

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO NO TRANSPORTE HIDROVIÁRIO DE PASSAGEIROS

por

Rafael Hahn Fleck

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho 10 de 2018.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Escola de Engenharia

Departamento de Engenharia Mecânica

ANÁLISE DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO NO TRANSPORTE HIDROVIÁRIO DE PASSAGEIROS

por

Rafael Hahn Fleck

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof^a. Thamy Cristina Hayashi
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Ignacio Iturrioz

Porto Alegre, 10 de junho de 2018.

It always seems impossible until it's done.
Nelson Mandela

AGRADECIMENTOS

À minha família que sempre me apoiou e me deu as condições necessárias para que eu pudesse me dedicar integralmente aos estudos visando atingir todos os objetivos que tenho na vida.

À minha namorada Helena que sempre me apoiou e me motivou nessa fase final da faculdade.

Ao Prof. Juan Pablo Raggio Quintas pelas orientações e por sempre se demonstrar disponível e com vontade de ajudar no que fosse necessário.

À empresa Catsul, por estar sempre de portas abertas e disponibilizar todas as informações necessárias para a realização do trabalho.

FLECK, R. H. **Análise da exposição ao ruído no transporte hidroviário de passageiro.** 2018. 15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

RESUMO

No presente trabalho, se apresenta um estudo sobre o nível de pressão sonora a que os passageiros de um barco, do tipo catamarã, estão sujeitos ao realizarem o trajeto de ligação entre as cidades de Porto Alegre e Guaíba, seguido de uma classificação da embarcação quanto ao conforto que ela propicia de acordo com o parâmetro COMF-NOISE 3 da Bureau Veritas (BV). Para a avaliação do ruído foram utilizados dois decibelímetros sendo eles colocados de forma alternada nos pontos considerados críticos da embarcação, com a realização de três medidas para cada um dos quatro pontos determinados. Se avaliou os níveis sonoros equivalentes de ruído contínuo, o LAeq, por definição da norma IMO MSC.377(91), sendo ela a base para a definição de todos os cuidados e processos necessários a se seguir na realização das medições. Os pontos de medição foram denominados de TD (Traseiro Direito), TE (Traseiro Esquerdo), DD (Dianteiro Direito) e DE (Dianteiro Esquerdo) e se obteve, respectivamente, para esses pontos os valores 73,7 dB(A), 74,1 dB(A), 68,8 dB(A) e 68,2 dB(A). Assim pode-se determinar os pontos com maior ruído, bem como indicar as possíveis fontes de energia sonora através das contribuições nas diferentes faixas de frequência medidas. A embarcação ficou com o grau de conforto crn 3, embora o valor esteja bem próximo dos graus menores, essa é a pior classificação existente na COMF-NOISE 3.

PALAVRAS-CHAVE: COMF-NOISE 3, ruído, embarcação, IMO MSC.377(91).

FLECK, R. H. **Analysis of noise exposure in water passenger transport**. 2018. 15p. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

ABSTRACT

The present work presents a study on the sound pressure level that the passengers of a catamaran are subject in the connection between the cities of Porto Alegre and Guaíba, followed by a classification of the vessel by the comfort it provides in accordance with the COMF-NOISE 3 parameter of Bureau Veritas (BV). For the evaluation of the noise, two decibel meters were used, they were placed alternately in the points considered critical of the boat, with the accomplishment of three measures for each one of the determined four points. The equivalent sound levels of continuous noise, LAeq, by definition of the IMO standard MSC.377 (91), were evaluated. It is the basis for the definition of all the necessary care and procedures needed to be followed in the data acquisition. The measurement points were designated as TD (Right Rear), TE (Left Rear), DD (Right Front) and DE (Left Front) and the values obtained were, respectively, 73.7 dB (A), 74, 1 dB (A), 68.8 dB (A) and 68.2 dB (A). Thus, the points with the highest noise can be concluded, as well as the possible sources of sound energy through the contributions in the different frequency bands measured. The boat has the degree of comfort crn 3, although the value is very close to the lower grades, this is the worst classification in COMF-NOISE 3.

KEYWORDS: COMF-NOISE 3, noise, vessel, IMO MSC.377(91).

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Malha hidroviária brasileira. Fonte: DNIT (2018).....	4
Figura 3.2 - Sistema de propulsão de um barco catamarã. Fonte: Thien (2017)	5
Figura 4.1 - Decibelímetro da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250 utilizado nas medições. Fonte: do autor.	6
Figura 4.2 - Decibelímetro posicionado no tripé a 1,2 metros do solo. Fonte: do autor.	7
Figura 4.3 - Disposição dos pontos de medição no convés. Fonte: Tecat (2014).....	8
Figura 4.4 - Linha padrão de operação do catamarã. Fonte: EPTC (2014).	8
Figura 4.5 - Embarcação do tipo Catamarã. Fonte: Tecat (2014).....	9
Figura 5.1 - Espectro de frequências nas partes dianteira direita e esquerda.	11
Figura 5.2 - Espectro de frequências nas partes traseira esquerda e direita.....	12
Figura 5.3 - Gráfico comparativo TD x DD.	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Tipos de embarcações para o transporte de passageiros. Fonte: Moraes (2013).....	3
Tabela 4.1 - Especificações da embarcação CAT 8. Fonte: Tecat (2018).....	9
Tabela 5.1 - Valores de LAeq para embarcações de alta velocidade. Fonte: DNV (2007).....	10
Tabela 5.2 - Valores de LAeq global para a parte frontal da embarcação	11
Tabela 5.3 - Valores de LAeq global para a parte traseira da embarcação.....	12
Tabela 5.4 - Valores de LAeq e classificação.	13

ÍNDICE	Pág.
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
ÍNDICE	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	1
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
3.1 Ruído	1
3.2 Impactos do Ruído no Conforto Humano	2
3.3 Transporte Hidroviário de Passageiro	3
3.4 Norma Para Análise de Nível de Pressão Sonora	4
3.5 Fontes Sonoras Presentes em uma Embarcação	5
4 METODOLOGIA	5
4.1 Método e Equipamentos Utilizados	6
4.2 Informações sobre o Barco Analisado	8
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	9
5.1 Resultados para o NPS dos passageiros	10
5.1.1 Ruído na Parte Dianteira	10
5.1.2 Ruído na Parte Traseira	11
5.2 Resultados Obtidos Conforme a CONF-NOISE 3	13
6 CONCLUSÕES	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
ANEXO A	16
APÊNDICE A	17

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, como é de conhecimento de todos os brasileiros, é extremamente privilegiado com relação a sua geografia e com a gama de possibilidades que ela proporciona para a sua população. São 8,5 milhões de km², segundo dados do IBGE (2017), com um relevo considerado leve, favorecendo a ocupação e desenvolvimento além de condições climáticas que, embora sejam variadas devido a sua extensão territorial, não chegam a ser ríspidas, não gerando quaisquer revesses à sua população, diferentemente do que se pode observar em outros países que possuem fenômenos climáticos devastadores, por exemplo.

