

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE VIBRAÇÕES DE CASAS FLUTUANTES NA
AMAZÔNIA E ANÁLISE DE SOLUÇÕES VIÁVEIS AO
PROBLEMA

Elvis de Andrade Oliveira

Felipe Sereno Barbosa

SÃO PAULO

2017

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE VIBRAÇÕES DE CASAS FLUTUANTES NA
AMAZÔNIA E ANÁLISE DE SOLUÇÕES VIÁVEIS AO
PROBLEMA

Trabalho de formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Graduação em
Engenharia.

Elvis de Andrade Oliveira

Felipe Sereno Barbosa

Orientador: Edilson Hiroshi Tamai

Área de concentração:

Engenharia Mecânica

SÃO PAULO

2017

Catálogo-na-publicação

Oliveira, Elvis

ESTUDO DE VIBRAÇÕES DE CASAS FLUTUANTES NA AMAZÔNIA E ANÁLISE DE SOLUÇÕES VIÁVEIS AO PROBLEMA / E. Oliveira, F. Sereno -- São Paulo, 2017.

105 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1.Casas flutuantes 2.Absorvedor de vibração 3.Vibração 4.Projeto de produtos I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t. III.Sereno, Felipe

RESUMO

A região amazônica apresenta características socioambientais e culturais que contribuem para a existência de uma alta densidade de casas flutuantes. Diferentemente das construções existentes em países como Holanda e Estados Unidos, as construções amazonenses são marcadas pela precariedade. Nesse contexto, o estudo da vibração estrutural causada pela ação de agentes externos se faz necessário para encontrar uma solução para o problema. No presente projeto estudou-se a vibração nesse tipo de construção, bem como soluções viáveis para o problema de vibração. A solução encontrada reduz a vibração da estrutura e respeita critérios culturais da região. Foi desenvolvido o projeto executivo de uma possível solução para a vibração das casas flutuantes amazonenses.

ABSTRACT

The Amazon region presents socio-environmental and cultural characteristics that contribute to the existence of a high density of floating houses. Unlike the existing structures in countries such as Netherlands and the United States, the Brazilian constructions are marked by the precariousness. In this context, the study of the structural vibration caused by the action of external agents is necessary to find a solution to the problem. In this project the vibration on this type of construction was studied, as well as viable solutions to the problem of vibration. The solution found reduces the vibration of the structure and respects cultural criteria of the region. Over this year, the executive project of the solution to the amazon floating houses was developed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa flutuante no Lago Huron, Michigan, EUA	4
Figura 2 - Aspecto construtivo de uma casa flutuante	5
Figura 3 - Casa flutuante na Holanda.....	6
Figura 4 - Halong Bay, norte do Vietnã.....	7
Figura 5 - Cidade Flutuante (Manaus) na década de 1960.....	9
Figura 6 - Construção da estrutura de sustentação de uma casa flutuante	14
Figura 7 - Modelo físico.....	16
Figura 8 - Restaurante flutuante no Rio Negro	20
Figura 9 - Igreja flutuante no Rio Negro.....	20
Figura 10 - Casa flutuante utilizada como moradia	21
Figura 11 - Vista traseira de uma casa flutuante	22
Figura 12 - Vista superior da casa.....	24
Figura 13 - Formação de onda trocoidal	29
Figura 14 - Base de sustentação da casa flutuante	30
Figura 15 - Ação do vento e das ondas sob a estrutura da casa	32
Figura 16 - Modelo da casa amazonense	33
Figura 17 - Esforços aplicados na casa	34
Figura 18 - Cálculo do braço das forças atuantes	37
Figura 19 - Representação da área molhada	39
Figura 20 - Simulação do movimento de heave.....	43
Figura 21 - Simulação da rotação roll	43
Figura 22 - Análise do ponto crítico (m/s^2).....	46
Figura 23 - Estrutura com pêndulo.....	49
Figura 24 - Estrutura com massa sintonizada	50
Figura 25 - Estrutura com tanque estabilização passivo tipo U.....	51
Figura 26 - Estrutura com suspensão	52
Figura 27 - Estrutura com turbinas.....	54
Figura 28 - Radar dos critérios.....	57

Figura 29 - Diferença de altura do plano das casas flutuantes	61
Figura 30 - Diagrama de corpo livre da casa com absorvedor.....	65
Figura 31 - Diagrama de corpo livre da tora com absorvedor	66
Figura 32 - Simulação do deslocamento vertical da casa flutuante com absorvedor de vibração	70
Figura 33 - Aceleração do ponto crítico com o uso de absorvedores	71
Figura 34 - Contato da tora de sustentação com viga transversal	74
Figura 35 - Contato da viga longitudinal com viga transversal	75
Figura 36 - Absorvedor de vibração	78
Figura 37 - Estrutura de sustentação com absorvedor de vibrações	82
Figura 38 - Estrutura da casa flutuante com absorvedor de vibrações 2.....	84
Figura 39 - Desnho de montagem	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Regime hídrico amazonense	28
Tabela 2 - Parâmetros da simulação.....	42
Tabela 3 - Faixa de valores para aceleração.....	45
Tabela 4 - Escala de notas	56
Tabela 5 - Pesos normalizados	56
Tabela 6 - Notas dos critérios 1.....	58
Tabela 7 - Notas dos critérios 2.....	58
Tabela 8 - Notas dos critérios 3.....	59
Tabela 9 - Matriz de decisão	60
Tabela 10 - Lista de materiais	78
Tabela 11 - Custo do mecanismo	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	2
1.2. CONTEXTO HISTÓRICO-SOCIAL.....	3
1.3. CONTEXTO AMAZONENSE	9
1.3.1. ESTADO DO AMAZONAS.....	10
1.3.2. HIDROLOGIA E CLIMA AMAZONENSE.....	11
1.4. CASAS FLUTUANTES.....	12
1.5. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE CASAS FLUTUANTES .	13
1.6. HIDRODINÂMICA DE EMBARCAÇÕES	15
1.6.1. FUNDAMENTOS DA HIDRONÂMICA DE EMBARCAÇÕES	15
1.6.2. OSCILAÇÃO EM EMBARCAÇÕES	17
2. MODELO DE CASAS FLUTUANTES AMAZONENSES	19
2.1. TIPOS DE CASA FLUTUANTE NA AMAZÔNIA	19
2.2. JUSTIFICATIVA DO TIPO DE CASA ESCOLHIDA.....	22
2.3. ARQUITETURA DA CASA FLUTUANTE.....	24
2.4. HIPÓTESES SIMPLIFICADORAS DO MODELO.....	25
2.4.1. SIMPLIFICAÇÕES DE MOVIMENTO	25
2.4.2. SIMPLIFICAÇÕES DE FORMA E ESTRUTURA.....	25
2.4.3. SIMPLIFICAÇÕES DE CARREGAMENTOS.....	26
2.5. FORÇAS EXTERNAS	26
2.5.1. EFEITO DA AÇÃO DAS ONDAS	27
2.5.2. FORÇA DO VENTO	30

2.6.	MODELO DA CASA AMAZONESE	32
3.	DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO E SIMULAÇÕES	35
3.1.	MODELAGEM MATEMÁTICA	36
3.1.1.	CÁLCULO DOS BRAÇOS DAS FORÇAS	37
3.1.2.	CÁLCULO DAS FORÇAS DE EMPUXO	38
3.1.3.	CÁLCULO DA MASSA ADICIONAL	40
3.2.	ANÁLISE NUMÉRICA E SIMULAÇÕES	41
3.2.1.	CONFORTO HUMANO	44
4.	ABSORVEDORES DE VIBRAÇÃO	47
4.1.	GERAÇÃO DE SOLUÇÕES	48
4.1.1.	SOLUÇÃO A - PÊNDULO	48
4.1.2.	SOLUÇÃO B - MASSA SINTONIZADA	49
4.1.3.	SOLUÇÃO C - TANQUE DE ESTABILIZAÇÃO PASSIVO	
TIPO U	50	
4.1.4.	SOLUÇÃO D – PNEUS COMO SUSPENSÃO.....	51
4.1.5.	SOLUÇÃO E - REVESTIMENTO DAS TORAS	52
4.1.6.	SOLUÇÃO F - TURBINAS SUBAQUÁTICAS.....	53
4.2.	MATRIZ DE DECISÃO	54
4.2.1.	ESCOLHA DOS CRITÉRIOS	54
4.2.2.	PESO DOS CRITÉRIOS	55
4.2.3.	AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES	57
4.2.4.	AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES A E D	60
5.	DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO COM ABSORVEDOR DAS	
CASAS FLUTUANTES AMAZONENSES	62	
5.1.	MODELO FÍSICO DA CASA COM ABSORVEDOR.....	63
5.2.	MODELO MATEMÁTICO DA CASA COM ABSORVEDOR	64

5.3. SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	68
6. PROJETO TÉCNICO: SOLUÇÃO D - PNEUS COMO SUSPENSÃO.....	72
6.1. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO DA CASA FLUTUANTE	73
6.2. CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO.....	76
6.3. DESCRIÇÃO DA FORMA CONSTRUTIVA DA SOLUÇÃO..	77
6.3.1. LISTA DE MATERIAIS	78
6.3.2. MONTAGEM DO DISPOSITIVO	81
6.3.3. ACOPLAMENTO DO DISPOSITIVO À ESTRUTURA.....	82
6.3.4. MANUTENÇÃO DO DISPOSITIVO	84
7. CONCLUSÃO	86
8. BIBLIOGRAFIA.....	88
APÊNDICE A – SIMULAÇÕES ADICIONAIS	94
APÊNDICE B – DESENHO DE MONTAGEM	97

1. INTRODUÇÃO

No contexto de habitação urbana existem diversas formas de moradia. As moradias mais tradicionais são as moradias terrestres, como as casas, que fazem parte do cenário urbano desde antes do início do processo de urbanização. Esse tipo de moradia se faz presente em todos os continentes e é o mais popular dentre as habitações humanas atualmente. Porém a moradia terrestre não é a única moradia conhecida.

As casas flutuantes são como as casas terrestres, porém adaptadas à vida no ambiente aquático. Ao invés de fundações de sustentação essas moradias apresentam estruturas de flutuação para manter a casa acima do nível da água. Apesar de não ser uma moradia comum, as casas flutuantes datam do século XIV, no Lago Texcoco, México (Siqueira, 2011), onde constituíam uma pequena cidade. Com o decorrer do tempo, este tipo de moradia ganhou espaço em outros lugares do mundo e hoje está presente em diversos países, como os Estados Unidos da América, Holanda, Canadá, Dubai, Vietnã, Camboja, Mianmar, Índia, Bolívia, Brasil, entre outros.

Dentre as dificuldades enfrentadas por este tipo de moradia temos a deposição dos dejetos, o uso de energia elétrica, a obtenção de água potável e as vibrações. As vibrações causadas pela água são transmitidas à casa e podem causar problemas estruturais à mesma e desconforto aos seus habitantes. Essas vibrações tem sua origem em temporais climáticos ou na agitação da água, causada por alguma outra embarcação, por exemplo.

O objetivo deste projeto é realizar um estudo sobre tais vibrações, a partir de simulações computacionais, conseguir compreender como essas vibrações interferem na estrutura da casa e indicar uma solução viável para o problema, através da adaptação de um projeto e absorvedor de vibrações, baseada nas condições dessas casas no estado do Amazonas.

1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A concepção de construção de casas flutuantes visa permitir a ocupação humana em um local aquém do ambiente terrestre, necessidade a qual pode ser atrelada a condições inóspitas de tal ambiente (floresta densa, por exemplo) ou a região ter forte presença de água – tais regiões podem ter a presença de grandes rios, córregos, fortes chuvas e alta umidade local. Dessa forma, a decisão de ocupar e/ou residir sob águas, só faz sentido se o ambiente aquático não for adverso como o ambiente terrestre.

Dentre os fatores que caracterizam o desconforto da população ribeirinha amazonense tem-se a ausência de coleta e tratamento de esgoto, secas e cheias da região e as chuvas e ventos fortes decorrente do clima equatorial amazonense. Contudo, por motivos que vão desde as condições econômicas até os fatores culturais, a população ribeirinha se encontra em situação similar por diversas décadas. A vibração notada nas casas flutuantes da Amazônia não é fator impeditivo para a população local residir em tais construções. No entanto, quando tais construções são sujeitas a fortes chuvas ou ondas resultantes da passagem de grandes barcos, a casa fica sujeita a vibrações que podem danificar a sua estrutura ou, em menor intensidade, gerar desconforto para os moradores.

Historicamente, as principais ocorrências de destruição das casas amazonenses são em decorrência de chuvas intensas acompanhadas de ventos fortes. A vibração nas casas devido movimento das águas e do vento provoca fragilidade na estrutura e destruição da mesma, quando em intensidade elevada. A precariedade da construção de tais residências agrava ainda mais a situação quando as adversidades climáticas se intensificam.

Em agosto de 2017 um bar flutuante teve sua ancora destruída pelo forte movimento das águas (Notícia do Dia, 2017), as quais geraram oscilações que destruíram seu sistema de ancoragem e o deslocaram para outro ponto do rio – mesmo sabendo-se das diversas variáveis a serem consideradas nessa situação, não pode-se negar que se trata, dentro outras considerações, de evento resultante da excitação da estrutura flutuante.

As fortes chuvas, uma das causas dos intensos banzeiros (palavra popular que se refere à onda dos rios), se intensificaram nos meses junho e julho de 2017

levando a situação de emergência mais de 39 municípios na Amazônia, destruindo palafitas e partes internas de casas flutuantes devido enchente e fortes ondas, respectivamente – conforme apresentado em (Amazônia Org., 2017).

Outro incidente observado ainda em 2017 foram fortes chuvas que atingiram a cidade de Manaus no início de abril, gerando a destruição de casas e volumosas ondas nos rios onde há casas flutuantes. De acordo com órgãos ambientais, o ocorrido se deu pela concomitância de dois eventos: zona de convergência intertropical devido ventos vindo do hemisfério Norte com os do hemisfério Sul, e a Alta da Bolívia – evento que provoca avanço de fortes ventos acompanhados de chuvas.

Portanto, observa-se que a região Amazônica está sujeita a eventos naturais que stressam as condições de vida da população ribeirinha que vive em casas flutuantes e palafitas.

Dessa forma, a vibração das casas flutuantes na Amazônia pode ser entendida como um problema que afeta o tempo de vida das casas – fragilização da estrutura das construções devido à combinação dos fatores: precariedade da construção e condições ambientais rigorosas.

No âmbito da engenharia encontrar uma solução viável e acessível para a população local seria fundamental para elevar a qualidade de vida da população ribeirinha amazonense.

1.2. CONTEXTO HISTÓRICO-SOCIAL

O termo casa flutuante incorpora a ideia de residência estruturada para uma dada condição, que, nesse caso, é sustentar-se sobre água. Esse tipo de construção é geralmente utilizado em localidades que vivenciam condições de constante presença da água, como por exemplo, margens de rios e lagos, áreas sujeitas às inundações, florestas de difícil penetração, zonas alagadas e outros.

As residências flutuantes podem ser encontradas em diversas regiões do planeta, muito embora sua existência esteja sempre atrelada a países como a Holanda. Basta haver uma região onde o uso do ambiente terrestre para moradias seja impróprio ou escasso que o uso de construções flutuantes pode se tornar uma solução viável para a população local.

Alguns fatores fomentam o desenvolvimento desse tipo de moradia e um deles é a previsão de aumento do nível das águas nos oceanos (decorrentes das mudanças climáticas), que inundam regiões de ocupação humana (Conti, 2005). Outro é a própria condição natural de muitas regiões ao redor do mundo, como em locais com áreas alagadas. Esses fatores impulsionam a construção e o estudo de estruturas capazes de suportar tal condição.

Ao redor do mundo há basicamente dois tipos de casas flutuantes:

- I. Casas que permanentemente flutuam, sendo usadas em regiões onde o nível da água local é praticamente constante;
- II. Casas que sazonalmente flutuam, ou seja, são casas em locais onde a existência da água é temporária. Sendo assim, esse tipo de casa deve ser projetado pra se sustentar sobre o solo em períodos de seca e na água em períodos de cheia.

Nos Estados Unidos as casas flutuantes localizam-se, sobretudo em lagos, como pode ser visto na Figura 1 (Lago Huron, Michigan). Além do Lago Huron, o Rio Mississippi, o Lago Union (Seattle, Washington) e o Lago Austin (Austin, Texas) são exemplos de locais onde pode ser encontrado esse tipo de moradia.



Figura 1 - Casa flutuante no Lago Huron, Michigan, EUA

Fonte: (Keiren, 2016).

As casas flutuantes, por se sustentarem, sobre a água, apresentam uma construção diferente das casas convencionais. A Figura 2 apresenta o aspecto construtivo da casa da Figura 1. Em geral, a base de sustentação dessas casas apresenta apoios flutuantes que mantêm a casa acima da superfície e garantem sua estabilidade.



Figura 2 - Aspecto construtivo de uma casa flutuante

Fonte: (Keiren, 2016).

Como já mencionado, as casas flutuantes são muito comuns na Holanda, país situado abaixo do nível do mar. A Figura 3 apresenta uma construção flutuante holandesa. Tal casa se enquadra nas casas que devem possuir uma estrutura diferente para épocas de seca, na qual a redução do nível de água exige que a casa se sustente no solo.



Figura 3 - Casa flutuante na Holanda

Fonte: (Keiren, 2016).

Outro país onde há o uso de casas flutuantes é o Vietnã. Há centenas de anos a população de Halong Bay, composta em sua maioria por pescadores e comerciantes, vive nesse tipo de moradia e a Figura 4 apresenta como são as casas flutuantes nessa vila no norte do Vietnã.



Figura 4 - Halong Bay, norte do Vietnã

Fonte: (Keiren, 2016).

Outro aspecto importante das casas flutuantes é a busca por sustentabilidade, sendo ela atrelada a veículos simples até os grandes planejamentos urbanos. Esse assunto é pauta de discussão das grandes potências mundiais, que após anos de produção industrial sem controle ambiental estão buscando reverter o quadro ambiental de seus países.

Dentro dessa ambição política-econômica-social, há diversos projetos sustentáveis previstos para os próximos anos. O Seastanding Institute, organização sem fins lucrativos que visa à construção de cidades flutuantes, planeja construir toda uma cidade flutuante nos EUA até 2020. O objetivo do instituto é construir uma cidade que seja inerte ao domínio do Estado, sendo, portanto, uma incubadora de uma nova forma de sociedade. Para isso, projetam uma cidade flutuante com toda a infraestrutura necessária através de doações de apoiadores de diversos países.

Na Holanda, o governo tem dado atenção às mudanças climáticas e os efeitos diretos sobre as condições de vida da sua população. A mudança impacta não só no aumento do volume de águas, mas também sua condição. Com a presença, de modo mais frequente, de furacões e tempestades no oceano, a água no interior do país se torna mais agitada e com fluxos mais intensos nos rios (Government of the

Netherlands, 2015). As construções flutuantes devem suportar as mudanças futuras que atingirão o país.

As casas flutuantes apresentam-se também como uma solução para as zonas alagadas. Nos últimos anos, algumas vezes disfarçadas de embarcações, essas moradias foram construídas e utilizadas no Rio Grande, divisa entre São Paulo e Minas Gerais (G1, 2011).

Esse cenário de ocupação das áreas aquáticas é plausível. Os dados das Nações Unidas (United Nations, 2014) informam que 44% da população no mundo vive dentro dos 150 km da área costeira e a maioria das grandes cidades (aquelas com população maior ou igual a 2,5 milhões de habitantes) ao redor do mundo está localizada em área costeira. Além disso, 54% da população vivem em áreas urbanas e esse número tende a crescer para 66% até 2050. Dessa forma, atrelado às consequências das mudanças climáticas e busca por novas áreas sustentáveis, há um quadro favorável para a busca por soluções como a casa flutuante para a ocupação humana ao redor do mundo.

Diversas regiões no globo já vivem a realidade das casas flutuantes, como já citado no início do capítulo. Desde a Indonésia até Dubai, Holanda até Canadá e, inclusive o Brasil. A região amazônica já vive essa realidade há muitos anos.

Entre as décadas de 1920 e 1970, houve um intenso crescimento do número de das casas flutuantes na Amazônia, resultando a Manaus o título de “Cidade Flutuante”. A Figura 5 apresenta uma foto vista de cima de parte dessa cidade.



Figura 5 - Cidade Flutuante (Manaus) na década de 1960

Fonte: (Siqueira, 2011).

A presença desse tipo de moradia traz consigo a existência de diversos outros fatores de um planejamento urbano, como o trânsito – nesse caso o fluvial –, rede de esgoto, comércio, acesso à água potável e outros. Portanto a construção desse tipo de casa requer um planejamento que vai muito além da morada em si, mas um planejamento que analise o ambiente que a morada estará inserida, desde aspectos sociais até ambientais e urbanísticos.

1.3. CONTEXTO AMAZONENSE

O Estado do Amazonas é conhecido por toda sua exuberância natural, composto em grande parte pela Floresta Amazônica, uma floresta densa com rios que nascem em outros países e desaguam em terras brasileiras. A população amazonense é formada por cerca de quatro milhões de pessoas (IBGE, 2016), sendo que dois milhões residem na capital, Manaus. Os outros dois milhões de habitantes estão espalhados pelo seu território de 1,6 milhões de quilômetros quadrados, caracterizando, assim, uma baixa densidade demográfica. Apesar da baixa densidade

demográfica, a região apresenta diversas características específicas, como será descrito a seguir.

1.3.1. ESTADO DO AMAZONAS

Em termos de área, o Estado do Amazonas é o mais extenso do Brasil, tendo área maior que países europeus. Como já dito, apresenta o menor índice de densidade demográfica e possui sessenta e dois municípios. Também é o estado que detém a maior população indígena do Brasil, cerca de cento e setenta mil (170.000) habitantes. O Estado apresenta, também, a maior rede hidrográfica do mundo, composta pelos rios amazonenses, que são protegidos pela Floresta Amazônica e abastecidos pelas chuvas constantes na região e pelo degelo da Cordilheira dos Andes (Governo do Estado do Amazonas, 2010).

A população local tem renda média de, aproximadamente, R\$ 752,00 (IBGE, 2015) reais. Em comparação com outros estados brasileiros, a população amazonense possui a uma das rendas per capita mais baixas e isso traz uma característica da comunidade local: recursos financeiros escassos.

Em termos econômicos podem-se destacar dois pontos importantes do estado: a Zona Franca de Manaus e o extrativismo. A Zona Franca de Manaus é uma zona industrial na capital do estado que fornece benefícios fiscais para as empresas instaladas. Conta com aproximadamente 700 indústrias de grande, médio e pequeno porte dos mais diversos setores. No extrativismo destaca-se o látex, madeira, açaí e castanhas. Ambas as atividades garantem ao estado o sexto maior Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (Governo do Estado do Amazonas, 2010).

