

## ESTUDOS BIOCLIMÁTICOS DA HABITAÇÃO RIBEIRINHA AMAZÔNICA: ANÁLISE DOS SISTEMAS DE FECHAMENTO VERTICAIS E AS ABERTURAS

Luís Gregório Piérola e Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Celia Regina Moretti Meirelles (Orientadora)

**Apoio: PIBIC Mackpesquisa**

### RESUMO

As habitações ribeirinhas do Amazonas estão inseridas em região de clima equatorial, caracterizado por elevadas temperaturas e umidade do ar. A arquitetura bioclimática pode ser empregada no desenho dessas habitações para criar espaços que minimizem a sensação de desconforto imposta pelo clima, proporcionando aos assentamentos humanos as condições necessárias de habitabilidade. Assim, o objetivo do trabalho é demonstrar como a simulação digital pode auxiliar o emprego de soluções arquitetônicas que contribuam para a melhoria do conforto ambiental da habitação ribeirinha em Manacapuru (AM) por meio de técnicas passivas como as aberturas verticais. Para tanto, foi realizado levantamento bibliográfico e simulações CFD utilizando-se o *software* computacional *Design Builder* versão 6.1.0.011, com base em dados climáticos e em dados de campo obtidos pelo grupo de pesquisa “Sistemas Construtivos na Arquitetura Contemporânea em 2018”. Foram concebidos quatro modelos computacionais que representam situações em que os métodos de ventilação passivos foram incorporados progressivamente, testando-se os efeitos da ventilação cruzada e do efeito chaminé. A partir das simulações realizadas, verificou-se que o emprego de sistemas de aberturas que proporcionem a formação e a atuação do efeito chaminé tendem a apresentar melhores resultados em termos de redução da temperatura operativa, contribuindo para a melhoria do conforto térmico. Verificou-se também a importância da utilização da simulação digital para avaliar situações e testar diversas soluções de projeto em regiões de difícil acesso, constituindo-se uma importante ferramenta para o planejamento arquitetônico.

**Palavras-chave:** Ventilação natural. CFD. Amazonas.

### ABSTRACT

The riverside dwellings of Amazonas are located in an equatorial climate region, characterized by high temperatures and air humidity. Bioclimatic architecture can be used in the design of these houses to create spaces that minimize the discomfort imposed by the climate, providing human settlements the necessary conditions of habitability. Thus, the objective of the work is to demonstrate how digital simulation can help the use of architectural solutions that contribute to the improvement of the environmental comfort of riverside housing in Manacapuru (AM) through passive techniques such as vertical openings. Therefore, we performed bibliographic survey and CFD simulations using the computer software *Design Builder* version 6.1.0.011, based on climatic data and field data obtained by the research group “Sistemas Construtivos na Arquitetura Contemporânea em 2018”. We conceived four computational models that represent situations in which passive ventilation methods were progressively incorporated, testing the effects of cross ventilation and the stack effect. From the simulations performed, it was found that the use of opening systems that provide the formation and performance of the stack effect tend to present better results in terms of reducing the operative temperature, contributing to the improvement of thermal comfort. It was also verified the importance of using digital simulation to evaluate situations and test different design solutions in difficult to remote regions, being an important tool for architectural planning.

**Keywords:** Natural ventilation. CFD. Amazonas.

## 1. INTRODUÇÃO

Às margens do Rio Solimões, está situada a quarta maior cidade do estado do Amazonas, Manacapuru, inserida na Região Metropolitana de Manaus. Manacapuru possui uma população estimada de 97 mil habitantes e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,614, aferido no ano de 2010. Apenas 25% das habitações possui esgotamento sanitário. O salário médio mensal dos trabalhadores formais chega a 1,9 salários-mínimos (IBGE, 2020).