Utilizando de um dos principais recursos naturais do país, o modal aquaviário, que pode ser definido como toda forma de transporte que é realizado com auxílio de fontes de águas, como rios, lagos, oceanos, canais, etc., compreendendo tanto o transporte de cargas, quanto o transporte de passageiros, vem crescendo no Brasil. Com uma malha economicamente navegável de 22.037 km, segundo a CNT (2017), e com apenas 52% do potencial navegável do país sendo utilizado, possuindo ainda o recente projeto denominado PHE (Plano Hidroviário Estratégico) criado pelo MT (Ministério dos Transportes), que visa aprimorar ainda mais o transporte de cargas e passageiros no Brasil até 2031, pode-se observar a importância de que haja um acompanhamento do crescimento em termos de tecnologia e regulamentação desse setor.

Portanto, após demonstrada tamanha importância desse modal, será avaliado o aspecto de conforto dos passageiros utilizando como foco principal um tema extremamente atual, que é o conforto acústico. Tema abordado em diversas áreas e de extrema importância, uma vez que está diretamente vinculado a saúde do ser humano, sabendo que as propriedades da audição humana são diretamente afetadas quando expostas a elevados níveis de ruídos, e além disso, segundo Costa (1994), podem existir efeitos extra auditivos, como alterações físicas e mentais que, aliados ao estresse já existente nas grandes cidades, pode ser ainda mais acentuado. Tomado isso, é de extrema importância que se de a devida atenção a esse assunto.

Sih (1995), enfatiza que os níveis de ruído e o tempo de exposição a que as pessoas estão expostas nos grandes centros urbanos, ou seja: nas ruas, no trabalho, nas escolas, no lazer e inclusive em suas residências, são cada vez maiores. As intensidades desses ruídos podem alcançar níveis próximos do limiar recomendável ou até mesmo superiores a este, o que demonstra a importância de, onde for possível, se reduzir essa incidência sobre as pessoas, uma vez que na maioria dos ambientes que convivem estão expostas a ele.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo analisar o conforto acústico na área de convivência dos passageiros de uma embarcação cuja finalidade é a operação em uma linha fixa e diária de transporte hidroviário de passageiros no estado do Rio Grande do Sul. Para tal, irá se medir o nível de pressão sonora (NPS), seguindo os procedimentos indicados, e posteriormente comparar com valores de tolerância pré-estabelecidos, para que, assim, classificar o barco quanto ao seu ruído. Ambas ações serão realizadas seguindo valores e procedimentos indicados nas normas internacionais IMO MSC.377(91) – *Code on Noise Levels on Board Ships* e DNV - *Rules for Classification of Ships*.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Ruído

De forma unânime define-se ruído como um som indesejável, fica a subjetividade da definição mais adequada para o termo “indesejável”. Segundo Bistafa (2006), o julgamento depende do contexto do momento de avaliação, como, por exemplo, o horário e por quem esse determinado som é percebido. Buscando uma exemplificação aplicada ao cotidiano, Harris (1957) diz que uma música alta pode ser muito agradável ou, no caso, desejada, para uma família em sua casa, porém extremamente indesejada por todos seus vizinhos.

Com uma definição mais técnica, do ponto de vista da Higiene e Segurança do Trabalho, Saliba (2000) define o conceito de ruído afirmando que: “O ruído é o fenômeno físico vibratório com características indefinidas de variações de pressão em função da frequência, isto é, para uma dada frequência podem existir, em forma aleatória através do tempo, variações de diferentes pressões”.

De acordo com Azevedo (1984), é possível a realização de duas classificações quanto ao ruído, uma física dizendo que é a mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa e a outra subjetiva, concordando com os demais autores, afirmando que ruído é todo som indesejado.

Segundo a NR-15 - “Norma Regulamentadora No. 15. Atividade e operações insalubres” o ruído pode ser classificado em três tipos diferentes: ruído contínuo, sendo o que permanece estável com variações máximas de 3 a 5 dB(A) durante um longo período; ruído intermitente, onde ocorrem variações maiores ou menores de intensidade e o ruído de impacto, que apresenta picos com duração inferiores a 1 segundo, a intervalos superiores de 1 segundo.

Ainda segundo Cechin (2016), é necessária a existência de algum tipo de média para a devida avaliação da exposição ao ruído e que para tal se criou o Nível de Som Contínuo Equivalente (Leq). Sendo assim, segundo Cechin (2016), Leq pode ser definido como o nível de pressão sonora médio, que ao longo de um período de tempo tem o mesmo conteúdo de energia e, conseqüentemente, o mesmo potencial de dano para a audição, que o ruído real flutuante.

Bistafa (2006), ressalta que embora o Leq seja adotado por diversas normas e legislações, seu uso é questionável, uma vez que ruídos impulsivos se diluem nas partes “silenciosas” do registro.

O nível de pressão sonora equivalente contínuo ponderado na escala A (LAeq), representa o nível de um som contínuo (estacionário) que, em um intervalo de tempo específico, tem a mesma energia sonora do som em estudo, cujo nível varia com o tempo (ISO 1996/1, 1982).

O nível de intensidade equivalente (LAeq) é definido, pela ISO1996/1 (1982), por:

$$L_{EQ} = 10 * \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n T_i * 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad (1)$$

Onde: T = tempo total em horas; L_i = NIS (Nível de Intensidade Sonora) ou NPS (Nível de Pressão Sonora) em dB; T_i = Tempo parcial em horas

3.2 Impactos do Ruído no Conforto Humano

Ao associar ruído ao corpo humano, já se remete diretamente à PAIR (Perda Auditiva Induzida por Ruído) que, segundo Ualfrido (1976), é a mudança permanente do limiar de percepção do som decorrente de um trauma acústico crônico que se caracteriza por ser do tipo sensorio-neural, geralmente bilateral e simétrico, de grau leve nas frequências baixa e severo nas frequências altas. Além disso, Palma (1999) afirma que a PAIR é uma das conseqüências mais singelas de perda auditiva sensorio-neural existente na literatura clinica.