É importante destacar, ainda, a relação cultural do povo com a floresta. Como grande parte do estado é preenchido pela Floresta Amazônica, a população amazonense possui um laço cultural traduzido em inúmeros costumes e crenças, como as lendas do Boto-Cor-de-Rosa, a Vitória Régia, o Curupira, entre outros. Pode-se também notar essa proximidade através da culinária local, que utiliza ingredientes típicos como Cupuaçu, Tucumã e as farinhas de mandioca e tapioca (Tiago, 2014).

1.3.2. HIDROLOGIA E CLIMA AMAZONENSE

A bacia hidrográfica do Rio Amazonas é a maior do mundo. Conta com sete milhões de quilômetros quadrados de extensão com, aproximadamente, quatro milhões em território brasileiro. O centro da bacia, o Rio Amazonas, é o maior rio em termos de vazão do mundo e apresenta, em média, cinco quilômetros de largura ao longo de todo seu comprimento. A bacia ainda conta com inúmeros rios, está situada em uma região de planície e possui cerca de vinte mil quilômetros de rios navegáveis, o que favorece o transporte fluvial na região.

O transporte fluvial é feito em todas as regiões do estado. As embarcações realizam o transporte tanto de pessoas quanto de carga (Ministério do Meio Ambiente, 2006). Por ano, todas as movimentações fluviais no Amazonas transportam cerca de quatorze milhões e quinhentos mil passageiros e, no transporte de cargas, cerca de oito milhões de toneladas. Este é um tema de estudos da Agência Nacional de Transportes Aquáticos que, em 2013, trabalha convencer o governo a financiar estruturas para o transporte fluvial na região e, segundo , o Programa de Aceleração do Crescimento 2 destinará aproximadamente trinta milhões para este setor. Porém, o transporte fluvial na região só é amplamente utilizado devido às características hidrológicas, já citadas, e climáticas da região (Agência Nacional de Transportes Aquáticos, 2013).

O clima na Amazônia é denominado Equatorial por esta estar situada próxima a linha do Equador. Este tipo de clima é caracterizado por chuvas intensas e regulares, que podem resultar em temporais com ventos fortes, e altas temperaturas durante o ano, com média de vinte e oito graus Celsius. Em épocas de seca chove-se menos e os rios diminuem de tamanho, porém a maior parte da região apresenta rios perenes. Quanto à época de cheias, as chuvas são frequentes, aproximadamente 5000 milímetros por ano, e ocorrem grandes inundações na região. (Centro Técnico Aeroespacial, 2012).

Se tratando das chuvas, essas podem ser intensas. Pode-se citar, como exemplo da força das tempestades no território amazonense, a tempestade ocorrida em 2005 na Amazônia, que dizimou mais de 500 milhões árvores, conforme relatado por um estudo da NASA e a Universidade de Tulane, nos EUA (VEJA, 2010). O

estudo afirma que a forte chuva que atingiu a região pode se tornar mais frequente, talvez não com a mesma intensidade, no futuro devido às mudanças climáticas.

1.4. CASAS FLUTUANTES

Além do uso tradicional para o transporte, os rios amazonenses também são utilizados como “terrenos” para comunidades que se alojam nas casas flutuantes. Esse tipo de moradia teve seu ápice de ocupação dos rios entre as décadas de 1920 e 1970 (Siqueira, 2011), como apresentado na Figura 5. As casas compuseram a Cidade Flutuante, que por não possuir um planejamento na sua construção careciam de necessidades básicas estruturais.

Atualmente, as casas que flutuam sobre as águas dos rios amazonenses constituem comunidades, as quais apresentam estruturas simples de organização, compostas por casas de moradores, comércio local, igrejas e, por vezes, até escolas.

A localização de cada casa é feita de forma informal, sendo referenciada não por endereços tradicionais, mas através de descrições do aspecto físico de cada uma e da vizinhança. Porém, há regiões onde as casas são numeradas, resultado de um esforço do governo de organizar o espaço. Outro detalhe urbano é que as casas não possuem nenhum documento de posse, uma vez que sua localização é em espaço líquido, ambiente considerado público (Tiago, 2014).

Um aspecto interessante é a existência de cercas no em torno das casas e suas varandas. Seu objetivo principal é impedir que crianças pequenas (aquelas que ainda não sabem nadar) caiam na água e se afoguem.

Em geral, as casas possuem um quarto, uma cozinha, uma sala e um banheiro. Porém elas podem possuir dois andares e terem até quatro quartos ou serem habitações adaptadas para o comércio (Neto, 2015).

A relação da população com o rio é muito intensa e ele é comumente utilizado para o deslocamento de pessoas e cargas. Os moradores utilizando-o para acessarem seus locais de trabalho, suas escolas, comércios, hospitais, igrejas e outras localidades. Além do uso para o deslocamento, os rios servem de lazer para a população local.

As principais preocupações dos moradores de casas flutuantes não são com roubos ou furtos, comuns nos grandes centros urbanos. A violência é sim um tema de discussão entre os moradores, porém as fortes chuvas e temporais que atingem as casas põe em risco a atual situação (IBGE, 2015) desse tipo de moradia.

Além das questões naturais outros pontos problemáticos dificultam o desenvolvimento das casas flutuantes. Como a construção é feita pela população e sem regulamentações, não há planejamento urbano para a região. Não há planejamento para uma rede de esgoto ou de distribuição água potável. Os banhos são feitos – em sua maioria – no rio e o traslado das casas não é regulamentado. A questão da inexistência do planejamento de esgoto se agrava em período de baixa dos rios, pois as casas se acumulam nas áreas de maior volume de água, o que intensifica a emissão de esgotos num menor espaço.

Em suma, as casas flutuantes na região da Amazônia são fruto de projetos simples dos moradores locais. Tais projetos, apesar de não possuírem profunda fundamentação teórica, aumentaram a população que reside sobre as águas dos rios amazônicos. O aumento dessa população não veio acompanhado da devida regulamentação do estado e pode, por diversos fatores, colocar em risco a situação dos moradores locais. Portanto, o desenvolvimento das políticas públicas e dos projetos de moradia é imprescindível para a manutenção do crescimento das casas flutuantes na Amazônia.

1.5. TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO DE CASAS FLUTUANTES

As casas flutuantes da região não são construídas com a sofisticação das casas holandesas, nem mesmo com a tecnologia das casas estadunidenses. São casas construídas basicamente de madeira. Segundo (Tiago, 2014), as madeiras utilizadas são: a piranheira¹, muito utilizada para a construção das vigas da casa, a madeira gitó², utilizada na confecção das paredes, e o assacú, madeira de baixa densidade utilizada como boia para a estrutura. As construções são feitas, em geral, por

¹ Trata-se de uma madeira altamente resistente a fungos e insetos, utilizada, comumente, na construção civil.

² Trata-se de uma madeira pesada, que é encontrada nas matas de terra firme do Pará e Amazonas.

moradores locais de maneira artesanal e, por vezes, tal negócio é passado de pai para filho.

A base suporte das casas é submersa, sendo constituídas em geral por troncos de assú, como mostrado na Figura 6, ou por grandes latas (muitas vezes de tinta) e, até, geladeiras preenchidas de cimento. Nas regiões com pronunciado período de seca, a base suporte serve de apoio para a casa no solo. As boias e a base suporte são presas à estrutura através de cabos de aço.



Figura 6 - Construção da estrutura de sustentação de uma casa flutuante

Fonte: (Junior, 2009)

1.6. HIDRODINÂMICA DE EMBARCAÇÕES

Para se desenvolver um estudo acerca da hidrodinâmica das casas flutuantes deve-se, primeiramente, exercitar alguns pontos relevantes sobre hidrodinâmicas de embarcações em geral. Este tema é comum na engenharia sendo, inclusive, abordado em disciplinas do curso de engenharia naval (PNV3323 Hidrodinâmica I e PNV3413 Hidrodinâmica II, com foco em navios e seus propulsores). Para expor este tema, esta seção abordará os fundamentos básicos da hidrodinâmica, oscilações em embarcações e o estado da arte de absorvedores de vibração.

1.6.1. FUNDAMENTOS DA HIDRODINÂMICA DE EMBARCAÇÕES

O estudo da dinâmica de casas flutuantes pode ser generalizado por estudo de dinâmica de embarcações com fundo chato. Apesar das moradias não possuírem o objetivo de transportar pessoas (ou cargas), elas estão sujeitas aos mesmos agentes externos (hidrodinâmicos e aerodinâmicos) que as embarcações destinadas ao transporte fluvial/marítimo. Seu estudo leva em consideração dois aspectos fundamentais: as ondas (incidentes na estrutura) e a forma construtiva da embarcação (principalmente sua parte submersa), conforme discutido em (Kornev, 2011).

Em (Journée, et al., 2002) é apresentado um estudo sobre o comportamento de ondas marítimas, no qual são consideradas duas formas de ondas: regulares e irregulares. As ondas regulares são descritas por equações senoidais, seus parâmetros são amplitude e a frequência de oscilação. As ondas irregulares também podem ser descritas por equações senoidais, entretanto seus parâmetros são, além da amplitude e da frequência, os tipos de onda incidentes. Os tipos de ondas são: sea, trem de onda formado por ventos locais, e swell, ondas propagadas para regiões distantes de onde foram formadas. Em geral, as ondas irregulares são resultantes da superposição de ondas do tipo sea e ondas do tipo swell.

Ao longo do seu estudo, (Journée, et al., 2002) apresenta o espectro de frequência de ondas irregulares, do qual é possível obter as frequências de oscilação

de variadas faixas de amplitude. Em outras palavras, para uma dada amplitude típica de oscilação da água, pode-se extrair a frequência para aquela amplitude.

Além dos aspectos hidrodinâmicos, os aspectos aerodinâmicos também são importantes no estudo da dinâmica de embarcações. Segundo (Kornev, 2011), a ação aerodinâmica pode ser representada, de maneira simplificada, por uma força resultante aplicada à lateral da embarcação (direção y da Figura 7), que pode provocar uma instabilidade no sistema.

O modelo físico de uma embarcação é descrito em (Kornev, 2011), em que se consideram seis graus de liberdade para o sistema, conforme Figura 7.

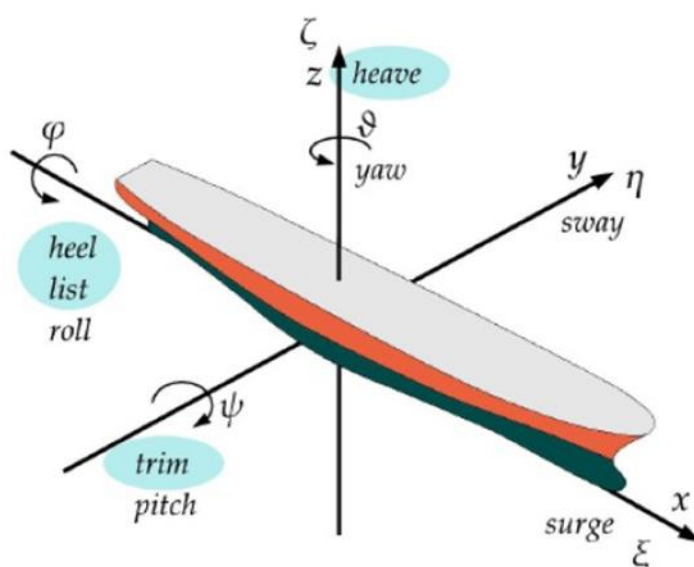


Figura 7 - Modelo físico

Fonte: (Kornev, 2011)

O modelo ainda define os movimentos como:

- Translação:
 - *Heel*, direção do eixo x ;
 - *Trim*, direção do eixo y ;
 - *Heave*, direção do eixo z .
- Rotação:
 - *Roll*, direção do eixo x ;
 - *Pitch*, direção do eixo y ;
 - *Yaw*, direção do eixo z .

Em (Universidade Federal Fluminense, 2012) são descritas as características construtivas que influenciam a estabilidade da embarcação, sendo elas: efeito do centro de massa, da borda livre, do calado e da baliza.

Para as casas flutuantes da Amazônia é interessante analisar não somente os parâmetros relacionados à estabilidade da embarcação, mas também, os parâmetros que podem promover soluções acessíveis àquelas pessoas.

A análise construtiva da parte da casa imersa na água (calado e baliza) pode fornecer soluções à sua oscilação. A busca por uma tecnologia capaz de minimizar o risco de tombamento de embarcações permitiu que pesquisadores do Instituto Federal do Amazonas (IFAM) desenvolvessem um método viável e acessível à população local para diminuir tal risco. As oscilações causadas pela água são o principal motivo para o tombamento da embarcação, segundo os pesquisadores do IFAM (Pedroso).

1.6.2. OSCILAÇÃO EM EMBARCAÇÕES

As oscilações são um problema constante para as embarcações. Independente de onde a embarcação está situada, o ambiente terá algum elemento excitador. As principais causas de oscilação em embarcações fluviais são: ondas, correntes e ventos (Silva, 2014).

As ondas, mais comuns em regiões de água salgada, são resultado do atrito entre os ventos e a superfície da água. Esse atrito faz com que a superfície da água se movimente e assim crie as ondas, que nada mais são que perturbações que viajam através da superfície da água.

As correntes são o fluxo de água abaixo da superfície. Esse fluxo incide diretamente na estrutura submersa e, através do arrasto e da inércia, pode causar, entre outros efeitos, a oscilação da estrutura flutuante. A força de arrasto é proporcional ao quadrado da velocidade relativa entre a corrente e a estrutura e, em regiões de correntes velozes, seu efeito é elevado. Dos outros efeitos causados pode-se citar a criação de redemoinhos e vórtices em torno da estrutura, efeito que pode se somar à presença de ondas superficiais e acentuar as oscilações na estrutura.

Os ventos, causados pela diferença de pressão entre duas regiões atmosféricas, tem efeito similar às correntes. Também pela ação do arrasto e da inércia o mesmo pode causar forças resultantes na estrutura que, num cenário dinâmico como a beira de um rio, resulta em oscilações na estrutura.

É importante ressaltar que apesar das causas poderem ser definidas separadamente a oscilação em estruturas flutuantes é, em geral, um efeito causado pela sobreposição das causas. Cenários fluviais e marítimos apresentam correntes, ventos e ondas, com as mais diversas características que, quando somadas, fazem a estrutura oscilar com características diferentes.

2. MODELO DE CASAS FLUTUANTES AMAZONENSES

Para descrever o efeito das externalidades nas casas flutuantes se faz necessário definir um modelo tipo para o estudo. O modelo de casa definido conduzirá as discussões e conclusões do projeto de absorvedor de vibrações para determinada dinâmica desse tipo de moradia amazônica. O presente capítulo justifica e descreve o modelo de casa escolhido para ser estudado.

2.1. TIPOS DE CASA FLUTUANTE NA AMAZÔNIA

Como descrito na seção 1.3, as comunidades flutuantes amazônicas são compostas pelos moradores, comércio local, igrejas e embarcações especiais, como escolas e embarcações de transporte. Essa configuração se assemelha com os bairros majoritariamente residenciais das cidades. Assim como nas edificações urbanas, a estrutura de cada embarcação nas comunidades flutuantes é feita para cumprir sua função, seja essa oferecer abrigo, proporcionar um espaço para cultos religiosos, entre outras.

As maiores embarcações são, em geral, para o uso coletivo da comunidade e tem um papel semelhante aos locais de uso coletivo nas cidades. Por terem necessidades diferentes apresentam arquiteturas diferentes, porém são, em geral, maiores que as embarcações utilizadas apenas como moradia. Esse tipo de embarcação apresenta maior número de cômodos e móveis e, por consequência, maior área, volume e massa. A Figura 8 a seguir mostra um restaurante flutuante e a Figura 9 uma igreja flutuante.



Figura 8 - Restaurante flutuante no Rio Negro

Fonte: (Cristo, 2008)



Figura 9 - Igreja flutuante no Rio Negro

Fonte: (Cristo, 2008)

As embarcações utilizadas exclusivamente como moradias são menores que as de uso coletivo da comunidade. São compostas em sua maioria por quatro cômodos: uma sala, um quarto, uma cozinha e um banheiro. Essa arquitetura básica pode variar principalmente no número de quartos, chegando até quatro quartos. Para representar as típicas casas flutuantes amazonenses têm-se as Figuras 10 e 11.



Figura 10 - Casa flutuante utilizada como moradia

Fonte: (Quintino, 2012)



Figura 11 - Vista traseira de uma casa flutuante

Fonte: (Quintino, 2012)

As Figuras 8, 9, 10 e 11 ilustram as características dimensionais descritas acima. Outro detalhe importante é que a estrutura e a forma construtiva das casas e das embarcações de uso coletivo são muito próximas, a adaptação feita é apenas estrutural, onde ao aumentar o tamanho da embarcação tem-se que aumentar sua estrutura de sustentação e flutuação.

A estrutura de flutuação dessas casas é igual a mostrada na Figura 6, onde têm-se a construção da base da casa. A Figura 2, que mostra a estrutura de uma casa americana, apresenta um projeto similar ao amazonense tendo como diferença marcante o uso de troncos de madeira ao invés de tubulação com ar.

2.2. JUSTIFICATIVA DO TIPO DE CASA ESCOLHIDA

A embarcação escolhida para análise é a embarcação utilizada apenas como moradia, representada nas Figuras 10 e 11. Esse é o tipo de casa flutuante amazonense mais comum (Junior, 2009) e o que se apresenta em maior quantidade.

Visando alcançar o objetivo do projeto, o modelo utilizado na maior quantidade de casas foi o modelo básico escolhido. Este aspecto faz com que o projeto possa impactar um maior número de embarcações.

Outro aspecto importante para a determinação do modelo estudado é verificar qual deles está mais suscetível aos movimentos que causem desconforto aos habitantes da casa. Estes movimentos são o de *heave*, deslocamento na direção z, e o de *roll*, rotação na direção x, seguindo orientação da Figura 7. Para o movimento de *heave* as embarcações com menor massa se encontram em maior exposição. Para a rotação *roll* a característica importante para a escolha deste modelo é o momento de inércia das embarcações. Como serão descritos posteriormente, os agentes externos atuantes na casa causarão a movimentação da estrutura como um todo. As casas que apresentam um momento de inércia menor estão mais sujeitas aos movimentos de rotação (*roll*, *pitch* e *yaw*). O momento de inércia para placas planas, em relação ao seu centro de massa é descrito pela Equação 1.

$$I_{CM} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (1)$$

Sendo:

- b – base da placa plana [m];
- h – altura da placa plana [m].

Para simplificar a análise, a casa pode ser considerada um paralelepípedo em suspensão em um líquido e sujeito aos movimentos de rotação. Como as casas apresentam, em geral, o mesmo comprimento, e este é superior a sua largura, elas estão mais expostas ao movimento de *roll* pois possuem momento de inércia menor para este sentido de rotação. As casas de uso exclusivamente doméstico apresentam largura inferior às embarcações de uso coletivo, logo estão ainda mais expostas a este movimento de rotação. Portanto, o modelo escolhido é o que se apresenta em maior quantidade nas comunidades e o mais exposto aos movimentos de *heave* e *roll*.

2.3. ARQUITETURA DA CASA FLUTUANTE

A arquitetura do modelo escolhido pode ser vista na Figura 12 abaixo.

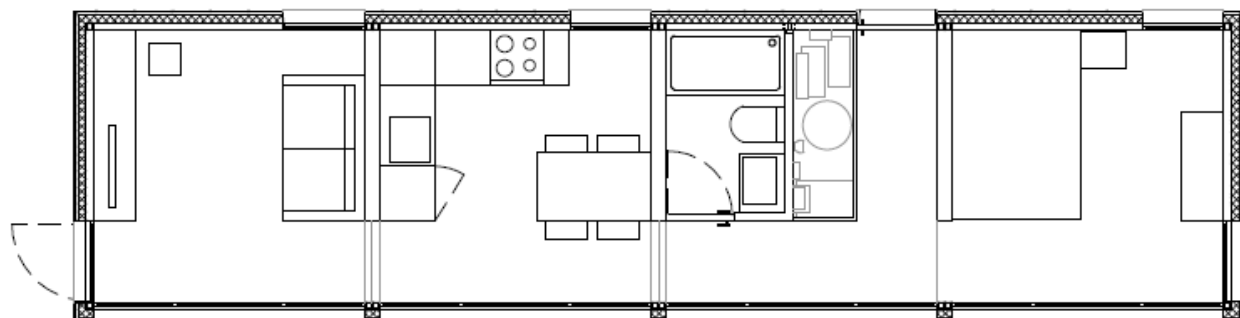


Figura 12 - Vista superior da casa

Fonte: adaptado de (Neto, 2015)

O modelo escolhido trata de uma casa com quatro cômodos. São eles uma sala de estar, que está na entrada da casa, uma cozinha, um *hall* com entrada para o banheiro e um quarto aos fundos. Em (Junior, 2009) e (Neto, 2015) percebe-se uma possível permutação dos cômodos com algumas delas preferindo o banheiro aos fundos.

Como a análise será feita em termos do movimento de *roll* na direção longitudinal da casa, a disposição dos cômodos não influenciará o modelo.

Os móveis, que influenciarão na massa da casa serão: dois aparadores (um disposto na sala e outro no *hall*), dois criados-mudos (um disposto na sala e outro no quarto), uma televisão disposta na sala, um sofá de dois lugares disposto na sala, um conjunto de mesa e quatro cadeiras disposto na cozinha, um conjunto de armários disposto na cozinha, uma pia e um vaso sanitário dispostos no banheiro e uma cama e um guarda-roupas dispostos no quarto.

Outro ponto que influenciará na massa da casa é a quantidade de pessoas que esta abriga. Esta casa terá apenas dois habitantes, como é comum na região quando os filhos deixam a casa dos pais.

2.4. HIPÓTESES SIMPLIFICADORAS DO MODELO

Para descrever os movimentos de *heave* e *roll* da casa flutuante é necessário determinar as equações que regem o movimento da mesma. Este equacionamento demanda simplificações do fenômeno físico, ou seja, traduzir os efeitos reais em elementos que a engenharia conhece e utiliza. Esta seção contempla as simplificações utilizadas para descrever o fenômeno físico de uma casa flutuante sob a ação de ondas e ventos.

2.4.1. SIMPLIFICAÇÕES DE MOVIMENTO

Como priorizado anteriormente, os movimentos analisados serão o de *heave* e o de *roll*. Estes foram os movimentos foram escolhidos por, devido à estrutura da casa e dos carregamentos, serem os de maiores amplitudes e com potencial de causar maior desconforto aos habitantes. Para demonstrar esses movimentos, a estrutura que originalmente apresenta seis graus liberdade apresentará apenas dois.

Simplificando a estrutura tridimensional um corte será feito na direção transversal da casa, transformando-a em uma estrutura bidimensional. Essa nova estrutura apresentará três graus de liberdade.