As comunidades ribeirinhas articulam a sua vida nas regiões de várzea, como estratégia para obter fácil acesso ao transporte fluvial. Ao longo do rio, é possível o acesso ao comércio, às igrejas e às escolas, sendo que a vida em comunidade é uma prática comum, já que as atividades muitas vezes são desempenhadas em conjunto (OLIVEIRA JÚNIOR, 2009).

As comunidades do Amazonas estão inseridas em região de clima equatorial, caracterizado por elevadas temperaturas e umidade do ar, além de serem constantemente submetidas às oscilações dos rios. Por esse motivo, são comuns as habitações conhecidas como palafitas, casas de madeira suspensas por esteios, ou seja, estacas de madeira, localizadas nas encostas de rios (CELUPPI, 2018). A técnica construtiva das habitações é simples, utilizando-se madeira obtida preferencialmente por atividades de subsistência e cobertura de palha, embora recentemente seja comum o uso de telhas de zinco (ALVES, 2016).

Segundo Meirelles et al. (2019), o aumento das temperaturas globais em decorrência das mudanças climáticas piora a situação de vulnerabilidade social e ambiental das comunidades ribeirinhas da região Amazônica, uma vez que as máximas de inundação passam a ocorrer em um tempo mais curto, impondo um sistema de alerta e insegurança à população. Outro aspecto pouco discutido na literatura é a falta de conforto térmico durante as inundações, em que os moradores precisam permanecer dentro das casas. Nesse contexto, é importante verificar se o material de revestimento da cobertura da edificação contribui para piorar as temperaturas no ambiente interno em um clima extremo, podendo provocar diversas doenças como estresse térmico, problemas cardíacos e câncer de pele.

Nesse contexto, destaca-se a importância de proporcionar aos assentamentos humanos as condições necessárias de habitabilidade, adaptando-se às condicionantes do meio ambiente natural, além do social, econômico e cultural, garantindo assim, o conforto ambiental (SCHMID, 2005).

Com disso, faz-se necessário que a arquitetura se adeque ao clima para criar espaços que proporcionem conforto ao ser humano, amenizando as sensações de desconforto

impostas por climas mais severos (FROTA; SCHIFFER, 2003), além de levar em consideração o conhecimento tradicional da região (COSTA, 2007).

Uma maneira de avaliar essas condicionantes é através da simulação digital. Esta ferramenta é capaz de utilizar dados coletados *in loco* via medições, dados históricos e valores e, com isso, prever com algum grau de certeza um comportamento real de uma edificação, abrindo caminhos para testar soluções antes de construí-las, avaliando seu desempenho.

Essa ferramenta representa uma mudança paradigmática no processo de concepção do projeto arquitetônico, tornando-o melhor e mais rápido, além de contribuir para a redução de custos e possibilitar a análise de diferentes situações (CLARK, 2001). Dessa maneira, é possível transferir o conhecimento e os benefícios das ferramentas digitais para um contexto real de melhoria de vida e maior qualidade arquitetônica.

Sendo assim, o objetivo do trabalho é demonstrar como a simulação digital pode auxiliar o emprego de soluções arquitetônicas que contribuam para a melhoria da condição de conforto ambiental da habitação ribeirinha em Manacapuru (AM) por meio de técnicas passivas, integrando o conforto térmico e o sistema de vedação e aberturas das residências.

Para tanto, foi realizado levantamento bibliográfico sobre dados de microclima da região de Manacapuru, sobre recomendações e estratégias construtivas destinadas às habitações unifamiliares com base no Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR 15.220-3), sobre dados de plantas e cortes das habitações do tipo palafita e sobre estratégias passivas que contribuem para o conforto térmico.

