



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA NAVAL

KLEBER CRISTIANN AFONSO CARVALHO

**CASAS FLUTUADORAS: PROTÓTIPO PARA SOLUÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA
AS CHEIAS DO BAIXO TOCANTINS.**

BELÉM/PA
2026

KLEBER CRISTIANN AFONSO CARVALHO

**CASAS FLUTUADORAS: PROTÓTIPO PARA SOLUÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA
AS CHEIAS DO BAIXO TOCANTINS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Naval, do Campus Universitário de Belém, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia naval.

Orientador(a): Kao Yung Ho

KLEBER CRISTIANN AFONSO CARVALHO

**CASAS FLUTUADORAS: PROTÓTIPO PARA SOLUÇÃO DE EMERGÊNCIA PARA
AS CHEIAS DO BAIXO TOCANTINS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Naval, do Campus Universitário de Belém, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia naval.

Data da aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

BANCA EXAMINADORA

Kao Yung Ho, Mestre
Universidade Federal do Pará- UFPA

Hito Braga de Moraes, Doutor
Universidade Federal do Pará- UFPA

André Vinicius da Costa Araújo, Mestre
Universidade Federal do Pará- UFPA

Então Samuel pegou uma pedra e a ergueu entre Mispá e Sem; e deu-lhe o nome de Ebenézer, dizendo: "Até aqui o Senhor nos ajudou". 1Samuel 7:12

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, que é perfeito e criador de tudo, que sempre esteve ao meu lado me sustentando em todos os momentos, e que a conclusão deste trabalho e deste curso, é a sua promessa em minha vida, pois tudo de bom que existe em mim, provém Dele.

Quero agradecer aos meus pais, Maria das Graças e Edson Capela, que sempre fizeram o possível e impossível por mim, e que se estou aqui hoje, foi por conta dos ensinamentos que me deram, e pelo caminho que sempre me incentivaram a percorrer.

Agradecer aos meus irmãos, Matheus e Ellen, que sempre foram grandes amigos, com quem posso contar sempre que precisar, e que podem sempre contar comigo para o que precisarem.

Agradecer a minha namorada, Marlene Pompeu, que sempre me apoia e acredita no meu potencial, e tendo paciência e compreensão quanto as minhas ausências por conta dos estudos.

Agradecer aos meus amigos da graduação, João, Gabriel, Licia, Robert e Elayne, que me acompanharam nesta caminhada, tornando os dias mais leves e divertidos.

Agradecer ao Professor Kao, que sempre me inspirou em suas aulas, sendo um exemplo de profissional, e moral, que no seu caminho continue inspirando cada vez mais todos ao seu redor.

Agradecer a todo o corpo docente da Faculdade de Engenharia Naval, que foram essenciais durante o processo de formação.

Agradecer ao corpo técnico que atua na Faculdade de Engenharia naval, em especial ao secretário Rubenson, que nunca mediu esforços para ajudar os membros da família que é a engenharia naval.

RESUMO

Para a realização deste estudo, foi observada uma característica importante que faz parte do dia a dia da região Norte: a presença dos rios, que atuam não apenas como fonte de recursos hídricos para a região, mas também como um bem natural essencial para as populações tradicionais que construíram suas vidas em suas margens. Como exemplo, destaca-se a população ribeirinha, que tem no rio sua principal fonte de renda, subsistência e meio de interligação com os grandes polos urbanos da região, dando destaque ao rio Tocantins, que será objeto deste estudo. O rio também é um sinal de alerta, principalmente nos períodos chuvosos da região, conhecidos como inverno amazônico. Este trabalho aborda essa problemática, que anualmente é motivo de preocupação para a população que vive nas margens dos rios e que é atingida pelo fenômeno das cheias. Neste estudo, será considerado o trecho do rio Tocantins conhecido como Baixo Tocantins, área que se inicia após a Usina Hidrelétrica de Tucuruí e se estende até o deságue na Baía do Marajó. Nessa região, além das cheias ocasionadas pelo período chuvoso e pela abertura das comportas da usina, soma-se também a influência do fenômeno das marés. Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho é a modelagem de uma casa flutuadora, que servirá como meio de contornar essa problemática ocasionada pelo aumento do nível do rio, por meio da adaptação das palafitas. A metodologia utilizada consistiu em pesquisa bibliográfica, com a análise de materiais já produzidos sobre a temática para embasamento dos pontos levantados, além da utilização de softwares para a modelagem dos protótipos. Os resultados alcançados mostraram-se promissores em relação à implementação do protótipo, pois atenderam a critérios físicos e mecânicos, bem como aos critérios de flutuação, estabilidade e esforços estáticos, comprovando sua eficácia em situações críticas e atendendo às normas necessárias para aplicação.

Palavras-chave: população ribeirinha; rio Tocantins; cheias históricas; marés; palafita flutuadora; modelagem.

ABSTRACT

For the development of this study, an important characteristic present in the daily life of the Northern region of Brazil was observed: the strong presence of rivers, which act not only as a source of water resources for the region but also as an essential natural asset for traditional populations that have historically built their way of life along their banks. Among these groups, the riverside population stands out, whose social and economic dynamics are directly related to the river, which represents their main source of income, subsistence, and connection to the major urban centers of the region. In this context, the Tocantins River is highlighted as the central object of this study. However, in addition to its socioeconomic importance, the river also represents a source of concern, especially during the rainy periods of the region, known as the Amazonian winter. During these periods, the significant rise in water levels leads to the phenomenon of floods, which annually causes concern and directly impacts the populations living along riverbanks. This study focuses on the section of the Tocantins River known as the Lower Tocantins, which extends downstream from the Tucuruí Hydroelectric Power Plant to its outflow into Marajó Bay. In this region, in addition to floods caused by the regional rainy season and the opening of the hydroelectric plant floodgates, there is also the influence of tidal phenomena, which contributes to variations in river levels. Given this context, the objective of this study is to develop the modeling of a floating house as an alternative to mitigate the impacts caused by rising river levels, through the adaptation of the traditional stilt-house structure commonly used by riverside communities. The methodology adopted consisted of bibliographic research, involving the analysis of previously published materials on the subject to support the issues discussed, in addition to the use of specialized software for the modeling of the prototypes. The results obtained proved to be promising regarding the implementation of the proposed prototype, as it met the necessary physical and mechanical criteria, as well as the requirements related to buoyancy, stability, and static loads. Therefore, the results indicate the effectiveness of the proposed solution for application in critical situations associated with flooding, while also complying with the necessary technical standards for its implementation.

Keywords: riverside population; Tocantins River; historical floods; tides; floating stilt house; modeling.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO.....	9
2- OBJETIVO GERAL.....	10
2.1- Objetivos específicos.....	10
3- REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3.1- Ribeirinhos: População tradicional dos rios amazônicos.....	11
3.1.1- Habitações dos ribeirinhos.....	12
3.1.2- Características das casas a beira do rio.....	13
3.2- O rio Tocantins.....	14
3.2.1- Trecho de estudo considerado.....	15
3.2.1- Hidromorfologia do rio Tocantins.....	15
3.2.2- Regime hidrológico e influência pluviométrica no rio Tocantins.....	16
3.2.3- Regime de marés e Correnteza no Rio Tocantins.....	17
3.2.4- Mudanças Naturais e Humanas Ocorridas no Rio Tocantins.....	18
3.2.5- Potencial energético x danos ao rio.....	18
3.3- População ribeirinha e as cheias dos rios.....	20
4- PROJETO CASA FLUTUÁVEL.....	21
4.1- Modelo de palafita utilizado.....	21
4.2- Matéria prima dos elementos estruturais da Palafita.....	23
4.2.1- Andiroba (<i>Carapa guianensis</i>).....	23
4.2.2- Sucupira (<i>Bowdichia nítida</i>).....	24
4.2.3- Angelim-Pedra (<i>Hymenolobium petraeum</i>).....	25
4.3- Designação da matéria prima por estrutura.....	26
5- PROPRIEDADES E TERMOS TÉCNICOS DA ENGENHARIA NAVAL.....	27
5.1- Flutuação / Empuxo.....	27
5.2- Volume deslocado (∇).....	27
5.3- Curvas Hidrostáticas.....	28
6- MODELAGEM DO PROTÓTIPO DA PALAFITA FLUTUADORA.....	30
6.1- Peso da Estrutura.....	30
6.2- Elemento flutuante utilizado no projeto.....	32
6.2.2- Análise da escolha do elemento flutuante.....	34

6.3- Modelagem da estrutura de flutuação	35
6.4- Manutenção de posicionamento da palafita	41
6.5- Mecanismo para restrição de movimentação vertical do pilar de apoio	42
6.6- Pilar de atracação lateral	45
6.6.1- Cálculo da força de arrasto devido ao vento	46
6.6.2- Cálculo da força de arrasto devido a correnteza	49
6.7- Resistência dos pilares as forças de atuação	51
6.8- Viabilidade econômica	53
7- CONCLUSÃO	55
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
9- APÊNDICES	60
Apêndice A – Planta da palafita modelo com as principais vistas e cotas	61
Apêndice B – Planta estrutural da palafita modelo com as principais vistas e cotas	63
Apêndice c – Planta estrutural do protótipo da casa flutuante, com a alocação dos tambores de flutuação.....	65
Apêndice D – Planta estrutural das dimensões e posicionamentos das estruturas dos pilares de atracação lateral.....	67

1- INTRODUÇÃO

A população amazônica nasceu nas beiras dos rios, e desde o princípio, no início da sociedade amazônica, o rio sempre foi primordial para a vida do ribeirinho que vive na Amazônia, visto que o rio é a principal fonte da subsistência desses povos pois é dos rios que vem a principal forma de alimentação dos ribeirinhos, através da pesca das mais variáveis espécies que a fauna amazônica pode oferecer.

É também através dos rios que são feitas as interligações entre as comunidades e as cidades amazônicas, sendo o principal elo entre povos e culturas, visto que a floresta densa torna difícil o acesso por estradas e abrir caminhos pela floresta, tornando assim, o rio a principal rota do comércio através das embarcações para obter acesso a remédios e alimentos industrializados.

E mediante esta grande importância dos rios para a vida do ribeirinho, é de forma estratégica que a maioria das habitações deste povo se encontre nas margens desta via de acesso, tanto para a subsistência como rotas para outros locais e comunidades, e por isso fazem a construção de suas casas nas margens dos rios visando esses benefícios, demonstrando a importância que o rio possui para o povo ribeirinho da região norte, tornando-se uma tradição que persiste por séculos na região.

Em confronto a este estilo de vida, temos as cheias, ou enchentes, sazonais dos rios amazônicos, que ocorrem principalmente durante o inverno amazônico, em que cada rio possui um comportamento único durante o período das cheias, e que afeta diretamente a vida da comunidade que vive nas margens, principalmente devido aos volumes das cheias não serem programados e contínuos, e que ano após ano, os níveis são diferentes, e podem subir além dos esperados, alagando as casas dos ribeirinhos, ocasionando abalo nas estruturas, perda de eletrodomésticos, e até a perda da própria casa, deixando assim diversas famílias desabrigadas durante este período.

Este trabalho objetiva apresentar uma solução para este problema sazonal que afeta a vida dos povos amazônicos ribeirinhos, que vivem nas margens dos rios, apresentando uma proposta de dispositivo que impeça esse alagamento durante os

períodos de cheias e enchentes dos rios amazônicos, focado principalmente no Rio Tocantins.

O dispositivo de flutuação que tem como objetivo fazer com que estas residências possam flutuar de acordo com o nível do rio, e essa flutuação possa ocorrer com garantia de estabilidade, e não afetar os seus elementos estruturais, visto que a flutuação não será em período permanente, apenas durante o período da maré alta do rio, usando principalmente tonéis emparelhados para garantir a flutuação da casa, e como forma de baratear a implementação deste dispositivo.

2- OBJETIVO GERAL

Modelagem de uma palafita (modelo de habitação da população ribeirinha), adaptada para atender as propriedades de flutuação durante as cheias do baixo Tocantins ocasionadas pelas cheias do rio ocasionadas pelo período de chuva e abertura das comportas da UH de Tucuruí, somados ao fenômeno maré que afeta a região abaixo da Usina.

2.1- Objetivos específicos

- Desenvolver um protótipo de casa flutuadora, para os períodos de cheias do Rio Tocantins;
- Aplicação dos princípios da Engenharia Naval, para embasar a construção das palafitas flutuadoras, dando de embasamento dos resultados obtidos;
- Modelagem de uma estrutura flutuadora, através de programas específicos como o AutoCad;
- Estimativas de viabilidade física e econômica da adaptação das palafitas flutuadoras, para se atender o custo benefício.

3- REFERENCIAL TEÓRICO

3.1- Ribeirinhos: População tradicional dos rios amazônicos

A população amazônica apresenta grande diversidade histórica e cultural, composta por diferentes povos tradicionais, como indígenas, agricultores, seringueiros, varzeiros, quilombolas e ribeirinhos, cujas identidades resultam tanto de práticas ancestrais quanto do contato com colonizadores. Entre esses grupos, destaca-se a população ribeirinha, formada ao longo do tempo por sucessivas transformações naturais e sociais do espaço amazônico, especialmente influenciadas pelas cheias e secas dos rios.

A origem dos ribeirinhos está associada, principalmente, ao período da exploração da borracha, quando migrantes, sobretudo do Nordeste brasileiro, se estabeleceram na região e se misturaram aos povos originários, dando origem a uma cultura própria, marcada pela convivência direta com os rios. As colonizações ocorridas no período colonial também contribuíram para a formação e, em muitos casos, para a destruição e dispersão dessas populações, devido à expansão de atividades extrativistas, como a exploração vegetal e a mineração.

Além disso, a disputa colonial pelo território amazônico levou à criação de vilas e pequenas cidades às margens dos rios, visando à ocupação e defesa das fronteiras. Esse processo alterou profundamente a organização das comunidades ribeirinhas, que passaram a enfrentar a escolha entre se adaptar ao modo de vida urbano emergente ou se deslocar para áreas mais isoladas, preservando suas tradições baseadas na pesca, na caça, na agricultura de subsistência e na moradia ribeirinha.

O modo de vida ribeirinho configura-se, assim, como uma forma de resistência cultural dos povos amazônicos, mantendo práticas de preservação da floresta e dos rios, fundamentais tanto para a subsistência quanto para a organização social e econômica dessas comunidades.

3.1.1- Habitações dos ribeirinhos

A habitação da população ribeirinha constitui um elemento essencial de sua identidade cultural e histórica, herdada dos povos originários da Amazônia e adaptada às condições ambientais das margens dos rios. Essas moradias foram desenvolvidas para atender às necessidades de subsistência, como pesca, extrativismo e agricultura, além de facilitar a locomoção e o acesso a bens, serviços e informações provenientes dos centros urbanos, garantindo também adaptação ao clima regional e conforto aos moradores.

A moradia ribeirinha ultrapassa os aspectos arquitetônicos, envolvendo dimensões sociais, econômicas e familiares, estando diretamente relacionada às atividades de trabalho e à organização do cotidiano comunitário. Sob a perspectiva geográfica, sua localização estratégica reflete um conhecimento empírico do território, já que o rio funciona como principal via de deslocamento e integração social, permitindo o acesso a escolas, espaços comunitários, comércio, lazer e práticas religiosas, reforçando a forte relação entre habitação, território e modo de vida ribeirinho.

A estruturação da sociedade ribeirinha amazônica, está atrelada ao seu conhecimento da história de seu povo, assim como o seu vasto conhecimento sobre a natureza que lhe rodeia, conhecimento passado de geração a geração, segundo Diegues:

"O conhecimento que as populações tradicionais possuem sobre o meio ambiente onde vivem não é apenas um acúmulo de informações, mas um sistema complexo de saberes que permite a utilização sustentável dos recursos naturais e a manutenção da biodiversidade amazônica." (DIEGUES, 2024, p. 12).