Para eliminar o movimento de *trim* a casa será considerada ancorada e, para representar a âncora, um apoio móvel será adicionado ao modelo físico da estrutura.

2.4.2. SIMPLIFICAÇÕES DE FORMA E ESTRUTURA

Como a casa será simplificada para um plano, a sua estrutura será aproximada para uma placa plana. As toras de assacú, usadas para sustentação, serão representadas por cilindros regulares e seu comprimento será igual ao comprimento da casa. A placa plana e os cilindros estarão em contato por apenas um ponto e, através de uma união fixa, formarão um único corpo sólido, que terá movimento regido pelas mesmas equações.

O número de toras utilizadas na sustentação da estrutura é três, tendo uma delas o ponto de contato alinhado com o baricentro da estrutura. As toras serão os únicos elementos de sustentação da estrutura, ou seja, o empuxo causado por elas será o único efeito de força contrário ao peso da estrutura.

2.4.3. SIMPLIFICAÇÕES DE CARREGAMENTOS

Serão desconsiderados os carregamentos causados pela propagação das ondas entre as toras. Estes carregamentos resultariam em novos esforços na direção do movimento de *trim* da estrutura que, por este não ser considerado, serão desprezados.

O contato da tora com a casa será traduzido por uma força com direção favorável ao movimento positivo de *heave*. Como serão três toras têm-se três forças atuantes na parte inferior da placa plana.

Os efeitos dissipativos da estrutura, causados pelo atrito da água com as toras, também será desconsiderado. Esta desconsideração é feita pois a estrutura não tem como objetivo de construção dissipar energia durante seu movimento hidrodinâmico. A dissipação de energia da estrutura é um dos objetivos do projeto e um absorvedor de vibrações será adicionado à estrutura para simulações futuras.

A força causada pelo vento será considerada um carregamento uniformemente distribuído na direção do movimento de *trim*. Este carregamento será conduzido à uma única força alinhada com o baricentro da estrutura.

2.5. FORÇAS EXTERNAS

A configuração da casa flutuante amazonense é pautada pelas condições naturais que a envolvem - rios, ventos e clima, principalmente. Sendo assim, a construção e estruturação das casas ribeirinhas flutuantes devem ser capazes de suportar as diversidades naturais da região amazônica.

Como descrito em (Junior, 2009), propor novas soluções para a arquitetura ribeirinha deve se atentar para o contexto ambiental a qual estão inseridas. A relação com o regime das águas, bem como a percepção climática da região, torna-se pontos relevantes no desenvolvimento qualitativo das casas flutuantes, no processo de criação de soluções deve-se, também, levar em conta o contexto socioeconômico da população.

Dessa forma, de modo a fornecer resultados numéricos mais próximos da realidade, o modelo físico irá considerar o efeito das ondas dos rios sob o movimento da casa, bem como a incidência de ventos na sua estrutura.

Os próximos dois capítulos irão tratar da modelagem utilizada para descrever os efeitos da onda dos rios e dos ventos.

2.5.1. EFEITO DA AÇÃO DAS ONDAS

Entender o movimento de embarcações tem como ponto essencial estudar o comportamento natural de seu movimento, assim como a principal fonte de distúrbio as ondas.

No caso das casas flutuantes amazonenses, as ondas, conhecidas como ‘banzeiros’ pelos moradores locais, são responsáveis por gerar vibração na estrutura da casa, tal problemática é acentuada nos períodos de enchente. Esses fenômenos cíclicos hídricos tem gerado insegurança, transtornos e prejuízos para a população ribeirinha, segundo (Marinho, 2013).

Entre os anos de 1992 e 1996 (Fraxe, 2000) coletou dados do comportamento hídrico dos rios amazonenses, e são descritos na Tabela 1. Tal comportamento interfere diretamente nas condições de vida da população local, bem como em suas construções.

Tabela 1 - Regime hídrico amazense

Estações	Mês do ano	Fatores dificultadores	Fatores facilitadores
Enchente	Novembro Dezembro Janeiro	-Chuvas intensas; -Elevados índices de doenças tropicais: malária, hepatite, cólera e febre amarela	-Facilidade de navegar, geralmente em novembro inicia o aumento do volume d'água; -As "terras molhadas" ainda não estão submersas, portanto o pesquisador tem acesso a toda a propriedade, inclusive a roça.
Cheia	Fevereiro Março	-Chuvas intensas, temporais; -Dependendo do nível da enchente, neste período, muitos camponeses migram para terra firme; -Dificuldade de locomoção dentro das comunidades rurais; ir de uma propriedade a outra somente de canoa.	-Canais e firos com profundidade suficientes para passagem de barcos de grande porte; -Possibilidade de recorrer a atalhos pelos firos, áreas de terra que ligam diferentes rios.
Vazante	Abril Maio Junho Julho	-Árvores e troncos arrancados pela força d'água na estação anterior fazem parte da paisagem anfíbia neste período, podendo causar acidentes com embarcações; -Muitas doenças, insetos e pragas.	-Chuvas sazonais em menor intensidade, muito sol em Julho; -Os caminhos nas comunidades rurais entre uma propriedade e outra estão secos, facilitando as visitas; -Época do plantio.
Seca	Agosto Setembro Outubro	-Dificuldade de navegação em determinadas áreas pela existência de bancos de areia; -Para navegar neste período é preciso procurar o canal do rio.	-Muito sol; neste período os beirados recebem um colorido diferente, o amarelo e o branco de centenas de milhares de borboletas fazem parte do cenário.

Fonte: adaptado de (Fraxe, 2000)

Inicialmente, o modelo de comportamento das ondas é observado como de modo irregular, portanto confuso. Por anos, muitos modelos matemáticos tentaram descrever essa fonte de distúrbio. Contudo, o modelo de comportamento das ondas só foi entendido por (Froude, 1905), quando postulou que o comportamento irregular das ondas (até então confusos) é a composição de ondas regulares com amplitudes e períodos variados. Essa é a base para os estudos mais modernos de ondas atualmente.

Compreender todos os parâmetros e propriedades que descrevem as ondas regulares é fundamental para que sejam descritas as ondas irregulares com toda sua complexidade.

Como descrito em (Junior, 2009), as ondas regulares podem ser descritas como ondas senoidais ou trocoidais.

No passado, as ondas trocoidais eram utilizadas pelos arquitetos navais para se calcular as forças longitudinais em embarcações. A seção de uma onda é gerada através de um ponto fixo dentro de um círculo, o qual ao girar longitudinalmente forma a linha pontilhada da Figura 13 abaixo.

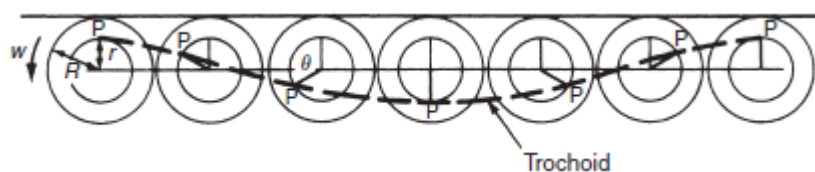


Figura 13 - Formação de onda trocoidal

Fonte: (Tupper, 2004)

Devido à complexidade de se manipular matematicamente as ondas trocoidais, os arquitetos navais optaram por estudar as ondas regulares através das ondas senoidais.

As ondas são descritas por funções senoidais, segundo a Equação 2.

$$Y_{onda}(t) = A_{onda} * \text{sen}(W_{onda} * t + \gamma_0) \quad (2)$$

Sendo:

- A_{onda} – amplitude máxima da onda, dada as condições hídricas locais [m];
- W_{onda} – frequência angular da onda sob condições hídricas amazonenses [Hz];
- γ_0 – defasagem angular [rad].

No modelo descrito para esse trabalho será considerada a Equação 2 para descrever as ondas que atingem as casas flutuantes. Os parâmetros da onda serão apresentados na seção seguinte.

A Figura 14 apresenta a base de sustentação da casa flutuante, pode-se observar que entre uma tora e outra haveria uma defasagem de onda, caso fosse considerado o modelo trocoidal. No entanto, para a modelagem da casa flutuante será considerado que há apenas três pontos de excitação da onda, os quais estão um a um em contato com cada tora. Com isso, a excitação em cada tora terá defasagem nula.

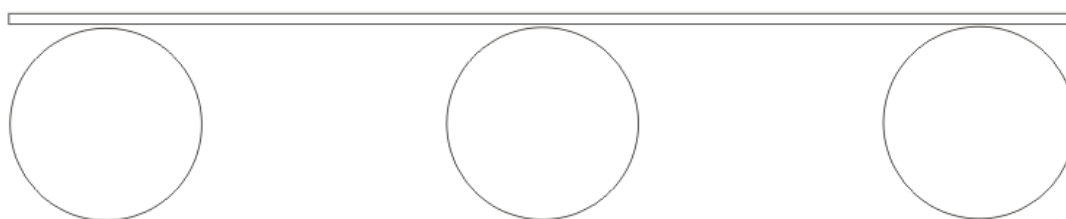


Figura 14 - Base de sustentação da casa flutuante

Fonte: Autor

2.5.2. FORÇA DO VENTO

O estudo da ação dos ventos em embarcações considera, em grande parte, a interação do vento com as águas, dessa interação formam-se ondas. Portanto, o engenheiro análise a ação do vento sobretudo por meio das ondas geradas pela interação vento-mar, assim como descrito em (Tupper, 2004). As características dos ventos dependem da região em análise, temperatura, pressão e época do ano, principalmente.

Analisando a casa flutuante como uma edificação que está sujeita à ventos, pode-se modelar o efeito do vento sob a casa flutuante como modela-se a ação do vento em edificações. (Arrais, 2011) realizou um estudo comparativo entre o modelo da ação do vento em edificações descrito na norma NBR 6123 e teste realizados em túnel de vento. Em seu estudo (Arrais, 2011) analisou edificações na cidade de São Paulo, como o complexo Cidade Jardim e edifício ODEBRECHT Atlanta, em que pôde concluir que a norma NBR 6123 se aproximava dos valores experimentais obtidos nos testes em túnel de vento em todos as faixas de altura dos edifícios, com

exceção da região central dos edifícios. Nessas regiões, a norma apresentava valores de pressão do vento cerca de 60% do valor obtido experimentalmente.

O cálculo descrito na norma NBR 6123 apresenta complexidade matemática destoante daquele a ser desenvolvida por um engenheiro mecânico em sua análise, portanto no presente trabalho a força do vento será descrita através de forças senoidais, mesma interpretação adotada para a análise do efeito das ondas. Optou-se por essa abordagem pois uma vez que a ação do vento pode ser analisada através da sua interação com o mar, o que por sua vez provoca ondas na estrutura da casa, o vento poderá ser modelado como uma ação senoidal incidente na superfície lateral da casa, assim como uma ação oscilante. Sendo portanto um carregamento uniformemente distribuído e com intensidade variando senoidalmente, conforme Equação 3.

$$F_v = [F_{v-m\acute{a}x} * \text{sen}(W_{\text{vento}} * t)] * y \quad (3)$$

Sendo

- $F_{v-m\acute{a}x}$ – força máxima do vento [N/m];
- W_{vento} – frequência angular do vento [Hz].

Os valores de tais parâmetros serão apresentados no capítulo referente à simulação numérica.

A Figura 15 apresenta a ação esquemática do vento sob a casa, além da ação das ondas.

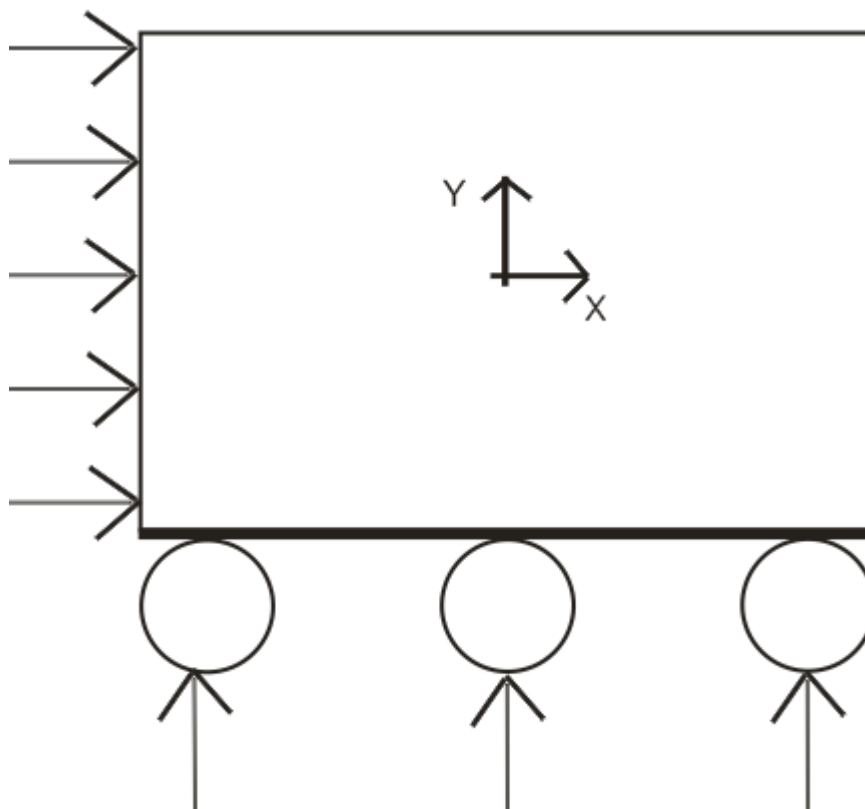


Figura 15 - Ação do vento e das ondas sob a estrutura da casa

Fonte: Autor

2.6. MODELO DA CASA AMAZONESE

O modelo final da casa amazonense, após descrição das hipóteses simplificadoras e dos agentes externos, pode ser ilustrado através da Figura 16.

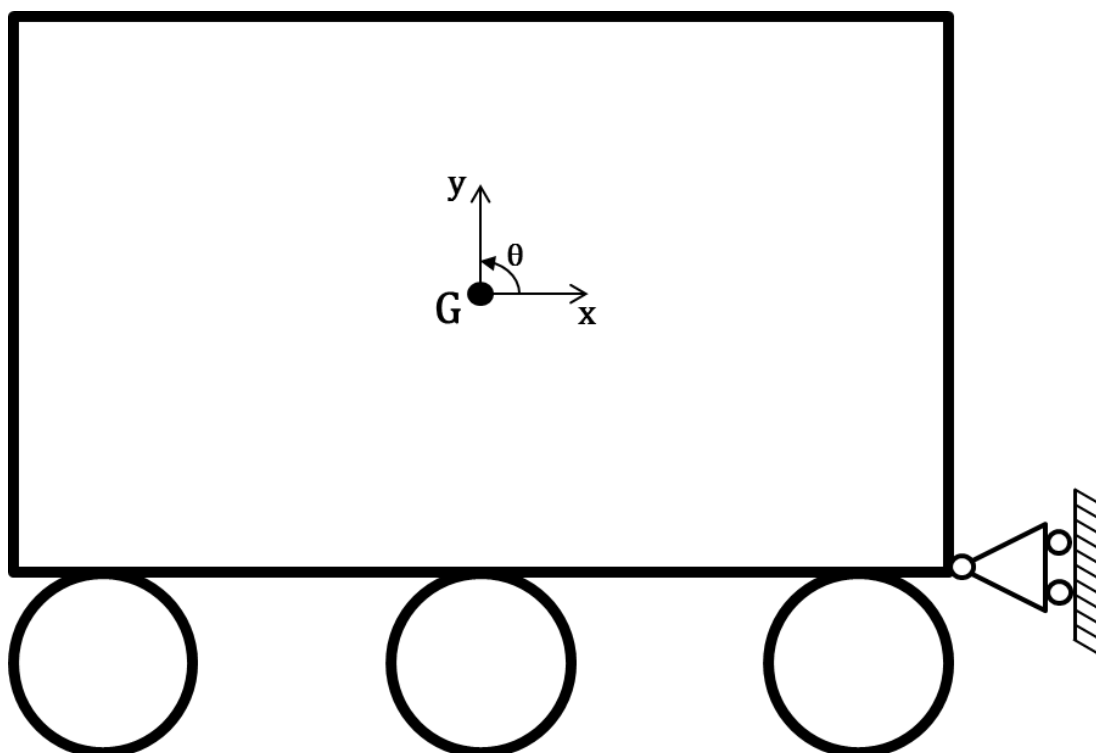


Figura 16 - Modelo da casa amazense

Fonte: Autor

A casa é representada pela placa plana de centro de massa G e as toras pelos círculos abaixo da placa. A água não é representada no modelo mas está na altura de equilíbrio entre o empuxo e o peso da estrutura.

As interações entre tora, casa e âncora são descritas através dos esforços transmitidos de um componente para o outro. A Figura 17 representa estes esforços e a ação do vento.

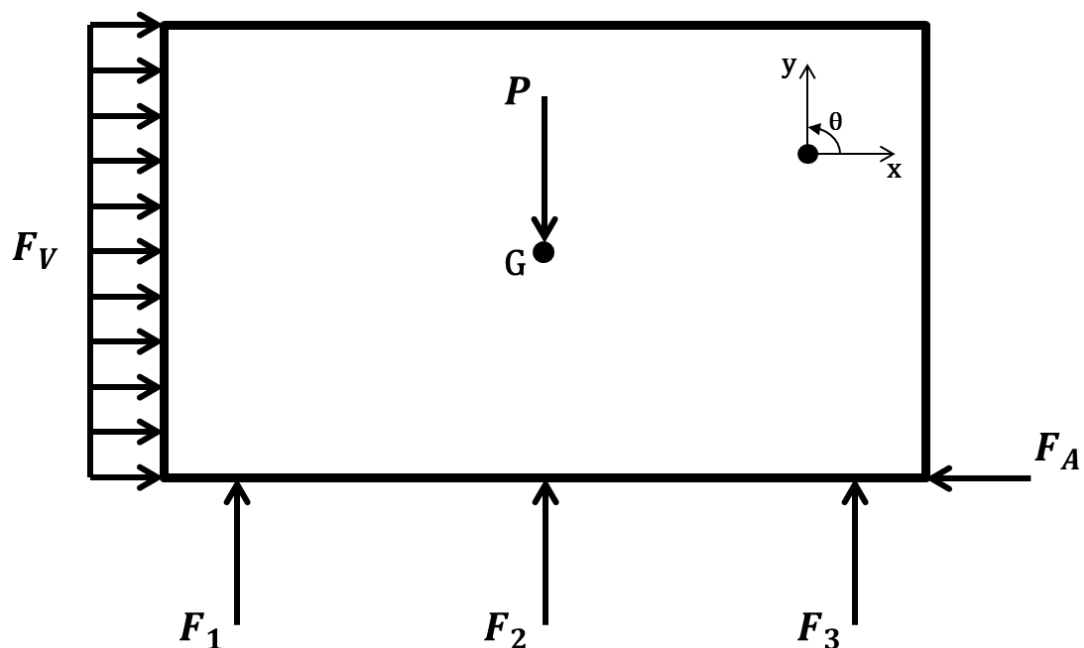


Figura 17 - Esforços aplicados na casa

Fonte: Autor

Por fim, os modelos físicos e seus esforços foram apresentados e as modelagens de suas equações de movimento os seguirão. Nas seções seguintes serão apresentados os métodos utilizados para se definir as equações que regem o movimento da casa e simulações que comprovam a aderência do modelo ao fenômeno.

3. DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO E SIMULAÇÕES

Com base no modelo físico descrito no Capítulo 2, pode-se deduzir as equações de movimento do sistema casa-toras. O desenvolvimento das equações se deu através da aplicação de dois teoremas estudados ao longo do curso de graduação: Teorema do Movimento do Baricentro (TMB) e Teorema do Movimento Angular (TMA).

O TMB é apresentado na Equação 4:

$$\sum F_i = m * a_g \quad (4)$$

Sendo:

- F_i – - forças i que agem no sistema considerado [N];
- m – massa do sistema [kg];
- a_g – aceleração do centro de gravidade do sistema [N].

Enquanto o TMA, segundo (França, 2004), é descrito pela Equação 5.

$$\frac{dH_o}{dt} = mv_g^{v_o} + \sum M_{ext} \quad (5)$$

Sendo:

- H_o – quantidade de movimento angular do sistema [N.m.s];
- M – massa do sistema [kg];
- v_g - velocidade do centro de massa do sistema [m/s];
- v_o - velocidade do centro de coordenadas [m/s];
- M_{ext} – momento das forças externas [N.m].

3.1. MODELAGEM MATEMÁTICA

Aplicando-se o TMB e TMA no modelo físico descrito no capítulo anterior encontram-se as seguintes equações que descrevem o movimento da casa no tempo.

$$\ddot{y} = \frac{1}{M}(-Mg + F_1 + F_2 + F_3) \quad (6)$$

$$\ddot{x} = (F_v - F_a) = 0 \xrightarrow{\text{obtido-se}} F_v = F_a \quad (7)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{J_{casa}} (F_1 * D_1 + F_2 * D_2 - F_3 * D_3 + F_a * D_a + F_v * D_v) \quad (8)$$

Em que tem-se:

- M – como a massa da casa acrescentando-se a massa adicional do efeito de onda sob a casa e a massa [kg];
- F_1, F_2 e F_3 – são as forças de contato entre as toras e a casa, refletem o efeito da ondas incidente sob a tora [N];
- J_{casa} – momento de inércia da casa [m²];
- D_1, D_2, D_3, D_a e D_v – representam o braço entre as respectivas forças com seus índices e o centro de rotação do sistema, baricentro [m];
- F_a – força do vínculo geométrico representando a restrição de deslocamento na direção-x, simbolizando o efeito de um âncora no sistema [N];
- F_v – força do vento incidente sob a residência [N].

3.1.1. CÁLCULO DOS BRAÇOS DAS FORÇAS

A determinação da equação de movimento deu-se para pequenos θ . A Figura 18 apresenta o deslocamento angular do centro de massa considerado para realizar-se a determinação dos braços das forças com relação ao centro de massa do sistema.