Além disso, foi utilizado o *software* computacional de simulação *Design Builder* versão 6.1.0.011 para comparar as diferentes soluções de vedação obtidas na simulação conforme seus dados de performance, a fim de analisar o conforto térmico proporcionado cada uma delas e, portanto, sua capacidade de solucionar os problemas das habitações ribeirinhas.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

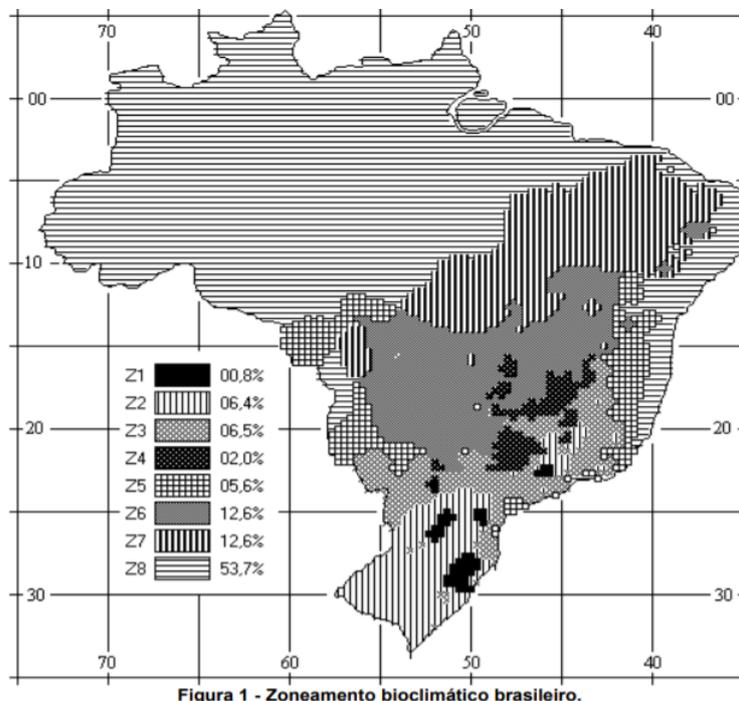
### **2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A cidade de Manacapuru está localizada na região Norte do Brasil, no estado do Amazonas, a 3° 17' 39" latitude Sul e 60° 38' 4" longitude, a 71 km a Sul-Oeste de Manaus (CIDADES-BRASIL, 2020).

Segundo a NBR 15220-3 ("Desempenho térmico de edificações" – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social"), que estabelece recomendações e diretrizes construtivas para adequação

climática de habitações unifamiliares, Manacapuru está localizada na Zona Bioclimática 8, conforme figura a seguir (Figura 1).

Figura 1. Zoneamento bioclimático brasileiro

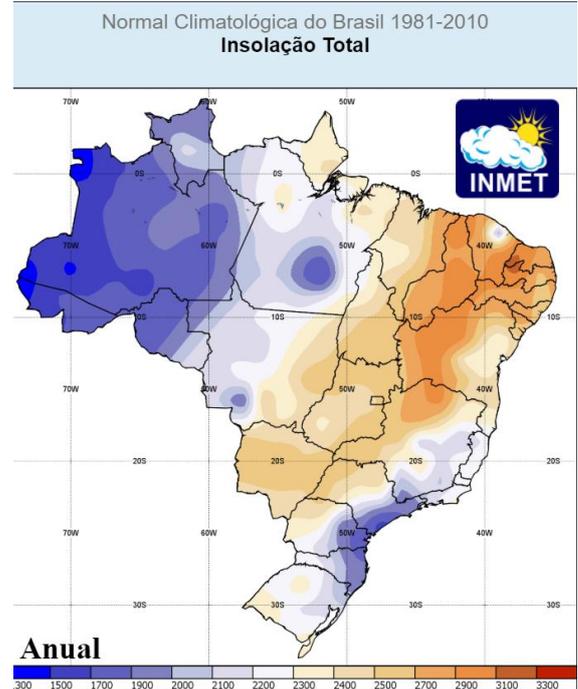
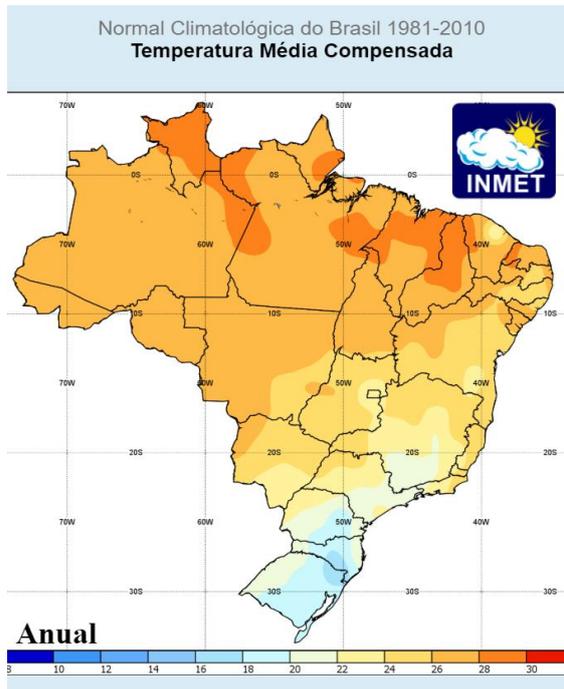


