea.

3.2.3 Materiais e equipamentos

A coleta de dados referente ao nível de pressão sonora foi realizada utilizando-se um decibelímetro marca Minipa MSL-1351C com LCD de 4 dígitos, em escala *medium* 50 -100 dB, em escala (A). Os demais equipamentos (Figura 54) foram: trena de 50 metros, cronômetro, termo higrômetro, máquina fotográfica e um tripé para apoiar o decibelímetro na altura preconizada pela norma (1,20 m).



Figura 54: Equipamentos utilizados na medição dos ruídos
Fonte: Autoria própria, 2009

Além destes equipamentos também foram utilizados:

- Uma planilha para levantamento dos dados (Anexo A);
- Questionário aplicado aos moradores próximos aos *Sites* estudados (Anexo B).

Após a coleta de dados, computou-se os dados com o auxílio do programa *MicroSoft EXCEL* (planilha de coleta de dados referente aos ruídos, encontra-se no Anexo A), onde pode-se determinar para os dois *Sites* o LAeq provocado somente pela passagem do trem, o LAeq total com duração de 5min na qual é preconizado pela NBR 10151 e o LAeq obtido pelo ruído da cidade, nas três diferentes distâncias do eixo da linha férrea: 15, 30 e 45m.

Após a aplicação do questionário para as pessoas residentes próximas aos *Sites* estudados, computou-se os mesmos com o auxílio do programa *MicroSoft EXCEL* (o

questionário aplicado aos moradores próximos aos *Sites* estudados, encontram-se no Anexo B).

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Dados dos níveis de pressão sonora dos *Sites* estudados

O Quadro 4 apresenta o resumo geral dos dados encontrados do nível de pressão sonora equivalente LAeq, do *Site A* e *Site B*, com o ruído provocado somente pela passagem do trem e o ruído total, ou seja, o ruído do trem mais o ruído provocado pela cidade durante os 5 min estabelecidos pela norma NBR 10151. Com os resultados obtidos, foram gerados os gráficos de pressão sonora por distância.

Quadro 4: Resumo dos dados obtido com o ruído do trem e o ruído total no *Site A* e *Site B*

Distâncias (m)	<i>Site A</i>		<i>Site B</i>	
	Trem dB(A)	T= 5min dB(A)	Trem dB(A)	T= 5min dB(A)
15	93,73	85,58	92,79	85,52
30	88,69	81,60	88,80	82,32
45	86,85	79,72	85,71	78,19

Pode-se verificar que existe uma redução no ruído conforme aumentamos a distância em relação à linha férrea o que pode ser facilmente identificado na Figura 55 correspondente ao ruído provocado somente pelo trem e o ruído total dos *Sites* estudados.

A partir disto podemos concluir que ao distanciarmos as edificações em no mínimo 45 metros do eixo da linha férrea obteremos uma redução de até 6,88 decibéis para o ruído somente do trem no *Site A*.

Para o ruído provocado somente pelo trem no *Site B* verifica-se, que também sofre um redução da pressão sonora conforme nos afastamos do eixo da linha férrea. A redução da pressão sonora foi de 7,08 decibéis para um afastamento de 45 metros.

De acordo com o Quadro 1 apresentado no item 2.2.2, o nível de critério de avaliação (NCA) estabelecido pela NBR 10151 para ambientes externos em zonas de ocupação mista com vocação comercial e administrativa é de 60dB(A). Portanto o ruído provocado pelo trem se encontra acima do permitido, mesmo utilizando o afastamento nas edificações de 45

metros. O que vale salientar é que o ruído provocado pelo trem não é um ruído constante, ou seja, ocorre somente nos horários de sua circulação.