De acordo com Saliba (2000), além dos efeitos auditivos do ruído, existem os efeitos extra auditivos, onde se relaciona a exposição ao ambiente ruidoso diretamente com o cansaço físico e mental, aumento dos batimentos cardíacos, hipertensão arterial leve ou moderada com aumento do risco de doenças cardiovasculares, irritabilidade, ansiedade, nervosismo, redução da libido, dificuldade de repouso do corpo e aumento da frequência respiratória, dentre outros.

Harris (1957), traz como uma das principais formas de avaliação das conseqüências da exposição humana ao ruído a clara redução na eficiência da realização de uma tarefa em comparação a realização da mesma tarefa, porém sem os efeitos do ruído.

Colleoni (1981) salienta que alguns dos efeitos extra auditivos começam já em frequências infrassônicas (abaixo de 16 Hz), como balanços de navios e aviões, e, por conseqüência, não audível pelo ser humano. Esses ruídos, embora infrassônicos, já possuem

a capacidade de provocar enjoos, vômitos, tonturas, etc. Além disso, diz que a medida que as frequências de exposição aumentam, os efeitos no ser humano mudam, indicando que em frequências mais altas, entre 2 KHz e 4 KHz, é gerado, em geral, nervosismo e irritação, por exemplo.

Segundo Seligman (1997), ruídos escutados durante o dia podem atrapalhar o sono de horas após a exposição, afirmando que os pacientes relatam dificuldade para iniciar o adormecimento, insônias, e de despertares frequentes, o que gera cansaço no dia seguinte.

3.3 Transporte Hidroviário de Passageiro

Segundo a SUDAM (2005), a demanda por embarcações para o transporte de passageiros e, por consequência, o número de passageiros transportados, sofreu um aumento significativo nos últimos anos. Países como China, Coreia, Hong Kong, Japão, Inglaterra, França, Noruega, Dinamarca e ainda timidamente, o Brasil e a Argentina, vem cada vez mais aproveitando seus recursos naturais, utilizando o modal aquaviário, para atender principalmente o transporte de passageiros e veículos.

De acordo com a Interferry (2016), as companhias de transporte hidroviário de passageiros transportam, aproximadamente, 2.1 bilhões de passageiros por ano no mundo e ainda, segundo a EU Legislation in Progress (2018), no ano de 2014, o número de passageiros que utilizaram esse tipo de transporte foi de 400 milhões, apenas nos países que compreendem o bloco (Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Polônia, Portugal, República Tcheca, Romênia, Suécia). De forma complementar, Moraes (2002) afirma que no cenário mundial, o transporte hidroviário com a utilização das embarcações destinadas ao transporte de passageiros, vem sendo realizada em sua maioria por embarcações de alta velocidade e em linhas curtas.

Na Tabela 3.1 consta um resumo das principais embarcações existentes destinadas ao transporte de passageiros, elas estão classificadas quanto a sua velocidade, características do local de operação, além de uma noção básica de sua composição estrutural.

Tabela 3.1 - Tipos de embarcações para o transporte de passageiros. Fonte: Moraes (2013).

EMBARCAÇÕES	EMBARCAÇÕES DE BAIXA VELOCIDADE
	Monocasco de baixa velocidade Utilizado na Amazônia - Caracteriza pela construção em madeira com tecnologia obsoleta e transporte de passageiros em redes. Porém é o tipo mais utilizado na região amazônica e que movimentava boa parte da economia regional.
	Monocasco de baixa velocidade utilizado no mundo : Este tipo de embarcação é muito utilizado em travessia em rotas curtas e velocidades de (em média) 15 nós. Este tipo de embarcação transporta passageiros e carros e é uma das mais utilizadas na Europa.
EMBARCAÇÕES	EMBARCAÇÕES DE ALTA VELOCIDADE
	Wavepiercer Catamarã - Esta embarcação possui uma forma própria caracterizado por seções em forma de arco que permite a embarcação apresentar melhor performance na presença de ondas.
	Embarcações com aplicação de hidrofólio - O princípio básico de funcionamento é levantar a embarcação para fora d'água sustentando-a dinamicamente através da utilização de fólios. Desta forma, procura-se reduzir a resistência ao avanço e o efeito das ondas sobre a embarcação reduzindo a potência requerida para se alcançar altas velocidades.
	Aerodeslizador ou hovercraft - Este tipo de embarcação não requer contato com uma superfície para ser tracionada. É capaz de mover-se livremente sobre uma grande variedade de superfícies, pois é suportada continuamente por um colchão de ar auto-gerado através de um sistema de ventiladores verticais.
	Embarcação Monocasco de alta velocidade - Com seções transversais em "V", seções de forma arredondada ou quadrada, as embarcações monocasco representam a grande maioria das embarcações de transporte oceânico.
	Surface Effect Ship - SES - Este tipo de embarcação possui a mesma configuração de superestrutura e casco de um catamarã com cascos laterais sólidos e uma cortina de borracha na proa e na popa entre os cascos proporcionando um colchão de ar no interior dos cascos. O efeito de elevação causado pelo colchão de ar corresponde em média a 80% do peso da embarcação, fazendo com que boa parte da embarcação sofra apenas a resistência do ar, diminuindo de resistência do casco.

Classification of Ships visa a classificação de barcos de acordo com a sua emissão de ruído, tendo como base, para a obtenção dos dados, a resolução MSC.377(91).

3.5 Fontes Sonoras Presentes em uma Embarcação

Segundo Carlton e Vlasić (2006), existem várias fontes sonoras presentes em embarcações, e dentre elas, as mais importantes, são: motores, movimento do eixo de transmissão, pressões no casco geradas pela hélice, ar condicionados, dispositivos de manobra e impacto do casco com as ondas, referido tecnicamente por *slamming*.

Demonstrando a importância do ruído gerado por componentes mecânicos, autores como Bistafa e Harris, dedicam capítulos inteiros de suas obras para uma abordagem mais específica de rolamentos, engrenagens, ventiladores, compressores, geradores, bombas e motores estacionários, sendo todos esses itens presentes na maioria das embarcações.

Por exemplo, Bistafa (2006), classifica o surgimento do ruído de motores estacionários a partir de três principais fontes: a exaustão, admissão e o bloco do motor. E afirma, também, que para a análise de pressão sonora emitida por um sistema de refrigeração, por exemplo, basta a análise de seu compressor, pois ele que é o principal responsável pela emissão.