Fonte: ABNT (2005)

A região em que Manacapuru está situada possui clima quente e úmido, caracterizado por apresentar temperaturas moderadamente altas e relativamente constantes, umidade elevada, céu encoberto e chuvas frequentes, sobretudo em determinada parte do ano e radiação sempre intensa, porém difusa devido à elevada nebulosidade (NEVES, 2006).

Os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a respeito da Normal Climatológica do Brasil entre 1981 e 2010 corroboram essas características. Conforme as Figuras 2 e 3, a temperatura média compensada anual na região está entre 26 e 28°C e a insolação anual entre 1700 e 1900 W/m<sup>2</sup> (INMET, 2020).

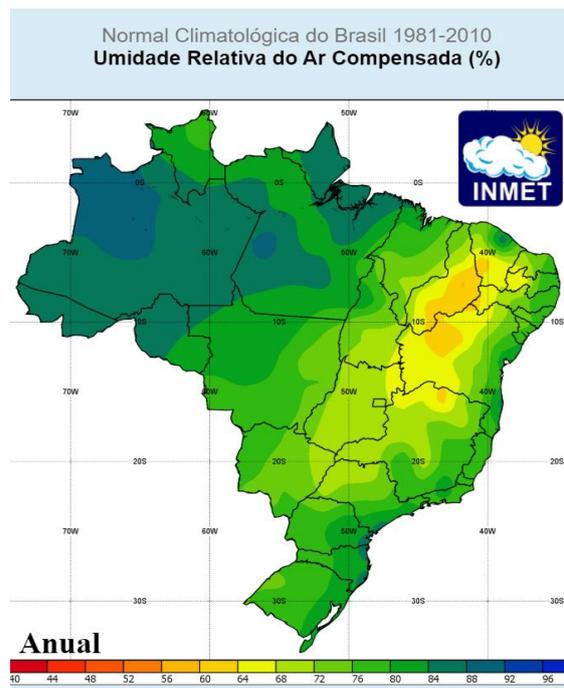
Figuras 2 e 3. Temperatura média compensada e insolação total anuais no Brasil (1981-2010)



Fonte: INMET (2020)

Da mesma forma, a umidade relativa do ar compensada anual da região de Manacapuru está entre 88 e 92% e a intensidade anual do vento na região está entre 2 e 2,25 m/s, conforme mostram as Figuras 4 e 5 (INMET, 2020).

Figuras 4 e 5. Umidade relativa do ar compensada e intensidade do vento anuais no Brasil (1981-2010)



Fonte: INMET (2020)

## 2.2 CONTEXTO E ARQUITETURA NO AMAZONAS

As palafitas são casas de madeira, suspensas por esteios, ou seja, estacas de madeira, localizadas nas encostas de rios. Geralmente as palafitas são cobertas por palha de palmeira ou coqueiro. O método construtivo das habitações na Amazônia é consequência do conhecimento adquirido pela população local, passado de geração em geração (CELUPPI, 2018).