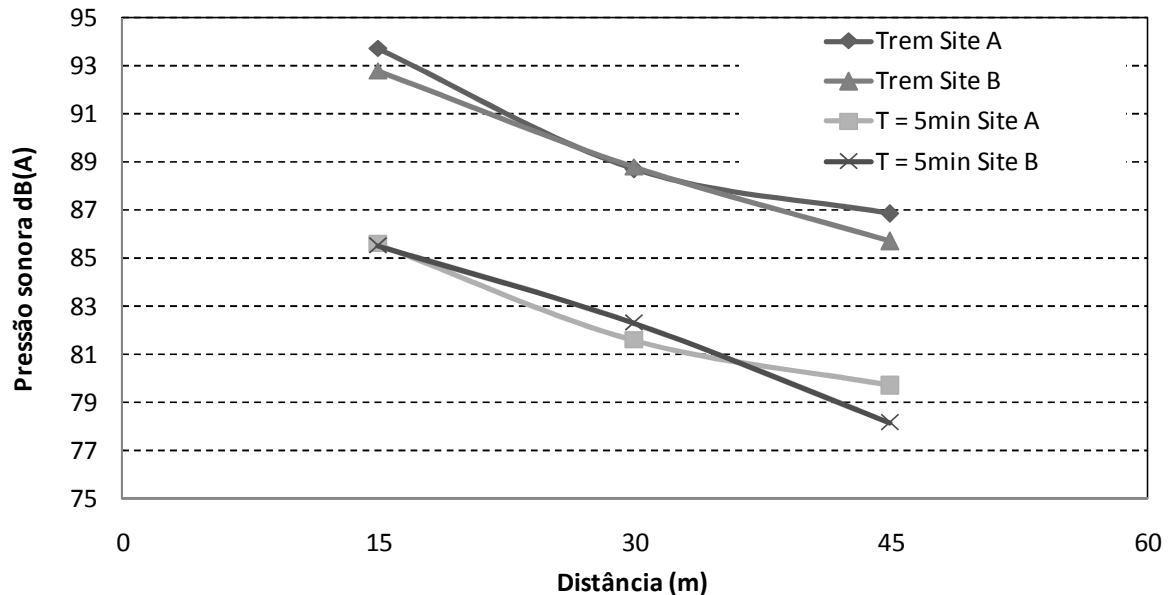


Figura 55: Ruído do trem e ruído total

Através dos resultados obtidos (Figura 55) foi gerado uma equação matemática para cada medição do transporte ferroviário. Estas equações possuem a função de auxiliar na obtenção de ruídos de acordo com a distância estipulada. Cabe citar que as equações geradas são para ambientes urbanos que se encontram nas mesmas condições na qual o trabalho foi elaborado.

- Equação 3 referente ao Trem *Site A*:

$$\text{Equação 3: Ruído dB(A)} = - 0,229 * \text{Distância} + 96,64$$

$$\mathbf{R^2 = 0,933}$$

- Equação 4 referente ao Trem *Site B*:

$$\text{Equação 4: Ruído dB(A)} = - 0,236 * \text{Distância} + 96,18$$

$$\mathbf{R^2 = 0,994}$$

- Equação 5 referente ao T = 5min *Site A*:

$$\text{Equação 5: Ruído dB(A)} = - 0,195 * \text{Distância} + 88,16$$

$$R^2 = 0,959$$

- Equação 6 referente ao T = 5min *Site B*:

$$\text{Equação 6: Ruído dB(A)} = - 0,244 * \text{Distância} + 89,34$$

$$R^2 = 0,994$$

O Quadro 5 apresenta o resumo geral dos dados encontrados do nível de pressão sonora equivalente LAeq, do *Site A* e *Site B*, provocados pela cidade.

Quadro 5: Resumo dos dados obtido com o ruído da cidade

Distâncias (m)	<i>Site A</i>	<i>Site B</i>
	Ruído Cidade dB (A)	Ruído Cidade dB (A)
15	67,15	63,78
30	64,58	70,02
45	67,97	71,06
Média	66,56	68,29

Através dos dados obtidos com os ruídos provocados pela cidade, foram gerados gráficos de pressão sonora por distância, onde foi comparado o ruído da cidade com o ruído do trem e o ruído total, conforme Figuras 56 e 57. Podemos verificar que o ruído somente do trem e o ruído total ficaram acima dos ruídos provocados pela cidade.

Conforme o Quadro 1 apresentado no item 2.2.2, o nível de critério de avaliação (NCA) estabelecido pela NBR 10151 para ambientes externos em zonas de ocupação mista com vocação comercial e administrativa é de 60dB(A). Segundo o zoneamento do plano diretor de Ijuí/RS os *Sites* estudados classificam-se como zona de ocupação mista, portando os valores encontrados de 66,56 e 68,29dB(A) (Quadro 5) são superiores ao estabelecido pela norma.