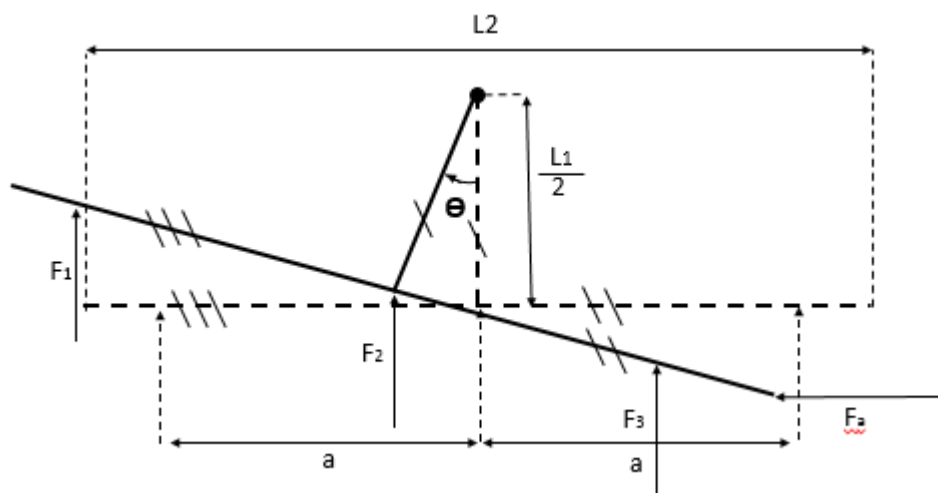


Figura 18 - Cálculo do braço das forças atuantes

Fonte: Autor

A partir da Figura 18, aplicaram-se relações trigonométricas e obtiveram-se os seguintes valores para o braço das forças:

$$D_1 = \left(\frac{L_1}{2}\right) * \text{sen}\theta + a \quad (9)$$

$$D_2 = \left(\frac{L_1}{2}\right) \text{sen}\theta \quad (10)$$

$$D_3 = \left(a - \frac{L_1}{2} \text{sen}\theta\right) \quad (11)$$

$$D_a = \frac{L_2}{2} \text{sen}\theta + \frac{L_1}{2} \quad (12)$$

$$D_v = \frac{L_2}{2} \text{sen}\theta \quad (13)$$

3.1.2. CÁLCULO DAS FORÇAS DE EMPUXO

Sabe-se que a sustentação da estrutura da casa flutuante se pela força de empuxo decorrente do volume de água deslocado pelas toras, elemento que garante flutuabilidade ao sistema. Cálculo da força de empuxo leva em consideração a densidade do fluido e dimensões deslocada pelo elemento imerso no fluido. Segundo (Martins, 2010), força de empuxo pode ser descrita pela Equação 14.

$$\vec{E} = \oint p \cdot d\vec{S} \quad (14)$$

Sendo:

- S – superfície do corpo [m²];
- P – pressão atuante no elemento de área dS [Pa].

No modelo da casa flutuante, a força de empuxo atuante na tora é descrita pela Equação 15, escrita baseada na Equação 14, uma vez que a área “molhada” da seção circular é variável necessita-se determinar a variação da altura da seção, além da “área molhada” de equilíbrio. A Figura 19 apresenta a vista de corte da tora, bem como a representação da altura variável, $H(t)$, e o diâmetro da tora, D .

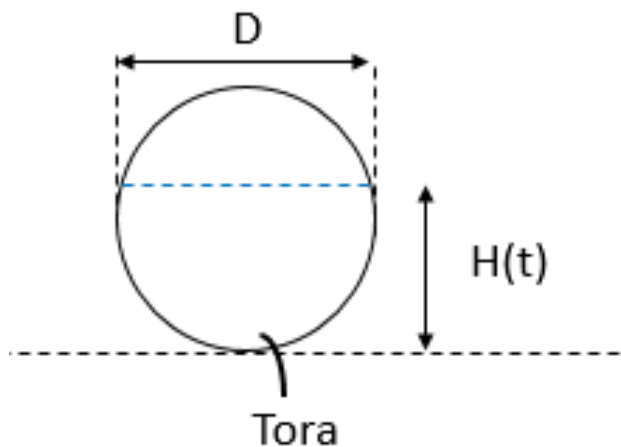


Figura 19 - Representação da área molhada

Fonte: Autor

$$F_E = \rho_{ag} * g * z \left\{ \left[\frac{D^2}{8} * (\alpha - \text{sen}\alpha) \right] - A_{eq} \right\} \quad (15)$$

Sendo:

- ρ_{ag} – densidade da água [kg/m³];
- z – comprimento da tora [m];
- $\alpha - 2 * \arccos(1 - \frac{2*H}{D})$ [rad], conforme visto em (Fernandes, 2012);
- A_{eq} - área de equilíbrio, calculada através da Equação 16 [m²].

$$3 * A_{eq} = \frac{P_{casa} + 3 * P_{tora}}{\rho_{ag} * g * z} \quad (16)$$

As Equações 17, 18 e 19 apresentam a descrição de H(t) para cada tora, considerando que a onda atinge primeiramente a tora à esquerda da Figura 16.

$$H_1(t) = H_{eq} - y_g(t) + 0,5 * H_{eq} * \text{sen}(Wo * t) + a * \text{sen}(\theta) \quad (17)$$

$$H_2(t) = H_{eq} - y_g(t) + 0,5 * H_{eq} * \text{sen}(W_o * t + \frac{\pi}{8}) \quad (18)$$

$$H_3(t) = H_{eq} - y_g(t) + 0,5 * H_{eq} * \text{sen}\left(W_o * t + \frac{\pi}{4}\right) - a * \text{sen}(\theta) \quad (19)$$

Sendo:

- y_g –deslocamento vertical do centro de massa da casa [m];
- W_o –velocidade angular da equação da onda incidente na casa [m];
- $\frac{\pi}{8}, \frac{\pi}{4}$ –fase de onda devido posicionamento das toras [adimensional];
- $a * \text{sen}(\theta)$ –inclinação da casa devido passagem da onda[m].

3.1.3. CÁLCULO DA MASSA ADICIONAL

O estudo e discussão acerca da hidrodinâmica de embarcações apresenta um elemento novo em relação à dinâmica de outros meios de transporte. Esse elemento é a massa adicional, acréscimo de massa na estrutura analisada, que ocorre devido à interação estrutura-fluido. Tal interação fundamenta-se na resistência inercial e viscosa das partículas do fluido na vizinhança estrutura.

Diversos métodos já foram discutidos para se estimar a massa adicional em embarcações. Essas metodologias vêm sendo aprimoradas ao longo do tempo visto que são geradas através de ensaios em laboratórios e, com o avanço da tecnologia, se encontram cada vez mais precisas.

Um dos métodos para estimar a massa adicional é através da variação da energia cinética do fluido na vizinhança da estrutura. (Trindade, 2015) discute como através de equações com soluções analíticas pode-se obter resultados próximos aos ensaiados. Ele compara resultados dos ensaios e das simulações e conclui que os resultados das equações analíticas apresentam boa relação com os ensaiados.

Para cilindros oscilando verticalmente (Trindade, 2015) propõe o seguinte equacionamento:

$$m_{ad} = \frac{\rho_{ag}AB}{2T} \quad (20)$$

Sendo:

- A – área da seção [m²];
- B – boca da seção [m];
- T – calado da embarcação [m].

Para simplificar a análise da massa adicional está será admitida constante e será calculada para a situação em que o calado dos troncos é igual ao seu raio e a boca da seção é igual ao seu diâmetro. Assim, pode-se descrever a massa adicional como mostrado na Equação 21.

$$m_{ad} = \frac{\rho_{ag}\pi D^3}{8r} \quad (21)$$

O equacionamento fornece a massa adicional por comprimento longitudinal do cilindro, ou seja, para obter a massa adicional final é necessário incorporar o comprimento do tronco ao cálculo.

3.2. ANÁLISE NUMÉRICA E SIMULAÇÕES

Ao descrever matematicamente o modelo físico representativo da casa flutuante amazonense, realizaram-se simulações em software numérico (MATLAB®). O software realiza a integração das equações de movimento da casa no tempo, construindo um gráfico que representa seu comportamento hidrodinâmico.

A integração realizada pelo software tem como entrada os parâmetros de excitação da casa e sua forma construtiva. A Tabela 2 fornece os valores adotados para os todos dados necessários nas simulações.

Tabela 2 - Parâmetros da simulação

Parâmetro	Valor	Unidade
Altura da casa	3	m
Largura da casa	5	m
Profundidade da casa	10	m
Densidade da água	1.000	kg/m ³
Espessura da parede	0,02	m
Aceleração da gravidade	10	m/s ²
Densidade da madeira da casa	700	kg/m ³
Período da força do vento	4	s
Período das ondas	2	s
Amplitude do vento	500	N
Amplitude da onda	0,05	m
Peso dos móveis	550	kg
Massa adicional	80	kg
Peso das toras	7.000	kg

Fonte: Autor

As Figuras 20 e 21 simulam o descolamento vertical (*heave*) da casa e sua rotação (*roll*), respectivamente.

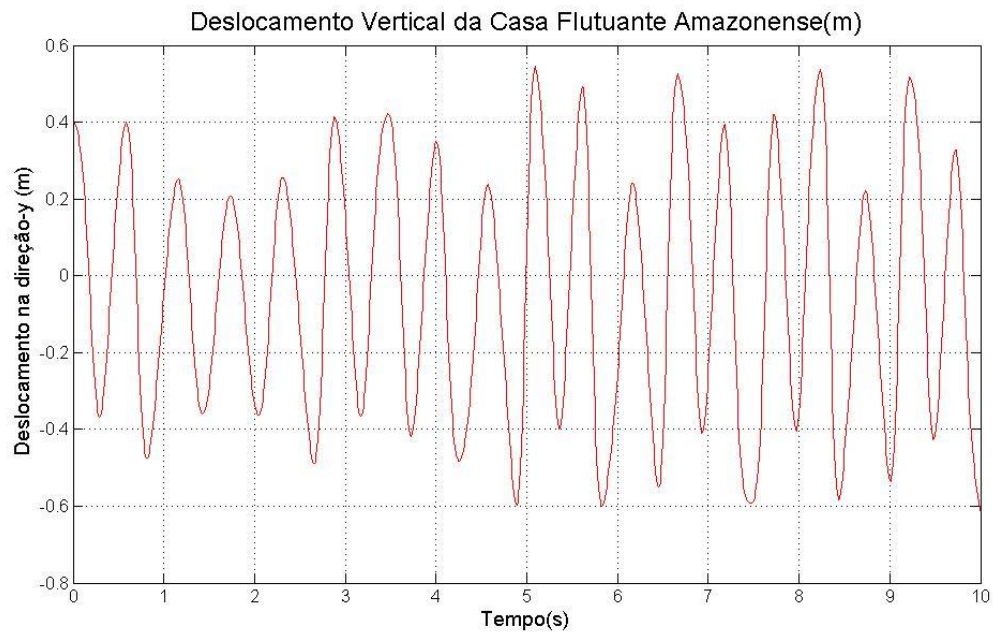


Figura 20 - Simulação do movimento de heave

Fonte: Autor

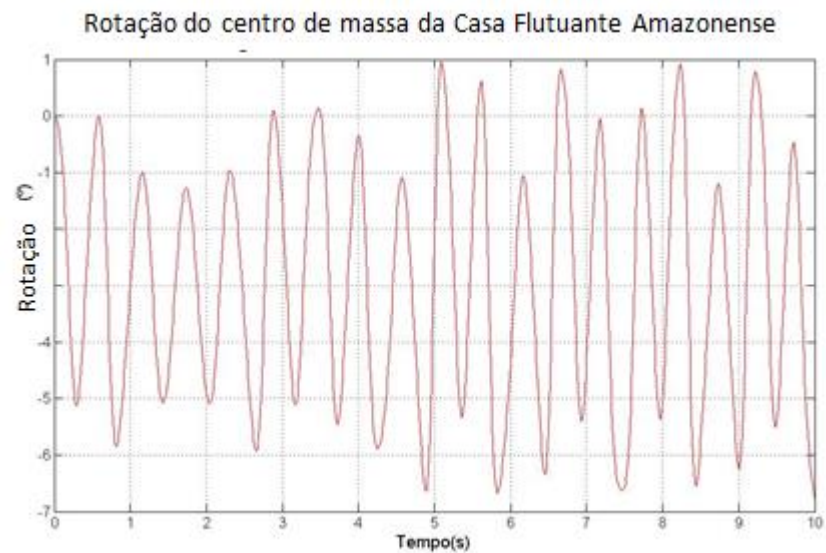


Figura 21 - Simulação da rotação roll

Fonte: Autor

É importante ressaltar que o cenário para a simulação foi considerado o de maior magnitude das forças externas, como em dias de fortes chuvas e tempestades, onde as ondas são maiores e os ventos mais velozes.

As simulações demonstram um comportamento similar ao vivenciado em outras embarcações. O deslocamento vertical do centro de massa da casa atinge uma altura máxima de cinco centímetros e sua variação angular máxima é próxima de quatro graus. Estes valores são compatíveis com os vistos em vídeos e reportagens sobre a vida da população ribeirinha amazonense.

Um ponto importante de ser evidenciado é o efeito da hipótese da casa ancorada. Essa hipótese acrescenta um vínculo do tipo apoio móvel que impede o movimento da casa na direção x . A força transmitida por esse vínculo somado ao efeito da força do vento cria um binário na estrutura da casa que mantém o ponto de equilíbrio angular da casa em torno dos três graus.

3.2.1. CONFORTO HUMANO

Com o intuito de analisar as consequências dos resultados das simulações para os habitantes da casa, é necessário estudar o conforto humano com relação à exposição a vibrações. O principal ponto deste estudo é identificar qual faixa de valores de frequência e a qual faixa de valores de aceleração que corpo humano sente desconforto e verificar se os valores encontrados nas simulações pertencem a essa faixa.

A norma ISO-2631 (ISO, 1997) descreve as percepções do corpo humano frente à diversas situações de vibração. Ela examina faixas de valores que podem ou não serem perceptíveis e podem ou não causar desconforto. Em sua descrição analisam as chamadas vibrações de corpo inteiro (VCI) que são de baixa frequência e alta amplitude, características relacionadas com os resultados das simulações.

As faixas de valores descritas na norma para frequência são de 0,1 Hz a 0,5 Hz e de 0,5 Hz a 80 Hz. A primeira faixa causa enjoo, náuseas, suor e vômito. A segunda afeta a sensação de conforto e percepção de oscilação. Já para os valores de aceleração tem-se a Tabela 3 que explicita as faixas de valor para a VCI.

Tabela 3 - Faixa de valores para aceleração

Aceleração	Reações com relação ao conforto
< 0,315 m/s ²	confortável
0,315 m/s ² a 0,63 m/s ²	pouco desconfortável
0,8 m/s ² a 1,6 m/s ²	desconfortável
1,25 m/s ² a 2,5 m/s ²	muito desconfortável
> 2,0 m/s ²	extremamente desconfortável

Fonte: (ISO, 1997)

Caso o habitante da casa exposto à vibração estiver sentado, sob frequências maiores que 2 Hz, a vibração é amplificada em seu corpo devido ao efeito da ressonância na cavidade abdominal. Logo, esse contexto pode trazer desconforto a ponto de afetar a coordenação motora dos moradores.

Seguindo com a análise das condições de vida da população ribeirinha amazonense, realizou-se o cálculo da aceleração dos extremos da casa, entendendo que estes seriam as partes mais críticas à vibração – composto por movimento vertical do centro de massa acrescido do termo que é o produto da distância do centro de massa até a lateral da casa pela variação angular do centro de massa, na Figura 22 pode-se observar o gráfico da análise aqui desenvolvida, sendo mencionado o ponto crítico como este acima descrito.

O método utilizado para cálculo da aceleração se deu através da relação entre velocidade de dois pontos seguidos, pelo intervalo de tempo entre os dois pontos. Visando dirimir qualquer dúvida: supondo que a velocidade em um ponto seja A, e a velocidade seguinte seja B, com domínio discretizado em 0,01 segundos (intervalo de tempo entre os pontos calculados por integração numérica das equações de movimento, conforme descrito na seção 3.2).

O método de integração utilizado é uma simplificação da integração numérica que deveria ser realizada nas equações de movimento. Contudo, as

equações de movimento vertical da casa flutuante apresentam termo forçante com (equação 15) função arcosseno, impedindo isolamento de variáveis e tornando a complexidade matemática aquém do escopo do curso de engenharia.

Dessa forma, o método de derivação numérica trata-se de uma simplificação acessível para se determinar o grau de conforto a que os moradores estão sujeitos. Adiante será avaliado o conforto da casa com o uso de absorvedor de vibração, possibilitando, portanto, avaliar, neste critério, a eficácia do uso do dispositivo atenuador de vibração.



Figura 22 - Análise do ponto crítico (m/s²)

Fonte: Autor

Observando a Figura 22, conclui-se que a faixa de aceleração do ponto crítico da casa é superior à 0,315 m.s⁻², enquadrando-se em uma das faixas de aceleração não confortável (à padrões humanos, de acordo com a Tabela 3). Dessa forma, espera-se que o estudo aqui desenvolvido seja capaz de propor um dispositivo que, dentre outros critérios, quando acoplado na casa a torne confortável, seguindo o critério da Tabela 3.

Em complemento, no Apêndice A foram simulados três cenários de frequências de ondas diferentes e que se pode observar a atenuação da aceleração com o uso do absorvedor.

4. ABSORVEDORES DE VIBRAÇÃO

Seguindo o escopo do presente trabalho, a busca de métodos capazes de mitigar os efeitos provenientes da vibração da casa flutuante se faz pertinente. Sendo assim, no âmbito da engenharia mecânica, o principal dispositivo utilizado para reduzir a vibração de corpos rígidos é conhecido como absorvedor de vibração.

Os absorvedores de vibração são dispositivos, assim como mencionado, capazes de reduzir ou atenuar a vibração de corpos em uma determinada faixa de frequência. Existem três tipos de absorvedores dinâmicos de vibração: passivo, ativos e adaptativos (Aguilar, 2011).

Os absorvedores dinâmicos passivos de vibração apresentam parâmetros de massa, mola e amortecedor fixos, bem como a inexistência de agentes externos para fornecer energia que capacite o dispositivo a absorver e atenuar a vibração do corpo. Além disso, a faixa de operação dos absorvedores passivos é relativamente estreita, tais dispositivos não apresentam resultados satisfatórios diante de situações em que há mudança da frequência de vibração.

Em contrapartida, absorvedores capazes de variar sua frequência de atuação são chamados de absorvedores ativos de vibração. Nestes, a presença de força externa permite que o dispositivo apresente bom comportamento diante de situações em que há mudança de vibração do sistema. Dessa forma, os absorvedores ativos conseguem se configurar para atenuar diferentes níveis de vibração (Méndez, 2014).

Os absorvedores adaptativos também conseguem atenuar diversas faixas de frequência. Sua principal diferença dos adaptadores ativos é que são feitos de materiais que podem continuar e automaticamente variar suas características para se sintonizar em diversas faixas de frequência. Em geral, são feitos de materiais ditos inteligentes (piezelétricos, fluidos magnetoreológicos, e outros) e estão na fronteira do desenvolvimento de absorvedores. Em (Acar, et al., 2012) tem-se um absorvedor, composto por um cabo e uma massa, que utiliza um cabo com ajuste de rigidez e assim atuar com o efeito de antirressonância para determinadas faixas de frequência.

A aplicação de absorvedores de vibração também se faz presente na indústria naval. Na maioria dos casos os absorvedores possuem duas funções: atenuar as vibrações e evitar possíveis tombamentos devido à fatores externos. Se tratando de casas flutuantes a primeira função é a principal visto que o ambiente amazonense e a forma construtiva das casas por si só já garantem que não haverão tombamentos.

As casas flutuantes amazonenses possuem um contexto socioeconômico e ambiental que exigem a escolha de absorvedores capazes, além de atenuar as vibrações, de serem inseridos socialmente. Dessa forma, para o projeto básico do presente trabalho serão pautadas as principais necessidades exigidas pela estrutura flutuante para que a atenuação da vibração ocorra de modo adequado. Em paralelo, parâmetros sociais e de acessibilidade para os moradores locais serão considerados, para então ser definido o melhor modelo de absorvedor de vibração.

4.1. GERAÇÃO DE SOLUÇÕES

A geração de alternativas consiste em se levantar a maior quantidade de alternativas para a resolução do problema em questão. Para garantir uma quantidade satisfatória de alternativas devem-se estudar as já possíveis soluções para o problema e, além das já existentes, elaborar novas possibilidades frente às prioridades e especificidades de cada projeto.

Os métodos aplicados para esta etapa do projeto são os mesmos que os discutidos e desenvolvidos nas disciplinas Introdução à Engenharia (PNV2100) e Metodologia do Projeto I (PME2320). Além da disciplina, a estruturação do desenvolvimento de alternativas segue as ideias propostas em (Kaminski, 2014).

4.1.1. SOLUÇÃO A - PÊNDULO

O uso de pêndulos para atenuar efeitos de vibração é antigo. A ideia consiste em adicionar um pêndulo para criar um absorvedor de vibração passivo na estrutura. Basicamente o pêndulo absorve parte da energia cinética transferida ao

sistema e então balança, fazendo com que a estrutura tenha seu movimento diminuído.

Em (Massoca, et al., 2014) mostra-se o uso do pêndulo para o caso de uma excitação lateral em um trem de massa móvel. Há o dimensionamento do comprimento do pêndulo e o de sua massa para encontrar os melhores resultados na vibração do trem de massa móvel. Seus resultados mostram uma redução de 40% na amplitude da vibração.

No caso de aplicação para casa flutuante, pode-se modificar um cômodo da casa ou seu espaço externo para a colocação de um pêndulo. Sua representação pode ser vista na Figura 23.

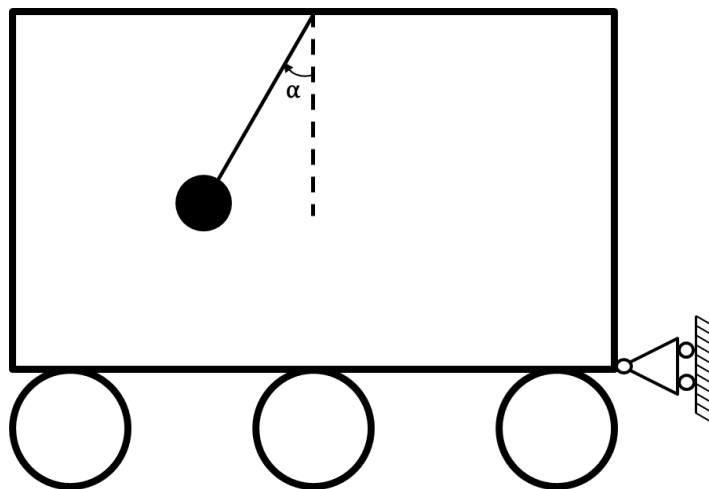


Figura 23 - Estrutura com pêndulo

Fonte: Autor

4.1.2. SOLUÇÃO B - MASSA SINTONIZADA

O uso de massa sintonizada é similar ao uso de um pêndulo na estrutura da casa. Em ambas as alternativas o componente inserido absorve a energia cinética proveniente dos agentes externos e a transforma novamente em energia cinética. No caso da massa sintonizada, seu uso está também associado a um conjunto mola amortecedor que é determinado, em conjunto com o valor da massa, para atuar em certas faixas de frequência.