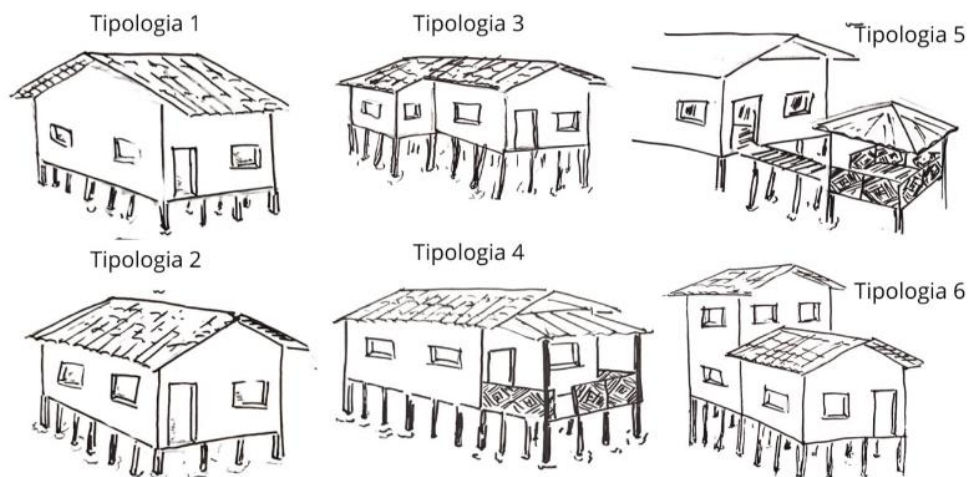
Levando em consideração a questão social e geográfica das casas ribeirinhas e sua relação com a bacia hidrográfica, cabe ressaltar que a sua concepção é uma forma de cultura que vem se passando de geração a geração, fazendo assim com que as casas se adaptem ao ciclo hidrográfico da região em que está localizada, devido a sazonalidade dos rios, fazendo com que a arquitetura, estrutura e compartimentações, buscam atender as especificações e limites impostos pelos rios da região amazônica, destacando cada vez mais a relação Homem X Natureza.

3.1.2- Características das casas a beira do rio

De acordo com **Azevedo (2025)**, as habitações ribeirinhas, conhecidas como **palafitas**, possuem características estruturais adaptadas às condições ambientais das margens dos rios amazônicos, sendo construídas com madeiras de alta densidade e resistência à umidade. Sua fundação é composta por elementos como **estelhos**, que atuam como pilares enterrados, e **axapús**, responsáveis pela estabilidade da base. O assoalho é feito de madeira apoiada em pernamancas e frechais, com uso frequente de espécies como **Sucupira**, enquanto as paredes podem ser formadas por tábuas de madeira, como a **Andiroba**, ou por talas de **miriti** tecidas com cipó-titica, permitindo maior ventilação. A cobertura, atualmente, utiliza principalmente telhas cerâmicas ou de fibrocimento, embora, no passado, fossem comuns telhados de palha, evidenciando a adaptação funcional e cultural dessas moradias ao ambiente amazônico (**Azevedo, 2025**).

A seguir, estão dispostos alguns modelos de casas ribeirinhas, que são encontrados as margens dos rios amazônicos:

Figura 01- Modelos de casas (palafitas) ribeirinhas.



Fonte: Azevedo (2025).

3.2- O rio Tocantins

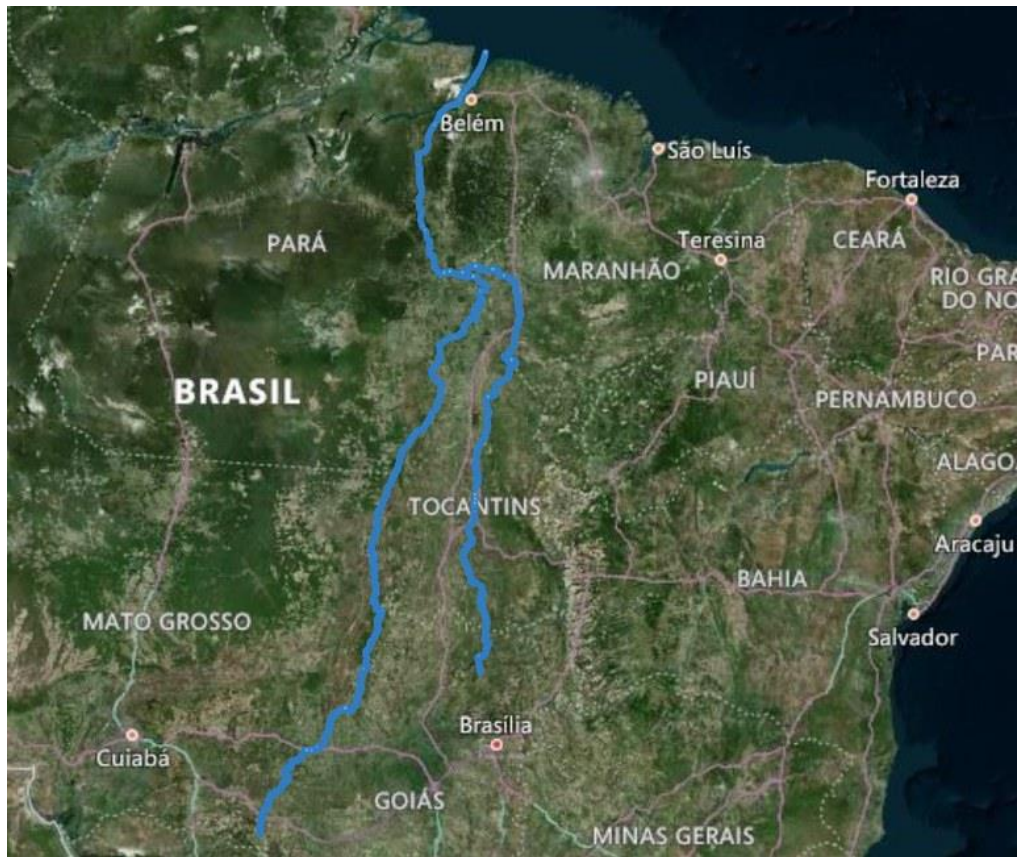
O Rio Tocantins, um dos principais eixos hídricos da Amazônia Oriental, faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins-Araguaia, que possui grande visibilidade dentro das bacias que compõem os rios da Amazônia Brasileira, em que, destaca-se devido as suas dimensões dentro do território amazônico, como a sua vasta área de captação, o tornando assim a segunda maior bacia hidrográfica do país, e a 4ª maior Bacia hidrográfica da América do Sul.

“A bacia do Rio Tocantins-Araguaia apresenta uma grande área de captação, que se estende de 46º a 55º Oeste e 2º a 18º Sul, drenando uma área de 767.000km², dos quais 343.000km² correspondem ao Rio Tocantins, 382.000km² ao rio Araguaia (seu principal afluente) e 42.000km² ao rio Itacaiúnas (o maior contribuinte de seu curso inferior)” (MÉRONA et al., 2010).

Outros aspectos importantes que podem ser destacados acerca desta Bacia Hidrográfica, é que a mesma abrange, uma extensão de aproximadamente de 4.515 Km, destes sendo dividido como 2.400 Km de extensão do Rio Tocantins e 2.115 Km de extensão do rio Araguaia, que cortam os estados do Tocantins (TO), Pará (PA), Maranhão (MA), Mato grosso e Distrito Federal (DF), abrangendo assim 300 municípios que nasceram e cresceram em suas margens.

O rio Tocantins, tem a sua nascente localizada no estado de Goiás (Go), entre os municípios de Petrolina de Goiás e Ouro Verde de Goiás, através da confluência dos rios das Almas e Maranhão, que no seu trajeto rumo a região norte, vai desaguar na Baía do Marajó, localizado no Estado do Pará, como pode ser observado na Figura 02.

Figura 02: Representação da Extensão da Bacia do Rio Tocantins Araguaia



Fonte: BRASIL (2025).

3.2.1- Trecho de estudo considerado

Foi considerado as informações referentes a calha hidrográfica do Rio Tocantins, na qual a situação problema levantada se aplica, a região conhecida como Baixo Tocantins, que corresponde ao trecho do rio após a Usina hidrelétrica de Tucuruí (PA), rumo a sua vazante na Baía do Marajó. Será considerada o fenômeno da maré oceânica que ocorre no trecho, fenômeno que é acentuado durante as cheias dos rios devido a abertura por longos períodos das comportas da Usina hidrelétrica, que influencia diretamente no aumento do volume do rio na região.

3.2.1- Hidromorfologia do rio Tocantins

A hidromorfologia do rio Tocantins é resultado da interação entre fatores climáticos, geológicos e hidrológicos, apresentando originalmente canais amplos, planícies de inundação bem desenvolvidas e elevada conectividade lateral durante os períodos de cheia. No entanto, a construção de grandes barragens, como Serra da Mesa e Tucuruí, provocaram mudanças significativas no regime de vazões, no

transporte de sedimentos e na dinâmica morfológica do rio, reduzindo a frequência e a extensão das inundações naturais e alterando os habitats aquáticos e ribeirinhos.

No trecho inferior do rio Tocantins, observa-se uma morfologia de transição. Imediatamente após a barragem de Tucuruí, o rio apresenta características de planalto, com leito mais profundo e encaixado e presença de afloramentos rochosos. À medida que se aproxima da baía do Marajó, o sistema passa a assumir uma morfologia de planície, com aumento da largura do canal, formação de múltiplos canais, ilhas e bancos de sedimentos. Essa transformação reduz a declividade e a velocidade da correnteza, favorecendo a deposição de sedimentos finos e a fertilização das várzeas locais.

3.2.2- Regime hidrológico e influência pluviométrica no rio Tocantins

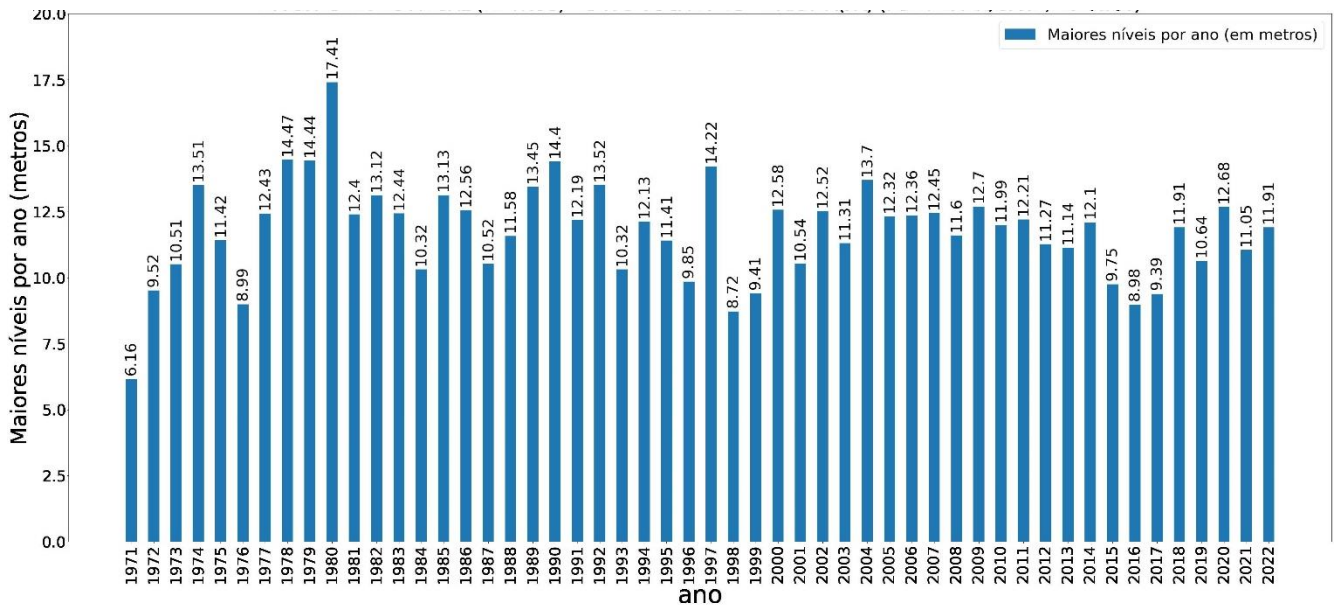
O regime hidrológico do rio Tocantins é caracterizado como monomodal, apresentando um único período predominante de cheia ao longo do ano, diretamente condicionado à sazonalidade das chuvas na região central do Brasil e no sudeste do Pará, além da influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), responsável pelas chuvas mais intensas entre novembro e maio.

O período de cheia ocorre, em geral, entre os meses de fevereiro e abril, durante o inverno amazônico, quando o aumento das precipitações eleva significativamente a vazão do rio, resultando em grandes volumes de água no baixo curso. A fase de vazante inicia-se a partir de junho, com a redução das chuvas e o início da estiagem, culminando nos níveis mínimos do rio entre setembro e outubro.

Destaca-se que, no trecho do rio Tocantins a jusante da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, o regime natural das cheias é parcialmente controlado pela operação da barragem, especialmente pela abertura das comportas, seja para garantir a segurança do reservatório ou para atender às demandas de geração de energia, o que interfere diretamente na dinâmica hidrológica da bacia.

É importante ressaltar que as cheias históricas, como as de 1980 e 2004, não foram apenas eventos isolados, mas o resultado de anomalias climáticas que sobrecarregaram a capacidade de armazenamento do sistema, forçando a operação de vertedouros em Tucuruí e inundando as áreas de ocupação ribeirinha em Cametá (MÉRONA et al., 2010).

Figura 03: Maiores cheias do rio Tocantins - Marabá (PA)



Fonte: ANA / CPRM (2022)

3.2.3- Regime de marés e Correnteza no Rio Tocantins

O trecho inferior do rio Tocantins, localizado a jusante da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, cerca de 100 a 150 km antes da foz, sofre influência da maré oceânica devido à conexão com a Baía do Marajó e o sistema Rio Pará. Nessa zona estuarina, a dinâmica fluvial é parcialmente controlada pela onda de maré semidiurna, caracterizada por duas marés cheias e duas marés secas diárias, com intervalos aproximados de 6 horas, sendo essa influência progressivamente reduzida à montante pela predominância da descarga fluvial.

A atuação da maré torna-se mais perceptível durante o período de seca, quando as vazões do rio são menores, permitindo que a maré avance alguns quilômetros rio acima. Em contrapartida, no período chuvoso, a elevada descarga superficial reduz significativamente a amplitude da maré observável no interior do sistema fluvial, comportamento típico de grandes rios tropicais com desembocadura estuarina.

A velocidade da correnteza no rio Tocantins varia conforme o trecho e o grau de controle hidráulico exercido pelas barragens. Nos reservatórios, a velocidade é reduzida pela retenção de água, enquanto a jusante das turbinas e vertedouros ocorre aumento da energia cinética do fluxo, intensificando a correnteza. Para o trecho entre os municípios de Baião, Mocajuba e Cametá, onde o rio transita de um regime de planalto para uma zona de influência estuarina, a velocidade média da correnteza

varia entre 0,5 m/s e 1,5 m/s, conforme dados da ANA (2025), podendo atingir valores entre 1,0 m/s e 2,5 m/s em situações de elevada liberação de água.

3.2.4- Mudanças Naturais e Humanas Ocorridas no Rio Tocantins

O rio Tocantins passou por intensas transformações ao longo de sua história, resultantes tanto de processos naturais quanto de ações humanas. As variações entre cheias e secas estão relacionadas às mudanças no regime de chuvas da região Norte e são influenciadas por fenômenos climáticos globais como o El Niño, que aumenta a ocorrência de secas, e a La Niña, que favorece chuvas intensas e enchentes. Esses eventos climáticos exercem papel fundamental na dinâmica hidrológica do rio e na ocorrência de extremos ambientais.