A edificação sobre palafitas sofre interferências arquitetônicas conforme as cheias dos rios, sendo comum erguer o assoalho da habitação em relação ao nível do solo por meio da construção de um novo piso suspenso sobre o anterior (BRUGNERA, 2015).

Severiano Porto é o arquiteto que se tornou referência em projetar de acordo com o clima amazônico, valorizando aspectos importantes da arquitetura regional e levando em consideração a sociedade e a cultura local. Severiano utiliza-se do aprendizado de métodos construtivos tradicionais e promove uma releitura, utilizando o transporte fluvial e materiais locais como a madeira (NEVES, 2006).

Isso porque construir no ambiente amazônico exige uma postura diferente da utilizada no ambiente urbano. Deve-se levar em conta que o transporte de materiais é demorado e muitas vezes o acompanhamento da obra é inviável. Dessa maneira, é necessário ter uma postura respeitosa com o conhecimento tradicional a fim de aprender formas de adaptar-se ao território e aproveitar os seus recursos de maneira adequada (COSTA, 2007).

Além disso, segundo Neves (2006), em locais de clima quente e úmido, o desconforto térmico é causado principalmente pela umidade elevada, que aumenta a sensação de calor. Portanto, a arquitetura nestes locais deve responder de forma adequada à ação das chuvas, do sol e do alto nível de umidade, adotando-se estratégias como a redução da absorção da radiação solar através do sombreamento e da refletância, a proteção contra as chuvas e seu escoamento rápido e o favorecimento da penetração dos ventos dominantes através da ventilação natural. Além disso, os materiais utilizados nas vedações externas devem ter baixa inércia térmica, devido ao regime térmico pouco variável deste clima.

Assim, recomenda-se evitar a incidência da radiação solar direta no edifício para evitar que o calor penetre excessivamente nos ambientes. Para isso, é necessário determinar a posição do sol no período quente do ano e adotar estratégias para obstruir os raios solares (FROTA; SCHIFFER, 2003).

Segundo a NBR 15220-3, as estratégias recomendadas para a Zona Bioclimática 8 incluem o uso de grandes aberturas para uso da ventilação, sombreamento das aberturas, ventilação cruzada e vedações externas leves, tendo em vista as características climáticas locais (ANBT, 2005), conforme Figura 6.

Figura 6. Zona Bioclimática 08

**6.8 Diretrizes construtivas para a Zona Bioclimática 8**

Na zona bioclimática 8 (ver figuras 16 e 17) devem ser atendidas as diretrizes apresentadas nas tabelas 22, 23 e 24.

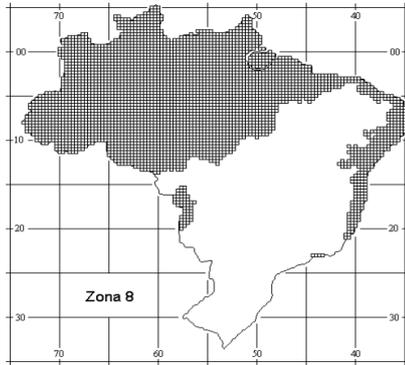


Figura 16 - Zona Bioclimática 8

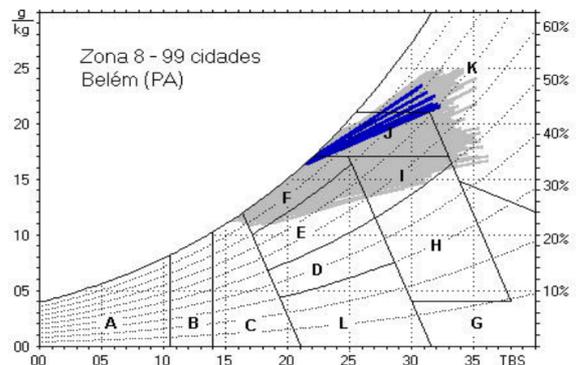


Figura 17 - Carta Bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Belém, PA