A Figura 3.2 mostra o sistema de propulsão adotado em embarcações do tipo catamarã, nela é possível observar vários dos componentes acima listados como os principais geradores de ruídos, sendo eles: rolamentos nos mancais de suporte do eixo, engrenagens presentes na inversora e o próprio motor, além de demonstrar que a fixação de todos esses elementos é no próprio casco do barco, promovendo a transmissão de vibração para a parte estrutural. Colleoni (1981) cita esse fenômeno onde equipamentos, embora operem em uma determinada frequência, como um motor que opera a 30 Hz (1800 RPM), produzam sons em frequências distintas como 600 Hz ou 2000 Hz, por exemplo, devido às partes móveis e fixas que fazem parte da máquina ou equipamento, como engrenagens.

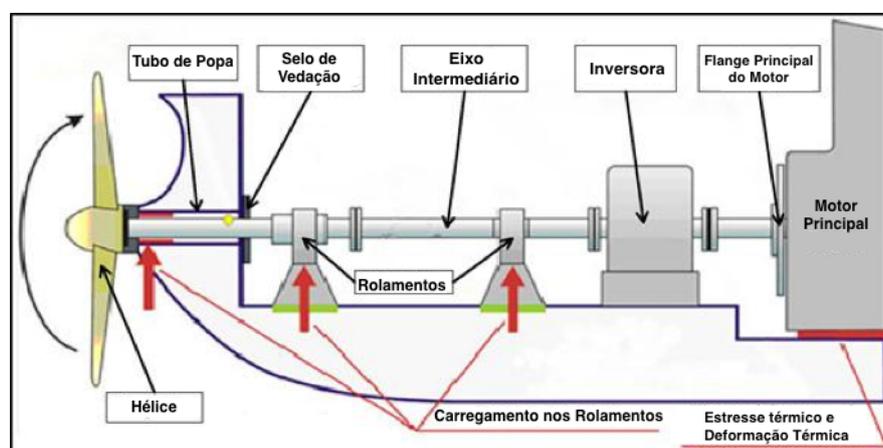


Figura 3.2 - Sistema de propulsão de um barco catamarã. Fonte: Thien (2017)

4 METODOLOGIA

Para a obtenção de todos os dados necessários para a análise do nível de pressão sonora (NPS) e posterior utilização dos resultados para comparação com a norma regulamentadora escolhida, foi feita uma visita de campo, onde se realizou o trajeto convencional da linha duas vezes, visando a obtenção de dados confiáveis, além de conferir se haviam variações no nível de ruído em horários diferentes devido a contribuições externas.

As principais etapas do processo da obtenção de dados para o trabalho são listadas abaixo, marcando os principais pontos que se deve atentar visando a realização de um processo de medição acústica condizente com o definido pela norma e, conseqüentemente, capaz de produzir resultados que reflitam a realidade:

- Calibração do equipamento de medição.
- Visita ao local de operação.
- Definição dos pontos de medição dentro da embarcação.
- Medição do nível de pressão sonora nos locais definidos.
- Análise dos dados no software BZ5503.
- Comparação dos valores obtidos com os definidos pela norma.

Posteriormente a isso, seguindo a norma *DNV Rules for Classification of Ships*, com base nos dados já obtidos, a embarcação selecionada será classificada quanto ao conforto acústico proporcionado ao seu passageiro a partir do ruído emitido pelo conjunto através da medida *crn* (*comfort rating number*) 1, 2 ou 3, proveniente da classificação COMF-NOISE 3.

4.1 Método e Equipamentos Utilizados

Inicialmente, visando seguir a ordem cronológica estipulada pela norma IMO MSC.377(91) – *Code on noise levels on board ships*, é necessário que se utilize um equipamento de medição de pressão sonora que atenda a todos os requisitos citados e que remetam a normas específicas, como a IEC 61672 que determina os requisitos mínimos de fabricação dos equipamentos e a IEC 61260 que determina a configuração para a medição, por exemplo. Para tal, foi utilizado o decibelímetro da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250, classe 1, conforme mostrado na Figura 4.1, que, segundo o próprio fabricante, atende a todos esses pré-requisitos. Além disso, previamente às medições, o equipamento foi calibrado.



Figura 4.1 - Decibelímetro da marca Brüel and Kjaer, modelo 2250 utilizado nas medições.
Fonte: do autor.

Para a realização das medições é de extrema importância que se tenha certeza que a operação da embarcação está seguindo o seu padrão habitual. Dessa forma, a norma diz que no momento da medição todos os instrumentos e maquinário que normalmente são utilizados devem estar ativos e no seu modo normal de operação, são esses os motores, instrumentos de navegação, rádio, radar e sistemas de ventilação, como ar condicionado, por exemplo. Além disso, os motores devem estar em sua condição de operação de serviço, esse valor é definido pela norma como no mínimo 80% do MCR (*Maximum continuous rating*), que no caso da embarcação utilizada seria rotações acima de 1440 RPM. Todos esses pontos foram verificados juntamente ao comandante previamente à realização das medições.

Os decibelímetros foram configurados para a realização de medidas na escala A (dB(A)), com a captação de dados sendo realizadas de um em um segundo, obtendo um espectro de

frequências entre 31,5 Hz e 8 kHz, no circuito de resposta lenta. Os períodos de medição mínimos foram respeitados, sendo eles de no mínimo 15 s, visando obter resultados que representem a média da excitação recebida pelos passageiros, uma vez que, embora o ruído seja em sua maioria constante, possam existir variações de operação.

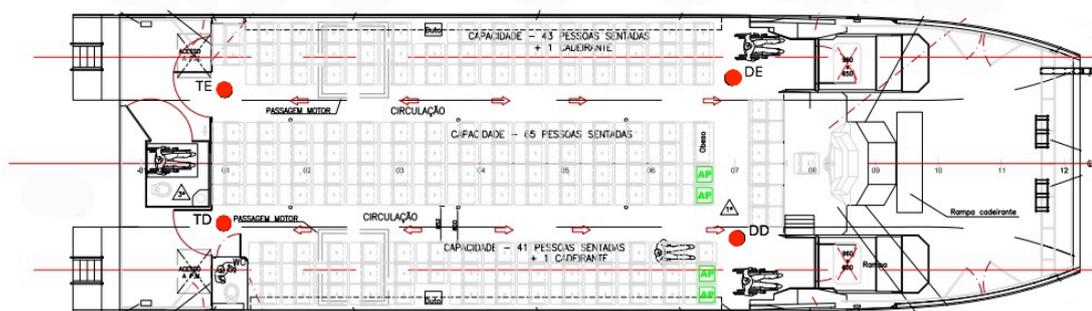
Como, diferentemente do transporte público rodoviário urbano, os passageiros realizam toda a viagem sentados, a norma IMO MSC.377(91) define que os decibelímetros devem ser posicionados a 1,20 metros de altura, medidos a partir do chão, sendo essa, em média, a posição que a cabeça dos passageiros fica situada quando sentados. Para que essa composição fosse conseguida, se utilizou um tripé com altura regulável, garantindo assim, com uma fita métrica, a altura exata para a medição. Também foram respeitadas as distâncias mínima de 2 m e a máxima de 10 m entre os pontos de medição, a distância máxima entre cada aparelho foi de 9 metros. Além disso, uma distância mínima, estipulada pela norma, de 0,5 m de qualquer superfície que possa transmitir ruídos externos, como paredes, janelas e portas, foi respeitada. Como apenas a área de convivência é objetivo de realização da análise de conforto acústico, também foram fechadas todas as portas e janelas que pudessem isolar o local da melhor forma possível de sons que não fazem parte do ruído habitual daquele local.