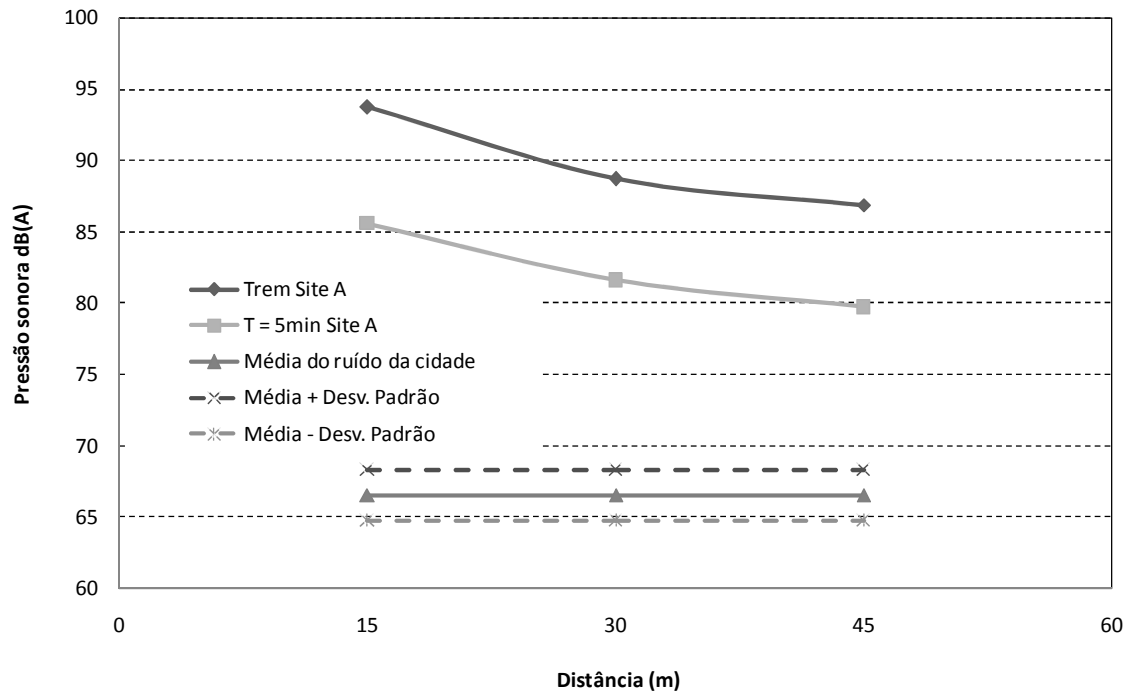


Figura 56: Ruído do trem e total comparado com o ruído da cidade no *Site A*

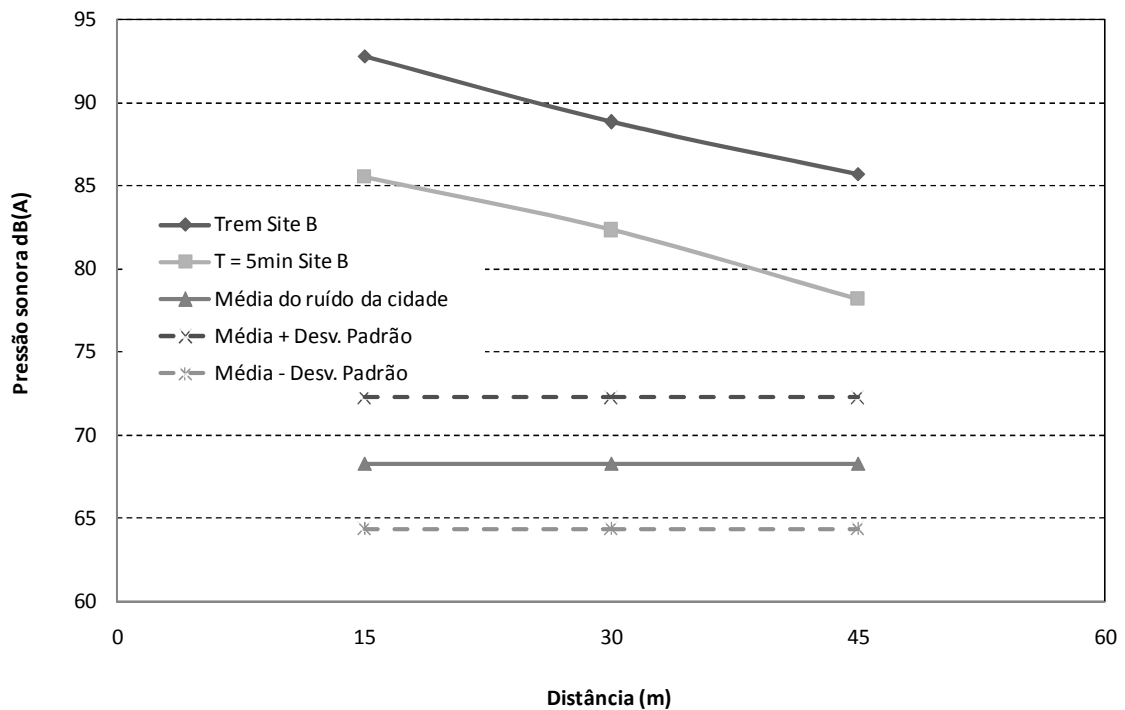


Figura 57: Ruído do trem e total comparado com o ruído da cidade no *Site B*

Na figura 58 e 59 foram gerados gráficos de pressão sonora por distância, onde foi comparada a diferença de ruído provocado pelo trem e trem total 5 min. comparados com o ruído provocado pela cidade para ambos os *Sites*.

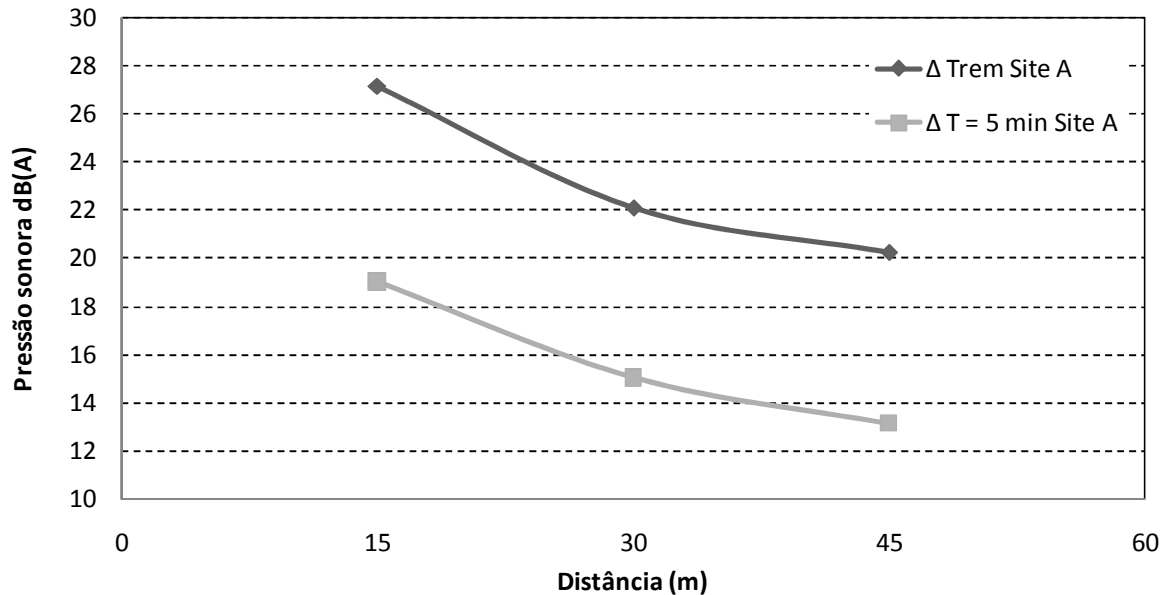


Figura 58: Variação do ruído provocado pelo trem e total comparado com o ruído da cidade no *Site A*

Através dos resultados obtidos (Figura 58) foi gerado uma equação matemática para cada variação de medição do transporte ferroviário com o ruído provocado pela cidade no *Site A*.