Paralelamente, a urbanização das margens do rio tem provocado profundas alterações no ambiente natural, como o desmatamento da vegetação ciliar, a erosão das margens e o assoreamento do leito, além de impactos sobre a fauna e a flora. A ausência de sistemas eficientes de tratamento de esgoto em muitas cidades ribeirinhas intensifica a poluição hídrica, comprometendo a qualidade da água, favorecendo a proliferação de microrganismos e transformando a degradação do rio Tocantins em um relevante problema ambiental e de saúde pública.

3.2.5- Potencial energético x danos ao rio

Outra ação direta do ser humano dentro do Rio Tocantins é a construção de hidrelétricas, que são edificações construídas com o intuito de se aproveitar o potencial energético da bacia, através da contenção das águas do rio em um certo trecho do mesmo, assim formando um lago artificial, para se produzir uma diferença de altura, entre os dois lados da usina, e assim, se usar da energia potencial que é produzida quando são abertas as comportas, que passam pelas turbinas, e através da movimentação da água na turbina através da força mecânica da mesma é transformada em energia elétrica, sendo considerada uma forma de fonte de energia limpa.

De acordo com Empresa de Pesquisa Energética- EPE (2007), bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia destaca-se por possuir um dos maiores potenciais hidrelétricos ainda a serem aproveitados no Brasil, com cerca de 11.297 MW (onze mil, duzentos e noventa e sete megawatts) que estão distribuídos entre várias sub-

bacias, sendo os rios Tocantins e Araguaia responsáveis por mais de 75 % desse total. Entre as hidrelétricas presentes no rio Tocantins, podemos citar as principais que são: UHE Serra da Mesa (GO), UHE Cana Brava (GO), UHE São Salvador (TO), UHE Peixe Angical (TO), UHE Lajeado (TO), UHE Estreito (MA, TO) e UHE Tucuruí (PA). Sendo a Hidrelétrica de Tucuruí, a maior geradora de energia dentro desta Bacia.

Figura 04: Diagrama das hidrelétricas instaladas no Rio Tocantins



Fonte: ANA (2025).

Mesmo a energia gerada por hidrelétrica seja considerada uma forma de energia limpa, durante a sua implantação e construção nos rios amazônicos, principalmente no Rio Tocantins, sendo como a principal usina a UHE Tucuruí (PA), que é uma das maiores do país, houveram impactos ambientais significativos, que atingiram diversas camadas do ambiente que compõem a bacia, como a fauna, flora, ecossistemas existentes no rio, além de problemas de caráter social com a população Ribeirinha e outras tradicionais em torno do rio.

Segundo Lima (2020), a construção de hidrelétricas no rio Tocantins modificou profundamente o regime de cheias e secas, impactando diretamente os ecossistemas aquáticos e a reprodução de espécies dependentes desses ciclos naturais, em que a existência e conservação do mesmo, necessita de um equilíbrio natural no rio, para que estes ecossistemas possam completar seus ciclos. De acordo com estudo publicado na Sociedade & Natureza (2017), os grandes empreendimentos hidrelétricos na bacia Tocantins-Araguaia provocaram “redução significativa da

diversidade de peixes e fragmentação dos habitats aquáticos” (SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS, 2017, p. 495).

A implantação de usinas hidrelétricas na bacia do rio Tocantins provoca impactos ambientais significativos relacionados ao represamento do rio e à formação de lagos artificiais, que alteram a carga de sedimentos e promovem o alagamento da flora e fauna das margens. Esse processo favorece a eutrofização das águas, caracterizada pelo acúmulo excessivo de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, resultantes da decomposição da matéria orgânica submersa. Como consequência, ocorre a proliferação excessiva de biomassa, a redução do oxigênio dissolvido na água, a mortalidade de espécies sensíveis — como peixes que dependem de altos níveis de oxigênio — e o desequilíbrio ecológico, com a predominância de espécies oportunistas em detrimento da biodiversidade original.

3.3- População ribeirinha e as cheias dos rios

As populações ribeirinhas amazônicas dependem diretamente do rio para sua sobrevivência, pois dele obtêm os recursos necessários para atividades como pesca, agricultura, extração, caça e deslocamento. A localização às margens dos rios constitui um fator geográfico e estratégico essencial para a organização social, econômica e cultural dessas comunidades, além de garantir a integração entre diferentes localidades e centros urbanos.

Entretanto, as variações sazonais de secas e cheias impõem desafios significativos à vida ribeirinha. A estiagem compromete a pesca, a irrigação e a navegabilidade, enquanto as cheias históricas, resultantes de períodos de chuvas intensas, provocam enchentes severas, alagam plantações e residências e geram perdas materiais, afetando especialmente famílias em situação de maior vulnerabilidade social. Diante desse cenário, torna-se necessária a adoção de soluções técnicas e de engenharia, embasadas cientificamente, capazes de reduzir os impactos desses fenômenos e garantir maior segurança e estabilidade às comunidades ribeirinhas.

4- PROJETO CASA FLUTUÁVEL

A proposta apresentada consiste no desenvolvimento de um projeto de casa flutuável voltado a atender as necessidades das populações ribeirinhas durante os períodos de cheia do rio Tocantins, no trecho do baixo tocantins. O objetivo é garantir que a moradia mantenha suas características estruturais e funcionais antes, durante e após as cheias acentuadas pelo fenômeno da maré, preservando sua posição geográfica e assegurando a segurança, a integridade estrutural e a proteção do núcleo familiar, mesmo quando o nível do rio se eleva.

Para viabilizar o projeto, propõe-se a adaptação de uma casa ribeirinha já existente, com arquitetura semelhante às demais residências da comunidade, possibilitando que o modelo seja replicável em outras moradias e regiões com contextos semelhantes. Destaca-se ainda a utilização de materiais e equipamentos de fácil acesso, compatíveis com a realidade socioeconômica das comunidades ribeirinhas, permitindo que a implementação ocorra com recursos locais ou com apoio de políticas públicas e instituições governamentais voltadas a esse público.

4.1- Modelo de palafita utilizado

O modelo de habitação utilizada para este protótipo como ponto de partida, será o modelo de palafita, modelo comum na região amazônica, que é utilizado pela comunidade que reside nas beiras dos rios amazônicos. Habitação constituída estruturalmente de madeira, de espécies comuns na região amazônica, e que possuem uma densidade relativamente baixa para não oferecer peso elevado a estrutura, e por ser uma matéria prima abundante e de valor acessível a comunidade, além de possuir propriedades físicas essenciais para ambientes úmidos, possuindo uma vida útil elevada com baixos custos de reparações e trocas.

A modelagem da palafita a ser utilizada nesta pesquisa, foi através do software AutoCad, um software para modelagem e desenho assistido por computador (CAD) criado e disponibilizado pela Autodesk. Desde 1982 é usado mundialmente pra produção e criação de projetos técnicos, em 2D e modelos tridimensionais em 3D, sendo essencial em áreas de arquitetura, engenharia, design de interiores e manufatura, em que o mesmo oferece precisão e ferramentas avançadas no desenvolvimento de projeto.

Nos apêndices A e B, é apresentado o modelo de casa a ser utilizada para este projeto, em que nos mesmos, estão designadas as suas principais estruturas de sustentação e a planta baixa do assoalho da casa, assim como a planta estrutural, representando os principais componentes da casa, as principais formas e cotas dos elementos que compõem a palafita, na escala de milímetros, para que se possa ter uma melhor visualização dos detalhes estruturais que compõem a casa. A seguir, é apresentado a tabela com as principais dimensões dos elementos estruturais que compõem o projeto.

Tabela 01: Principais dimensões dos elementos estruturais e componentes da palafita

Elemento / Estrutura	Quantidade (Unid)	Dimensões (m)
Dimensões da palafita	01	6,06 x 11,97
Dimensões da estrutura de apoio do assoalho	01	7,06 x 16
Portas de acesso	02	2,12 x 1,08 x 0,03
Porta do Quarto	01	1,9 x 0,8 x 0,03
Janelas laterais	06	1,0 x 1,0 x 0,03
Janela da entrada	01	1,58 x 1,28 x 0,03
Pilares centrais acima assoalho	03	Raio:0,1 x 3,47
Pilares de sustentação do assoalho	35	Raio: 0,05 x 4,0
Longarina Transversal do assoalho	07	0,07 x 0,1 x 7,06
Longarina Transversal do flexal (acima do assoalho)	03	0,07, x 0,1 x 6
Longarina longitudinal do assoalho	05	0,07 x 0,1 x 16
Longarina longitudinal do flexal (acima do assoalho)	07	0,07 x 0,1 x 13,17
Madeira do assoalho (considerando como um único elemento)	01	0,025 x 6,06 x 11,97

Fonte: Autor (2026).

4.2- Matéria prima dos elementos estruturais da Palafita

Nesta fase do projeto, é definida a matéria prima que irá compor cada elemento estrutural do projeto, para se obter posteriormente as informações necessárias para que irão definir o peso da estrutura de acordo com a matéria prima, pois cada uma delas, possuem características físicas, e estruturais específicas que afetam diretamente a execução da modelagem do protótipo, dando ênfase na densidade de cada um desses elementos, pois é uma variável que afeta diretamente o peso da estrutura como um todo.

A matéria prima utilizada serão as madeiras de espécies comuns na construção das casas as beiras dos rios, cada uma delas com as suas especificações que lhe agregam a melhor parte da estrutura a que a mesma irá compor, madeiras que são de fácil acesso, e possuem as características e durabilidade necessária para a construção de palafitas, que tenham uma alta resistência as condições adversas ao qual a palafita. A seguir serão apresentadas as principais madeiras que compõem as palafitas e as principais estruturas que as mesmas compõem neste projeto.

4.2.1- Andiroba (*Carapa guianensis*)

Madeira das mais tradicionais da Amazônia, reconhecida tanto pela sua resistência quanto pela versatilidade de uso. A árvore pode alcançar grandes dimensões, chegando a mais de 30 metros de altura, e sua madeira apresenta coloração castanho-clara a avermelhada, com textura uniforme e boa durabilidade natural. Por apresentar estas características, é muito utilizado na construção civil, em portas, janelas e pisos.

A seguir estão apresentadas algumas das principais características dessa madeira, características físicas e mecânicas:

Tabela 02: Características físicas e mecânicas da andiroba (Seca)

Andiroba (<i>Carapa guianensis</i>)	
Característica	Valor
Densidade (kg/m ³)	590 kg/m ³
Flexão estática- Módulo de ruptura (kgf/cm ²)	1093 kgf/cm ²
Flexão estática- Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	120 kgf/cm ²
Compressão- Resistência à ruptura (paralelas a fibra)	609 kgf/cm ²

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2026).

De acordo com as informações, das propriedades físicas e mecânicas da madeira andiroba, a mesma será utilizada como matéria prima para as estruturas das portas, das janelas, como assoalho e as paredes da palafita.

4.2.2- Sucupira (*Bowdichia nítida*)

Uma espécie típica das florestas brasileiras, bastante apreciada pela sua alta resistência e durabilidade natural. As árvores podem atingir grandes dimensões e fornecem uma madeira de coloração castanho-escuro. Por ser uma madeira robusta, e que suporta os ambientes úmidos e a ataques de cupins, e possui uma densidade elevada que o torna uma excelente peça para suportar grandes pressões, mantendo a sua grande estabilidade.

A seguir, estão apresentadas algumas das principais características físicas e mecânicas da Sucupira.

Tabela 03: Características físicas e mecânicas da Sucupira (Seca)

Sucupira (<i>Bowdichia nítida</i>)	
Característica	Valor
Densidade (kg/m ³)	860 kg/m ³
Flexão estática- Módulo de ruptura (kgf/cm ²)	1564 kgf/cm ²
Flexão estática- Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	170 kgf/cm ²
Compressão- Resistência à ruptura (paralelas a fibra)	1029 kgf/cm ²
Cisalhamento- Resistência à ruptura	165 kgf/cm ²

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2026).

No projeto da palafita, a Sucupira será utilizada para as estruturas de sustentação, que ficarão submersas, e nos pilares de sustentação do telhado, devido as suas propriedades e rigidez.

4.2.3- Angelim-Pedra (*Hymenolobium petraeum*)

É uma das espécies mais conhecidas e utilizadas no Brasil, especialmente na região amazônica. Sua principal característica é a alta densidade e resistência mecânica, o que a torna ideal para aplicações que exigem grande durabilidade. A árvore pode atingir grandes dimensões, fornecendo madeira de coloração castanho-clara a castanho-escura, com textura média e aspecto uniforme. Por possuir uma elevada robustez, a madeira angelim é amplamente empregada na construção civil, sendo usada principalmente como vigas, pilares e pontes.

A seguir, estão apresentadas algumas das principais propriedades físicas e mecânicas do Angelim-Pedra.

Tabela 04: Características físicas e mecânicas da Angelim-pedra.

Angelim-Pedra (<i>Hymenolobium petraeum</i>)	
Característica	Valor
Densidade (kg/m ³)	590 kg/m ³
Flexão estática- Módulo de ruptura (kgf/cm ²)	1115 kgf/cm ²
Flexão estática- Módulo de Elasticidade (kgf/cm ²)	118 kgf/cm ²
Compressão- Resistência à ruptura (paralelas a fibra)	533 kgf/cm ²

Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2026).

Para este projeto, a madeira de Angelim-Pedra, será utilizada para as estruturas de suporte mecânico, as longarinas e vigas que estarão no esqueleto do assoalho e das paredes, tanto no sentido transversal quanto os longitudinais.

4.3- Designação da matéria prima por estrutura

A seguir, está disposto na tabela 05, as principais estruturas da palafita, assim como a matéria prima de que a mesma será constituída:

Tabela 05: Matéria prima que compõem os elementos da estrutura da palafita.

Estrutura	Matéria prima
Portas de acesso	Andiroba
Janelas (laterais / entrada)	Andiroba
Pilares de sustentação	Sucupira
Longarinas (Transversal e Longitudinal)	Angelim
Assoalho e Paredes	Andiroba

Fonte: Autor (2026).

5- PROPRIEDADES E TERMOS TÉCNICOS DA ENGENHARIA NAVAL

5.1- Flutuação / Empuxo

Conceito físico, conhecido como princípio de Arquimedes, que diz que um corpo imerso, em repouso, numa dada massa líquida, sofre uma impulsão vertical, dirigida de baixo para cima, que passa pelo centro geométrico do volume imerso e é igual ao peso da massa líquida deslocada pelo corpo imerso. Princípio este que pode ser aplicado e traduzido através da seguinte expressão:

$$E + \Delta = 0 \quad (1)$$

Em que E corresponde ao empuxo hidrostático, e Δ é o peso da estrutura imersa (deslocamento). Que Δ (deslocamento) pode ser calculado através da expressão:

$$\Delta = \nabla \cdot \rho \quad (2)$$

ρ = Densidade do fluído (t/m³); e ∇ = volume deslocado

Com a obtenção deste equilíbrio de forças, é possível se alcançar a flutuabilidade do objeto ou estrutura. Ressaltando, que para a obtenção da flutuabilidade, é necessário que o objeto imerso no líquido, possua densidade menor que a densidade do líquido, para assim se alcançar a flutuabilidade, ocorrendo o contrário, a estrutura irá submergir.

5.2-Volume deslocado (∇)

Corresponde ao volume deslocado pela estrutura quando está a um determinado calado, que apresenta informações sobre o carregamento da estrutura, também conhecido como volume de carena. De acordo com o formato e cotas do mesmo, é possível se estimar com eficácia, a quantidade de carga que o mesmo pode suportar, sem perder a estabilidade de flutuação.

5.3- Curvas Hidrostáticas

É caracterizado como as representações gráficas e as tabelas que relacionam parâmetros hidrostáticos de um navio de acordo com o calado (Altura da parte submersa da embarcação. Dentre as principais funções da obtenção das propriedades hidrostáticas de uma embarcação ou de um elemento flutuante, é a capacidade de previsão de comportamento do casco quando o mesmo estiver carregado ou submetido a forças externas.