Figura 4.2 - Decibelímetro posicionado no tripé a 1,2 metros do solo. Fonte: do autor.

Para a execução das medições, primeiramente foi elaborada uma planilha visando uma melhor organização dos períodos de aquisição de dados de cada ponto aferido, servindo também para a anotação de possíveis perturbações que pudessem causar resultados fora do normal, tais observações são de grande serventia para o momento que se analisa os dados obtidos, explicando de forma coerente a existência de um ponto discrepante nas medições

Os equipamentos foram colocados em 4 posições distintas, sendo elas identificadas como: TD (Traseira Direita), TE (Traseira Esquerda), DD (Dianteira Direita) e DE (Dianteira Esquerda), conforme está indicado na Figura 4.3. Por se possuir apenas dois aparelhos, foram realizadas várias medições compostas de diferentes disposições de forma a obter uma leitura geral do ambiente e garantir que se obtivesse, de fato, a real exposição acústica que os passageiros são submetidos enquanto realizam a sua viagem.



– CONVES PRINCIPAL –

Figura 4.3 - Disposição dos pontos de medição no convés. Fonte: Tecat (2014)

O barco, assim como o ônibus urbano e o Trensurb, que são os outros tipos de transporte público da cidade, possui um local de partida e de chegada estipulados, porém o catamarã realiza apenas uma parada no meio de seu trajeto. A linha realiza o caminho CENTRO – BARRA SHOPPING – GUAÍBA e na volta GUAÍBA – BARRA SHOPPING – CENTRO, conforme ilustrado na Figura 4.4, com partidas a cada 45 minutos aproximadamente.

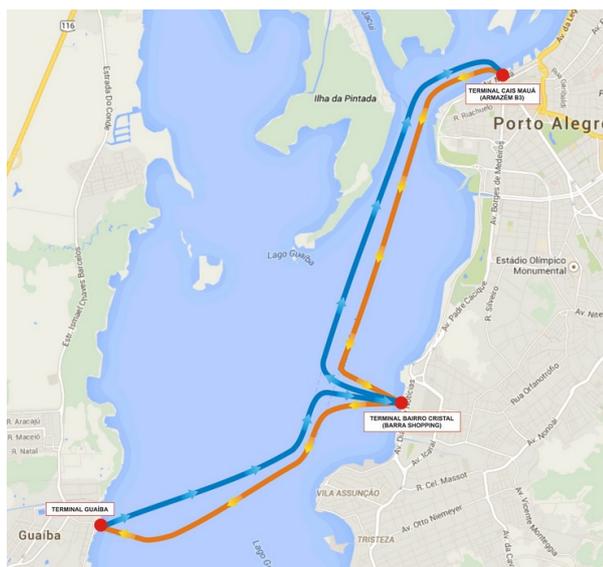


Figura 4.4 - Linha padrão de operação do catamarã. Fonte: EPTC (2014).

Para a realização da compilação e análise de todos os dados obtidos nas medições de NPS foi utilizado o software BZ5503 – “*Measurement Partner Suite*”, desenvolvido e fornecido pela empresa Brüel and Kjaer, fabricante do decibelímetro. A disponibilidade dessa ferramenta foi de extrema utilidade, uma vez que se pode escutar todas as medições novamente e determinar intervalos de medição que melhor representassem o ruído experimentado pelo passageiro.

4.2 Informações sobre o Barco Analisado

Os barcos que operam na linha Centro – Guaíba são extremamente novos, com fabricação não anterior a 2010. Eles contam com uma produção 100% nacional, fabricados pela empresa Tecat Industria Naval, Porto Alegre. Como mais de um barco realiza a mesma

rota todo o dia, as medições foram realizadas no mais novo e maior dentre eles, denominado de CAT8, a embarcação possui as especificações técnicas listadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Especificações da embarcação CAT 8. Fonte: Tecat (2018).

Nome da embarcação:	CAT8
Tipo de embarcação:	Catamarã
Comprimento:	24m
Largura:	7m
Calado:	1m
Motores:	2x Scania Maritime DI16 V8
Propulsores:	Hélices
Potência:	2x700 HP
Rotação de operação:	1600 RPM
Velocidade de Cruzeiro:	22 knots
Capacidade de Passageiros:	180 passageiros sentados
Material de Construção Estrutural:	Fibra de Vidro e Alumínio

Como mencionado anteriormente, essas embarcações possuem horários pré-determinados de partida e chegada nos locais, a jornada de operação começa às 5:58 da manhã e só se encerra às 20:05 todos os dias da semana e possui horários reduzidos nos finais de semana. Na figura 4.5, pode-se ver a embarcação realizando o seu trajeto diário nas águas do Rio Guaíba, em Porto Alegre.



Figura 4.5 - Embarcação do tipo Catamarã. Fonte: Tecat (2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da aplicação da metodologia explicada anteriormente, o conforto acústico para os passageiros na área de convivência foi analisado no item 5.1. Através de tabelas e gráficos, foram definidos os valores de exposição do passageiro ao ruído ao utilizar a embarcação, bem como o grau conforto que ela apresenta.

A norma IMO MSC.377(91) – *Code on Noise Levels on Board Ships* é tomada como base para qualquer outra resolução que vise a avaliação dos mais variados tipos de embarcações, mas uma vez que ela se detém a navios com mais de 1.600GT (*Gross tonnage*), medida que faz referência ao volume interno do barco, e esse valor seja bem maior do que o da embarcação que foi avaliada, ela não poderá ser considerada como um todo. Os valores

apresentados pela norma nas variadas localidades dentro de uma embarcação podem ser vistos na tabela A.2 no anexo. Assim ela foi utilizada, como mencionado, de base para todo o processo de medição, todavia a utilização de seus valores referência de limite aceitável de ruído não seria adequado.