- Equação 7 referente a Δ Trem *Site A*:

$$\text{Equação 7: Ruído dB(A)} = -0,229 * \text{Distância} + 30,08$$

$$R^2 = 0,933$$

Utilizando uma distância de 132 metros do eixo da linha férrea para Δ Trem *Site A*, os efeitos dos ruídos estariam completamente anulados.

- Equação 8 referente a $\Delta T = 5$ min *Site A*:

$$\text{Equação 8: Ruído dB(A)} = - 0,195 * \text{Distância} + 21,60$$

$$R^2 = 0,959$$

Utilizando uma distância de 111 metros do eixo da linha férrea para $\Delta T = 5$ min *Site A*, os efeitos dos ruídos estariam completamente anulados.

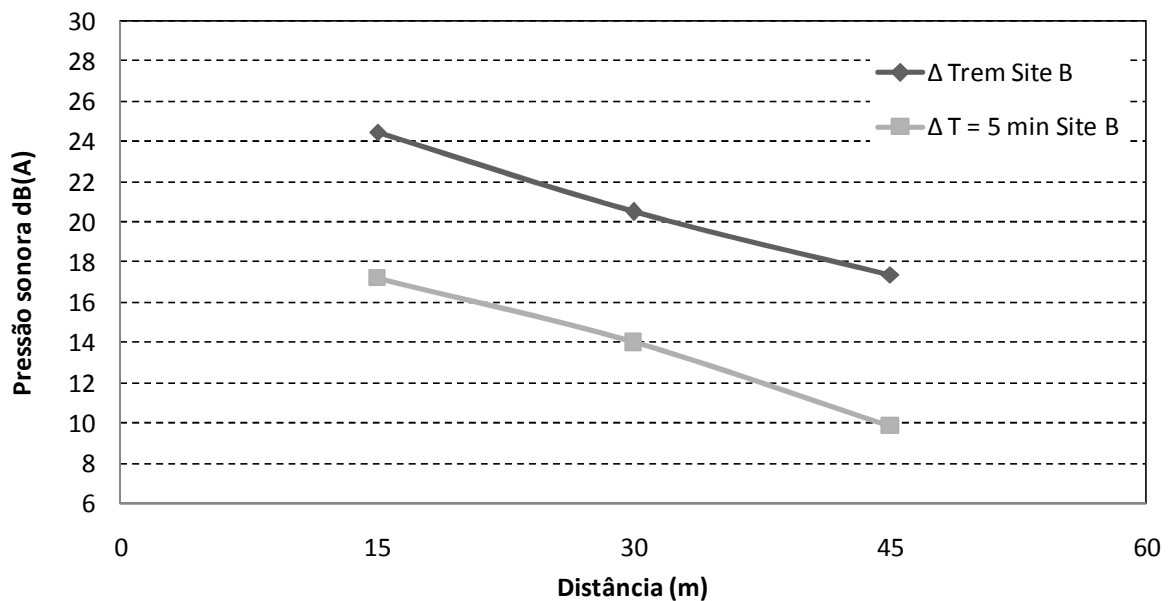


Figura 59: Variação do ruído provocado pelo trem e total comparado com o ruído da cidade no *Site B*

Através dos resultados obtidos (Figura 59) foi gerado uma equação matemática para cada variação de medição do transporte ferroviário com o ruído provocado pela cidade no *Site B*.

- Equação 9 referente a Δ Trem *Site B*:

$$\text{Equação 9: Ruído dB(A)} = - 0,236 * \text{Distância} + 27,89$$

$$R^2 = 0,994$$

Utilizando uma distância de 118 metros do eixo da linha férrea para ΔT Trem *Site B*, os efeitos dos ruídos estariam completamente anulados.

- Equação 10 referente a $\Delta T = 5$ min *Site B*:

$$\text{Equação 10: Ruído dB(A)} = - 0,244 * \text{Distância} + 21,05$$

$$R^2 = 0,994$$

Utilizando uma distância de 86 metros do eixo da linha férrea para $\Delta T = 5$ min *Site B*, os efeitos dos ruídos estariam completamente anulados.

Fica patente que distâncias acima de 80m seriam necessárias para preservar a saúde e o conforto ambiental das pessoas que vivem nas proximidades da linha férrea. Evidentemente que se utilizadas barreiras naturais (taludes, gramados e arborização) este valor poderá ser reduzido.

4.2 Avaliação do questionário aplicado aos moradores

Os resultados encontrados seguem abaixo através de tabelas e gráficos. No Quadro 6 observa-se a distribuição dos respondentes de acordo com a percepção em relação ao ruído do trem.

Quadro 6: Distribuição dos respondentes de acordo com a percepção ao ruído do trem

Intensidade do Ruído	Site A		Site B	
	n	%	n	%
Pouco intenso	7	50,0	5	29,41
Intenso	2	14,28	3	17,65
Muito intenso	3	21,43	3	17,65
Total	12	85,7	11	64,71
Sem resposta	2	14,29	6	35,29
Total	14	100,0	17	100,0

Verifica-se entre as questões respondidas que o maior número de respondentes 50,0% no *Site A* e 29,41% no *Site B* (Quadro 6) relataram ser pouco intenso o ruído provocado pelo trem.