Seu uso também é frequente em casos de engenharia, como pode ser visto em (Paredes, 2008). Em sua tese de mestrado ele mostra como absorvedores podem ser aplicados em pontes e edifícios para reduzir vibrações provenientes de carros ou terremotos. Para cada estrutura (Paredes, 2008) calcula o valor da massa, o coeficiente do amortecedor e a constante da mola, mostrando que para cada faixa de frequência é necessário projetar um conjunto de massa sintonizada.

Para a aplicação em casas flutuantes a massa sintonizadora poderia estar situada acima do telhado da casa. Ilustra-se essa possibilidade na Figura 24.

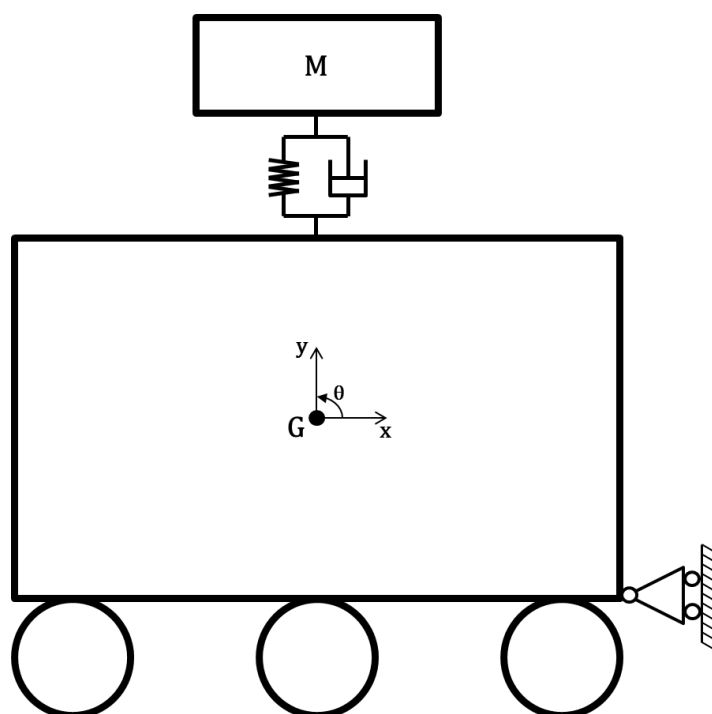


Figura 24 - Estrutura com massa sintonizada

Fonte: Autor

4.1.3. SOLUÇÃO C - TANQUE DE ESTABILIZAÇÃO PASSIVO TIPO U

Essa solução é comum no âmbito da hidrodinâmica para estabilizar o movimento de *roll* de embarcações. Diferentemente das alternativas previamente descritas, o tanque estabilizador consiste em se dissipar a energia cinética das excitações através da movimentação da água em dutos inseridos na estrutura do

tanque. Esse movimento pode ser previamente projetado, alterando a forma construtiva dos dutos e do tanque, para fornecer a água do tanque uma movimentação em faixas de frequência que atenuem a vibração na casa como um todo.

Em (Muñoz, 2007) o tanque é modelado e inserido em um navio para a realização de simulações numéricas. Há toda a caracterização do tanque, desde a forma construtiva, a definição do volume de líquido e a definição do sistema de comunicação entre os tanques. Em sua tese de mestrado (Muñoz, 2007) conclui que o uso desse tipo de absorvedor é eficiente, tendo atenuado praticamente todo o movimento de *roll* das embarcações simuladas.

Um esquema de como é o tanque de estabilização passivo tipo U pode ser visto na Figura 25.

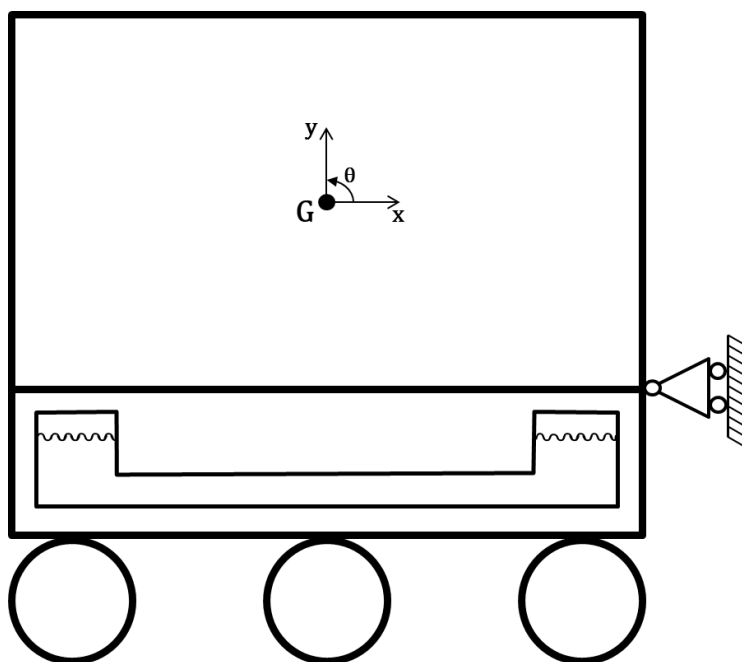


Figura 25 - Estrutura com tanque estabilização passivo tipo U

Fonte: Autor

4.1.4. SOLUÇÃO D – PNEUS COMO SUSPENSÃO

O uso de suspensão para atenuar movimentos devido à excitações é amplamente estudado na indústria automotiva. O desenvolvimento de conjuntos mola amortecedor tem como objetivo, para esta indústria, o conforto dos passageiros e o desempenho dos veículos em situações de pista prejudicada. Esse sistema utiliza a deformação da mola e a absorção do amortecedor para dissipar a energia introduzida pelos agentes externos.

A abordagem de suspensões é comum no ambiente acadêmico. Em (Freitas, 2006) há a discussão e simulação da dinâmica vertical de uma suspensão veicular do tipo MacPherson e em (Ruthes, 2016) é feito uma análise de sensibilidade para faixas de frequências diferentes em que o principal parâmetro de avaliação é o conforto do passageiro. Em ambos os trabalhos as suspensões reduzem a vibração da estrutura.

Um esquema com a aplicação de suspensões na casa flutuante pode ser visto na Figura 26.

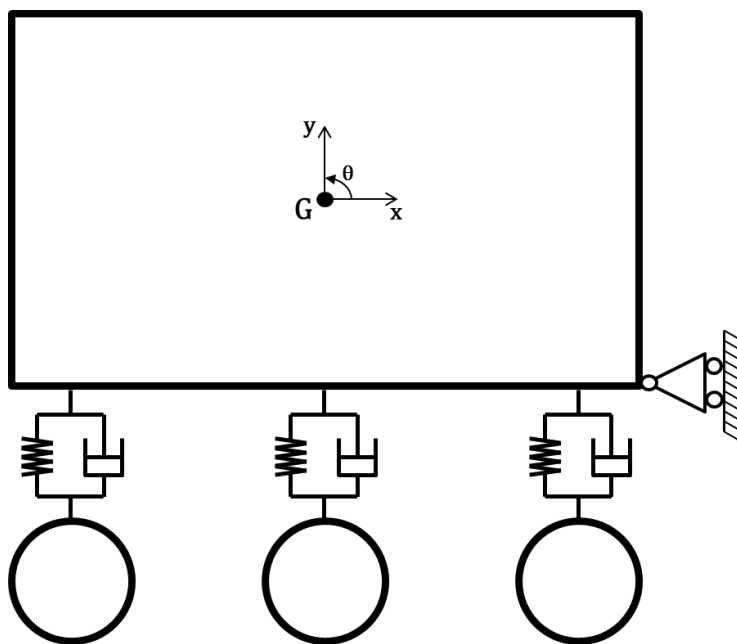


Figura 26 - Estrutura com suspensão

Fonte: Autor

4.1.5. SOLUÇÃO E - REVESTIMENTO DAS TORAS

Esta solução baseia-se no atrito das toras com a água. Sabe-se que o movimento de flutuação das toras gera um atrito com a água e, na seção sobre as hipóteses do modelo, este foi desprezado para a modelagem da casa. Embora esta hipótese tenha sido feita pode-se admitir que, para um material que tenha um coeficiente de atrito alto com a água, este efeito não pode ser desprezado pois gera uma dissipação de energia no sistema.

Visando aumentar o atrito das toras com a água pode-se revesti-las com materiais que propiciem a dissipação de energia da estrutura. Materiais como certos tipos de polímeros possuem um elevado fator de atrito e podem contribuir para o efeito.

4.1.6. SOLUÇÃO F - TURBINAS SUBAQUÁTICAS

Pode-se acoplar na estrutura um conjunto de turbinas que, com a movimentação vertical da estrutura no fluido, rotacione e absorva parte da energia proveniente da excitação na casa. Não foi encontrado na literatura o uso de turbinas como absorvedores de vibração.

Um esquema da casa com duas turbinas está mostrado na Figura 27.

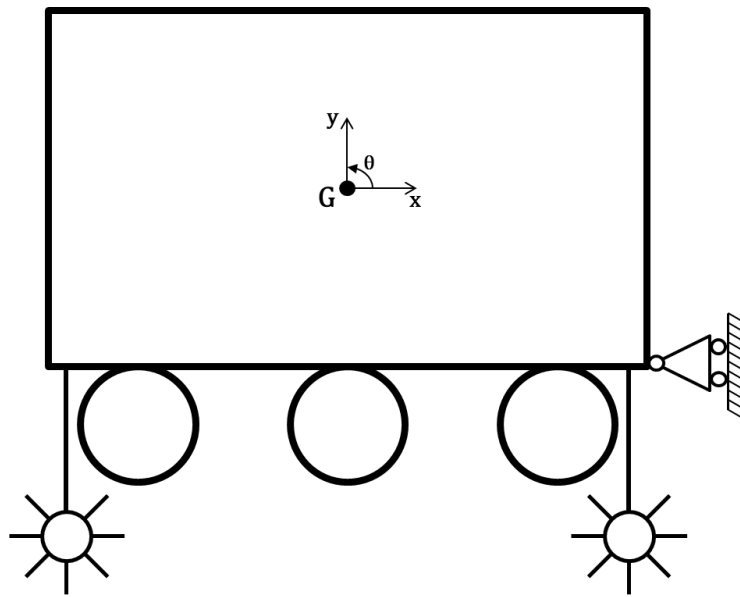


Figura 27 - Estrutura com turbinas

Fonte: Autor

4.2. MATRIZ DE DECISÃO

A tomada de decisão frente às alternativas geradas é feita através da avaliação de cada uma delas por critérios previamente estabelecidos. Quanto mais representativos para o projeto forem os critérios, mais adequada será a solução avaliada. Este método de escolha da solução final é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Segundo (Saaty, 1980) o método foi desenvolvido para auxiliar na tomara de decisões complexas a partir das concepções do projeto. A primeira etapa do método é a escolha dos critérios de decisão, seguida pelo peso dos critérios e, por fim, a elaboração da matriz de decisão.

4.2.1. ESCOLHA DOS CRITÉRIOS

Primeiramente, através de um processo de *brainsorming*, foram levantados diversos critérios sob os quais as soluções poderiam ser avaliadas, a fim de

confrontar suas características distintas. Os critérios escolhidos estão descritos abaixo:

- Disponibilidade de materiais: disponibilidade dos materiais empregados na construção da solução.
- Disponibilidade de tecnologias: disponibilidade das tecnologias empregadas na construção da solução.
- Custos totais: totalidade dos custos de cada solução, tanto para sua construção quanto para sua implementação.
- Alteração da estética da casa: se a estética da casa será ou não alterada pela.
- Implementação em casas já construídas: se a solução pode ser implementada em casas já construídas.
- Facilidade de construção: o quão complexa será a construção do absorvedor na estrutura da casa.
- Manutenção periódica: qual a frequência e o custo da manutenção.
- Bibliografia: se a solução possui fontes bibliográficas de discussão no meio acadêmico e de produção no meio industrial.

4.2.2. PESO DOS CRITÉRIOS

Continuando a metodologia apresentada em (Saaty, 1980) deve-se verificar a importância comparativa dos critérios. Para tanto, cada critério é comparado individualmente com os outros a fim determinar o peso de cada um na matriz de decisão. Essa comparação é feita com base nos valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Escala de notas

Nota	Descrição
1	Critérios igualmente importantes
2	Critério da linha é moderadamente mais importante que o critério da coluna
3	Critério da linha é mais importante que o critério da coluna
4	Critério da linha é muito mais importante que o critério da coluna
5	Critério da linha é extremamente mais importante que o critério da coluna

Fonte: Autor

A Tabela 5 representa os pesos normalizados para cada critérios após a comparação descrita pelo critérios e pelas notas acima.

Tabela 5 - Pesos normalizados

Critérios	Pesos normalizados
Disponibilidade de materiais	0,2326
Disponibilidade de tecnologias	0,2326
Custos totais	0,0930
Alteração da estética	0,0349
Implementação em casas já construídas	0,0581
Facilidade de construção	0,0233
Manutenção periódica	0,0581
Bibliografia	0,2674

Fonte: Autor

A Figura 28 traz um radar dos pesos para ilustrar como eles foram distribuídos. Sua análise é que os critérios principais do projeto são a bibliografia, a disponibilidade de materiais e a disponibilidade de tecnologias, ou seja, prioriza-se a

solução que não tenha previamente desenvolvida na universidade ou na indústria e seja possível de ser construída.

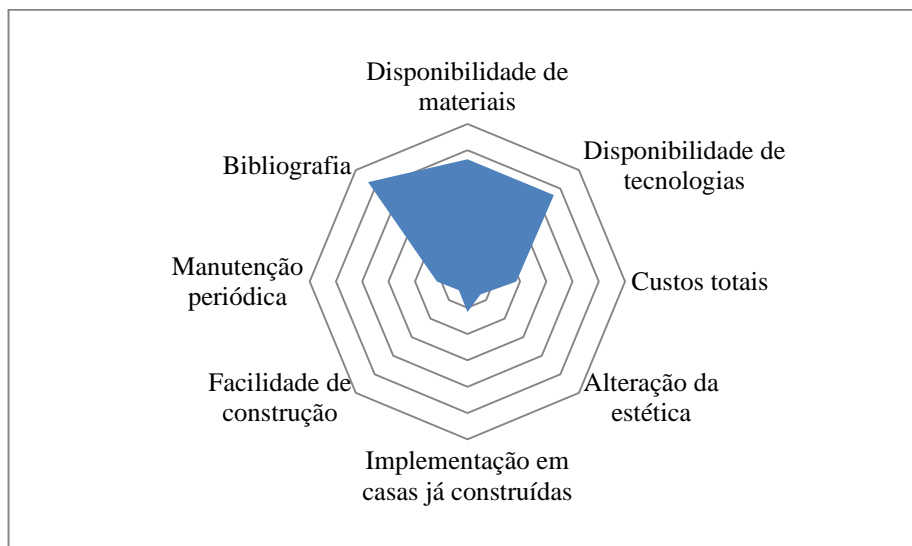


Figura 28 - Radar dos critérios

Fonte: Autor

4.2.3. AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES

Após a escolha dos critérios e a definição dos seus pesos, foi feita uma escala de notas para cada um dos critérios, de modo a guiar a avaliação das soluções. As escalas estão descritas nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 - Notas dos critérios 1

Nota	Disponibilidade de materiais	Disponibilidade de tecnologias
1	Nenhum material disponível	Nenhuma tecnologia disponível
2	Menos da metade dos materiais disponíveis	Menos da metade das tecnologias
3	Metade dos materiais disponíveis	Metade das tecnologias
4	Mais da metade dos materiais disponíveis	Mais da metade das tecnologias
5	Todos os materiais disponíveis	Todas as tecnologias disponíveis

Fonte: Autor

Tabela 7 - Notas dos critérios 2

Nota	Custos totais	Alteração da estética	Implementação em casas já construídas
1	Maior que R\$2.000,00	Alteração em mais de um local	Não pode ser implementada
2	Entre R\$ 2.000,00 e 1.500,00	Alteração na parte interna	Implementada com grande dificuldade
3	Entre R\$ 1.500,00 e 1.000,00	Alteração na parte superior	Implementada com dificuldade
4	Entre R\$ 1.000,00 e 500,00	Alteração somente na parte inferior	Implementada com facilidade
5	Menor que R\$ 500,00	Nenhuma alteração	Implementada com grande facilidade

Fonte: Autor

Tabela 8 - Notas dos critérios 3

Nota	Facilidade de construção	Manutenção periódica	Bibliografia
1	Mais de 25 horas	Menor que 180 dias	Solução não estudada
2	Entre 20 horas e 15 horas	Entre 180 dias e 270 dias	
3	Entre 15 horas e 10 horas	Entre 270 dias e 365 dias	
4	Entre 10 horas e 5 horas	Entre 365 dias e 730 dias	Solução estudada
5	Menos de 5 horas	Maior que 730 dias	Solução amplamente

Fonte: Autor

Após a determinação da escala de notas, cada solução foi avaliada para cada critério, seguindo a escala descrita. Assim, confeccionou-se a matriz de decisão mostrada na Tabela 9.

Tabela 9 - Matriz de decisão

	Solução A	Solução B	Solução C	Solução D	Solução E	Solução F	Pesos normalizados
Disponibilidade de materiais	5	4	2	4	3	2	0,2326
Disponibilidade de tecnologias	5	5	3	5	5	2	0,2326
Custos totais	5	4	1	3	5	1	0,0930
Alteração da estética	1	3	4	5	4	5	0,0349
Implementação em casas já construídas	3	2	1	1	4	5	0,0581
Facilidade de construção	5	4	1	4	5	1	0,0233
Manutenção periódica	2	2	5	5	3	3	0,0581
Bibliografia	4	4	5	5	1	1	0,2674
Total	4,30	3,97	3,10	4,33	3,26	1,95	

Fonte: Autor

A solução D, uso de pneus para simular um sistema de suspensão, foi a solução com a maior pontuação pelo critério AHP. Entretanto a solução A obteve um resultado com diferença de menos de 1% para a solução D, sendo assim é necessário melhorar as análises dessas duas soluções a fim de se obter a melhor solução.

4.2.4. AVALIAÇÃO DAS SOLUÇÕES A E D

Devido ao valor próximo obtido através da matriz de decisão para ambas soluções, decidiu-se melhorar a análise comparativa entre as duas a fim de obter a solução mais adequada ao problema. Ao invés de reconstruir a matriz de decisão, novos critérios serão abordados e discutidos separadamente para as soluções.

Um ponto que não foi abordado na primeira matriz de decisão foi a necessidade de alteração da arquitetura interna da casa e este é um ponto onde apenas a solução A apresenta interferências. A solução D, por apenas modificar a estrutura

de sustentação da casa, não interfere na disposição dos cômodos da mesma. Este critério é pior para a solução A visto que há a necessidade de se reservar um cômodo, de preferência no centro da estrutura, para a disposição do pêndulo.

Outro ponto não abordado foi a alteração da altura do plano da casa. Este critério, apesar de parecer contemplado com o critério “Alteração da estética”, tem uma conotação diferente de estética, uma vez que a alteração da estrutura de sustentação não mostra impactos na parte com maior visibilidade da casa e, portanto, tem uma interferência mínima no critério “Alteração da estética”. A alteração da altura do plano da casa pode apresentar uma dificuldade para os moradores embarcarem e desembarcarem da casa. Neste critério, a solução A teria um desempenho melhor que a solução D.

Ainda sobre a alteração da altura do plano da casa alguns pontos podem ser discorridos quanto o cotidiano da população local frente a este ponto. As casas atuais da região já apresentam entre si diferentes alturas do plano da casa. Esta diferença é consequência das características de construção das casas, dado que as toras de flutuação não sofrem nenhum tipo de processo de padronização antes de serem utilizadas na estrutura de sustentação e o restante da confecção da casa é feita de maneira artesanal. Este ponto pode ser observado na Figura 29.



Figura 29 - Diferença de altura do plano das casas flutuantes

Fonte: (Rennó, 2013)

Pode-se complementar, ainda, que as casas possuem diferenças de altura de plano entre si e as embarcações também possuem diferença de altura, ou seja, esta é uma questão que já faz parte da realidade das comunidades flutuantes do Amazonas.

Outro ponto não abordado na matriz de decisão foi uma possível alteração dos componentes estruturais da casa, como colunas e vigas de sustentação. Neste ponto, a solução D acrescentaria um mecanismo na estrutura de sustentação da casa e não alteraria seus outros componentes. Já solução A poderia alterar componentes dado que o comprimento e a massa de sintonização do peso podem ser tais que necessitem de um telhado mais alto da casa (devido ao comprimento do pêndulo) ou de vigas mais resistentes (devido à massa do pêndulo).

Por último, outro fator que pode ser utilizado para comparar as duas soluções é a aceitação da população. Este critério pode ser explicado através dos três pontos anteriores abordados. As soluções A e D propõem alterações nas casas e, conseqüentemente, na vida dos habitantes com a intenção de melhorar seu conforto frente às vibrações causadas pelo rio. Essas alterações foram discutidas nos três pontos anteriores, além de todos os critérios da matriz de decisão, e a análise comparativa mostra dois pontos positivos para a solução D e um ponto considerado neutro. Assim, o ponto de aceitação da população converge para a solução D, que, portanto, será a solução desenvolvida na continuidade do projeto.

5. DESCRIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO COM ABSORVEDOR DAS CASAS FLUTUANTES AMAZONENSES

Ao decidir-se qual seria a solução mais apropriada para o problema em questão, realizou-se a sua modelagem física e matemática, além de simulações que validassem que a solução seria, no campo teórico, capaz de reduzir a vibração na casa. Vale lembrar que não foram encontradas bibliografias que contemplassem a implementação de suspensão (do tipo mola-amortecedor) em casas flutuantes, portanto não será possível realizar a etapa de comparação dos resultados obtidos com os já observados por outros pesquisadores.

Nesse primeiro momento, a análise da casa flutuante com absorvedor de vibrações se dará apenas no campo teórico, isto é, os detalhes construtivos são levados em consideração na construção do modelo físico mas não serão discutidos no momento – etapa prevista para o próximo semestre, de acordo com cronograma do presente trabalho.

Sendo assim, o capítulo 5 será responsável por desenvolver o modelo teórico da solução. Assim, para isso, será apresentado na seção 5.1 os detalhes do modelo físico do sistema casa-toras-absorvedor, na seção 5.2 será descrito o modelo matemático do movimento do sistema e na seção 5.3 será apresentada a simulação do modelo, bem como a comparação dos resultados das simulações dos sistemas com e sem absorvedor de vibração.

5.1. MODELO FÍSICO DA CASA COM ABSORVEDOR

O desenvolvimento da solução para o problema de vibração observado nas casas flutuantes amazonenses será o de uso de pneus para realizar o trabalho de uma suspensão da casa. O modelo baseou-se no mesmo dispositivo apresentado em carros, conjunto mola e amortecedores instalados em suas rodas que são capazes de absorver a vibração proveniente das irregularidades nas vias.