A resolução DNV - *Rules for Classification of Ships*, por sua vez, abre a avaliação sobre o conforto acústico, dos passageiros e sua tripulação, para uma vasta gama de embarcações, porém não visando a determinação de insalubridade ou outras questões trabalhistas, mas sim uma referência onde, a partir da dos níveis de pressão sonora encontrados nos ambientes internos das embarcações, partindo de valores pré-estabelecidos de ruído, às classifica em graus de conforto 1, 2 ou 3. A tabela 5.1 é uma tradução da tabela A.3, que consta no apêndice. Na tabela abaixo constam os valores e locais de medição para embarcações para o transporte de passageiros de alta velocidade.

Tabela 5.1 - Valores de LAeq para embarcações de alta velocidade. Fonte: DNV (2007).

Tabela para embarcações de alta velocidade - Níveis máximos de ruído em dB(A)						
Locais	Classificação do nível de conforto					
	Até 100 metros			Acima de 100 metros		
	1	2	3	1	2	3
Convivência de passageiros	70	72	75	60	65	68
Áreas externas para passageiros	75	75	75	73	75	75
Sala de navegação	62	65	65	60	62	65
Áreas de serviço/Quiosques/Lojas	70	73	75	65	68	70

5.1 Resultados para o NPS dos passageiros

Uma vez que o trajeto realizado pelo barco é simples, ou seja, não possui inúmeras paradas com variação de excitação externa ao ruído interno, não se dividiu a avaliação do ruído como trajetos de ida e volta, ou então Centro – Barra Shopping e Barra Shopping – Guaíba. Os valores foram medidos continuamente enquanto o catamarã estava em movimento, conforme dito anteriormente, em diferentes pontos internos na área de convivência em que os passageiros se encontram durante toda a viagem de, aproximadamente, 30 min.

5.1.1 Ruído na Parte Dianteira

A parte frontal do barco, tecnicamente denominada como proa, foi dividida em duas partes, como foi mostrado na Figura 4.3, sendo elas DD (Dianteira Direita) e DE (Dianteira Esquerda).

Segundo a norma IMO MSC.377(91), os resultados devem ser apresentados em bandas de oitava de 31,5 Hz até 8 kHz, como está demonstrado na figura 5.1. É de grande importância a apresentação da contribuição de cada frequência no ruído interno da embarcação, pois através desses dados que se torna possível uma eventual correção mecânica direcionada ou tratamento acústico visando a diminuição da contribuição de determinado equipamento ou estrutura no ruído gerado no ambiente.

O motor, por exemplo, como a sua rotação de operação é de 1700 RPM, pode se ter a sua contribuição para a poluição sonora dentro da área de convivência dos passageiros identificada ao se analisar na Figura 5.1 a coluna referente a frequência de 31,5 Hz, onde são encontrados os valores de 42,2 e 41,8 dB(A), respectivamente. Com tais valores, caso o motor fosse a única fonte geradora, o catamarã possuiria classificação máxima crn 1, uma vez que o valor para essa classificação, segundo a norma, é de 70 dB(A), indicando não ser o motor em si a causa do ruído interno.

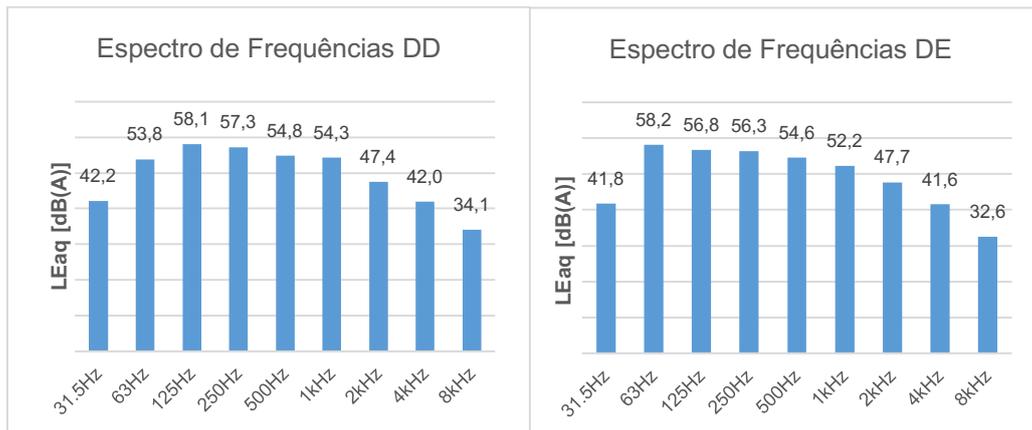


Figura 5.1 - Espectro de frequências nas partes dianteira direita e esquerda.

O valor que se deve analisar para a avaliação geral do local quanto ao seu conforto sonoro é o LAeq global, na tabela abaixo constam os valores para ambos os lados na parte dianteira do barco.

Tabela 5.2 - Valores de LAeq global para a parte frontal da embarcação

Localização	LAeq
DE	68,2 dB(A)
DD	68,8 dB(A)

É possível observar pelos valores apresentados que o ruído é simétrico, não havendo componentes geradores em um lado que não afetem o outro.

Os resultados indicam exatamente o que se previa antes da realização das medições, uma vez que se situam bem distantes das unidades motoras, juntamente com a maioria dos principais geradores de ruído, como às hélices de propulsão e os geradores do ar condicionado. Era previsto que possuiriam valores de exposição ao ruído menores para os passageiros.

5.1.2 Ruído na Parte Traseira

A parte traseira do catamarã, tecnicamente denominada por popa, foi dividida em duas partes, como foi mostrado na Figura 4.3, sendo elas TD (Traseira Direita) e TE (Traseira Esquerda).

A parte traseira é o ponto crítico da embarcação, uma vez que é nela que se situam a maioria das fontes sonoras presentes na embarcação. Embora o ruído gerado por essas fontes também impacte no valor de LAeq para a região frontal, elas tendem a ter um impacto muito maior para um passageiro que escolha como local de viagem os assentos mais ao fundo, devido a proximidade bem maior das unidades motoras, o que justifica os valores mais elevados encontrados em ambos gráficos esboçados abaixo.