As principais propriedades que se pode obter com as tabelas e curvas hidrostáticas, podemos citar:

- **Calado:** é a distância vertical entre a linha d'água e a parte mais baixa da embarcação, representando o quanto a embarcação esta submersa na água, medida em metros (m).
- **Deslocamento (Δ):** peso do navio em função do volume de líquido deslocado no calado em questão, tendo como unidade em tonelada.
- **Altura do Centro de flutuação (KB):** Corresponde a posição vertical do centro de empuxo;
- **Momento de trim (MTC):** corresponde a carga necessária para a embarcação apresentar o trim de 1 cm.
- **Altura do Metacentro (KM):** Ponto teórico fundamental na estabilidade de corpos flutuantes, definido pela interseção da linha vertical que passa pelo centro de carena original e a linha de ação do empuxo quando a embarcação é inclinada.
- **Centro longitudinal de carena (LCB):** parâmetro hidrostático que representa a posição do centro de volume deslocado ao longo do comprimento do navio, ponto em que atua a força de empuxo no sentido longitudinal.
- **Posição Transversal do centro de carena (TCB):** Parâmetro hidrostático que representa a posição transversal do centro de carena, em relação ao plano diametral da embarcação. Quando a embarcação está na posição vertical, sem inclinação, o TCB = 0.
- **Centro Longitudinal de flutuação (LCF):** ponto ao longo da embarcação em que atua as resultantes das forças de flutuação na superfície da água, sendo o centro geométrico de flutuação, é o ponto em torno do qual o navio gira quando ocorre uma variação de trim.

Cabe ressaltar a importância dessas propriedades em diversas situações das fases de um projeto, como no processo de concepção, que auxilia no dimensionamento do casco, e estimar a distribuição de carga na embarcação. Importante para os cálculos de estabilidade da embarcação, analisando os braços de endireitamento de embarcações, verificando se volta ao equilíbrio após inclinações, influenciando assim diretamente na segurança da embarcação, garantindo que a mesma não perca a estabilidade em situações críticas.

6- MODELAGEM DO PROTÓTIPO DA PALAFITA FLUTUADORA

6.1- Peso da Estrutura

Para a obtenção do peso da estrutura que estará apoiada sobre o flutuante, é necessário conhecer a densidade de cada elemento que a mesma é construída, visto que cada conjunto de estrutura possui a sua matéria prima específica assim como tamanho e dimensões específicas, que afetam diretamente na estimativa do peso que o flutuante precisa suportar, e apresentar reserva de flutuabilidade de segurança.

A partir das informações apresentadas anteriormente sobre a matéria prima que constitui cada elemento estrutural pertencente a palafita, assim como as informações de dimensões que estão apresentadas no projeto estrutural da palafita modelo utilizada para o projeto, é possível estimar o peso total da estrutura, para assim dimensionar a quantidade de empuxo necessária para o projeto flutuante.

Cabe ressaltar que os pesos e elementos apresentados para se estimar este peso, está baseado no projeto já apresentado nos apêndices A e B, que traz o projeto das plantas e da estrutura que compõem a palafita, respectivamente. Acrescentando-se que partes estruturais não apresentadas no projeto estrutural, mas que os pesos possuem relevância para a composição do peso da estrutura, serão apresentadas como percentual de valores das estruturas em que as mesmas compõem durante o processo construtivo.

Outro ponto a destacar da estimativa de peso é que o mesmo vai possuir elementos que serão apresentados ao projeto posteriormente, mas que os seus pesos e quantitativo já devem estar presente para esta fase do projeto, devido influenciar diretamente nesta característica, pois também farão parte do peso total do projeto que será a peça de aço que será criada para fim de manter estático a movimentação dos pilares abaixo do assoalho durante a flutuação.

Será considerado ao peso da estrutura, a quantidade de moradores da residência, para assim se obter a parametrização o mais próximo da realidade, do dia a dia das palafitas ribeirinhas através da adoção de 5 (cinco) moradores adultos possuindo peso médio de 75 kg (setenta quilogramas).

Será acrescentado ao peso da estrutura, o peso leve dos flutuantes (peso do flutuante sem carga), pois o mesmo faz parte da estrutura, e apresenta o deslocamento próprio, sendo assim importante para critérios de análise e cálculo. Os tambores de polietileno utilizados, tem o peso de 8,5 kg (oito e meio quilogramas),

como apresentado anteriormente. Que inicialmente está estimado em 42 (quarenta e dois) tambores.

A seguir, está disposto a tabela 10, constituída pela estimativa da composição de peso dos elementos da estrutura, e outros que serão acrescentados a estrutura.

Tabela 06: Pesos das estruturas e elementos agregados.

ELEMENTOS	VOLUME (m³)	QUANTIDADE	DENSIDADE (kg/m³)	PESO (kg)
Portas de acesso (andiroba)	0,068688	2	590	81,05
Porta do Quarto (andiroba)	0,0456	1	590	26,90
Janelas laterais (andiroba)	0,03	6	590	106,20
Janela da entrada (andiroba)	0,060672	1	590	35,80
Pilares de sustentação do telhado, acima do assoalho (Sucupira)	0,108958	3	860	281,11
Pilares de sustentação do assoalho (considerando metade do pilar) (Sucupira)	0,0157	35	860	472,57
Longarina Transversal do assoalho (Angelim)	0,04942	1	590	29,16
Longarina Transversal do flexal (acima do assoalho) (Angelim)	0,042	3	590	74,34
Longarina longitudinal do assoalho (Angelim)	0,112	5	590	330,40
Longarina longitudinal do flexal (acima do assoalho) (Angelim)	0,09219	7	590	380,74
Madeira do assoalho (considerando como um único elemento) (andiroba)	1,813455	1	590	1069,94
Peças de aço	0,00270825	35	785	74,41
Telhado Brasillit	24,4	48		1171,20
Estrutura do telhado (painel) (5% do peso da telha)				58,56
Paredes da casa (Andiroba)	2,942496	1	590	1513,02
Esqueleto da parede (5% do peso das paredes)				103,33
Paredes do quarto (andiroba)	0,9384	1	590	553,66
Moradores	70	5		350,00
Peso leve (tambor)	8,5	42		357,00
PESO TOTAL DA PALAFITA (Ton)				7,07

Fonte: Autor (2026)

6.2- Elemento flutuante utilizado no projeto

A escolha do elemento flutuante para este protótipo, será considerado diversos fatores, que é necessário ter o seu pleno atendimento, de modo para se tornar viável, tanto os objetivos esperados para o protótipo, como a questão de implantação deste protótipo de forma satisfatória, com o atendimento da expectativa esperada de flutuação. Outro fator a ser considerado, é em relação a facilidade de obtenção deste material, tanto por questões de demanda, quanto as financeiras, visto que este projeto está sendo realizado para o atendimento de pessoas que possuem vulnerabilidade social e financeira.

Visando se achar o ponto comum entre esses fatores, de modo a se atenuar as vantagens custo x benefício, foram escolhidos para este estudo como elemento responsável pela flutuação da palafita, a utilização de tambores (bombonas) de polietileno, apresentado na figura 05.

Figura 05: Tambor de polietileno usado no protótipo.



Fonte: EMPLASUL(2025).

Este elemento possui as propriedades necessárias para ser implantado como elemento de flutuação da palafita, por atender as necessidades e parâmetros apresentados anteriormente, como a de não possuir um grande valor comercial para a obtenção em comparação com os cascos metálicos, não exigir uma alta demanda

técnica para a sua implantação e uso. Na tabela 06, apresenta suas principais características e especificações.

Tabela 07: dimensões e especificações do tambor.

Dimensões	Altura	89 cm
	Diâmetro	60 cm
Capacidade:		220Litros
Matéria prima		Polietileno de alta densidade.
Tampa plástica		2 bocais
cor		azul
Peso (kg)		8,5 kg

Fonte: EMPLASUL (2025).

Na tabela 07, estão dispostas as propriedades mecânicas acerca das bombonas de polietileno de alta densidade.

Tabela 08: Propriedades mecânicas do tambor de polietileno

Especificação	Teste	Valor	Unidades
Resistência à tração no limite de escoamento, 73°F (23°C)	D638	281,23	Kgf/cm ²
Módulo de elasticidade à tração, 73°F	D638	8.436,84	Kgf/cm ²
Alongamento à tração (na ruptura), 73°F	D638	600,00	%
Resistência à flexão, 73°F	D790	14.764,46	Kgf/cm ²
Resistência à Compressão - Máxima		35,15	Kgf/cm ²
Resistência à compressão com 10% de deformação	D695	70,31	Kgf/cm ²
Resistência à compressão ⊥ ao laminado (módulo)		52,73	Kgf/cm ²
Resistência à compressão ⊥ ao laminado (escoamento)		52,73	Kgf/cm ²
Resistência à compressão ⊥ ao laminado (máxima)		52,73	Kgf/cm ²

Fonte: ENSINGER PRECISION COMPONENTS (2026).

6.2.2- Análise da escolha do elemento flutuante

Com a escolha do elemento flutuante e o conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas, será comprovado numericamente que o mesmo suportará as cargas que incidirão sobre a casa flutuadora. Para o projeto, foi utilizado o quantitativo de 42 (quarenta e duas) bombonas, para se obter a flutuabilidade da residência sendo alocadas abaixo do assoalho da casa, estando duas a duas, e amarradas aos elementos estruturais (longarinas longitudinais, transversais e pilares), obtendo a sustentação.

Os tambores possuem a capacidade de 220 litros ou 0,22 m³ cada unidade, resultando em um volume total de 9,24 m³. Assim se tem a capacidade de flutuação (empuxo) estrutura flutuante e a carga que total da estrutura, para assim concluirmos que a quantidade estipulada de bombonas suporta a carga da estrutura apoiada sobre a mesma, na tabela 08:

Tabela 09: Propriedades de flutuação

Propriedades	Valor	Unidade
Volume total	9,24	m ³
Densidade do fluido (ρ)	1.000	kg/m ³
Empuxo (E)	9.240	kgf
Carga atuando sobre a estrutura flutuante (P)	7.070	kgf
Fator de segurança (E/P)	30	%

Fonte: Autor (2026).

Distribuição da Carga no Tambor

Considerando que a carga de 7.070 toneladas (peso total da estrutura) será distribuída entre as 42 bombonas para analisar se as mesmas suportarão a carga sem ocorrer danos as suas estruturas ou cisalhamento, será necessário a obtenção da área do tambor que estará em contato com o assoalho, que está alocado horizontalmente no mesmo em que a área de contato seja um retângulo em que a altura não se altera, e a largura será considerada um terço (1/3) do diâmetro efetivo.

Tabela 10: Propriedades mecânicas e de cargas.

Propriedades	Valor	Unidade
Área de contato do tambor com o assoalho ($h \cdot 1/3 \cdot d$)	1.556	cm ²
Carga média por tambor (F/n ^o de tambor)	168,3	kgf
Pressão média (Carga/área de contato)	0,11	kgf/cm ²
Resistência a compressão máxima do polietileno de alta densidade	35,15	kgf/cm ²

Fonte: Autor (2026).

Com a análise das propriedades mecânicas, conclui-se que as bombonas resistirão as pressões demandadas pela residência, de forma a não sofrerem alterações em suas estruturas. E com o arranjo de posicionamento dos tambores apresentados no apêndice C.

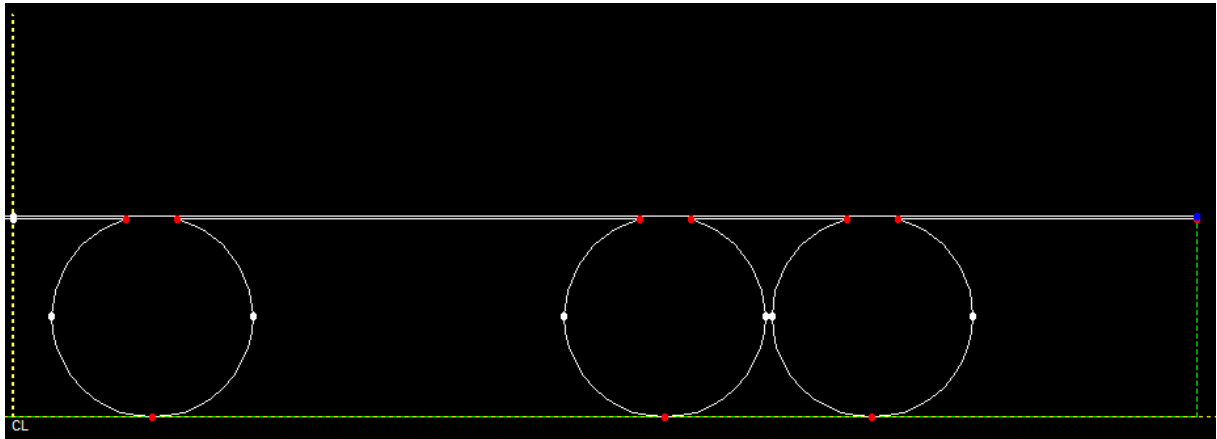
6.3- Modelagem da estrutura de flutuação

Após a escolha do elemento de flutuação que será utilizada na casa flutuadora, é necessário verificar as suas propriedades estruturais e de flutuação para garantir que a mesma é adequada para se obter a estabilidade e flutuação da residência nos períodos de cheias. Para alcançar estas respostas será necessário a realização da modelagem do elemento para verificar-se suas propriedades.

A modelagem foi realizada com o auxílio do software HECsalv, caracterizado por ser um software especializado em resposta a emergências e salvamento naval, usado por engenheiros de salvamento, arquitetos navais e organizações militares para analisar rapidamente situações críticas em embarcações e propor planos de ação seguros e eficientes. Através dele é realizado a modelagem 3D com a riqueza de detalhes da forma, da compartimentação e propriedades de flutuabilidade e estabilidade do casco da palafita, oferecendo assim estudos de projeto e avaliação de formas de casco em fase de concepção.

Para a modelagem da estrutura é necessário a divisão do casco, primeiro na longitudinal para se obter os intervalos da seção, e em coordenadas para a criação das formas do casco no software do HECsalv, como a interface do programa permite a modelagem a partir das coordenadas da metade do casco pois gera automaticamente o espelho do mesmo, considerando o casco uma forma simétrica.

Figura 06: Representação de meia seção da estrutura flutuante para a obtenção das coordenadas



Fonte: Autor (2026).

Longitudinalmente a estrutura foi dividida em 23 seções longitudinais, mesmo sendo considerado o tambor como uniforme. Na tabela 10 encontram-se as seções consideradas para a modelagem.

Tabela 11: Posição das seções longitudinais da.

Seções	Distância longitudinal (m)	Espaçamento entre seções (m)
1	0	
2	1,56	1,56
3	2,338	0,778
4	2,339	0,001
5	3,43	1,091
6	4,208	0,778
7	4,209	0,001
8	5,43	1,221
9	6,208	0,778
10	6,209	0,001
11	7,43	1,221
12	8,208	0,778
13	8,209	0,001
14	9,43	1,221
15	10,208	0,778
16	10,209	0,001
17	11,45	1,241
18	12,228	0,778
19	12,229	0,001
20	13,43	1,201
21	14,208	0,778
22	14,209	0,001
23	16	1,791

Fonte: Autor (2026)

Após as seções, é inserida as coordenadas relacionadas ao formato do casco do flutuante transversalmente, considerando a metade da seção transversal da vista da estrutura apresentada na figura 07, onde a mesma fora dividida em pequenos intervalos, para se possuir o melhor detalhamento de forma considerando que as variações de cada seção ocorrerá de dois formatos, o primeiro com o formato transversal apenas com o assoalho e com estruturas transversais de início e fim das bombonas, portanto gerando duas tabelas transversais por toda a estrutura.

Tabela 12: Dados das coordenadas transversais da estrutura referente ao assoalho.