No contexto das casas flutuantes, não há irregularidades na via, há sim ondas que atingem a estrutura da casa e provocam oscilação vertical da mesma (desconsiderou-se o deslocamento horizontal da casa). Além das ondas, há também a ação dos ventos. Tais pontos não serão prolongados nesta seção, uma vez que já foram discutidos no Capítulo 2 e assim serão mantidos nesta seção.

O modelo físico da solução D, Figura 25, é composto por placa plana (representando a casa), e circunferências (representando vista frontal das toras), além de três conjuntos mola-amortecedor (representando os pneus).

Cada conjunto mola-amortecedor representa o efeito de rigidez e dissipação apresentado pela borracha do pneu a ser instalado (durante a construção da casa) entre a casa e a tora. Dessa forma, as molas e amortecedores terão propriedades

(coeficiente de rigidez e amortecimento) semelhante à borracha usada na fabricação de pneus.

Além das hipóteses simplificadoras apresentadas no Capítulo 2 para representar o modelo físico da casa flutuante, adicionam-se as seguintes:

- Pneus absorvedores serão dispostos em fileiras, de modo a se permitir aumentar o coeficiente de rigidez do sistema, de acordo com as necessidades de projeto;
- Massa do absorvedor é desprezível perante as massas das toras e da casa;
- Pneus absorvedores são representados como conjunto mola-amortecedor com coeficiente de rigidez e dissipação iguais (ou proporcionais) aos observados em nos pneus de rodas de caminhão;
- Desconsiderou-se tempo de vida do pneu, considerando, portanto, rigidez e efeito dissipativo constante ao longo do tempo;
- Desconsiderou-se qualquer efeito proveniente da interação da onda e vento sob os absorvedores;
- Pneus distribuídos igualmente ao longo da tora;
- Pneus iguais em todas as toras com mesmas propriedades de amortecimento;
- Pneus perfeitamente conectados com a tora e com a casa, desconsiderou-se qualquer movimento relativo dos pneus em relação ao conjunto tora-casa.

A Figura 26 apresenta o modelo físico da casa flutuante com absorvedores de vibração.

5.2. MODELO MATEMÁTICO DA CASA COM ABSORVEDOR

Neste modelo o desenvolvimento das equações de movimento será através da análise de 5 movimentos, isto é, o sistema possui 5 graus de liberdade a ser considerado. Sendo eles apresentados na Equação 22.

$$f(y_{casa}, \theta_{casa}, y_{tora1}, y_{tora2}, y_{tora3}) = f(t) \quad (22)$$

O desenvolvimento das equações de movimento da casa flutuante será determinada através da aplicação das Equações 4 e 5 no centro de massa G do sistema, Figura 26, e aplicação da Equação 4 para cada tora. O diagrama de corpo livre (DCL) do sistema será representado a seguir, Figura 30 ilustrando o DCL da casa flutuante e Figura 31 ilustrando o DCL da tora 1, demais toras segue a mesma distribuição de força.

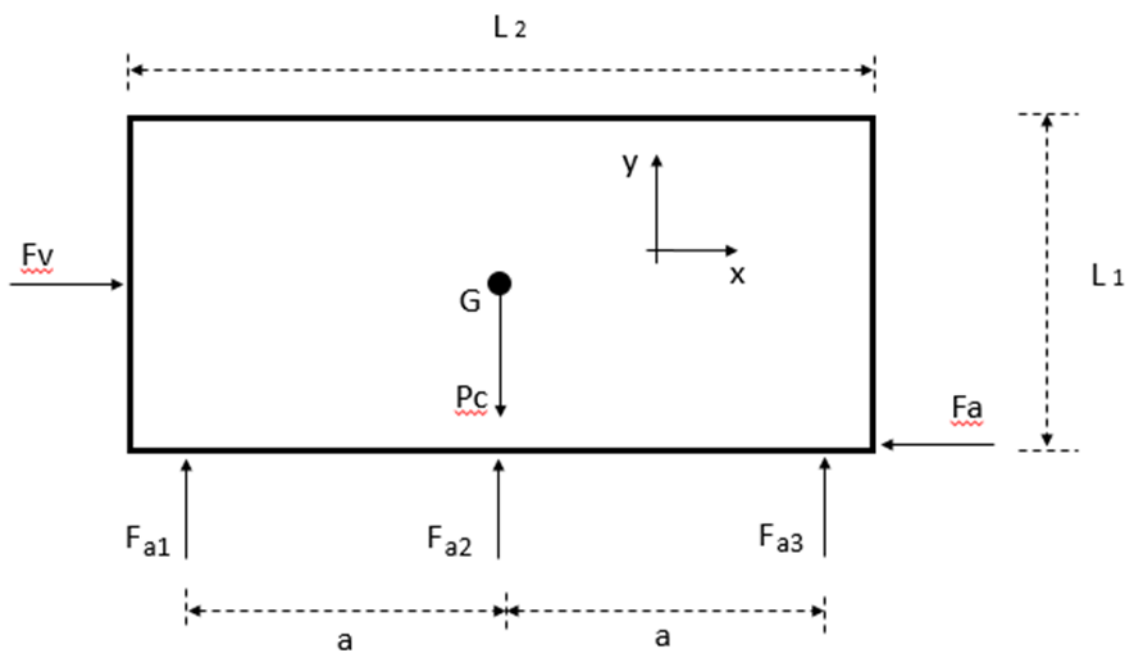


Figura 30 - Diagrama de corpo livre da casa com absorvedor

Fonte: Autor

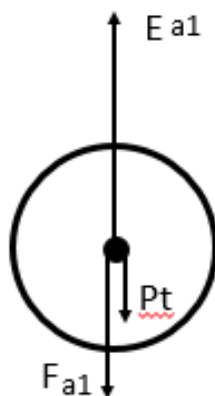


Figura 31 - Diagrama de corpo livre da tora com absorvedor

Fonte: Autor

A Figura 30 apresenta o DCL da tora 1, as demais toras apresentam a mesma distribuição de força e, portanto, mesmo DCL. Das Figuras 29 e 30, tem-se:

- F_a – força da âncora, restringindo movimento em x [N];
- F_v – força resultante do vento [N];
- F_{a1} , F_{a2} e F_{a3} – forças provenientes dos respectivos conjuntos mola-amortecedores das toras 1, 2 e 3 [N];
- P_c – peso da casa [N];
- P_t – peso da tora [N];
- E_1 – empuxo da tora 1 [N];

Aplicando as equações 3 e 4 para os DCLs ilustrados nas Figuras 28 e 29, obtêm-se as seguintes equações de movimento, Eq. 23, 24, 25, 26 e 27, para cada grau de liberdade do sistema:

$$\ddot{y}_{casa} = \frac{F_{a1} + F_{a2} + F_{a3}}{M_{casa}} \quad (23)$$

$$\ddot{\theta} \quad (24)$$

$$= \frac{-F_{a1} * \left(\text{sen}(\theta) * \frac{L_1}{2} + a \right) - F_{a2} * \left(\text{sen}(\theta) * \frac{L_1}{2} \right) + F_{a3} * \left(a - \text{sen}(\theta) * \frac{L_1}{2} \right)}{J_{casa}} + \frac{-F_a * \left(\text{sen}(\theta) * \frac{L_2}{2} + \frac{L_1}{2} \right) - F_v * \left(\text{sen}(\theta) * \frac{L_2}{2} \right)}{J_{casa}}$$

$$\ddot{y}_{t1} = \frac{E_{a1} - F_{a1} - Pt}{M_{tora}} \quad (25)$$

$$\ddot{y}_{t2} = \frac{E_{a2} - F_{a2} - Pt}{M_{tora}} \quad (26)$$

$$\ddot{y}_{t3} = \frac{E_{a3} - F_{a3} - Pt}{M_{tora}} \quad (27)$$

E tem-se, ainda:

$$F_{a1} = k * (y_{t1} - y_{casa} - a * \text{sen}(\theta)) + c * (\dot{y}_{t1} - \dot{y}_{casa} - a * \text{cos}(\theta) * \dot{\theta}) \quad (28)$$

$$F_{a2} = k * (y_{t1} - y_{casa}) + c * (\dot{y}_{t1} - \dot{y}_{casa}) \quad (29)$$

$$F_{a3} = k * (y_{t1} - y_{casa} + a * \text{sen}(\theta)) + c * (\dot{y}_{t1} - \dot{y}_{casa} + a * \text{cos}(\theta) * \dot{\theta}) \quad (30)$$

$$E_{ai} = \rho_{agua} * g * z * A_i \quad (31)$$

$$A_i = \frac{D^2}{8} * [2 * \arccos(1 - 2 * \frac{H_i}{D}) - \text{sen} \left(2 * \arccos(1 - 2 * \frac{H_i}{D}) \right)] \quad (32)$$

Sendo A_i e H_i a área e altura molhada de cada tora i (1, 2 ou 3), respectivamente. As equações referentes às alturas H_i são as Eq. 17, 18 e 19 para cada tora 1, 2 e 3, respectivamente.

Os valores de k (rigidez elástica do pneu) e c (coeficiente de dissipação do pneu) serão apresentados no capítulo seguinte. Sendo os mesmos proporcionais às propriedades da borracha utilizada na fabricação de pneus. Utiliza-se o termo “proporcionais” pois tais valores dependerão das necessidades do projeto e da forma construtiva idealizada para a Solução D.

5.3. SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O modelo matemático descrito na seção 5.2 é composto por 5 equações diferenciais ordinárias de 2º ordem, as quais descrevem a dinâmica do movimento do sistema casa-tora em conjunto com os absorvedores de vibração. No auxílio a resolução de tais equações, será utilizado o software de análise numérica, o MATLAB®. O ambiente de programação do software permite que sejam resolvidas equações diferenciais pelo método Runge-Kutta, através da função ode45.

Com o software de análise numérica, simulou-se o sistema da casa flutuante com absorvedores e obteve-se o comportamento do deslocamento vertical e angular do centro de massa casa.

Espera-se que com o uso dos absorvedores a resposta do sistema seja de redução dos efeitos da ação das ondas e ventos. Infelizmente, devido ausência de

bibliografia que trate da vibração de casas flutuantes e uso de absorvedores, não foi possível comparar os resultados dessa solução com uma vasta literatura.

A partir dos dados apresentados na Tabela 2, o sistema foi simulado. Em complemento aos dados já descritos na Tabela 2, determinou-se os valores dos coeficientes de dissipação do amortecedor e rigidez elástica das molas.

A borracha de pneu a ser utilizada como parâmetro será àquela utilizada para fabricação de pneus de caminhão. Dessa forma, segundo (Shiotsuki, 2009), o valor do coeficiente de rigidez elástico de uma camada de pneu de caminhão é igual a 206000 N/m e o coeficiente de dissipação do amortecedor vale 10400 Ns/m.

Após análise das simulações, constatou-se que seria necessário a presença de 4 fileiras de borracha de pneu em paralelo para produzir uma rigidez elástica e coeficiente de dissipação capaz de reduzir a vibração da casa flutuante. Sendo assim, a construção do absorvedor de vibração será composta por 4 fileiras de borrachas em paralelo, multiplicando por 4 o coeficiente de rigidez e de dissipação do absorvedor. Detalhes da construção serão discutidos no próximo semestre, de acordo com cronograma.

As Figuras 31 e 32 apresentam as simulações de 20 segundos do modelo de casa flutuante com absorvedores de vibração, sendo elas o deslocamento vertical da casa flutuante e variação angular do centro de massa, respectivamente.

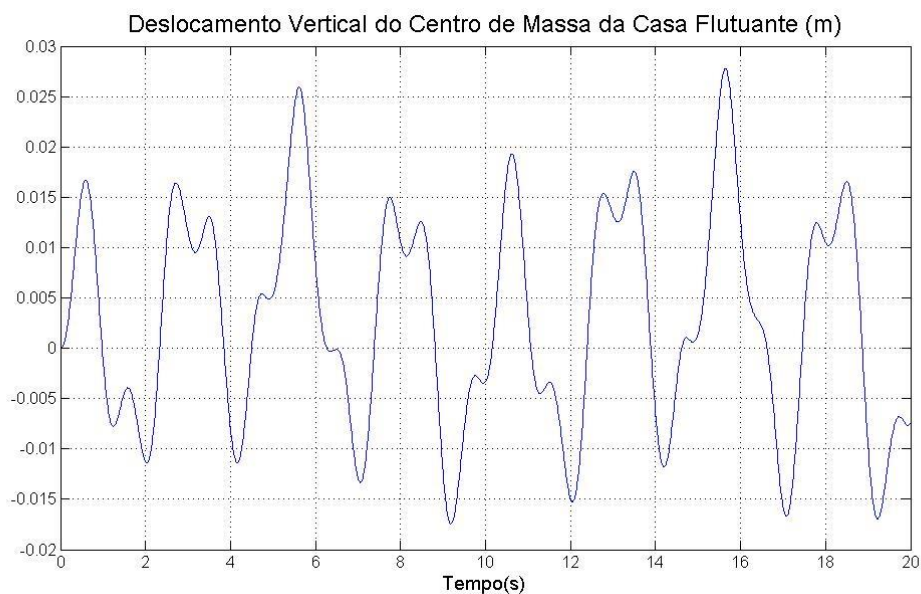


Figura 32 - Simulação do deslocamento vertical da casa flutuante com absorvedor de vibração

Fonte: Autor

Ao comparar as simulações apresentadas nas Figuras 30 e 31 com as do movimento sem absorvedores (Figuras 20 e 21), observa-se que o comportamento dos movimentos se mantém senoidal.

No entanto, as curvas apresentam algumas diferenças, observa-se que a amplitude do movimento da casa (sem absorvedor atingia 8 centímetros) diminuiu para 2,5 cm e o período de oscilação aumentou de 2 segundos para 2,5 segundos. Dessa forma, entende-se que os picos de oscilação são menores e temporalmente mais espaçados, caracterizando situação de maior conforto para os habitantes da residência e mitigando os efeitos da vibração na construção.

Por outro lado, a simulação revelou que a variação angular do centro de massa da casa com absorvedor pouco se modificou, o mesmo ocorreu com a frequência de variação angular do centro de massa da casa.

Por fim, pode-se dizer que, como a oscilação na casa é resultante de uma parcela referente ao deslocamento vertical do centro de massa e a outra em relação à variação angular do centro de massa, a obtenção de resultados satisfatórios para uma

dessas parcelas (deslocamento vertical do centro de massa), e a não alteração da outra parcela, configura a solução D (pneus como suspensão da casa flutuante) como uma solução adequada, no campo teórico, ao problema.

Além da análise descrita, há também a possibilidade de se verificar o nível e conforto obtido com a implementação da solução D, assim como feito para análise do sistema sem atenuadores de vibração (seção 3.2.1 Conforto Humano). A Figura 33 apresenta a simulação aceleração do ponto crítico da casa – lateral da casa, pois é resultante do movimento vertical do centro de massa acrescido do movimento angular com centro no baricentro da casa flutuante.

A simulação da aceleração utiliza o mesmo método àquele aplicado ao sistema livre, apenas derivada direta do vetor de velocidade dividido pelo intervalo de tempo de discretização dos elementos do vetor.

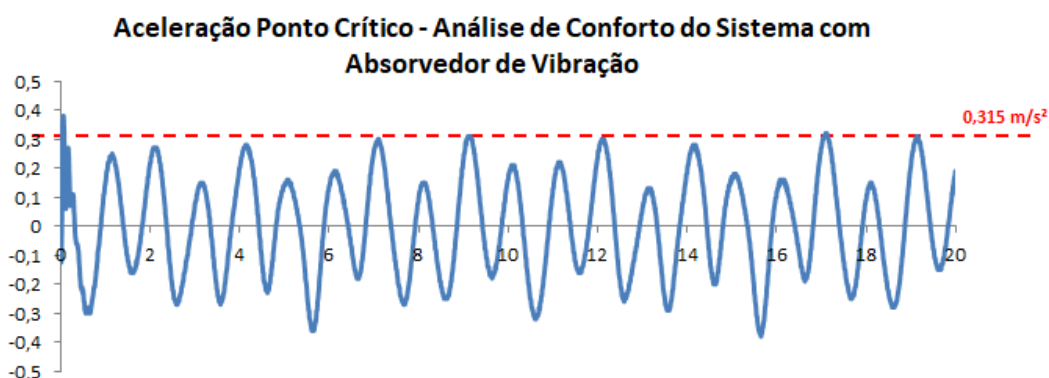


Figura 33 - Aceleração do ponto crítico com o uso de absorvedores

Fonte: Autor

Como pode-se observar pela Figura 33, a faixa de aceleração a qual o ponto crítico da casa se encontra é tal que seu valor é inferior à $0,315 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$, sendo portanto classificado como confortável, de acordo com os valores apresentados na Tabela 3.

Sendo assim, a solução D foi capaz de enquadrar o movimento da casa como confortável – ratificando a capacidade de absorção da vibração pela solução D.

6. PROJETO TÉCNICO: SOLUÇÃO D - PNEUS COMO SUSPENSÃO

A partir da análise das alternativas, feita pelo método *AHP*, pôde-se determinar qual a melhor alternativa para dar continuidade ao projeto. No capítulo 4 há uma breve descrição da alternativa de solução selecionada porém apenas representa a ideia de concepção da solução e não possui nível de detalhamento suficiente para colocá-la em uso. Esta seção visa definir e explicitar cada

componente do projeto afim de possibilitar sua implementação em um projeto de construção de casa flutuante.

A solução escolhida visa atuar diretamente como um amortecedor entre as toras de flutuação e a casa. O elemento de amortecimento será um pneu de borracha, que será acoplado à estrutura de sustentação da casa. Para descrever o modo como o elemento de amortecimento será acoplado à casa é necessário, primeiramente, detalhar como é sua estrutura de sustentação.

Antes de descrever a estrutura de sustentação da casa flutuante é necessário destacar novamente ponto já citado no capítulo 2. Os projetos das casas são passados de pai para filho e não há uma regulamentação de abrangência nacional para este tipo de moradia. Esta característica cria um ambiente onde os projetos podem divergir de região para região, ou de família para família. A descrição aqui apresentada é feita com base em relatos e observações oriundos de documentários e reportagens jornalísticas sobre a população amazonense que reside em casas flutuante (reportagens, em sua maioria, elaboradas pela Amazonas TV) que, após pesquisa bibliográfica, apresentam as características básicas mais comuns entre as casas flutuantes amazonenses – por se tratarem de população distante dos grandes centros urbanos, há uma carência de pesquisas e estatísticas sobre a população amazonense e sua condição de vida.

Nesta seção adotar-se-á a denominação “base da casa flutuante” para o conjunto dos componentes “assoalho”, “apoio do assoalho”, “vigas longitudinais” e “vigas transversais”, explicados a seguir.

6.1. DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO DA CASA FLUTUANTE

A estrutura de sustentação de uma casa flutuante amazonense, sua base, é composta por quatro níveis com diferentes funções cada. O primeiro nível será denominado “vigas transversais”, o segundo “vigas longitudinais”, o terceiro “apoio do assoalho” e o quarto “assoalho”. Como pode ser visto com detalhe na Figura 6.

As vigas transversais são o primeiro nível da base da casa flutuante e, portanto, estão em contato direto com as toras de flutuação. Elas não possuem uma fixação rígida com as toras, são encaixadas em rasgos feitos no sentido perpendicular ao eixo da tora. Ao todo são quatro vigas transversais, equidistantes entre si, e três toras, ou seja, doze pontos de contato entre a base e a tora. A Figura 34 apresenta de forma esquemática a tora com apenas uma viga transversal.

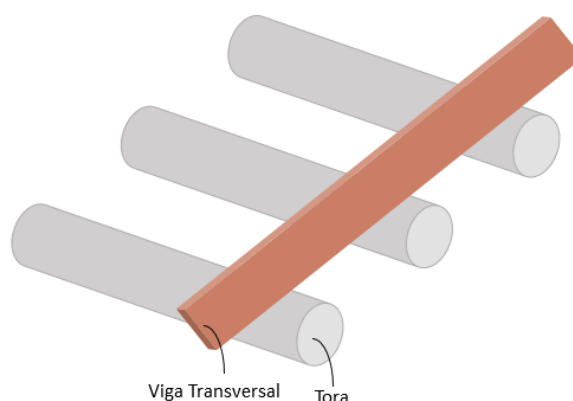


Figura 34 - Contato da tora de sustentação com viga transversal

Fonte: Autor

Esses doze pontos de contato são os responsáveis por toda transmissão de esforços das toras para a base e vice-versa e, para não ocorrer falha, as vigas longitudinais são as de maior espessura na base. Outro ponto relevante é que as vigas transversais são inteiriças, ou seja, não são vigas compostas por vigas menores, como pode ser visto na Figura 34.

O próximo nível é composto pelas vigas longitudinais. As vigas longitudinais estão no mesmo sentido que as toras e estão em contato direto com a parte superior das vigas transversais. Sua fixação com as vigas transversais é feita pelo mesmo mecanismo de fixação das vigas transversais com as toras: rasgos. As vigas transversais possuem rasgos dos com as mesmas medidas dos rasgos das vigas longitudinais e estes dois componentes se encaixam. São, ao todo, sete vigas longitudinais que estão em contato com as quatro vigas transversais criando vinte e oito pontos de contato. A maior quantidade de pontos de contato faz com que cada

ponto receba um esforço resultante menor, fato que faz com que a viga longitudinal tenha uma espessura menor que a viga transversal. Outro ponto é que as vigas longitudinais, assim como as vigas transversais, são inteiriças. A Figura 35 apresenta de modo ilustrativo o contato das toras com as vigas transversais e, por último, a viga longitudinal.

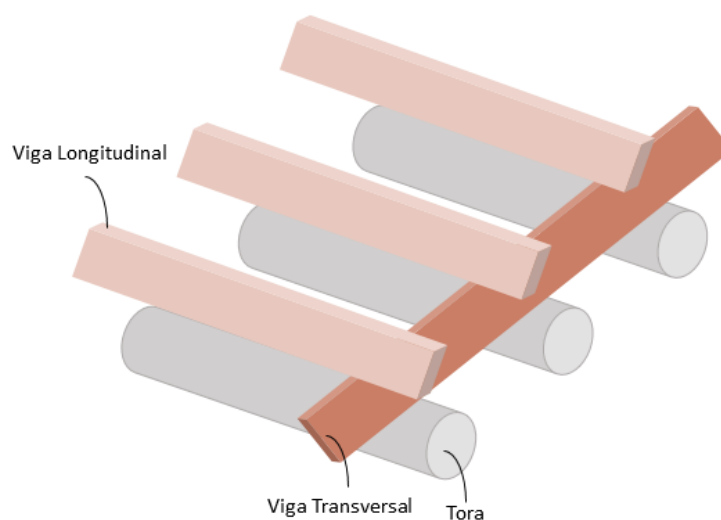


Figura 35 - Contato da viga longitudinal com viga transversal

Fonte: Autor

Entre os encaixes das vigas supracitadas pode haver a colocação de colunas de sustentação das paredes e do telhado da casa. As colunas também possuem rasgos que se sobrepõem aos rasgos nas vigas longitudinais. Além do encaixe dos rasgos, as colunas e as vigas também possuem fixação com pregos para evitar deslocamentos no sentido do plano da base. Ao todo são doze colunas de sustentação na casa descrita no capítulo 2.3, mas este número pode variar dependendo do projeto analisado.