As Figuras 60 e 61 apresentam os gráficos gerados pelo (Quadro 6) para o *Site A* e *Site B*.

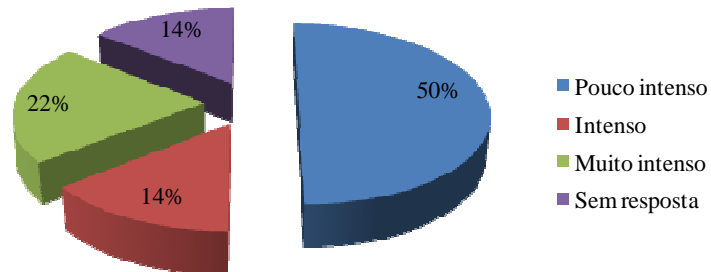


Figura 60: Distribuição dos respondentes de acordo com a percepção ao ruído do trem *Site A*

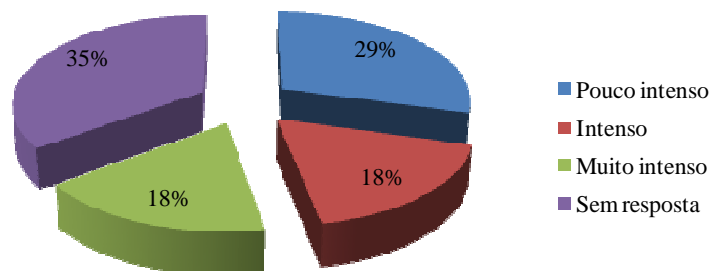


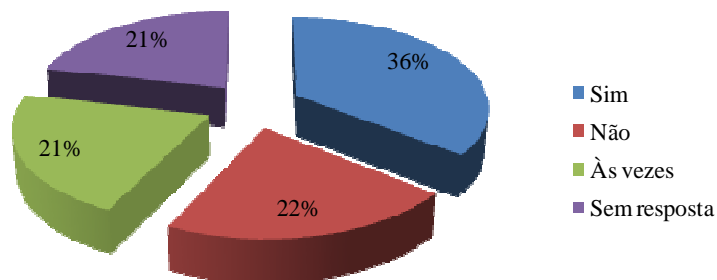
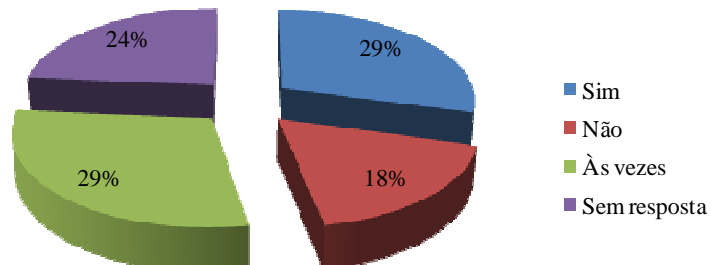
Figura 61: Distribuição dos respondentes de acordo com a percepção ao ruído do trem *Site B*

O Quadro 7 e as figuras 62 e 63 apresentam a distribuição dos respondentes de acordo com o ruído do trem ser incômodo.

Quadro 7: Distribuição dos respondentes de acordo com o ruído do trem ser incômodo

O ruído lhe é incômodo	Site A		Site B	
	n	%	n	%
Sim	5	35,7	5	29,4
Não	3	21,4	3	17,6
Às vezes	3	21,4	5	29,4
Total	11	78,6	13	76,5
Sem resposta	3	21,4	4	23,5
Total	14	100,0	17	100,0

Verifica-se entre as questões respondidas que o maior número de respondentes 35,7% no *Site A* e 29,4% no *Site B* (Quadro 7) relataram ser incômodo o ruído do trem.

**Figura 62:** Distribuição dos respondentes de acordo com o ruído do trem ser incômodo *Site A***Figura 63:** Distribuição dos respondentes de acordo com o ruído do trem ser incômodo *Site B*

No Quadro 8 e figuras 64 e 65 observa-se a distribuição dos respondentes de acordo com os ruídos da rua que mais causam incômodo.

Quadro 8: Distribuição dos respondentes de acordo com os ruídos da rua que mais causam incômodo

Tipos de ruído	Site A		Site B	
	n	%	n	%
Trasporte ferroviário	3	21,4	7	41,2
Trânsito	5	35,7	2	11,8
Construção civil	0	0,0	0	0,0
Total	8	57,1	9	52,9
Sem resposta	6	42,9	8	47,1
Total	14	100,0	17	100,0

Verifica-se entre as questões respondidas que 35,7% dos respondentes no *Site A* afirmaram ser o trânsito o ruído que mais lhes causam incômodo. No *Site B* a maioria dos respondentes 41,2% relatou ser o transporte ferroviário o ruído que mais lhes causam incômodo (Quadro 8).