Nº	vertical (m)	transversal (m)
1	0,59	0
2	0,59	3,53
3	0,6	3,53
4	0,6	0

Fonte: Autor (2026).

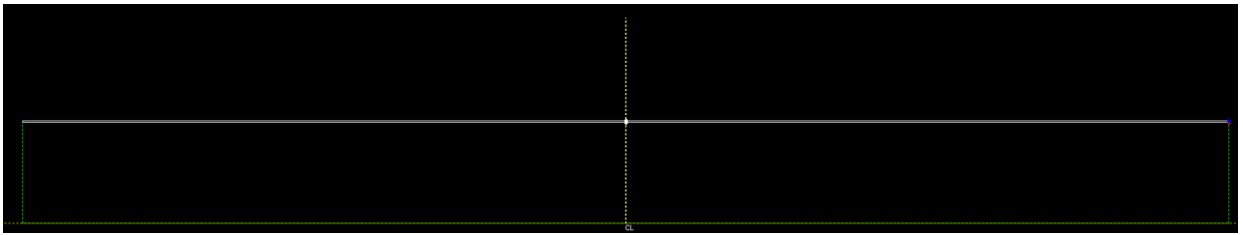
Tabela 13: Dados das coordenadas transversais da estrutura referente a estrutura das bombonas.

Nº	vertical (m)	transversal (m)
1	0,59	0
2	0,59	0,339
3	0,3	0,116
4	0	0,416
5	0,3	0,716
6	0,59	0,492
7	0,59	1,868
8	0,3	1,644
9	0	1,944
10	0,3	2,244
11	0,59	2,021
12	0,59	2,487
13	0,3	2,263
14	0	2,563
15	0,3	2,863
16	0,59	2,64
17	0,59	3,53
18	0,6	3,53
19	0,6	0

Fonte: Autor (2026)

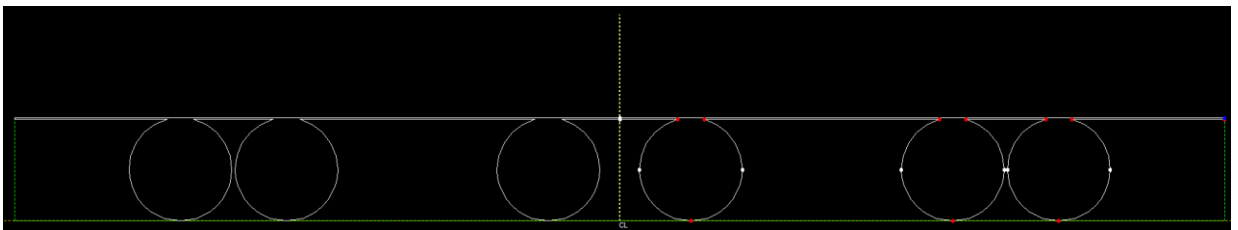
Após a inserção das coordenadas transversal da forma do casco é possível se ter uma construção do formato transversal formado em todas as seções, apresentadas a seguir como o formato de perfil das seções que correspondem ao assoalho e o perfil das bombonas respectivamente.

Figura 06: Formato transversal do casco referente ao assoalho.



Fonte: Autor (2026).

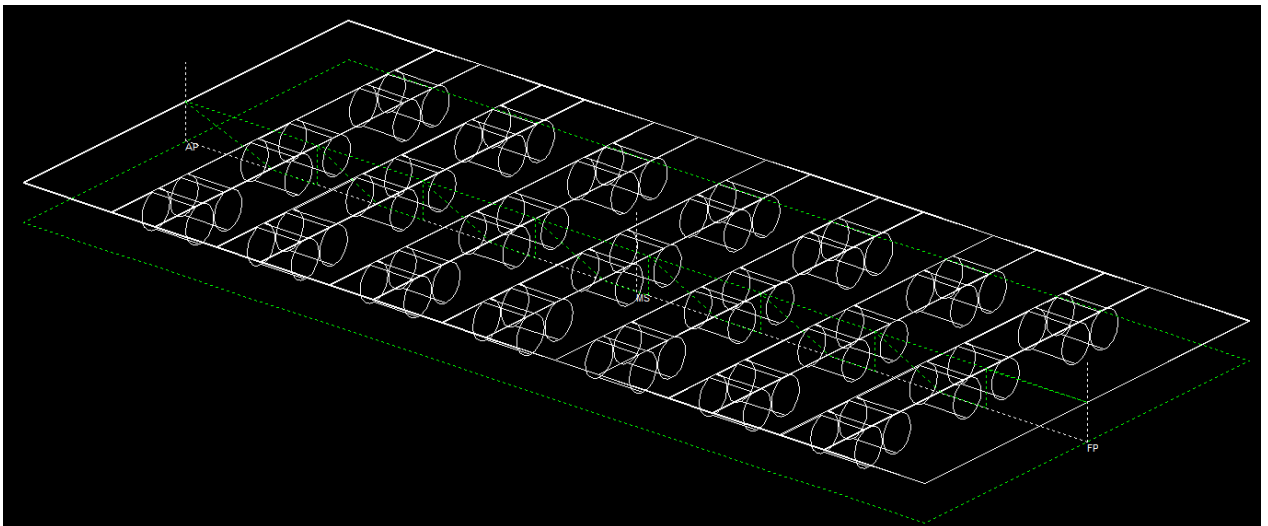
Figura 07: Formato transversal do casco referente ao perfil das bombonas.



Fonte: Autor (2026)

Com a obtenção do formato transversal do flutuante a junção de todas as seções que possuem estas mesmas áreas em comum, se obtém a projeção tridimensional do tambor modelado pelo software.

Figura 08: Modelagem tridimensional do tambor de flutuação no HECsalv.



Fonte: Autor (2026).

Após a modelagem do tambor de flutuabilidade no software HECsalv se obtém os principais valores das propriedades do flutuante, como o volume imerso, deslocamento para cada calado que o mesmo pode atuar, além das funções do seu centro de flutuação. Na tabela 14, está apresentada as principais informações das características hidrostáticas do flutuante.

Tabela 14: Características hidrostáticas do flutuante.

No.	Calado		Flutuabilidade			Metacentro	Linha d'água	
	Quilha	Referência	Deslocamento	LCB	TCB	KMt	LCF	MT1
	m	m-BL	ton	m	m-CL	m	m	ton/cm
1	0	0	0	8	0	---	8	---
2	0,032	0,032	0,194	7,816	0	165,039	7,816	0,091
3	0,063	0,063	0,563	7,792	0	81,697	7,792	0,13
4	0,095	0,095	1,397	7,616	0	53,865	7,616	0,196
5	0,126	0,126	2,197	7,65	0	39,905	7,65	0,246
6	0,158	0,158	2,935	7,642	0	31,489	7,642	0,259
7	0,189	0,189	3,764	7,632	0	25,841	7,632	0,273
8	0,221	0,221	4,68	7,619	0	21,768	7,619	0,287
9	0,253	0,253	5,68	7,606	0	18,676	7,606	0,299
10	0,284	0,284	6,756	7,591	0	16,23	7,591	0,309
11	0,293	0,293	7,07	7,586	0	15,664	7,586	0,311
12	0,316	0,316	7,902	7,575	0	14,23	7,575	0,316
13	0,347	0,347	9,108	7,559	0	12,546	7,559	0,321
14	0,379	0,379	10,363	7,543	0	11,087	7,543	0,322
15	0,411	0,411	11,655	7,527	0	9,789	7,526	0,319
16	0,442	0,442	12,966	7,51	0	8,597	7,51	0,311
17	0,474	0,474	14,277	7,493	0	7,465	7,493	0,296
18	0,505	0,505	15,56	7,476	0	6,339	7,476	0,272
19	0,537	0,537	16,781	7,459	0	5,138	7,458	0,235
20	0,568	0,568	17,881	7,442	0	3,69	7,441	0,176

Fonte: Autor (2026).

Estabilidade intacta

A estabilidade da palafita flutuadora será obtida através dos requisitos estipulados pela NORMAN-202, que irá considerar a estrutura palafita como uma barçaça (balsa), para assim se encaixar nos critérios de estabilidade para área 1 (áreas abrigadas) previstos no item 6.37.2 - sub item "b", que parametriza que a altura metacêntrica inicial (GM_0) não deve ser inferior a altura metacêntrica inicial requerida (GM_r), que é calculada pela expressão:

$$GM_r = \frac{P \times A \times h}{\Delta \times tg\theta} \quad (3)$$

Onde:

GM_r = Altura metacêntrica inicial requerida (m)

A= área lateral da porção da embarcação acima da linha d'água

correspondente à condição de carregamento considerada (m^2);

h : distância vertical entre o centróide da área A e metade do calado médio para a condição de carregamento (m);

Δ : deslocamento da embarcação na condição de carregamento considerada (ton);

θ : ângulo de inclinação entre a metade superior da da Borda- livre na condição de carregamento considerada e o canto superior do convés, ou 14° , adotando-se o menor valor;

$$P = 0,036 + \left(\frac{L_{pp}}{1309}\right)^2 \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (4)$$

L_{pp} : comprimento entre perpendiculares (m).

Na tabela 15 é apresentado os resultados encontrados para se obter a altura metacêntrica inicial requerida.

Tabela 15: obtenção da altura metacêntrica requerida

Componente	Valor	Unidade
A	53,88	m^2
h	2,15	m
Δ	7,07	Ton
θ	5°	
L_{pp}	12,76	m
P	0,0361	t/m^2
GM_r	6,76	m

Fonte: Autor (2026).

6.4- Manutenção de posicionamento da palafita

A manutenção do posicionamento da palafita durante o processo de flutuação, é um dos pontos primordiais para se alcançar o sucesso do protótipo e tornar a sua implementação realidade, pois durante o processo de flutuação devido as enchentes do rio é necessário que após a baixa da maré, a palafita retorne ao seu ponto original sem ter sofrido mudança de posicionamento que cause grande interferência estrutural, correndo o risco de perda da residência e até mesmo de colocar em risco a vida dos moradores do local, devido a um mau posicionamento da estrutura após o período de cheia.

Durante a fase de flutuação da palafita, para não ocorrer risco do empuxo levantar e retirar os pilares de sustentação do assoalho do solo do leito do rio, ou a situação dessas vigas prenderem a palafita de modo que ela não possa flutuar e acarrete danos para os tambores, vindo a causar danos a estrutura de flutuação, e fazer com que a palafita venha a submergir. Será criado um mecanismo para a movimentação dos pilares abaixo do assoalho para que a residência retorne a sua posição original, preservando a sua estrutura.

Para a residência não ser afetada por forças e ações externas como a força do vento e as força da correnteza é utilizado estacas de madeira para a manutenção do posicionamento da palafita.

6.5- Mecanismo para restrição de movimentação vertical do pilar de apoio

Foi criado um mecanismo para que essa situação não venha a ocorrer, a criação de um mecanismo para que a palafita possa flutuar sem causar danos a toda a estrutura de sustentação da mesma foi criado uma peça de aço, que estará acoplado a cada um dos pilares de sustentação, peça modelada no AutoCad apresentada na figura 09, com as suas dimensões e cotas dispostas em unidades de milímetros.

Figura 09: para manutenção do posicionamento dos pilares de sustentação.

Peça: Tubo para restringir movimentação dos pilares

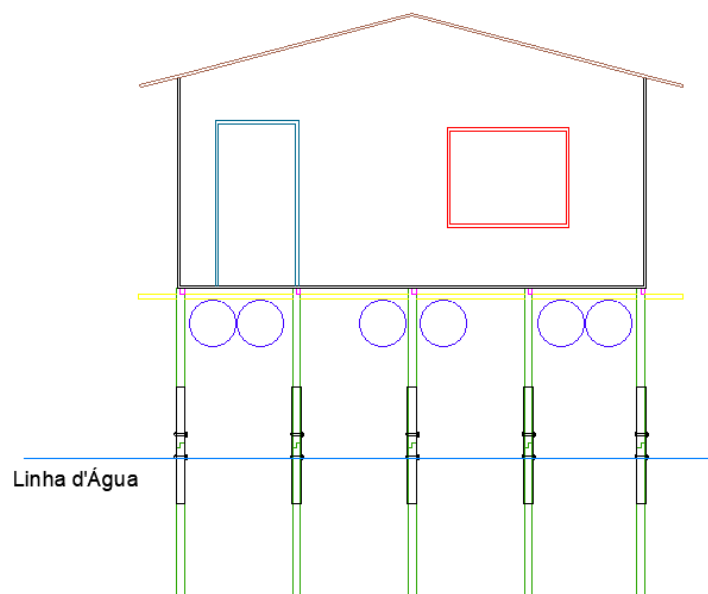


Fonte: Autor (2026).

A peça, fabricada em aço que possui propriedades que garante a sua estrutura em ambiente úmido, no formato de um tubo de aço, com as dimensões de altura de 1,5 metro, raio do elemento vazado de 0,11 metro, e espessura do aço de 0,01 metro e as demais dimensões apresentadas na figura 09, que estará revestindo cada um dos pilares de sustentação alocados no solo do leito do rio, possuindo cortes laterais na superfície com a finalidade de permitir a movimentação dos parafusos que estarão unindo a peça ao pilar no local em que o pilar possui um corte de duplo “L” com dimensões de 6cm X 5cm, para assim permitir a movimentação vertical do mesmo durante o processo de flutuação, como pode ser observado na figura 10 que apresenta a fase inicial, considerada a normal, sem a variação brusca da maré.

Figura 10: apresentação do caso normal, sem movimentação da palafita

1º caso: Normal

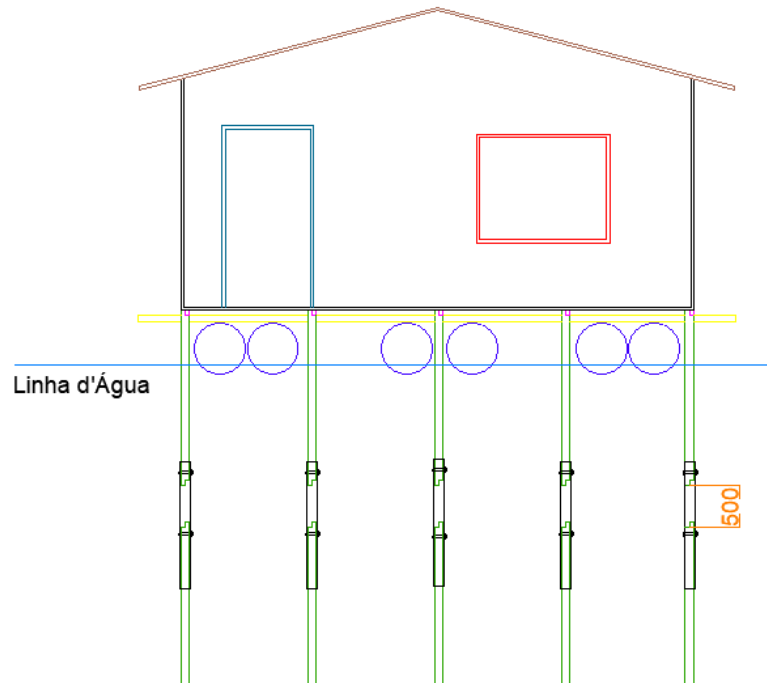


Fonte: Autor (2026).

No segundo caso, já ocorre o aumento do nível do rio acima do esperado pela estrutura original da palafita, que faz ocorrer o processo de flutuação da mesma com o aumento da altura original em 0,5 metro, caso apresentado na figura 11.