**Tabela 22 - Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a Zona Bioclimática 8**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas
Grandes	Sombrear aberturas

Fonte: ANBT (2005)

**2.3 CONFORTO AMBIENTAL E ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA**

Segundo Schmid (2005), o “conforto ambiental surge num esforço de se resgatar a arquitetura enquanto abrigo diante de outras intenções como a monumental, a produtiva ou a representativa”. No entanto, apesar do desempenho de uma habitação enquanto abrigo ser passível de análise através da observação de variáveis como temperatura, umidade, nível de intensidade sonora, neste conceito também estão envolvidos aspectos subjetivos.

Segundo Keeler e Burker (2010), a qualidade de vida do morador de uma habitação tem uma relação direta com o projeto de arquitetura e com as técnicas construtivas utilizadas.

Assim, o conforto ambiental na Arquitetura e Urbanismo visa proporcionar aos assentamentos humanos as condições necessárias de habitabilidade, adaptando-se às condicionantes do meio ambiente natural, além do social, econômico e cultural (SCHMID, 2005).

Nesse contexto, a arquitetura bioclimática pode ser definida como o estudo que visa a harmonização das construções com as características bioclimáticas de cada local de forma a otimizar a utilização dos recursos naturais disponíveis, tais como a luz solar e o vento, gerando conforto (BRASIL, 2020c).

Sendo Neves (2006), a Arquitetura Bioclimática procura minimizar os impactos resultantes de uma intervenção no ambiente e promover uma relação harmônica entre a paisagem e a construção, levando em conta o microclima e seus recursos naturais.

Assim, construir de forma adequada ao clima local prevê a criação de espaços que proporcionem conforto ao ser humano, amenizando as sensações de desconforto impostas por climas mais severos, como o calor excessivo, frio e ventos e, ao mesmo tempo, sejam espaços agradáveis como espaços ao ar livre (FROTA; SCHIFFER, 2003).

No Brasil, a arquitetura passou a incorporar princípios bioclimáticos de forma mais acentuada na década de 60, com arquitetos que atuavam em regiões mais afastadas dos grandes centros, tendo ganhado cada vez mais destaque por haver, na maior parte do Brasil, elementos climáticos favoráveis de serem aproveitados na construção através do condicionamento térmico por vias predominantemente passivas (NEVES, 2006).

Dentre as variáveis climáticas que caracterizam uma região, podem-se distinguir as que mais interferem no desempenho térmico dos espaços construídos: a oscilação diária e anual da temperatura e a umidade relativa, a quantidade de radiação solar incidente, o grau de nebulosidade do céu, a predominância de época e o sentido dos ventos e índices pluviométricos (FROTA; SCHIFFER, p.53, 2003).

O levantamento e a discussão da incorporação de técnicas passivas e bioclimáticas no projeto arquitetônico contribuem não só para o aumento do conforto, mas também para a minimização do uso de tecnologias ativas, de modo a contribuir diretamente com o meio ambiente (KEELER; BURKER, 2010).