Além disso, não é possível se classificar um barco por partes, se avalia o conjunto como um todo. Conseqüentemente são os valores de NPS obtidos na traseira que classificarão de forma final a embarcação quanto ao seu conforto acústico.

Na Figura 5.3, estão os espectros de frequência em bandas de oitava partindo de 31,5 Hz até 8 kHz, mostrando quais são as bandas de frequência que mais impactam no conforto do passageiro.

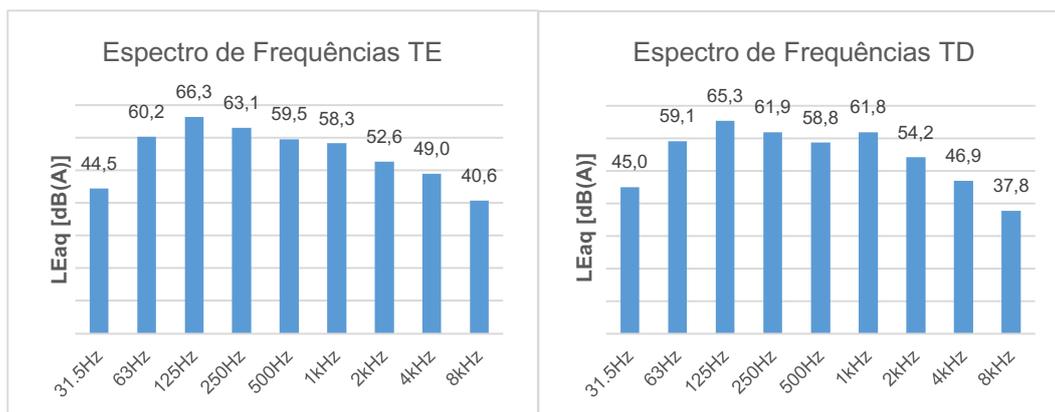


Figura 5.2 - Espectro de frequências nas partes traseira esquerda e direita.

Como mencionado anteriormente, o valor mais importante quando se fala em avaliação de conforto acústico de uma embarcação é o LAeq global. Na Tabela 5.3 estão os valores para os pontos de medição TD e TE.

Tabela 1.3 - Valores de LAeq global para a parte traseira da embarcação.

Localização	LAeq
TD	73,7 dB(A)
TE	74,1 dB(A)

Observa-se um aumento nos valores de pressão sonora em todas as frequências na parte traseira da embarcação com relação aos da parte dianteira, tal fato fica ainda mais evidente ao se fazer a análise sobre o gráfico da Figura 5.3, onde é feito um comparativo entre as valores obtidos em suas respectivas frequências no ponto TD com o ponto DD. Além disso, na tabela A1 do anexo, é possível observar quanto o regime de operação do conjunto propulsor da embarcação afeta o nível de ruído interno na parte traseira, através da comparação de valores do catamarã em operação normal e no seu estado de porto, ou seja, momento em que aguarda o início do embarque dos passageiros, chegando a haver mais de 9 dB(A) de diferença para uma mesma frequência.

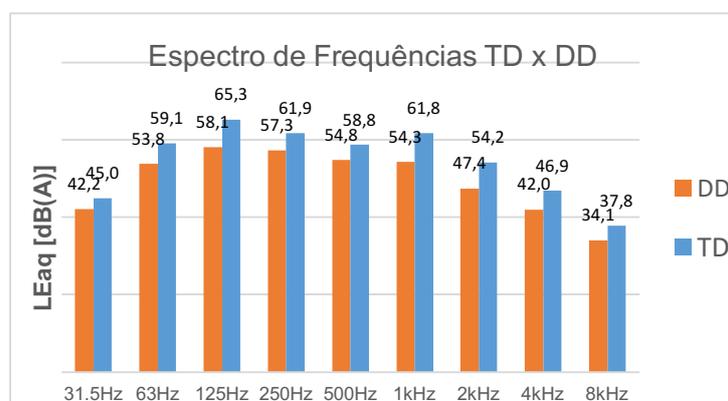


Figura 5.3 - Gráfico comparativo TD x DD.

5.2 Resultados Obtidos Conforme a CONF-NOISE 3

Na Tabela 5.4 estão colocados todos os resultados finais obtidos nas medições. Os valores finais de LAeq, em cada localização, foram obtidos após a realização de uma média do valor de LAeq resultante em cada uma das três vezes que cada ponto interno da embarcação foi medido, e ao lado desses valores consta a sua classificação conforme a resolução DNV *Rules for Classification of Ships*.

Conforme pode-se observar, os valores de NPS obtidos para a parte traseira são mais elevados, resultando em diferenças de até 5 dB(A) entre pontos do mesmo lado do barco. Essa grande variação gera, conseqüentemente, o aumento da classificação da embarcação de crn 1 para crn 3.

Tabela 5.4 - Valores de LAeq e classificação.

Localização	LAeq	Classificação
DE	68,2 dB(A)	crn 1
DD	68,8 dB(A)	crn 1
TD	73,7 dB(A)	crn 3
TE	74,1 dB(A)	crn 3

6 CONCLUSÕES

Foram realizadas medições nos pontos principais para que fosse possível realizar uma avaliação embasada e concreta referente à área de convivência dos passageiros que utilizam como serviço de transporte diário o barco catamarã, seguindo o método sugerido pela principal norma que aborda esse assunto no mundo.

Segundo a classificação DNV - Rules for Classification of Ships e a norma IMO MSC.377(91), não se pode classificar um mesmo barco em graus diferentes de conforto ao ruído, ou seja, é o valor mais alto encontrado que gerará a classificação final do barco. Foram encontrados os valores para DE, DD, TD e TE, respectivamente, de 68,2 dB(A), 68,8 dB(A), 73,7 dB(A) e 74,1 dB(A), ou seja, a classificação do barco quanto ao seu ruído gerado será sobre o valor de 74,1 dB(A), encontrado na parte traseira esquerda. Ainda sobre esses valores, a norma ressalta que mesmo que todos os procedimentos estipulados por ela sejam seguidos, com pequenos desvios, o nível sonoro equivalente de ruído contínuo ponderado em "A" (LAeq) pode variar em até 1,5 dB.

Dessa forma a embarcação avaliada possui a classificação crn 3, que seria a pior dentre as 3 classificações, porém o valor se encontra bem dentro da faixa de valores e mais próximo ao crn 2 do que de extrapolar os valores, indo além do crn 3. Uma vez que as viagens realizadas pela embarcação são extremamente curtas, não ultrapassando os 30 min, o valor pode ser considerado adequado.