Figura 11: apresentação do 2º caso, que apresenta a flutuabilidade da palafita a uma altura de 0,5 m

2º caso: Mediano

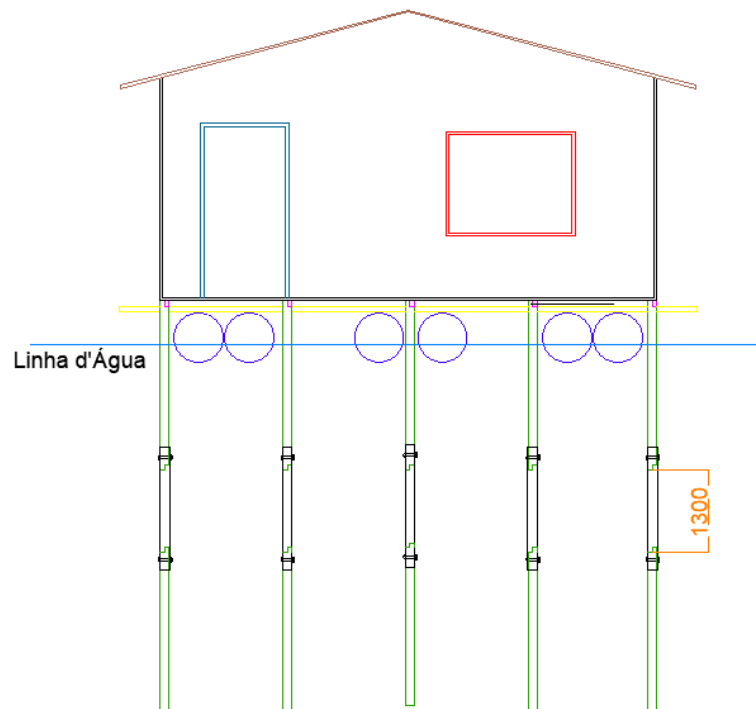


Fonte: Autor (2026).

Já no caso mais crítico, em que a maré aumenta a valores exorbitantes fazendo com que se encontre um caso crítico, que é o aumento da altura vertical de flutuação na altura de movimentação máxima da peça, no valor de 1,3 metro, como apresentado na figura 12.

Figura 12: Representação do caso crítico, em que fora utilizado todo o limite disponível de altura de flutuação vertical.

3º caso: Crítico



Fonte: Autor (2026).

Com a adoção desta peça nos pilares de sustentação abaixo do assoalho, que garante a estrutura da palafita, uma folga para flutuação de até 1,3 m na vertical, sem apresentar força atuante diretamente na parte da estrutura do pilar que se encontra fixada no solo, garantindo também uma área restrita de movimentação da metade do pilar que está flutuando junto a palafita, após a enchente, com a descida da maré, fazendo com que toda a estrutura da palafita retorne a sua posição original.

6.6- Pilar de atracação lateral

Será utilizado para a manutenção da posição da palafita, para que a mesma não se mova de acordo com a correnteza do rio, ou pela ação de ventos que possam incidir sob a área da estrutura da casa, de modo a causar sua movimentação pelo leito do rio, ou para locais mais profundos do mesmo.

Para este estudo será utilizado 4 (quatro) estruturas em pilar de madeira, que serão alocadas nas extremidades transversais, externas a casa e próximo a parede da mesma, em que as mesmas podem estar fixadas por amarras.

A estrutura do pilar é de 6,5 metros de altura, com um perfil quadrado de 20 X 20cm de comprimento da aresta, tendo como matéria prima a madeira sucupira devido as suas propriedades mecânicas. Os pilares que estão no projeto, não são considerados como peso agregado a estrutura, visto que, os mesmos estão fixos no solo do rio, e possuem a função de preservar a imobilidade da palafita, mantendo em repouso a mesma quando está no processo de flutuação. O arranjo apresentando a posição dos pilares, na estrutura da palafita, disposta no apêndice D.

Será calculado as forças externas que atuarão sobre a estrutura da palafita durante o processo de flutuação, que acarretarão diretamente em pressão sobre os pilares, por este motivo se faz necessário tal parametrização para se verificar se os pilares escolhidos, para a manutenção da estrutura conseguirá absorver a carga, e manter a sua integridade física e estrutura.

6.6.1- Cálculo da força de arrasto devido ao vento

A força de arrasto devido a ação do vento, representado por F_v (Kgf), será determinado pela seguinte expressão:

$$F_v = \frac{C \cdot \gamma \cdot S \cdot V_v^2}{2g} \quad (5)$$

Onde:

C: coeficiente de forma;

γ : Peso específico do ar (1,225 Kg/m³);

S: área da seção perpendicular ao vento (m²);

V_v : velocidade do vento (m/s);

g: aceleração da gravidade (9,8 m/s²)

1- Características principais da embarcação

Para as áreas correspondentes ao casco, será utilizado as medidas e as quantidades de tambores que serão afetados pela força do vento, tanto nas dimensões laterais quanto as frontais;

Para as áreas correspondentes a super estrutura, será considerada a área construída da palafita, assim como as duas devidas dimensões, para assim se definir as suas áreas de ataque.

As dimensões utilizadas para o cálculo das forças atuantes, estarão dispostas nos apêndices A e B.

Tabela 16: Características e dimensões da palafita flutuante e casco (tambor).

DADOS DA PALAFITA FLUTUANTE			
Casco (Tambores)		Super estrutura (Palafita)	
Comprimento (L_c)	6,23 m	Comprimento da Super estrutura (L_s)	11,97 m
Boca (B_c)	3,6 m	Largura da superestrutura (B_s)	6,06 m
Pontal (P_c)	0,6 m	Altura da superestrutura (H_s)	3,53 m
Calado (T_c)	0,411 m		

Fonte: Autor (2026)

2- Coefficiente de forma/ coeficiente de bloco

Coefficiente de Bloco: Parâmetro geométrico que relaciona o volume imerso do casco com um paralelepípedo de referência formado pelo comprimento, boca e calado do navio. Utilizado para avaliar a “cheia” ou “fina” da forma do casco e influencia diretamente na resistência ao avanço e na eficiência do navio.

$$C_b = \frac{V}{L \cdot B \cdot T} \quad (6)$$

V: Volume imerso do casco (Deslocamento) (m);

L: comprimento na linha de flutuação (m);

B: Boca- Largura máxima (m);

T: Calado- profundidade imersa (m).

Para a estrutura do casco deste projeto, o coeficiente de forma do casco estudado é:

$$C_b = 0,835$$

Coefficiente de forma: é o coeficiente referente ao volume do casco da embarcação, circunscrito ao volume do paralelepípedo de semelhança do casco.

$$C_f = \frac{A_b}{A_p} \quad (7)$$

$$C_f = 1,27$$

3- Área da seção Lateral da embarcação:

-Área lateral do casco (área lateral do tambor que se encontra acima do calado)

$$AL_c = L_c * (P_c - T_c) \quad (8)$$

-Área lateral da superestrutura (corresponde a área compreendida a palafita)

$$AL_s = L_s * H_s \quad (9)$$

-Área lateral total do casco:

$$AL_T = AL_c + AL_s \quad (10)$$

4- Área da seção frontal da embarcação:

-Área frontal do casco (área frontal dos tambores que estarão sob ataque dos ventos)

$$AF_c = B_c * (P_c - T_c) \quad (11)$$

-Área frontal da superestrutura (Área frontal da palafita que estará sob ataque dos ventos):

$$AF_s = B_s * H_s \quad (12)$$

- Área Frontal Total

$$AF_T = AF_c + AF_s \quad (13)$$

Valores obtidos após as aplicações do formulário para o modelo de palafita flutuante.

Tabela 17: Valores obtidos após aplicação do formulário junto as características da palafita.

Área Lateral		Área Frontal	
AL_c	1,181 m ²	AF_c	0,682 m ²
AL_s	42,254 m ²	AF_s	21,392 m ²
AL_T	43,435 m ²	AF_T	22,074 m ²

Fonte: Autor (2026).

5- Área total sob a ação do vento

$$A_T = A_L * \cos(\alpha) + A_F * \sin(\alpha) \quad (14)$$

onde $\alpha = 0^\circ$ se lateral e $\alpha = 90^\circ$ se frontal

Com os formulários apresentados e os devidos valores calculados pode-se obter os valores de força de arrasto de acordo com a área que estará sob a ação do vento, adotando-se valores de referência para a velocidade do vento na região como o crítico que é o de 100 Km/h (30 m/s), a partir dos valores dispostos na tabela 14:

Tabela 18: Definição das variáveis e resultado para ângulo do vento.

Valores das variáveis e resultados			
Componentes		Valores	
C_f		1,27	
γ		1,225 kg/m ³	
V_v		30,00 m/s	
g		9,80 m/s ²	
Para $\alpha = 0^\circ$		Para $\alpha = 90^\circ$	
A_T	43,435 m ²	A_T	22,074 m ²
F_v	3,103 t.f	F_v	1,577 t.f

Fonte: Autor (2025).

6.6.2- Cálculo da força de arrasto devido a correnteza

A força de arrasto ocasionado pela correnteza do rio, é calculada de acordo com a seguinte expressão:

$$F_c = F_a + F_f \quad (15)$$

Onde: F_a - corresponde a força devido ao atrito; e F_f - é a força devido a forma.

Em que F_a é calculado a partir da seguinte relação:

$$F_a = C_b * S_m * V^{1,825} \quad (16)$$

C_b : Coeficiente de casco/ coeficiente de bloco

S_m : Superfície molhada do casco (m²)

V: Velocidade da correnteza (em nós)

E F_f é calculada a partir da relação:

$$F_f = \frac{C_f \cdot \gamma \cdot S_p \cdot V^2}{2g} \quad (17)$$

C_f : Coeficiente de forma;

γ : peso específico da água (1.000 kg/m³);

S_p : área da seção perpendicular a correnteza (m²);

g : Aceleração da gravidade (9,8 m/s²).

1- Características da palafita flutuante:

A seguir estão dispostas as principais informações da palafita flutuante, do seu casco de flutuação e áreas correspondentes para ação dos cálculos.

Tabela 19: Dados da palafita e áreas.

DADOS DA PALAFITA FLUTUANTE			
Casco (Tambores)		Áreas(m ²)	
Comprimento (L_c)	6,23 m	Área da superfície molhada do casco (S_m)	27,549 m ²
Boca (B_c)	3,6 m	Área da seção perpendicular a correnteza (m ²)	1,48 m ²
Pontal (P_c)	0,6 m		
Calado (T_c)	0,411 m		

Fonte: Autor (2026).

2- Variáveis de cálculo e resultado

A velocidade utilizada para efeitos de cálculo, será de 2,5 m/s, que corresponde a velocidade máxima da correnteza do rio Tocantins. A seguir está disposta a tabela com as variáveis de cálculo, e o resultado das propriedades necessárias.

Tabela 20: Varáveis e resultados.

Valores das variáveis e resultados			
Componentes		Valores	
C_f		1,27	
C_b		0,835	
γ		1.000 kg/m ³	
V		2,5 m/s – 4,86 nós	
S_m		27,549 m ²	
S_p		1,48 m ²	
g		9,80 m/s ²	
Força de arrasto devido a forma		Força de arrasto devido ao atrito	
F_f	0,599 t.f	F_a	0,412 t.f
Força total da correnteza			
F_c		1,011 t.f	

Fonte: Autor (2026).

6.7- Resistência dos pilares as forças de atuação

Definidas as cargas atuantes nos pilares de manutenção do posicionamento da casa flutuadora durante o seu processo de flutuação, realizando-se os devidos cálculos para concluir se os pilares resistem as forças aplicadas sobre o sistema. Será necessário que se obtenha os resultados para a situação crítica de forças, em que será considerado todas as cargas aplicadas simultaneamente no sistema.

A força total externa, atuante sobre os pilares será de 12.761 kgf, que será dividida em uma lateral por dois pilares de madeira de sucupira, resultando em uma carga de 6.380 kgf por pilar.

Momento fletor máximo (M): Considerando que a força será aplicada lateralmente na estrutura do pilar, será assumido que a carga estará atuando no meio do pilar que possui 650 cm de altura, com a aplicação expressão do momento fletor:

$$M = \frac{F \cdot L}{4} \quad (18)$$

Onde, F: carga atuante (kgf/cm²) e L: comprimento da estrutura (cm).

Temos que o momento fletor do pilar é de 1.036.750 kgf.cm.

Tensão de flexão (W): considerando o módulo de resistência da seção de 20 x 20 cm, temos que:

$$W = \frac{b * h^2}{6} \quad (19)$$

Onde, b: base da seção (cm) e h: altura (cm).

Temos que a tensão de flexão do pilar será de 1.333,33 cm³

Tensão Solicitante (σ): a tensão solicitante que atuará sobre a estrutura do pilar será definida pela seguinte expressão matemática:

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (20)$$

Para o pilar a tensão solicitante será de 777,56 kgf.cm².

Fator de segurança (FS): Após a obtenção das propriedades de resistência da estrutura do pilar utilizada para este estudo, a obtenção do fator de segurança será obtida pela razão da resistência a flexão da matéria prima do pilar (sucupira) pela tensão solicitante calculado no pilar, obtendo assim:

$$FS = \frac{1.564}{777,56} = 2,011 \approx 2$$

Cisalhamento na estrutura (τ): Calculando-se o cisalhamento na estrutura através da expressão:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (21)$$

Em que F: carga exercida (kgf) e A: área da seção (cm²).

Temos que o cisalhamento da estrutura do pilar é de 15,95 kgf/cm². Para se obter o fator de segurança da estrutura, é necessário se obter a razão entre a resistência ao cisalhamento da sucupira pelo cisalhamento da estrutura, temos:

$$FS_c = \frac{165}{15,95} \approx 10$$

Resultado da análise

Com a análise de cada situação e com as forças atuante sobre a palafita flutuadora, que afeta diretamente a estrutura dos pilares, que pode ser constatado através das análises matemáticas realizadas, que apresentam que o modelo e a quantidade de pilares alocados lateralmente comprovando que as estruturas de manutenção da localização da residência se manterão intacta após o período de maré e cheia do rio.

Os mesmos serão atracados à estrutura através de amarras que estarão fixados nas estruturas longitudinais e transversais abaixo do assoalho, e também fixado no pilar de atracação que compõem o sistema, em que as amarras estarão com folgas que permitam a movimentação das mesmas verticalmente nos pilares durante o período de flutuação. O posicionamento do mesmo, assim como as suas principais características e dimensionamento pode ser verificado no apêndice D.

O mecanismo de restrição da movimentação dos pilares abaixo do assoalho e os pilares de manutenção da posição devido a forças externas, atuam na estrutura, de forma mista, dividindo as forças externas atuantes no sistema que é composto pela flutuação da palafita, mantendo assim a sua posição em repouso e impedindo a movimentação da palafita devido a ação de agentes externos (vento, correnteza), fazendo com que após o período de cheia da maré, a palafita possa voltar a sua posição original.

6.8- Viabilidade econômica

Com as confirmações de viabilidade das propriedades físicas, mecânicas, de flutuação e demais propriedades necessárias para a implementação do projeto de sistemas flutuante, para uso nas palafitas da população ribeirinha na Amazônia, que foram obtidos através de processos de modelagem em programas especializados, e através de aplicação de conceitos padronizados, e análise de dados obtidos.

Será aplicado a análise financeira de implantação desse protótipo de flutuante de extrema importância por apresentar os valores praticados no mercado para os materiais e matéria prima necessária para a implementação deste projeto. Ressaltando a necessidade de ser materiais que possuam facilidade de obtenção pela população ribeirinha, tanto em questão demanda, quanto em relação aos valores

acessíveis e praticáveis no mercado local. Cabendo ressaltar, que o seu processo de concepção não requeira mão de obra técnica altamente especializada.

O valor da mão de obra considerado, foi referenciado de acordo com o sindicato da indústria da construção do Estado do Pará (SIDUNSCON-PA), que considerou como descrição da atividade serviços em residência multifamiliar com projeto de interesse social, para casa de um pavimento, com o custo unitário baseado no metro quadrado (m²), em que para o estudo, foi considerado a área do tambor em contato com o assoalho da palafita.