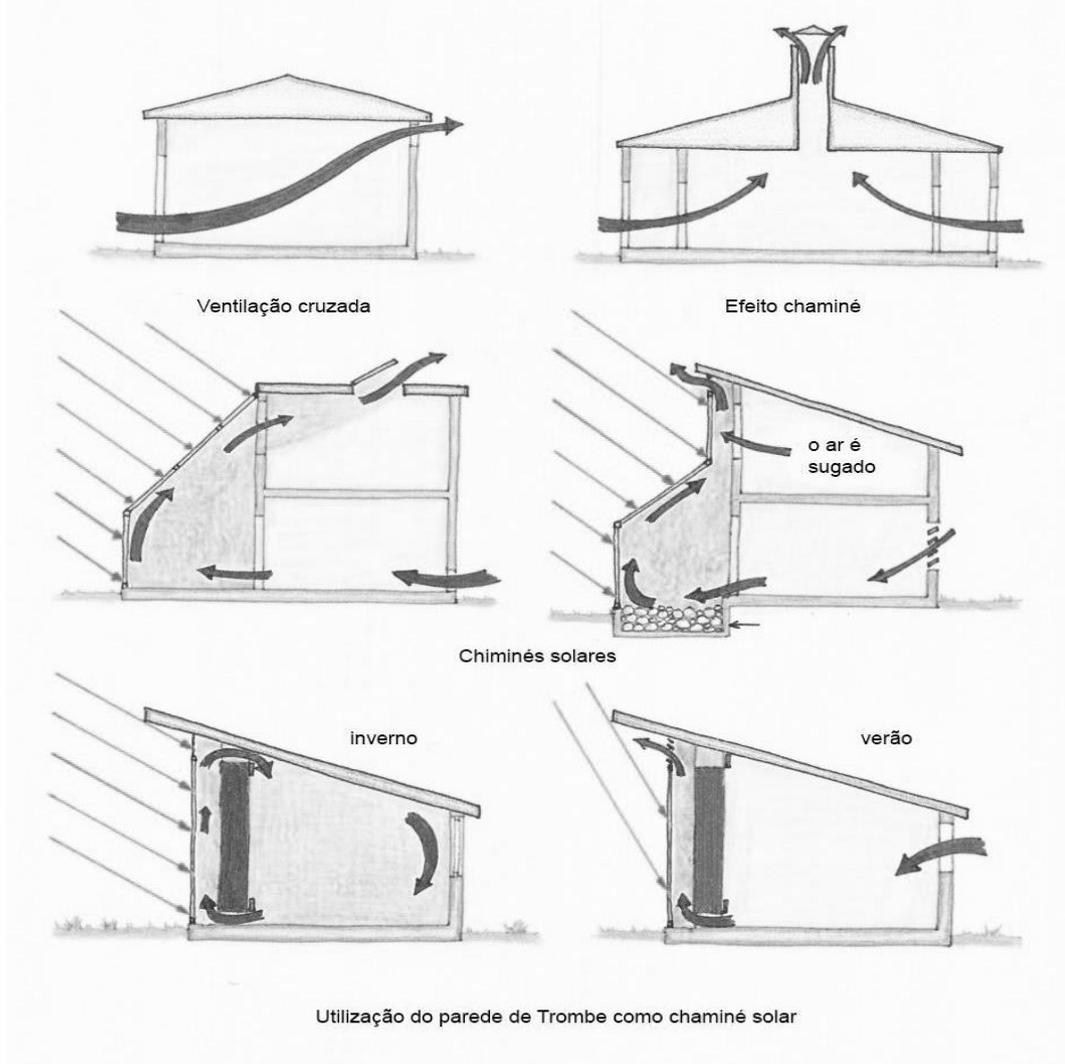
## 2.4 ABERTURAS E FECHAMENTOS VERTICAIS

As aberturas nos edifícios permitem a ventilação natural dos ambientes, proporcionando a renovação do ar e constituindo uma solução para problemas de desconforto térmico, pois as aberturas no volume promovem o deslocamento de ar e, com isso, a dissipação da carga térmica que é acumulada ao dia pela exposição direta ao sol, além de desconcentrar poluentes e outras partículas danosas à saúde (FROTA; SCHIFFER, 2003).

A ventilação pode exercer três diferentes funções em relação ao ambiente construído, sendo elas a renovação do ar, o resfriamento psicofisiológico e o resfriamento convectivo (BRASIL, 2020b).