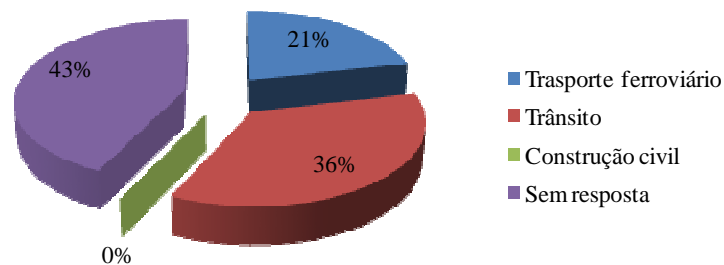


Figura 64: Distribuição dos respondentes de acordo com os ruídos da rua que mais causam incômodo *Site A*

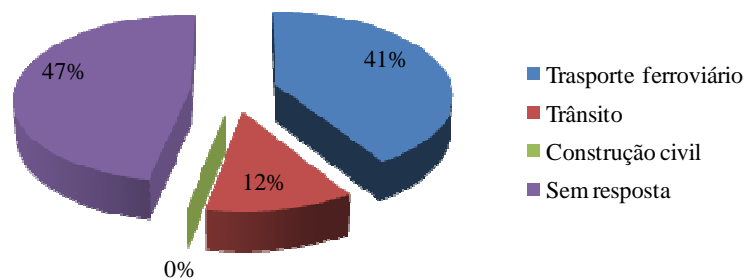


Figura 65: Distribuição dos respondentes de acordo com os ruídos da rua que mais causam incômodo *Site B*

O Quadro 9 e as figuras 66 e 67 ilustram a distribuição dos respondentes de acordo com o período do dia em que os ruídos causam mais incômodo.

Quadro 9: Distribuição dos respondentes de acordo com o período do dia em que os ruídos causam mais incômodo

Período	<i>Site A</i>		<i>Site B</i>	
	n	%	n	%
Manhã	2	14,3	5	29,4
Tarde	1	7,1	1	5,9
Noite	4	28,6	4	23,5
Total	7	50,0	10	58,8
Sem resposta	7	50,0	7	41,2
Total	14	100,0	17	100,0

Verifica-se entre as questões respondidas que 28,6% dos respondentes no *Site A* afirmaram ser o período da noite onde o ruído mais causa incômodo. No *Site B* a maioria dos respondentes 29,4% relatou ser o período da manhã onde o ruído mais causa incômodo (Quadro 9).

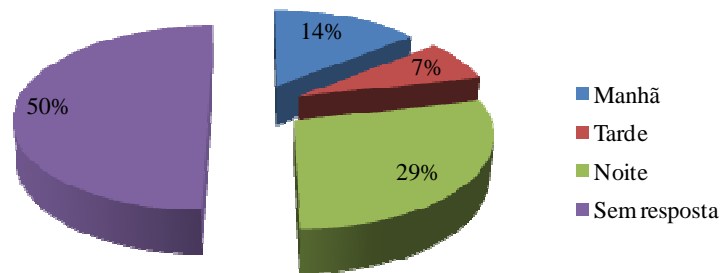


Figura 66: Distribuição dos respondentes de acordo com o período do dia em que os ruídos causam mais incômodo *Site A*

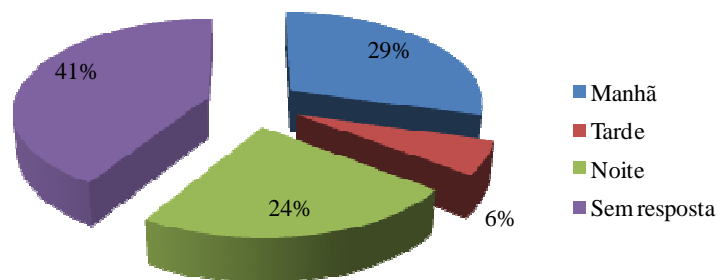


Figura 67: Distribuição dos respondentes de acordo com o período do dia em que os ruídos causam mais incômodo *Site B*

Quanto à questão de nº 7 do questionário referente o dia da semana em que os ruídos causam mais incômodo, a mesma obteve 100% para ambos os *Sites*, no item “sem resposta”, sendo assim seu resultado foi descartado.

No Quadro 10 e figuras 68 e 69 observa-se a distribuição dos respondentes de acordo com os transtornos causados pelos ruídos.

Quadro 10: Distribuição dos respondentes de acordo com os transtornos causados pelos ruídos

Sintoma	Site A		Site B	
	n	%	n	%
Irritabilidade	4	28,6	3	17,6
Baixa concentração	0	0,0	0	0,0
Insônia	1	7,1	2	11,8
Dor de cabeça	1	7,1	4	23,5
Total	6	42,9	9	52,9
Sem resposta	8	57,1	8	47,1
Total	14	100,0	17	100,0

Verifica-se entre as questões respondidas que 28,6% dos respondentes no *Site A* que irritabilidade é o sintoma mais percebido. No *Site B* a maioria dos respondentes 23,5% relatou que dor de cabeça é o sintoma mais percebido (Quadro 10).