Acima das vigas longitudinais está o apoio do assoalho. Este nível é composto por um conjunto de catorze vigas que ficam em contato com as vigas longitudinais. O apoio tem como principal função servir de apoio para o assoalho da casa. Como neste nível o número de pontos de contato é maior, os esforços já estão

melhores distribuídos na base e, portanto, a espessura deste nível é inferior aos dois anteriores. Sua fixação com as vigas longitudinais é feita através de pregos e suas vigas não são inteiriças.

O próximo nível é o assoalho da casa, composto chapas de madeira que são colocadas acima do apoio do assoalho e fixadas com pregos. As chapas que compõem o assoalho cobrem toda a área útil da casa flutuante e é o nível no qual os habitantes caminham e apoiam diretamente seus móveis e eletrodomésticos.

Uma característica importante da base das casas flutuante são os modos como seus níveis são fixados entre si. Entre as toras de sustentação, as vigas transversais e as vigas longitudinais há apenas rasgos dos elementos que se encaixam aos rasgos dos outros elementos. Esse tipo de fixação permite certo movimento relativo, ou “jogo”, entre as partes em contato devido as pequenas diferenças entre as dimensões dos rasgos, que geram uma folga no encaixe. Essa característica faz com que os dois primeiros níveis sejam capazes de absorver, com limitações, movimentos entre as partes encaixadas. Essa absorção não se dá no sentido do eixo x pois nessa direção o contato não possui folga, uma vez que a sustentação da casa se baseia nesses pontos de contato. Porém, pequenos deslocamentos no plano da base da casa podem ser absorvidos.

Para evitar que a folga nos encaixes atrapalhe a construção da casa, durante os estágios iniciais os construtores fixam vigas auxiliares entre as vigas longitudinais ou transversais e as colunas de sustentação das paredes com pregos. As vigas auxiliares são colocadas nas quatro faces das colunas de sustentação e são mantidas até a completa fixação do assoalho da casa.

6.2. CONCEPÇÃO DA SOLUÇÃO

A concepção da solução vai ao encontro da concepção do uso de conjuntos mola amortecedor em automóveis. Os pneus utilizados na solução, assim como os conjuntos mola amortecedor nos automóveis, tem a função de dissipar a energia proveniente de excitações para estabilizar e gerar conforto aos habitantes – seguindo

esse conceito a suspensão de pneus (Solução D) deverá absorver a vibração da casa flutuante.

Outro ponto importante da solução e seu projeto é estar alinhado com as características culturais locais e com as técnicas construtivas disponíveis para a população. Todo o seu desenvolvimento, desde técnicas de construção até os materiais utilizados, levará em consideração esses pontos e a não consideração desses pode invalidar a implementação do projeto em futuras construções de casas flutuantes.

De modo geral, a construção e implementação da solução encontrada não deverá criar um cenário em que o seu uso/instalação exija alto conhecimento dos moradores (e construtores) e tenha relevante impacto visual e de construção da casa flutuante. Sendo portanto, a sua instalação apenas um passo extra na construção da casa, em que não será necessário alterar as demais etapas de construção.

Com isso o produto final da solução D deverá apenas ser um item extra na casa, fácil instalação (sem necessidade de cursos ou conhecimentos adicionais aos moradores – apenas o conceito pelo qual o projeto foi desenvolvido) e manutenção, mantendo, no entanto, sua capacidade de absorver a vibração da casa.

6.3. DESCRIÇÃO DA FORMA CONSTRUTIVA DA SOLUÇÃO

Após a descrição da estrutura de sustentação das casas flutuantes e da concepção da solução, descrever-se-á a forma construtiva do mecanismo selecionado para atuar como absorvedor de vibrações das casas flutuantes. O mecanismo, como explicitado na seção anterior, será acoplado na estrutura de sustentação da casa durante sua construção e será considerado um “item extra”, ou seja, sua utilização não acarretará mudanças nas etapas anteriores e posteriores no processo de construção da casa. O mecanismo está ilustrado na Figura 36.

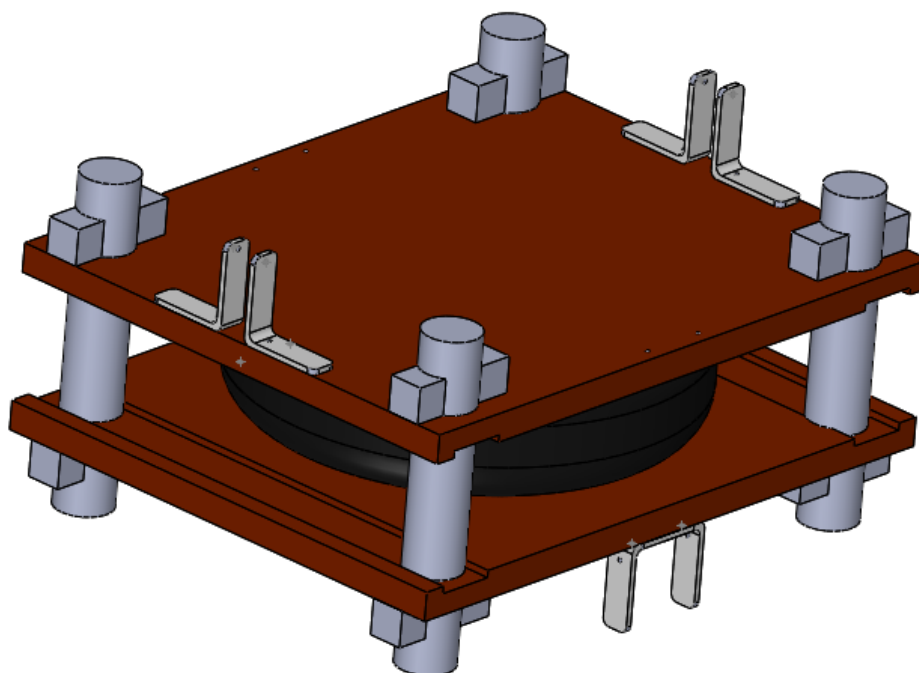


Figura 36 - Absorvedor de vibração

Fonte: Autor

6.3.1. LISTA DE MATERIAIS

Os materiais necessários para a construção do mecanismo estão listados na Tabela 10.

Tabela 10 - Lista de materiais

Item	Descrição	Material	Dimensões	Quantidade
A	Chapa	Madeira	800x720x40mm	2
B	Pneu	Borracha	Diâmetro: 620 mm Largura: 175 mm	1
C	Pino	Aço AISI 304	Diâmetro: 80 mm Largura: 455 mm	4
D	Trava do pino	Aço AISI 304	40x40x120 mm	8
E	Mão francesa	Aço SAE 1020	130x130 mm	8
F	Parafuso atarraxante	Aço SAE 1020	3/16"x40 mm	16

Fonte: Autor

Os materiais trazidos na Tabela 10 são materiais necessários para construção do absorvedor de vibração. O item A é feito de madeira e pode ser construído a partir das madeiras utilizadas na confecção das vigas da estrutura de sustentação da casa. O Item B é feito de borracha e para todo o estudo do mecanismo de amortecimento foi considerado o pneu da fabricante Pirelli® modelo Cinturato P1 (Pirelli, 2017). Já o item E é feito de aço SAE 1020 e para o mecanismo foi considerado o modelo Prat K encontrado na loja de materiais para construção Leroy Merlin® (Leroy Merlin, 2017). Este item é coberto por uma tinta que previne oxidação. Os itens C e D são feitos de aço AISI 304, que é o aço inoxidável mais comum no mercado. É importante ressaltar que os itens feitos de aço não necessariamente precisam ter a composição indicada, se faz apenas necessário garantir as propriedades do aço quanto a resistência a tração e oxidação.

Como previamente dito, o projeto do mecanismo foi projetados levando em consideração as características locais. Ressaltando esta característica pode-se explicitar como pode ser feita a obtenção dos itens para os moradores locais. Os itens A, C e D podem ser confeccionados a partir das madeiras utilizadas na construção da estrutura da casa flutuante. É importante ressaltar, também, que estes itens podem ser adaptados pela própria população caso haja necessidade. Um exemplo é a confecção do item A a partir da união de duas ou mais chapas de madeira e, neste caso, os encaixes com as vigas longitudinais e transversais devem ser feitos de maneira perpendicular à união das chapas menores. Outro pode ser a confecção do pino no formato de um paralelepípedo, o que mudaria apenas o formato do furo no item A.

O item B, pneu de borracha, é preferencialmente um pneu utilizado e encontrado em lojas de pneus usados. O pneu adquirido para este item não pode ser utilizado caso apresente rachaduras, rasgos ou quaisquer outros danos visíveis, entretanto, não há problemas o pneu apresentar estar desgastado, como por exemplo estar “careca”. Outro ponto importante sobre o item B é que os habitantes de casas flutuantes estão habituados a utilizar pneus em suas casas. Algumas das construções contam com pneus do lado de fora para evitar choque com outras embarcações, como os barcos utilizados como transporte na região, e para esta finalidade os pneus não novos, assim como os pneus utilizados no mecanismo.

O item D, mão francesa, é um item que pode ser encontrado em lojas de materiais para construção. É um item comum e suas especificações de dimensão podem variar para adaptação e/ou disponibilidade nas lojas. Neste item é importante ressaltar que o comprimento da mão francesa não pode ser menor que o especificado e não pode ser maior que a altura das vigas onde o encaixe será feito. A limitação mínima é devido a grande concentração de esforços na base da viga que será encaixada, que pode levar à falha da madeira. A limitação máxima é devido a necessidade de se utilizar parafusos de fixação nas vigas.

O item F, parafuso atarraxante, também é um item comum em casas de materiais para construção. Os habitantes das casas flutuantes estão familiarizados com seu uso em outras aplicações, como na construção de móveis por exemplo.

Com relação ao custo dos materiais a Tabela 11 foi elaborada para expor o preço individual e do conjunto completo.

Tabela 11 - Custo do mecanismo

Item	Descrição	Quantidade	Preço Unitário	Preço Final
A	Chapa	2	R\$ 56,00	R\$ 112,00
B	Pneu	1	R\$ 90,00	R\$ 90,00
C	Pino	4	R\$ 6,00	R\$ 24,00
D	Trava do pino	8	R\$ 2,00	R\$ 16,00
E	Mão francesa	8	R\$ 6,00	R\$ 48,00
F	Parafuso atarraxante	16	R\$ 0,05	R\$ 0,81
Total				R\$ 290,81

Fonte: Autor, (Leroy Merlin, 2016), (WURTH, 2017), (Leroy Merlin, 2017),
(Mercado Livre, 2017)

O custo apresentado na Tabela 11 se refere à um mecanismo de amortecimento. Como, no total, serão 12, o custo final para o usuário é de R\$ 3.489,75. Segundo (Globo, 2013) o custo médio de uma casa flutuante é de R\$ 60.000,00, logo o custo total do absorvedor de vibrações representa 5,84% do custo total de construção da casa. É importante ressaltar que os preços foram obtidos de sites e empresas de comercialização de materiais para construção em São Paulo. Como o custo de vida em São Paulo é alto, quando comparado com outras capitais

(Custo de vida, 2017), pode-se esperar que, além do preço do mecanismo sofrer alterações para a região de Manaus, o preço será menor que o preço encontrado em São Paulo.

6.3.2. MONTAGEM DO DISPOSITIVO

O absorvedor de vibrações possui uma montagem simples e intuitiva. Inicialmente devem-se fazer quatro furos no item A. Estes furos serão posicionados próximos às quinas da chapa com uma distância de 90x90 mm de cada quina. Os furos deverão ter o diâmetro dos pinos e, como dito na seção anterior, os pinos sugeridos possuem 80 mm de diâmetro, porém podem ser modificados para outras formas, paralelepípedo, por exemplo, (desde que suas dimensões não sejam diminuídas), caso haja a necessidade de adaptação do projeto e, nesses casos, o furo deve ser adaptado ao pino.

Após os furos feitos nas chapas, os pinos, item D, também deverão ser perfurados. Novamente, as travas do pino podem ter formato diferente do sugerido com a mesma ressalva do parágrafo anterior e os pinos devem ser perfurados próximos as suas extremidades de maneira que as chapas e o pneu possam ser colocados entre os furos.

Em seguida, deve-se fixar o item E de modo que as vigas longitudinais e transversais estejam centralizadas na estrutura do mecanismo. Apesar do projeto ter sido elaborado para medidas de vigas fixas, sabe-se que pela condição de construção artesanal das casas essas medidas podem variar. Nesta etapa somente é importante fixar o item E de modo que as vigas permaneçam centralizadas na estrutura.

As próximas etapas são de montagem do mecanismo em si. Deve-se posicionar as duas peças do item A, agora com os itens E fixados, uma sobre a outra (com os itens E em faces opostas) com os itens E em sentido perpendicular. Nesta etapa os furos estarão centralizados e deve-se inserir dois pinos (diagonais preferencialmente) e suas duas travas (item D). Após a inserção dos pinos deve-se afastar as chapas de modo que ambas atinjam seus limites, ou seja, encostadas nas travas dos pinos.

Inserir-se o pneu, item B, entre as chapas de modo a centralizá-lo e colocam-se os outros dois pinos e suas travas. Após a inserção dos pinos e travas restantes deve-se fixar os itens E nas vigas longitudinais e transversais. Este procedimento deve ser repetido para cada um dos absorvedores de vibração e deve ser disposto nos pontos de contato entre as vigas longitudinais e transversais.

A estrutura de sustentação da casa, ao final de sua montagem, está ilustrada nas Figuras 37 e o desenho de montagem do dispositivo está mostrado no Apêndice B.

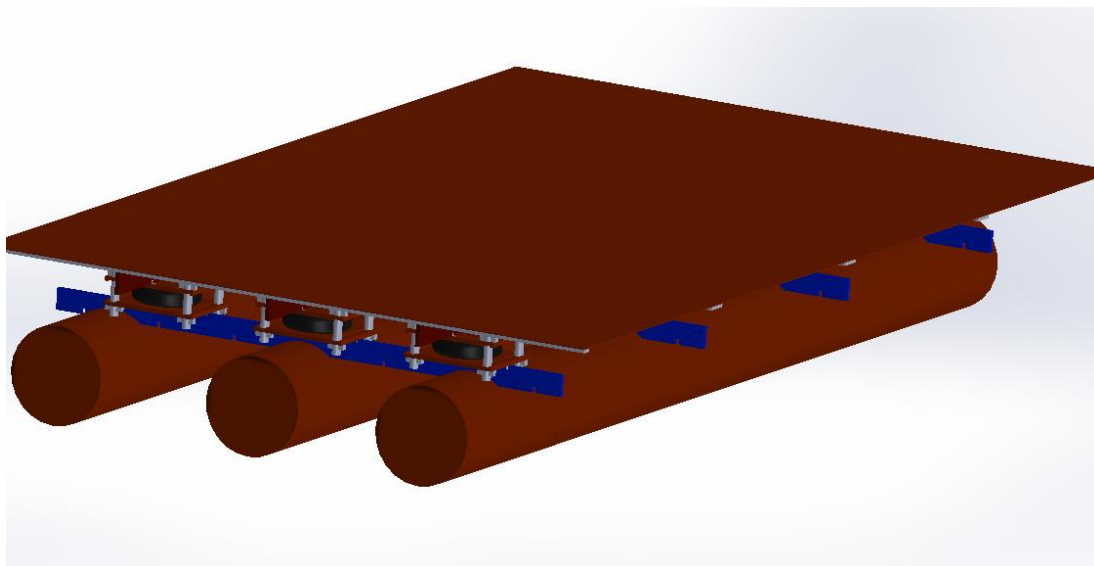


Figura 37 - Estrutura de sustentação com absorvedor de vibrações

Fonte: Autor

6.3.3. ACOPLAMENTO DO DISPOSITIVO À ESTRUTURA

Uma vez descrito o procedimento de criação do dispositivo atenuador de vibração, passa-se para a etapa de montagem do mesmo à casa flutuante.

Durante o processo de desenvolvimento e refinamento da solução D, sempre se buscou evitar que o processo de construção da casa sofresse grandes mudanças

com a inclusão do atenuador de vibração. A construção das casas flutuantes é feita através de etapas que foram desenvolvidas empiricamente, não há conhecimentos técnicos de engenharia ou construção civil, o processo se deu, em muitos casos, de conhecimentos transmitidos por gerações (de pai para filho). Portanto, a simplicidade de instalação do atenuador de vibração é um dos pontos pelos quais chegou-se a esta sugestão de solução.

A montagem da estrutura da casa flutuante tem em primeiro grau as toras flutuantes de madeira assacú que possibilitam a flutuabilidade e estabilidade da casa – devido seu tamanho e dimensões – número de toras pode variar com a finalidade da construção, para este trabalho considerou-se uma casa flutuante sob três toras. Segue-se a construção adicionando uma primeira camada de vigas transversais, conforme Figura 31, análogo às toras, o número de vigas pode variar com a finalidade da construção (casa grande, casa pequena, restaurante, igreja e outros), neste caso usou-se quatro vigas transversais.

Naturalmente, a construção seguiria para o encaixe das vigas longitudinais, conforme Figura 35. Contudo, após o passo de encaixe das vigas transversais, será introduzido o dispositivo atenuador de vibração visto na Figura 36.

Coloca-se o apoio inferior do dispositivo (elemento 1 do desenho de montagem localizado no Apêndice B) sob a viga transversal, de modo que a viga fique encaixada entre as partes da mão francesa (elemento 3, Apêndice B). Após o encaixe, é passado um prego conectando a mão francesa à viga transversal, isso é feito nas duas mãos francesas. Novamente, até o momento os encaixes seguem o padrão técnico de construção utilizado nas casas flutuantes amazonenses: encaixes, prego e martelo. Lembrando que a viga transversal é encaixada na tora de madeira por meio de um sulco que é feito na tora, o qual tem abertura suficiente para que a viga seja encaixada.

Após tal fixação, a etapa seguinte é feita de modo análogo, a diferença está que a viga a ser adicionada é a viga longitudinal. Sob o apoio superior do dispositivo, é encaixada a viga longitudinal entre as partes da mão francesa, em seguida pregos são utilizados para fixar a viga no dispositivo. Dessa forma, toda a estrutura está conectada.

Os próximos passos são os usuais da construção da casa flutuante. Com isso, o uso do dispositivo pouco alterou as etapas de construção, utilizou processos comuns aos moradores locais e se manteve atrelado a simplicidade de instalação visto no resto das etapas de construção da casa.

A Figura 38 ilustra todo o encaixe da estrutura: toras, vigas transversais, dispositivo e viga longitudinal.

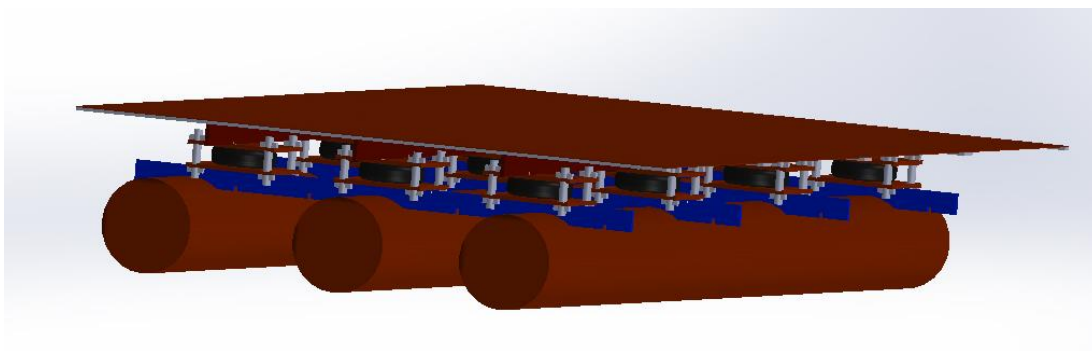


Figura 38 - Estrutura da casa flutuante com absorvedor de vibrações 2

Fonte: Autor

6.3.4. MANUTENÇÃO DO DISPOSITIVO

O desgaste do dispositivo atenuador de vibração pode ocorrer pelo desgaste da mão francesa (movimentos oscilatórios da casa devido ação das ondas), do pino de travamento (contato com a água, ação das ondas e outros) e dos pneus (perda da elasticidade, pneus em média duram cinco anos, de acordo com análise de falha por quilômetros rodados).

O risco do desgaste é inerente a qualquer produto, no entanto busca-se formas de permitir sua manutenção ao longo dos anos de seu uso.

Em caso de desgaste do pneu, sua troca pode ser feita seguindo os seguintes passos: retirada de dois pinos de um mesmo lado – pinos que estão no mesmo canal de rebaixo do apoio, conforme podem ser vistos na Figura 34 -, em seguida pode-se usar de uma chapa de madeira (como uma espécie de macaco mecânico) e colocar entre as chapas de apoio do atenuador, dessa forma pode-se retirar o pneu e

introduzir outro novo. O canal de rebaixo nos elementos apoio do atenuador foram desenhados para permitir introdução de uma placa ou chapa que pudesse servir de suporte durante recorrentes manutenções do atenuador, para troca do pneu – o qual seria o elemento mais crítico do dispositivo atenuador de vibração.

Os pinos podem ser trocados apenas com a retirada e introdução de pinos novos, dado que entre os apoios do dispositivo está o pneu, não há necessidade de uso de um macaco mecânico como se faz necessário na troca do pneu.

A manutenção da mão francesa pode ser feita com sua retirada do apoio e da viga longitudinal, seguindo da introdução de uma nova mão francesa. Dado seu tamanho e posicionamento no atenuador de vibração, sua troca é a mais simples, podendo até ser introduzidas outras mãos francesas ao longo do apoio – conforme houver necessidade.

Com isso, o dispositivo se mostra flexível tanto para a instalação quanto para possível manutenção ao longo do seu tempo de vida.

Outro ponto importante é a necessidade do uso de lubrificantes entre as placas (item A) e os pinos (item C). Pode-se utilizar lubrificantes caseiros, como gordura animal, ou lubrificantes sintéticos.

7. CONCLUSÃO

Tendo em vista o contexto de desenvolvimento de tecnologias para casas flutuantes atualmente, nota-se que este não é favorável ao cenário amazonense. Em outros países do mundo, como Estados Unidos da América e Holanda, a pesquisa e desenvolvimento de métodos de melhora da qualidade de vida para os habitantes deste tipo de habitação são notáveis frente às pesquisas brasileiras. Isto é justificável pelo mercado estrangeiro ter espaço para empresas especializadas desenvolverem novos produtos e tecnologias para o setor. No Brasil, a construção de casas flutuantes não tem este mesmo significado de mercado, uma vez que sua construção é feita de maneira artesanal, local e não visa o lucro.