Na tabela 20, estão relacionados os materiais necessários para a implementação deste sistema flutuante, assim como as quantidades, especificadas pelas suas devidas unidades de medidas, assim como a pesquisa de preço destes materiais e itens, praticados pelo mercado, e aqueles que possuíam valores defasados por conta do tempo e dificuldade para ter acesso a valores atualizado, fora feito a atualização monetária, de acordo com as regras de correção vigentes, assim como a estima de valores que não puderam ser atualizadas com a devida clareza, devido não possuir normatização ou padronização de valores, como exemplo, a mão de obra de implementação.

Tabela 21: Custos para a implementação do projeto.

Item / Material	Quantidade	Preço unitário	Preço total
Tambor (unid)	42	R\$ 156,99	R\$ 6.593,58
Aço (Kg)	42,52	R\$ 7,90	R\$ 335,91
Parafusos (unid)	70	R\$ 7,18	R\$ 502,60
Amarras (metros)	378	R\$ 2,00	R\$ 756,00
Pilar de Sucupira (R\$/m ³)	0,96	R\$ 1.783,00	R\$ 1.711,68
Mão de obra- R\$/m ² (SINDUSCON-PA)	7,48	R\$ 584,55	R\$ 4.370,10
Valor total para implementação		R\$ 14.269,86	

Fonte: Autor (2026).

7- CONCLUSÃO

Os resultados obtidos, atenderam as principais propriedades esperadas para se tornar fisicamente e mecanicamente viável a implantação do protótipo, como a escolha do elemento flutuante (bombonas) possuir as propriedades físicas e mecânicas que atenderam os esforços solicitantes da estrutura, além de oferecer uma margem de fator de segurança de 30% e o mesmo possuir a resistência elevada em relação a carga atuante unitariamente sobre cada bombona.

O protótipo modelado no AutoCad, com a apresentação dos resultados de deslocamento próximo a realidade de acordo com o peso leve da palafita de 7,07 toneladas, restando uma borda livre de mais de 8 toneladas de carga até a submersão total da bombona como conclui-se na tabela 14 com as propriedades hidrostáticas da mesma.

A manutenção da posição da palafita, após passar pelo processo de flutuação durante a maré cheia foi alcançado valores satisfatórios quanto as ações das forças externas atuantes na palafita em que a utilização de dois pilares em cada lateral atendeu com segurança para a situação mais crítica de todas as forças agindo simultaneamente na palafita flutuadora, apresentando um fator de segurança 2 (200%).

O valor agregado a construção da estrutura flutuante das casas flutuadoras é um gargalo para a implementação, visto que o valor estimado de R\$ 14.269,86 (quatorze mil duzentos e sessenta e nove reais e oitenta e nove centavos) é um valor fora da realidade da maioria das famílias ribeirinhas, visto que de acordo com o Cadastro único (2026) mais de 170 mil famílias ribeirinhas possuem a renda per capita mensal de até meio salário mínimo (pobreza + baixa renda).

8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil).

Acompanhamento do Sistema Hídrico do Rio Tocantins. Brasília, DF: ANA, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/tocantins>. Acesso em: 18 nov. 2025.

AUTODESK. *AutoCAD*: software de desenho assistido por computador. Versão 2025.

San Rafael: Autodesk, 2022. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/autocad>. Acesso em: 14 dez. 2025.

AZEVEDO, Matheus. Arquitetura vernacular amazônica: uma etnografia dos saberes e fazeres tradicionais no Rio Campompema, ilhas de Abaetetuba-PA. *Revista Arquitetura e Lugar*, [s. l.], v. 3, n. 9, 2025. Disponível em: <https://revistas.editora.ufcg.edu.br>. Acesso em: 19 nov. 2025.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Hidrovia do Tocantins-Araguaia. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/aquaviario/intervencao-em-hidrovias/hidrovias-1/hidrovia-do-tocantins-araguaia>. Acesso em: 18 nov. 2025.

BRASIL. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). El Niño e La Niña. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/el-nino> (portal.inmet.gov.br in Bing). Acesso em: 20 nov. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética –EPE. PNE 2030 – Geração Hidrelétrica. Brasília, DF: MME/EPE, 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao165/topico173/PNE%202030%20-%20Geração%20Hidrelétrica.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome. VIS DATA 3 – Data Explorer. Disponível em: <https://aplicacoes.cidadania.gov.br/vis/data3/v.php?q%5B%5D=oNOclsLerpibuKep3bV%2Fg7Ne086v16Km2ffJsKw%3D>. Acesso em: 25 fev. 2026.

CHOUERI, Ricardo Brasil; AZEVEDO, Josué Anderson Rêgo. Biodiversity and impact of large hydroelectric projects in the Tocantins-Araguaia river basin district: a systemic analysis. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, v. 29, n. 3, p.439–453, set./dez. 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/37321>. Acesso em: 20 nov. 2025.

CORDEIRO, Leonardo Corrêa. Fatores naturais e antrópicos que interferem na qualidade da água do rio Tocantins, trecho Baião-Mocajuba (PA). 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará; Museu Paraense Emílio Goeldi; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Belém, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/17035>. Acesso em: 26 nov. 2025.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

DIEGUES, Carlos Antonio. As populações tradicionais e a conservação da biodiversidade na Amazônia. São Paulo: USP, 2024. Disponível em: <https://nupaub.fflch.usp.br>. Acesso em: 20 nov. 2025.

EMPLASUL. Bombona 200 litros higienizada (130-9). Emplasul — Loja Emplasul: bombonas plásticas. Disponível em: https://www.lojaemplasul.com.br/bombona-200-litros-higienizada-130-9?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&srsltid=AfmBOoo-8aHxmD7ahCZ_-XWC21j38qhrqAs7AbInGzr_59I9bBXnU66bP3I. Acesso em: 14 dez. 2025.

ENSINGER PRECISION COMPONENTS. HDPE (High Density Polyethylene). Huntersville / Putnam, NC: Ensinger Precision Components, [s.d.]. Disponível em: <https://www.ensinger-pc.com/injection-molding-materials/our-plastic-stock-shapes/hdpe-high-density-polyethylene/>. Acesso em: 15 fev. 2026.

HALLIDAY, David; **RESNICK**, Robert; **WALKER**, Jearl. Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 2.

HERBERT ENGINEERING CORP. HECsalv: Salvage Engineering Software. Versão 7.0. Alameda, CA: Herbert Engineering Corp., 2020. Software.

HIBBELER, R. C. Resistência dos materiais. 9. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

HIGGINS, Tiffany. Insistência em hidrovia no Rio Tocantins coloca em risco biodiversidade local. ((o))eco, 17 maio 2024. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/insistencia-em-hidrovia-no-rio-tocantins-coloca-em-risco-biodiversidade-local/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

Lewis, E. V. Principles of Naval Architecture. Jersey City: Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME), 1988.

LIMA, Adila Maria Taveira de. Hidrelétricas no rio Tocantins e efeitos pós-barragem: compensação, desenvolvimento e governança local. 206 f. Tese (Doutorado em Ciências do Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/1935>. Acesso em: 21 nov. 2025.

MÉRONA, Bernard de; **JURAS**, Anastácio Afonso; **SANTOS**, Geraldo Mendes dos; **CINTRA**, Israel Hidenburgo Aniceto. O Meio Físico. In: Os peixes e a pesca no baixo Rio Tocantins: vinte anos depois da UHE Tucuruí. Manaus: INPA, 2010. cap. 1, p. 15-28. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/2021-05/010051893.pdf. Acesso em: 19 nov. 2025.

NAHUM, João Santos; **FERREIRA**, Denison da Silva. Entre as margens dos rios e as marchas da história: espaço e sociedade ribeirinha na Amazônia. PerCursos, Florianópolis, v. 20, n. 43, p. 39–65, 2019. DOI: 10.5965/19847246204320198039. Disponível em: <https://www.periodicos.udesc.br/index.php/percursos/article/view/1984724620422019039>. Acesso em: 17 nov. 2025.

Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas. Normas da Autoridade Marítima para Embarcações Empregadas na Navegação Interior (NORMAM-202/DPC). Rio de Janeiro: Marinha do Brasil, [s.d.]. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/atos-normativos/dpc/normam/normam-202.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2026.

REVISTA CENARIUM. Cheia do rio Tocantins é a maior em 20 anos para janeiro. Revista Cenarium, 10 jan. 2022. Disponível em: <https://revistacenarium.com.br/cheia-do-rio-tocantins-e-a-maior-em-20-anos-para-janeiro/>. Acesso em: 23 nov. 2025.

SCIMAGO RESEARCH GROUP. SCImago Institutions Rankings 2017. Granada: SCImago Research Group, 2017.

Serviço Florestal Brasileiro. Andiroba – *Carapa guianensis* [recurso online]. Laboratório de Produtos Florestais – LPF. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro. Disponível em: https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=51. Acesso em: 13 dez. 2025.

Serviço Florestal Brasileiro. Angelim-pedra – *Hymenolobium petraeum* [recurso online]. Laboratório de Produtos Florestais – LPF. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro. Disponível em: https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=127. Acesso em: 13 dez. 2025.

Serviço Florestal Brasileiro. Sucupira – *Bowdichia nitida* [recurso online]. Laboratório de Produtos Florestais – LPF. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro. Disponível em: https://lpf.florestal.gov.br/pt-br/?option=com_madeirasbrasileiras&view=especieestudada&especieestudadaid=288. Acesso em: 13 dez. 2025.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO DO ESTADO DO PARÁ. Custos Unitários Básicos da Construção – CUB, janeiro/2026. Belém: Sinduscon-PA, 2026. Disponível em: https://institucional.sindusconpa.com.br/arquivos/cub/CUB_202601.pdf. Acesso em: 20 fev. 2026.

TIMOSHENKO, S.; GERE, J. M. Theory of elastic stability. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1961.

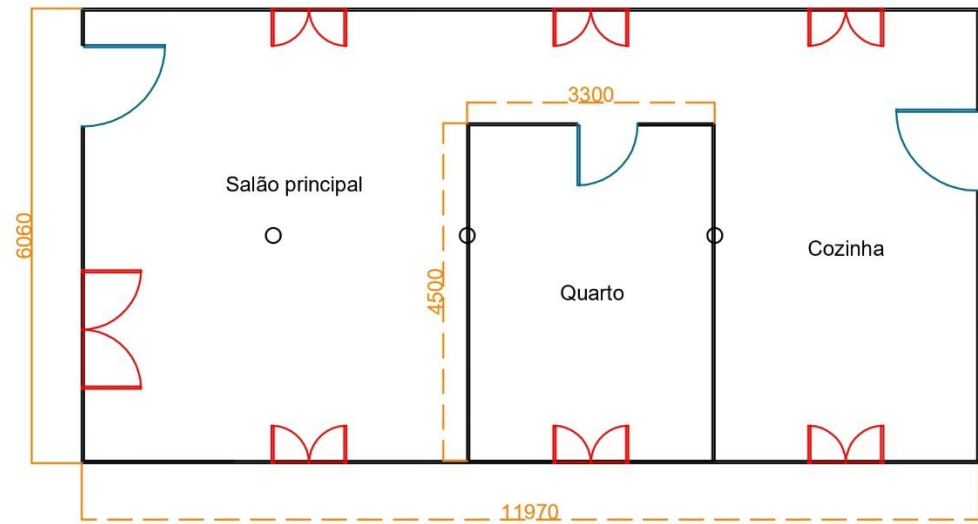
TOCANTINS — influência da maré no estuário. Amazon Waters. Disponível em: <https://en.aguasamazonicas.org/basins/main-river-basins/tocantins>. Acesso em: 29 out. 2025.

9- APÊNDICES

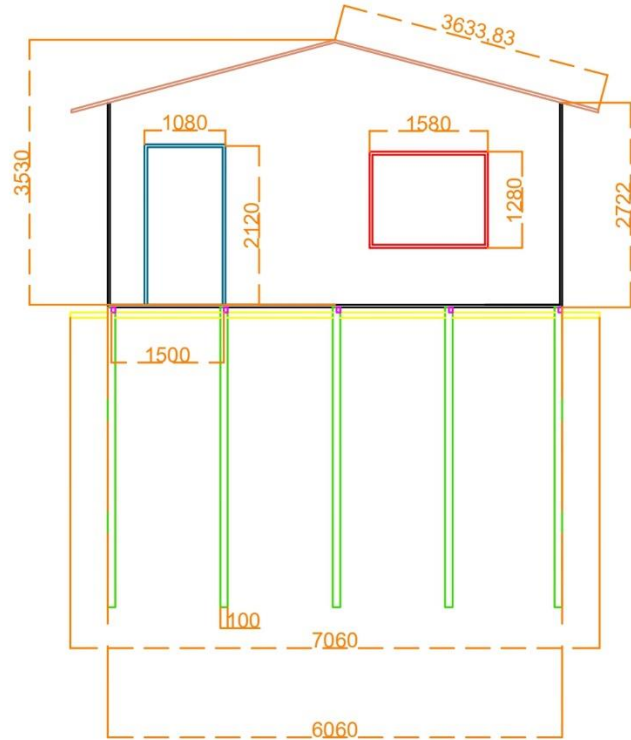
Apêndice A – Planta da palafita modelo com as principais vistas e cotas

PLANTA DA PALAFITA

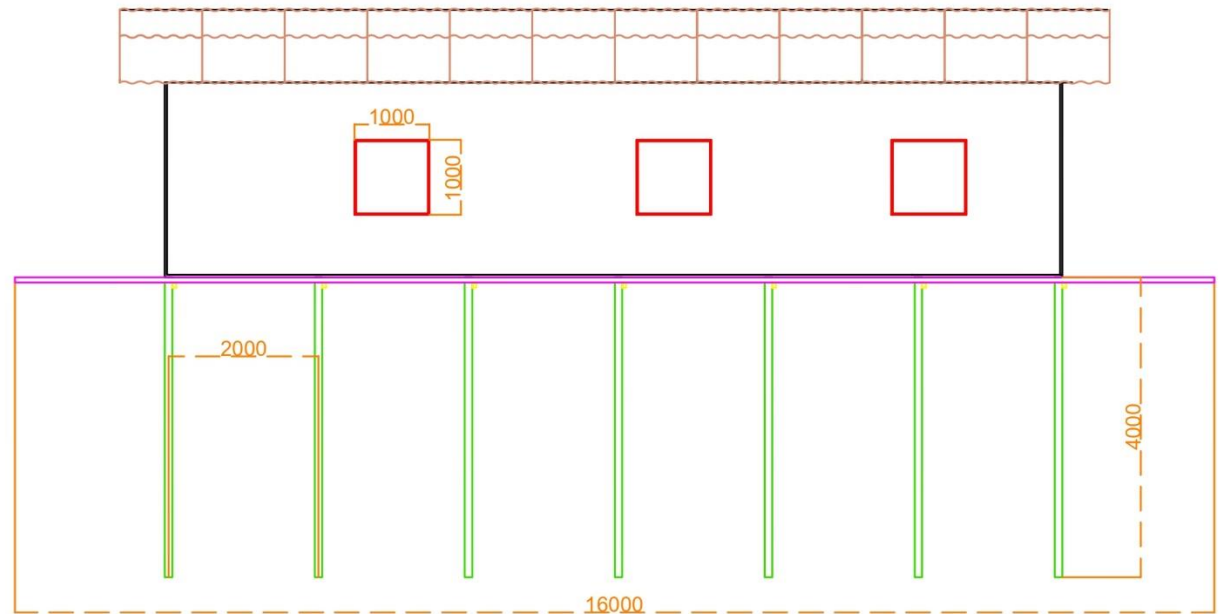
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