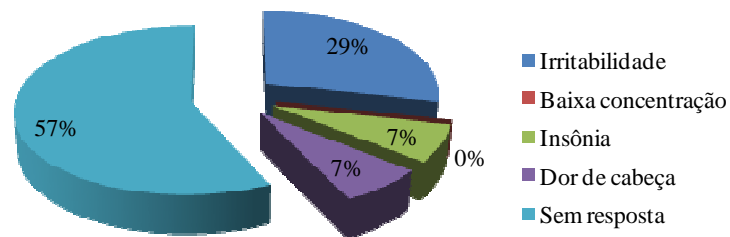


Figura 68: Distribuição dos respondentes de acordo com os transtornos causados pelos ruídos *Site A*

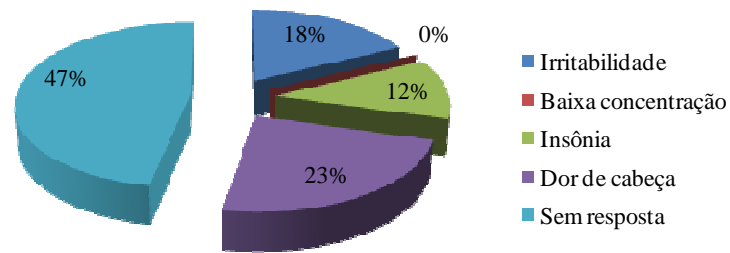


Figura 69: Distribuição dos respondentes de acordo com os transtornos causados pelos ruídos *Site B*

Com estes dados podemos obter uma idéia geral sobre o que a população residente percebe em relação a influência dos ruídos, tanto do transporte ferroviário, quanto do próprio trânsito urbano, na qual é bem significativo nos *Sites* estudados.

De acordo com a maioria dos respondentes pode-se perceber que não existe uma relação direta entre a insatisfação do morador pelo ruído e a distância de sua residência em relação a linha férrea, conforme foi proposto o mesmo. O que foi constatado é que pessoas que moram a pouco tempo no local é que se sentem incomodadas pelo ruído gerado e que pessoas que residem a mais tempo no local, não sentem incomodo algum. Portanto a avaliação da residência através das distâncias estipuladas foi descartada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

O presente trabalho buscou verificar o perfil do ruído causado pelo transporte ferroviário nos trechos localizados na Rua José Gabriel *Site A*, e na Rua das Chácaras *Site B*, em Ijuí/RS.

Para realização das medições, foi utilizado o método de nível de pressão sonora equivalente em resposta rápida (A) (LAeq), estabelecido pela NBR 10151 para medição de ruído flutuante em ambientes externos. Este método mostrou-se seguro e confiável, portanto seus resultados foram considerados satisfatórios.

Mediante os resultados, constatou-se que o ruído sofre redução conforme se aumenta a distância em relação à linha férrea. A partir disto pode-se indicar que deve-se distanciar as edificações em no mínimo 45 metros do eixo da linha férrea, uma vez que obteve-se nesta distância, uma redução de 6,88dB(A) para o ruído do trem no *Site A*, e 7,08dB(A) para o *Site B*.

O nível de critério de avaliação (NCA) estabelecido pela NBR 10151 para ambientes externos em zonas de ocupação mista com vocação comercial e administrativa é de 60dB(A). Os resultados demonstraram que o ruído provocado pelo trem acarreta níveis de ruído superiores aos recomendados pela norma, mesmo utilizando o afastamento nas edificações de 45 metros. O que vale salientar é que o ruído provocado pelo trem não é um ruído constante, ou seja, ocorre somente nos horários de sua circulação, o que pode ser variável em cada caso específico estudado.

Quanto aos ruídos provocados pelas atividades cotidianas da cidade, os valores encontrados foram de 66,56dB(A) para o *Site A* e 68,29dB(A) para o *Site B*. A partir destes resultados, também concluiu-se que os mesmos se encontram acima dos 60dB(A) estabelecido pela NBR 10151 com zona de ocupação mista de vocação comercial e administrativa.

Referente ao questionário aplicado aos moradores próximos aos *Sites* estudados, o mesmo buscou complementar as medições, através da percepção da população quanto aos

ruídos do local. Com os dados foi constatado que pessoas que moram a pouco tempo no local é que se sentem incomodadas pelo ruído e as que residem a mais tempo não sentem incomodo algum.

Ao findar o trabalho, me sinto satisfeito e realizado, pois foi possível realizar uma pesquisa inédita em Ijuí/RS, aprofundando o conhecimento do tema nos locais estudados, o qual poderá ser utilizado para consultas de projetos futuros. Acredita-se que este assunto é de grande importância principalmente nos dias de hoje, onde diante do desenvolvimento industrial, tecnológico e urbano das cidades, o transporte ferroviário tem se tornado um grande aliado tanto na locomoção de pessoas ou produtos. Portanto o trabalho possui grande valia, pois os transportes de um modo geral estão se tornando grandes fontes de poluição sonora.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como continuidade do presente trabalho sugere-se:

- Fazer medições em horários noturnos, já que o trabalho foi realizado em horários diurnos;
- Verificar o ruído pelo transporte ferroviário em outros trechos de Ijuí/RS;
- Fazer um estudo sobre qual a melhor forma para mitigar os ruídos gerados;
- Realizar o mesmo trabalho em outra cidade que também possui um transporte ferroviário intenso e fazer comparações.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimentos**: NBR 10151, Rio de Janeiro, Junho de 2000, 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Níveis de ruído para conforto acústico**: NBR 10152, Rio de Janeiro, Dezembro de 1987, 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Guia de execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem**: NBR 7731, Rio de Janeiro, Fevereiro de 1983, 4p.

ALARCÃO, D., COELHO J. L. **Modelação de ruído de tráfego ferroviário**: Universidade de Coimbra, Portugal, 2008.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. Disponível em: <http://www.antf.org.br/cgi-bin/PageSvrex.exe/Get?id_sec=29>. Acesso em: Setembro de 2009.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**: São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.

BURGESS, M. Trends in traffic noise research over 25 years. In: **Congresso Internacional de Engenharia de Controle de Ruído**, 1996, Liverpool. Anais ... Liverpool: INTERNOISE'96, 1996. p.371-76.