Embora o valor, segundo a resolução, esteja adequado, a norma IMO MSC.377(91) ressalta a importância de se ter uma pesquisa de satisfação para cada barco abordando o ruído interno como um dos principais temas, afinal o termo ruído é muito subjetivo, conforme afirmam diversos autores, o que para um pode não ser incomodo, para o outro pode ser. Dessa forma a pesquisa de satisfação, é uma importante ferramenta de avaliação que deve ser utilizada pela administração da embarcação visando demonstrar a real percepção de seu cliente.

Uma vez que os maiores valores de NPS estão na faixa de baixa frequência (63 Hz, 125 Hz e 250 Hz), constata-se que há uma grande contribuição proveniente dos motores, eixos,

engrenagens do sistema de propulsão e do revestimento interno da embarcação, embora, pelos valores encontrados, fique indicado que as principais fontes geradoras não são apenas os motores, como foi imaginado, mas sim todo o conjunto constituinte do sistema de propulsão. Além disso, há uma grande incidência de vibração presente em toda a parte estrutural do barco, possivelmente proveniente dos componentes mecânicos e do impacto do casco com a água. Se aconselha a procura de materiais que absorvam e não transmitam essa vibração, além de uma análise específica de vibração para que se possa definir com maior precisão os seus causadores.

Além da contribuição das baixas frequências, há a contribuição das frequências de 500 e 1000 Hz que possuem valores elevados, provavelmente, devido a presença de uma grande quantidade de passageiros conversando durante o trajeto. As altas frequências (acima de 2000 Hz) possuem as menores contribuições, tendo em vista que não existem fontes sonoras significativas nessas frequências.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTAQ, “**ANTAQ divulga movimentação de 14,5 milhões de passageiros por ano na Região Amazônica**”, 2012. Disponível em: <http://antaq.gov.br/Portal/Navegando/NavegandoFev12.asp#R>. Acessado em: 15/05/2018.

Bistafa, S. R. B., “**Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**”, São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

Canelas, T; Santos, S. “**Conforto de navios do ponto de vista acústico e das vibrações – A perspectiva dos passageiros**”, Portugal, 2012.

Carlton, J. S. & Vlasí'c, D., “**Ship vibration and noise: Some topical aspects**”, London, 2006.

Colleoni, N. et al., “**Ruídos industriais, perturbações auditivas e sua profilaxia**”, Revista brasileira de saúde ocupacional. 36. 77-80, 1981.

CNT. “**Anuário CNT do Transporte**”. Conselho Nacional do Transporte, 2017.

DNV. “**Rules for the Classification of steel Ships**”, 2007.

EPTC, “**Transporte**”, Porto Alegre 2015. Disponível em: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/eptc/default.php?p_secao=229. Acessado em: 18/05/2018.

E. U. “**Registration of persons on board passenger ships**”, 4. Ed. The ‘EU Legislation in Progress’ briefings, 2018.

IBGE. “**Área Territorial Brasileira**”, Brasília, 2017. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm. Acessado 28/04/2018.

International Organization for Standardization. ISO 1996/1, “**Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 1: Basic quantities and procedures**”, 1996/1. Suíça, 1982. 5p.

IMO MSC.337(91). “**Code on noise levels on board ships**”. The Maritime Safety

Committee, 2012.

Moraes, R. C. M. **“Ferramenta de avaliação do transporte hidroviário de passageiros da região amazônica”**, Trabalho para a obtenção do Título de Mestrado Acadêmico (Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **“Transporte Aquaviário”**, Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/editoria-d.html>. Acessado 28/04/2018.

NR-15. **“Norma Regulamentadora No.15. Atividades e operações Insalubres”**. 2014. <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/br15.html>. Acessado 02/05/2018.

Palma, D. C. **“Quando o ruído atinge a audição”**. Porto Alegre, Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica, 1999, p.9-17.

Seligman, J. **“Efeitos não auditivos e aspectos psicossociais no indivíduo submetido a ruído intenso.”**, Revista Brasileira de Otorrinolaringologia., 59.9-257,1993.

Sih, T., **“A poluição sonora e a criança. in SIH, T. (org.). Manual de otorrinolaringologia pediátrica da Iapo”**, São Paulo, 1997. p. 33 - 39.

Ta T. V., Thien D. M., Cang V. T., **“Marine Propulsion System Reliability Assesment by Fault Tree Analysis”**, International Journal of Mechanical Engineering and Applications – Part III. Vol. 5, 2017.

Tecat, **“Super Cat 120”**, Porto Alegre 2014. Disponível em: <https://www.tecatnaval.com/site/>. Acessado em: 18/05/2018.

Ualfrido, D. C. **“Controle de ruído industrial”**, 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1976. 159 p.

Vasconcellos, J. M. **“Catamarã”**, Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Oceânica, Coppe, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

ANEXO A

Tabela A.1 – Tabela de valores original retirada da norma DNV - *Rules for Classification of Ships*.

Locations	Comfort rating number (crn)					
	100 m and below			Above 100 m		
	1	2	3	1	2	3
Passenger localities	70	72	75	60	65	68
Outdoor passenger areas	75	75	75	73	75	75
Navigation bridge	62	65	65	60	62	65
Service areas /shops/kiosk	70	73	75	65	68	70

Tabela A.2 – Valores limites de ruído estipulados pela norma IMO MSC.377(91).

4.2 Noise level limits

Limits for noise levels (dB(A)) are specified for various spaces as follows:

Designation of rooms and spaces	Ship size	
	1,600 up to 10,000 GT	≥10,000 GT
4.2.1 Work spaces (see 5.1)		
Machinery spaces	110	110
Machinery control rooms	75	75
Workshops other than those forming part of machinery spaces	85	85
Non-specified work spaces (other work areas)	85	85
4.2.2 Navigation spaces		
Navigating bridge and chartrooms	65	65
Look-out posts, incl. navigating bridge wings and windows	70	70
Radio rooms (with radio equipment operating but not producing audio signals)	60	60
Radar rooms	65	65
4.2.3 Accommodation spaces		
Cabin and hospitals	60	55
Messrooms	65	60
Recreation rooms	65	60
Open recreation areas (external recreation areas)	75	75
Offices	65	60
4.2.4 Service spaces		
Galleys, without food processing equipment operating	75	75
Serveries and pantries	75	75
4.2.5 Normally unoccupied spaces		
Spaces referred to in section 3.14	90	90

APÊNDICE A

Tabela A.3– Tabela comparativa entre os valores do catamarã em operação e no seu estado de porto.