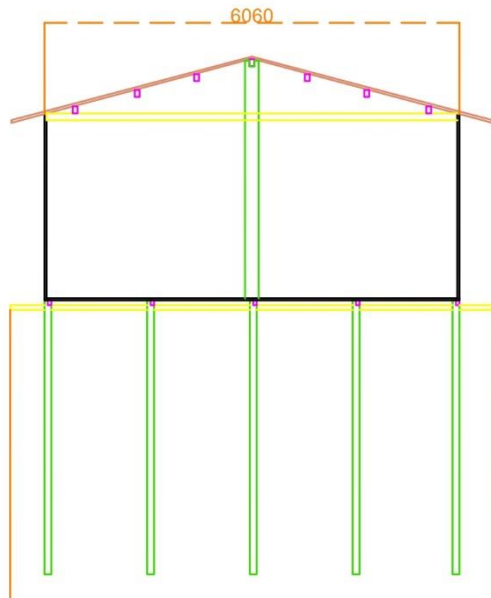
VISTA LATERAL



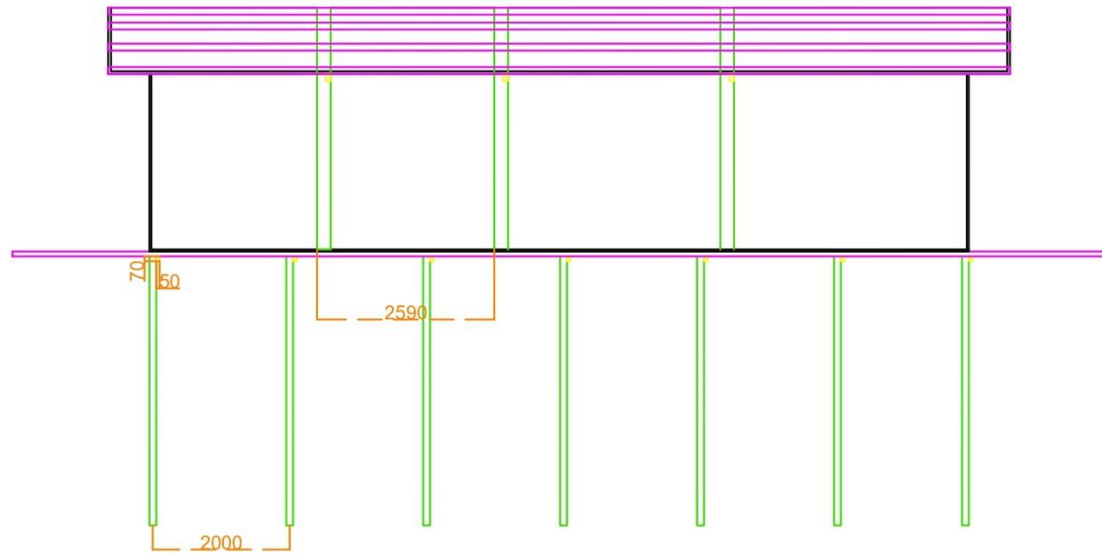
Apêndice B – Planta estrutural da palafita modelo com as principais vistas e cotas

PLANTA ESTRUTURAL DA PALAFITA

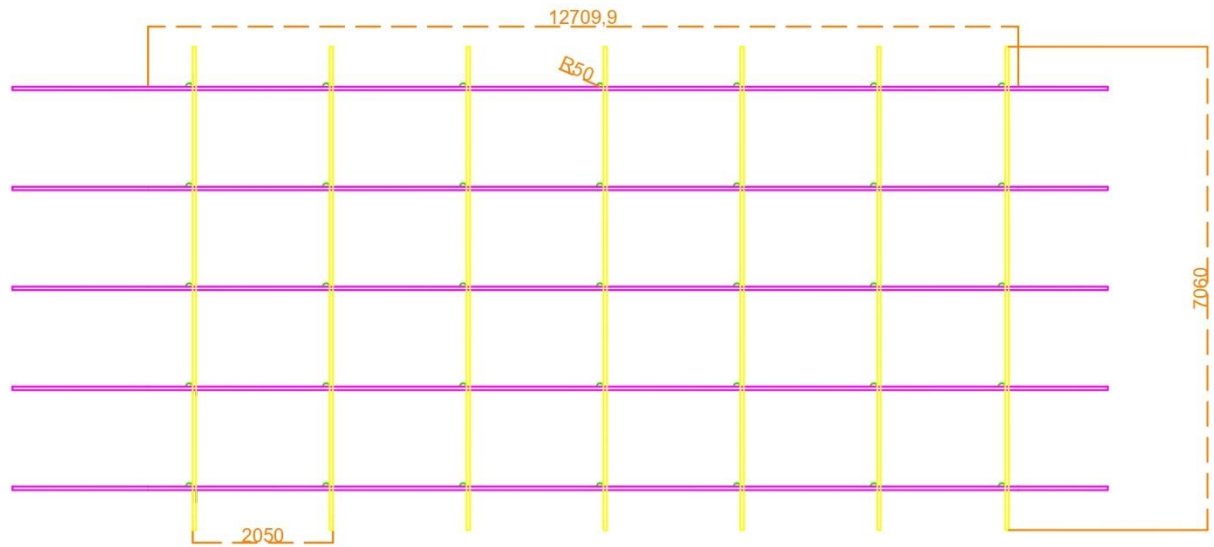
VISTA FRONTAL ESTRUTURAL



VISTA LATERAL ESTRUTURAL



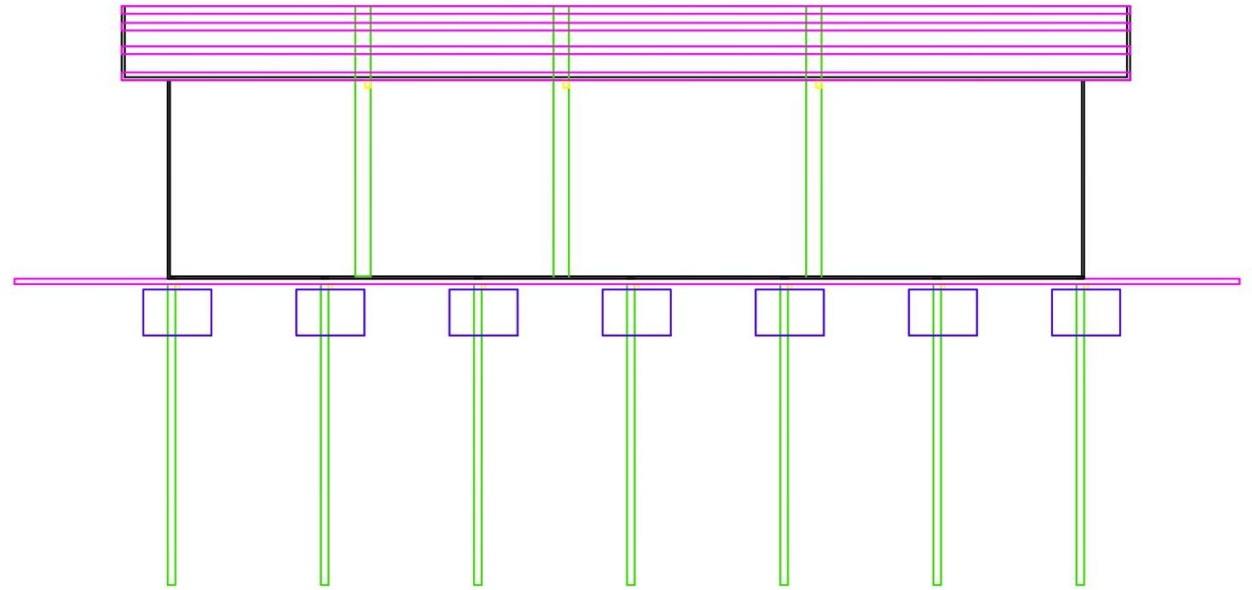
VISTA SUPERIOR ESTRUTURAL



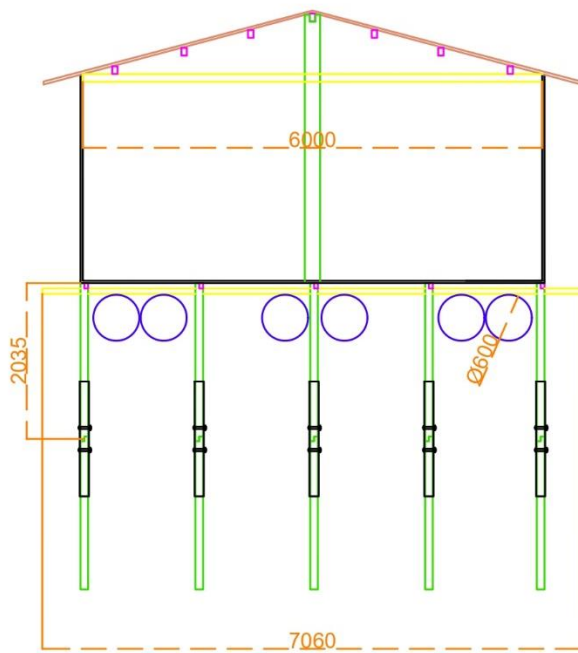
Apêndice c – Planta estrutural do protótipo da casa flutuante, com a alocação dos tambores de flutuação.

Planta estrutural da
palafita com alocação
dos tambores

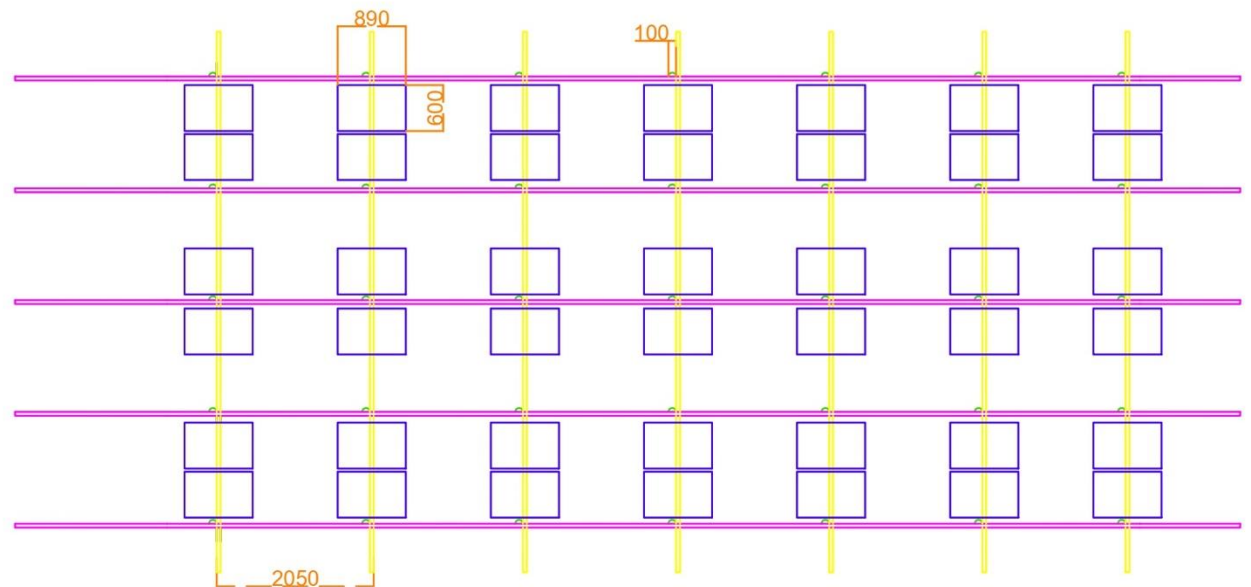
VISTA LATERAL ESTRUTURAL



VISTA FRONTAL ESTRUTURAL

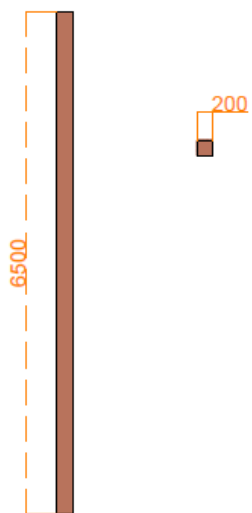


VISTA SUPERIOR ESTRUTURAL

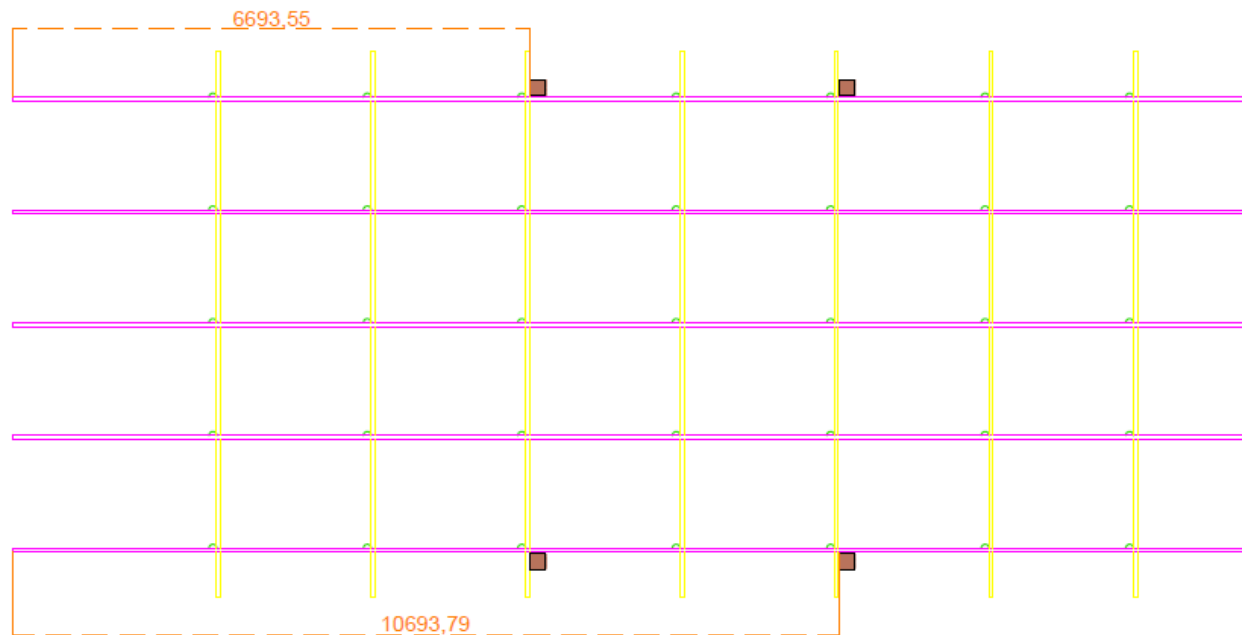


Apêndice D – Planta estrutural das dimensões e posicionamentos das estruturas dos pilares de atracação lateral.

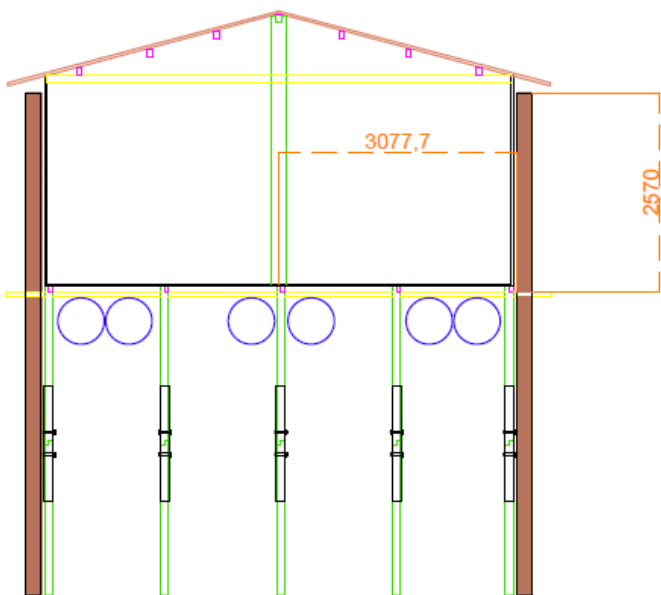
Dimensões e posicionamento da estrutura dos pilares



VISTA SUPERIOR ESTRUTURAL



VISTA FRONTAL ESTRUTURAL



VISTA LATERAL ESTRUTURAL