CAMAROTTO, J.A. **Uso de Protetores Auriculares: Estudo e Avaliação**: COPPE/UFRJ. 1983. Dissertação, Tese de M.Sc., Rio de Janeiro, 1983.

FERNANDES, J. C. **O ruído ambiental: Seus efeitos e seu controle**. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNESP. Campus de Bauru, São Paulo, 2002.

GARCIA, A G., MOLTÓ, V.S., MARTINS, A E., sem data, **“Influência de los Pavimentos Urbanos em el Ruído Del Tráfico”**.

GERGES, S. N. Y. **Ruído fundamentos e controle**, Florianópolis: Ed. NR Editora, 2000.

KRAUSE, B. C. *et.all.* **Bioclimatismo no projeto de arquitetura: dicas de projeto.** Universidade Federal do Rio de Janeiro UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.

NUNES, M. F. de O. **Medidas para atenuação do ruído de tráfego urbano para o conforto da comunidade em áreas residenciais.** Porto Alegre, RS. 1995. p. 172-180. In: Encontro Nacional e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 3º e 1º, Gramado, 1995. Conferência.

PEREIRA, A., COELHO J. L. **Previsão de ruído de tráfego ferroviário em Portugal.** Lisboa, Portugal, 2004.

PORTO, G. T. **Ferrovias.** Escola politécnica da universidade de São Paulo , 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IJUÍ/RS, Lei Complementar nº 2. 887: **Lei do Uso e Ocupação do Solo Urbano de Ijuí/RS.** 1993, p. 01-44. In: _____. Lei Complementar nº 2.888: **Lei do Parcelamento do Solo para Fins Urbanos de Ijuí/RS.** 1993, P. 01-14. In: _____. Lei nº 4.543: **Lei do Silêncio.** 2006, p. 01-04.

SANDEMBERG, U. (2001) **Tyre/road noise – myths and realities.** In: 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. Anais... The Hauge, p.01-22.

SANTOS, S. **Estudo sobre a participação do modal ferroviário no transporte de cargas no Brasil:** UFSC. 2005. Dissertação, Tese de M.Sc., Florianópolis, 2005.

TEIXEIRA, S.C. **Impactos Ambientais Sonoros: Um Modelo de Gestão Sustentável,** COPPE/UFRJ . 2000. Tese de D.Sc., Rio de Janeiro, 2000.

Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public Space CROW. **Technical Regulations for Methods of Measuring Emission Rail Traffic.** Disponível em: <<http://www.innovatieprogrammagemuid.nl/GBpage.asp?id=1057>> . Acesso em: 15 abril, 2009.

World Health Organization. **Guidelines for Community Noise.** Disponível em: <<http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>>. Acesso em: janeiro de 2008.

ANEXO A

Planilha de levantamento de dados

<i>Local</i>	<i>Loc./Vagão</i>	<i>Dia</i>	<i>Horário</i>	<i>UR(%)</i>	<i>Temp. Ar (°C)</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Ruído (db)</i>	<i>Tempo (s)</i>	<i>Ruído (db)</i>
						00:00		02:35	
						00:05		02:40	
						00:10		02:45	
						00:15		02:50	
						00:20		02:55	
						00:25		03:00	
						00:30		03:05	
						00:35		03:10	
						00:40		03:15	
						00:45		03:20	
						00:50		03:25	
						00:55		03:30	
						01:00		03:35	
						01:05		03:40	
						01:10		03:45	
						01:15		03:50	
						01:20		03:55	
						01:25		04:00	
						01:30		04:05	
						01:35		04:10	
						01:40		04:15	
						01:45		04:20	
						01:50		04:25	
						01:55		04:30	
						02:00		04:35	
						02:05		04:40	
						02:10		04:45	
						02:15		04:50	
						02:20		04:55	
						02:25		05:00	
						02:30			

Medição à =

ANEXO B

Questionário aplicado aos moradores

Questionário aplicado aos moradores da Rua José Gabriel *Site A* e Rua das Chácaras *Site B*, na cidade de Ijuí/RS.

“Ruído do transporte ferroviário e urbano”

Distâncias da moradia em relação ao eixo da linha férrea:

15 metros 30 metros 45 metros mais de 45 metros

Local:

Rua José Gabriel *Site A*

Rua das Chácaras *Site B*

1. Sexo:

masculino

feminino

2. Idade:

10 a 20 anos 30 a 40 anos 50 a 60 anos

20 a 30 anos 40 a 50 anos mais de 60 anos

3. Qual a sua percepção em relação ao ruído do trem?

pouco intenso

intenso

muito intenso

sem resposta

4. O ruído do trem lhe é incômodo?

sim

não

às vezes

sem resposta

Por quê?.....

5. Quais os ruídos da rua que mais lhe incomodam?

transporte ferroviário

trânsito

construção civil

outra atividade, qual?.....

sem resposta

6. Em que período do dia você se sente mais incomodado com o ruído do trem?

manhã

tarde

noite

sem resposta

Por quê?.....

7. Em que dia da semana você se sente mais incomodado com o ruído do trem?

segunda-feira terça-feira quarta-feira quinta-feira

sexta-feira sábado domingo sem resposta

Por quê?.....

8. O que o ruído do trem lhe causa?

irritabilidade

baixa concentração

insônia

dor de cabeça

outro, qual?.....

sem resposta