Devido às baixas pesquisas no setor, os problemas encontrados por moradores deste tipo de habitação são constantes e não tem previsão de serem resolvidos. Partindo deste ponto, o projeto tenta sanar um dos pontos levantados pelos moradores: as oscilações ou “banzeiros”, como são chamadas pela população local. Este problema é acentuado em épocas de seca, quando os rios se estreitam e as casas ficam mais próximas das hidrovias.

Para compreender e tentar solucionar o problema o projeto de formatura estudou e desenvolveu um modelo físico para este tipo de moradia. Foram consideradas as ações externas do vento e das ondas como as fontes de excitação do sistema. De posse do modelo físico, através do TMA e do TMB determinaram-se as equações do movimento da casa e estas foram utilizadas para simular e analisar o modelo livre, isto é, sem o uso de absorvedores de vibração.

A solução para o problema de vibração se deu com o uso de um absorvedor de vibrações. Soluções foram estudadas e chegou-se em um modelo físico com absorvedor que foi simulado e apresentou resultados mais satisfatórios em termos de conforto humano, como visto na seção 5.3.

A metodologia utilizada para determinação da solução mais adequada ao estudo foi através do método AHP, pelo qual se definiu diversos critérios de avaliação das soluções propostas. A partir desta análise, encontrou-se a solução da suspensão com pneus como a mais capacitada para atingir o objetivo proposto. A produção da solução através de materiais simples e acessíveis aos moradores, a praticidade de montagem do dispositivo e a facilidade de instalação, bem como de manutenção foram, em termos gerais, os fatores que colocaram a solução D (pneus como suspensão) como a melhor solução dentre as propostas.

O dispositivo proposto como solução deve ser visto como uma sugestão de solução para o problema a partir das considerações de modelagem aqui desenvolvidas. Dessa forma, deve-se tomar cuidado com a interpretação do que foi proposto neste trabalho, de modo que uma solução perfeitamente adequada para a condição ribeirinha amazonense exige um refinamento maior de modelagem matemática, simulação e análise dos modelos por diversas óticas, além de uma visita em campo para ratificar tudo aquilo que foi proposto. Tal aprofundamento não foi realizado nesse trabalho pois não se enquadraria no escopo de um projeto de conclusão de curso, mas poderia fazer parte de um trabalho de pós-graduação (mestrado e doutorado).

Apesar do escopo de trabalho de conclusão de curso ter algumas limitações, foi possível chegar a um modelo matemático de um sistema com absorvedores de vibração, como visto no capítulo 5, que reduzisse a vibração da casa flutuante e que, ainda, colocasse a aceleração do sistema em uma faixa adequada ao conforto humano ($< 0,315 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) – validando com êxito o objetivo deste trabalho.

8. BIBLIOGRAFIA

2017. *Notícia do Dia.* [Online] abril de 2017. <https://ndonline.com.br/noticias/ressaca-arrasta-bar-flutuante>.

Acar, M. A e Yilmaz, C. 2012. Design of an adaptative-passive dynamic vibration absorber composed of a string-mass system equipped with negative stiffness tension adjusting mechanism. *Journal of Sound and Vibration.* 2012, Vol. 332.

Agência Nacional de Transportes Aquáticos. 2013. *Caracterização da Oferta e da Demanda do Transporte Fluvial de Passageiros na Região Amazônica.* 2013.

Aguiar, Ricardo Alexandre Amar de. 2011. *Análise da redução de vibração em sistemas mecânicas utilizando ligas com memória de forma.* Rio de Janeiro : s.n., 2011.

Amazônia Org. 2017. Amazônia. [Online] 2017. <http://amazonia.org.br/2017/06/enchentes-no-amazonas-deixam-39-municipios-em-situacao-de-emergencia/>).

Arrais, Guilherme Pigatto. 2011. *Pressões exercidas pelo vento em fachadas de edifícios altos: estudo comparativo dos valores obtidos através de ensaios em túnel de vento e especificações normativas.* Porto Alegre : s.n., 2011.

Centro Técnico Aeroespacial. 2012. Clima da Amazônia. *Climanálise.* [Online] 2012. [Citado em: 07 de 12 de 2016.] <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/fish.html>.

Conti, José Bueno. 2005. *Considerações sobre as mudanças climáticas globais.* São Paulo : Departamento de Geografia da USP, 2005.

Cristo, Altemiro Olinto. 2008. *Cidade flutuante.* Manaus : 2008.

Custo de vida. 2017. Ranking de capitais. *Custo de Vida*. [Online] Custo de Vida, 02 de 03 de 2017. [Citado em: 10 de 09 de 2017.] <http://www.custodevida.com.br/ranking-capitais/>.

Fernandes, Carlos. 2012. Notas de aula de saneamento. *Universidade Federal de Campina Grande*. [Online] 10 de 3 de 2012. [Citado em: 01 de 05 de 2017.] http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/ES05_07.html.

França, L. N. F. 2004. *Mecânica geral*. São Paulo : Edgard Blucher, 2004.

Fraxe, Therezinha. 2000. *Homens Anfíbios: Etnografia de um Campesinato das Águas*. São Paulo : Annablume, 2000.

Freitas, Luís Mauro Pereira. 2006. *Estudo da dinâmica vertical de uma suspensão veicular do tipo Macpherson*. São Carlos : s.n., 2006.

Froude, Robert Edmund. 1905. *Model experiments on hollow versus straight lines in still water and among artificial waves*. Londres : s.n., 1905.

G1. 2011. Casas flutuantes invadem águas do Rio Grande, na divisa de SP e MG. *G1*. [Online] 30 de 11 de 2011. [Citado em: 14 de 10 de 2016.] <http://g1.globo.com/sao-paulo/sao-jose-do-rio-preto-aracatuba/noticia/2011/11/casas-flutuantes-invadem-aguas-do-rio-grande-na-divisa-de-sp-e-mg.html>.

Globo. 2013. Moradores vivem em casas flutuantes no Amazonas. *Globo Natureza*. [Online] Globo, 23 de 08 de 2013. [Citado em: 02 de 01 de 2017.] <http://g1.globo.com/natureza/videos/t/globo-natureza/v/moradores-vivem-em-casas-flutuantes-no-amazonas/2776898/>.

Government of the Netherlands. 2015. *Government of the Netherlands*. [Online] 16 de 12 de 2015. [Citado em: 14 de 10 de 2016.] <https://www.government.nl/latest/news/2015/12/16/new-national-water-plan-linking-water-and-spatial-planning-more-intelligently>.

Governo do Estado do Amazonas. 2010. Dados. *Governo do Amazonas*. [Online] 01 de 12 de 2010. [Citado em: 01 de 12 de 2016.] <http://www.amazonas.am.gov.br/o-amazonas/dados/>.

—. 2010. Economia. *Governo do Estado do Amazonas*. [Online] 01 de 12 de 2010. [Citado em: 28 de 11 de 2016.] <http://www.amazonas.am.gov.br/o-amazonas/economia/>.

IBGE. 2015. IBGE - Estado do Amazonas. *IBGE*. [Online] IBGE, 20 de 12 de 2015. [Citado em: 7 de 12 de 2016.] <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=am>.

ISO. 1997. *Mechanical vibration and shock -- Evaluation of human exposure to whole-body vibration*. s.l.: International Organization for Standardization, 1997. 2631.

Journée, J.M.J. e Pinkster, Jakob. 2002. Introduction in Ship Hydromechanics. Delft : s.n., 2002.

Junior, Jair Antonio de Oliveira. 2009. *Arquitetura Ribeirinha sobre as águas da Amazônia: o habitat em ambientes complexos*. São Paulo : s.n., 2009.

Kaminski, Paulo Carlos. 2014. *Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade*. Rio de Janeiro : LTC, 2014.

Keiren. 2016. Floating Houses. *Nifty Homestead*. [Online] 23 de 06 de 2016. [Citado em: 11 de 09 de 2016.] <https://www.niftyhomestead.com/blog/floating-homes/>.

Kornev, Ing. Nikolai. 2011. Ship dynamics in waves. Rostok : s.n., 2011.

Leroy Merlin. 2017. Mão Francesa para Prateleira de Madeira Cinza 13x13cm Prat K. *Leroy Merlin*. [Online] Leroy Merlin, 01 de 05 de 2017. [Citado em: 09 de 23 de 2017.] https://www.leroymerlin.com.br/mao-francesa-para-prateleira-de-madeira-cinza-10x12cm-prat-k_86846914.

—. 2016. Painel de Madeira Natural Pinus 80x25cm Eco Idea. *Leroy Merlin*. [Online] Leroy Merlin, 01 de 11 de 2016. [Citado em: 10 de 22 de 2017.] https://www.leroymerlin.com.br/painel-de-madeira-natural-pinus-80x25cm-eco-idea_87765111.

Marinho, David. 2013. Alternativa de casas flutuantes para ribeirinhos. *Quarto Poder*. [Online] 10 de Dezembro de 2013. [Citado em: 12 de Abril de 2017.]

<http://www.blogquartopoder.com.br/2013/08/alternativa-de-casas-flutuantes-para.html>.

Martins. 2010. *Notas de aula de hidrostática*. 2010.

Massoca, Alexandre Moreto e Júnior, Vicente Lopes. 2014. *Controle passivo de vibrações utilizando pêndulo*. Ilha Solteira : s.n., 2014.

Méndez, Yohan Alí Díaz. 2014. *Um estudo dos absorvedores dinâmicos de vibrações multimodais*. Itajubá : s.n., 2014.

Mercado Livre. 2017. Pneu pirelli p1 cinturato 195/60/15 88h pneus. *Mercado Livre*. [Online] Mercado Livre, 20 de 9 de 2017. [Citado em: 20 de 9 de 2017.] <https://carros.mercadolivre.com.br/pneus/usados/pneu-pirelli-p1-cinturato-195%2F60%2F15-88h-pneus>.

Ministério do Meio Ambiente. 2006. *Caderno da Região Hidrográfica Amazônica*. Brasília : s.n., 2006.

Muñoz, Jorge Antonio Merino. 2007. *Aplicação da teoria do tanque de estabilização passivo tipo U na diminuição do jogo paramétrico*. Rio de Janeiro : s.n., 2007.

Neto, Tiago Samuel da Costa. 2015. *Arquitetura Flutuante: Projetar uma habitação-tipo para um ambiente em transformação*. Braga : s.n., 2015.

—. **2015.** *Arquitetura Flutuante: Projetar uma habitação-tipo para um ambiente em transformação*. Braga : s.n., 2015.

2017. Notícia do Dia. [Online] abril de 2017. <https://ndonline.com.br/noticias/ressaca-arrasta-bar-flutuante>.

Notícia do Dia. 2017. *Notícia do Dia*. [Online] abril de 2017. <https://ndonline.com.br/noticias/ressaca-arrasta-bar-flutuante>.

Paredes, Miguel Moura. 2008. *Utilização de amortecedores de massas sintonizadas no controlo de vibrações em estruturas*. Porto - Portugal : s.n., 2008.

Pedroso, Cleidimiar. Pesquisadores testam tecnologia para diminuir riscos de tombamento em embarcações. *Instituto Federal do Amazonas*. [Online] [Citado em: 17 de 10 de 2016.] <http://www.ifam.edu.br/cmd/13-noticias/379-cmdi13->

pesquisadores-testam-tecnologia-para-diminuir-riscos-de-tombamento-de-embarcacoes.html.

Pirelli. 2017. Cinturato P1. *Pirelli*. [Online] Pirelli, 01 de 03 de 2017. [Citado em: 10 de 12 de 2017.] <https://www.pirelli.com/tyres/pt-br/car/find-your-tyres/products-sheet/cinturato-p1>.

Quintino, Caio. 2012. *Personal book*.

Rennó, Luísa. 2013. Muito além da fronteira. *Meio dia em Manaus*. [Online] 14 de 03 de 2013. [Citado em: 2017 de 10 de 10.] <https://muitoalemdafronteira.wordpress.com/2013/03/14/meio-dia-em-manaus/>.

Ruthes, Joao Pedro. 2016. *Análise de sensibilidade de suspensão veicular*. Joinville : s.n., 2016.

Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. Nova Iorque : McGraw-Hill, 1980.

Shiotsuki, Rafael Domingues. 2009. *Análise do efeito da suspensão traseira de veículo rodoviário de carga no desempenho em pavimentos flexíveis*. São Bernardo do Campo : s.n., 2009.

Silva, Luciano da. 2014. *Análise modal e controle de plataformas offshore sujeitas a perturbações persistentes*. São Cristóvão - SE, Brasil : s.n., 2014.

Siqueira, Nadja Irina Cernov de Oliveira. 2011. *Casa Vitória Régia: Habitação popular, flutuante e sustentável*. Porto Velho : s.n., 2011.

The Seasteading Institute. 2014. Floating City Project. *The Seasteading Institute*. [Online] The Seasteading Institute, 01 de 02 de 2014. [Citado em: 04 de 11 de 2016.] <http://www.seasteading.org/floating-city-project/>.

Tiago, Eliana Rodrigues. 2014. *Ambiente flutuante: os significados e identidade de lugar de moradores de casas flutuantes*. Manaus : s.n., 2014.

Trindade, Aloisio Caruso. 2015. *Massa adicional de petroleiro calculada por meio de fórmulas simplificadas baseadas em medições de vibração*. Rio de Janeiro : s.n., 2015.

Tupper, E. C. 2004. *Introduction to Naval Architecture*. Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

United Nations. 2014. *World Urbanization Prospects*. 2014.

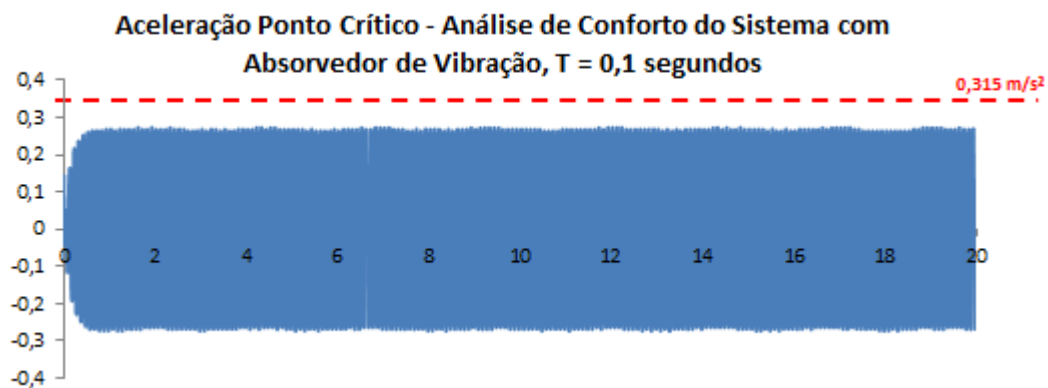
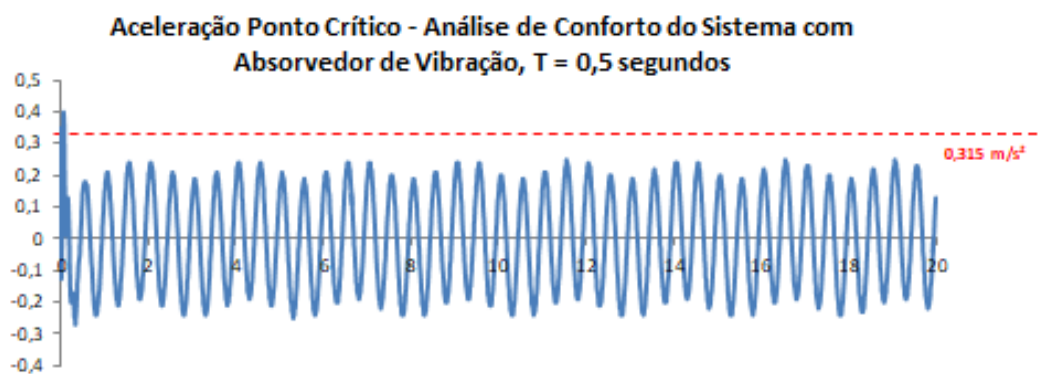
Universidade Federal Fluminense. 2012. *Mecânica do Navio*. 2012.

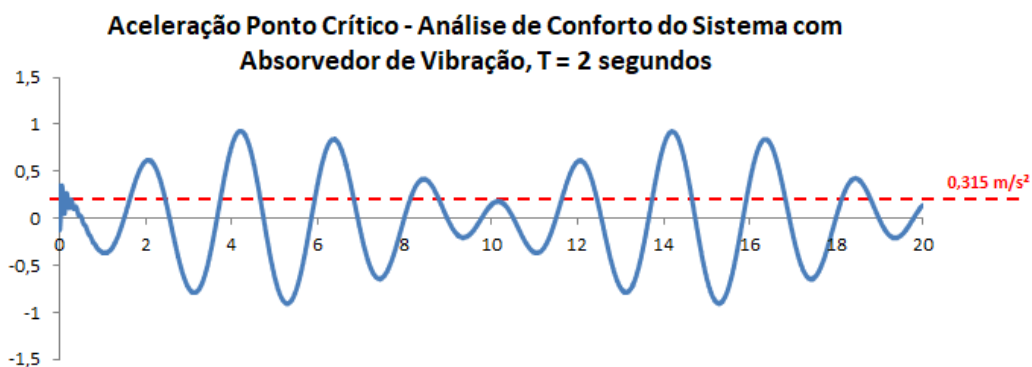
VEJA. 2010. Tempestade matou meio bilhão de árvores na Amazônia. *VEJA*. [Online] 13 de 7 de 2010. [Citado em: 15 de 10 de 2016.] <http://veja.abril.com.br/ciencia/tempestade-matou-meio-bilhao-de-arvores-na-amazonia/>.

WURTH. 2017. PARAFUSO AUTO ATARRAXANTE FENDA CABEÇA CHATA - DIN 7972. *Wurth Brasil*. [Online] Wurth, 01 de 01 de 2017. [Citado em: 10 de 30 de 2017.] <https://www.wurth.com.br/wurth/b2c/produto?R=parafuso-para-madeira-cabeca-chata-fenda-prod40209-60002>.

APÊNDICE A – SIMULAÇÕES ADICIONAIS

Nesta seção serão mostradas outras faixas de frequência para simulações do sistema com absorvedor de vibração.





Apenas a simulação com período igual a 2 segundos não respondeu satisfatoriamente, entende-se que tal resultado seja decorrente de uma não sintonização do sistema para esse tipo de frequência de onda. Soluções possíveis podem ser a variação da massa da casa, ou demais itens que compõe o dispositivo atenuador de vibração. Como o dispositivo respondeu bem as demais condições, e período de 2 segundos não é o foco do estudo e das condições naturais, não se buscou determinar qual seria a modificação exata para atender tal condição atípica.

APÊNDICE B – DESENHO DE MONTAGEM

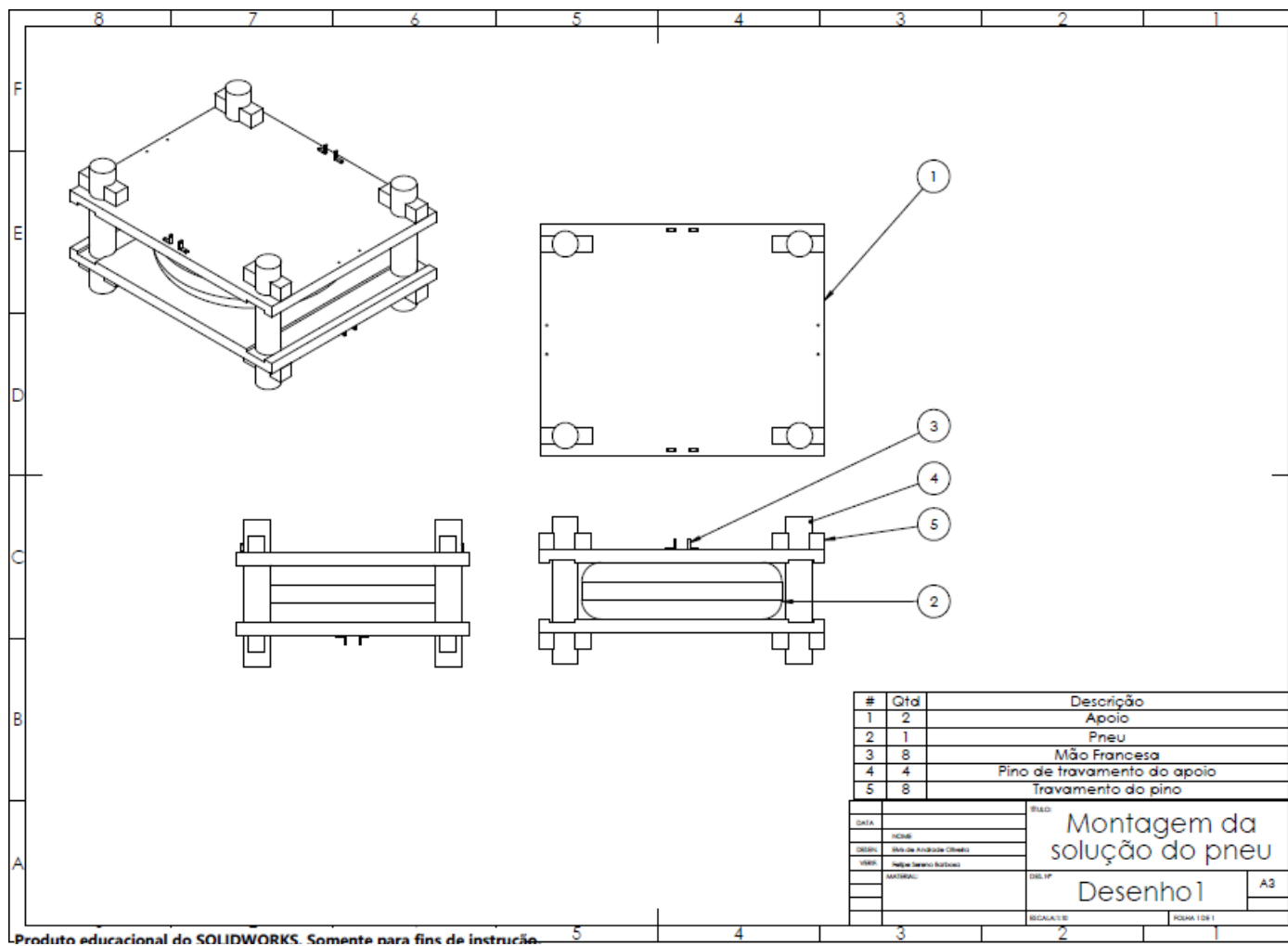


Figura 39 - Desenho de montagem

Fonte: Autor