Os sistemas passivos de ventilação baseiam-se em diferenças de pressão para mover o ar fresco através dos edifícios. Essas diferenças de pressão podem ser causadas pelo vento (ventilação cruzada) ou por diferenças de temperatura (ventilação por efeito chaminé), (BRASIL, 2020b), conforme retratado na Figura 7.

Figura 7 - Soluções passivas de ventilação



Fonte: Zaretsky (2009)

A ventilação cruzada ocorre quando o vento cria correntes de ar dentro do edifício (ROMERO, 2001), devido ao diferencial de pressão provocado pelo vento na edificação, sendo que o fluxo de ar terá maior volume quanto maior for a diferença de pressão nas faces onde estão localizadas às aberturas (BRASIL, 2020b).

Nos períodos e climas nos quais não se pode contar com a presença dos ventos, é possível utilizar o efeito chaminé para promover a ventilação, utilizando-se a radiação solar para aquecer o ar para que, no movimento de escape desse ar quente, ocorra a substituição por um mais frio, renovando o ar no interior do espaço, o que caracteriza a ventilação convectiva (ROMERO, 2001) ou efeito chaminé. Isso porque o ar quente tende a se acumular nas partes mais elevadas da edificação, fazendo com que a retirada deste ar crie um fluxo de ar ascendente por meio da utilização de aberturas em diferentes níveis (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Segundo Brasil (2020b), a taxa do fluxo de ar é uma função da distância vertical entre as entradas e as saídas de ar, de seu tamanho e da diferença de temperatura externa e temperatura média interna na parte mais alta da habitação.

Em relação às vedações utilizadas nas habitações ribeirinhas, é relevante o relatório técnico-científico “Tecnologia das construções em madeira: Adequação dos sistemas de fechamento e vedação” (MEIRELLES, 2018), do grupo de pesquisa Sistemas Construtivos na Arquitetura Contemporânea, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade Presbiteriana Mackenzie. No relatório de 2011, são abordados diversos sistemas e composições de fechamento, tais como o projeto com estrutura secundária similar ao *Wood Frame*, vedado por paredes duplas de OSB (*Oriented Strand Board*), aplicando diferentes composições de vedação e isolamentos.

Nos locais mais frios, as construções em madeira necessitam de um isolante térmico devido à pequena inércia térmica da madeira. O isolamento térmico geralmente está inserido entre a ossatura e as placas de vedação externas e internas. Os isolantes mais utilizados são lã de vidro, lã de rocha, fibras cerâmicas, poliestireno, vermiculita, cortiça, lã de pet, fibra de coco etc. A aplicação de gesso na face interna da ossatura, assim como o preenchimento da estrutura com materiais isolantes permite um maior conforto térmico no ambiente, assim como uma maior proteção contra o fogo. Já nos locais mais quentes, pode-se tentar buscar a dupla camada ventilada entre os componentes da edificação e da ossatura (MEIRELLES, 2018).

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 REVISÃO DA LITERATURA**

O estudo inclui revisão de literatura, baseada em pesquisa exploratória documental e na análise e interpretação de livros, normas, trabalhos acadêmicos e publicações em periódicos científicos a respeito de dados de microclima, metodologias de simulação digital, utilização de vedação em madeira, conforto térmico e estratégias que contribuem para o conforto térmico passivo.

#### **3.2 SIMULAÇÕES TÉRMICAS E CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)**

As simulações de modelos digitais foram realizadas no *software DesignBuilder* versão 6.1.0.011. Lançado em 2005, o *DesignBuilder* consiste em uma interface gráfica para o programa *EnergyPlus*. Utilizando-se os dados climáticos de uma determinada região, é possível testar diversas soluções de arquitetura dentro de um cenário controlado, gerando informações para a tomada de decisão.

Conforme Freire et al. (2013), é possível utilizar ferramentas digitais de simulação logo nas etapas iniciais de projeto, utilizando modelos geométricos simplificados para dar suporte a avaliação de desempenho térmico.

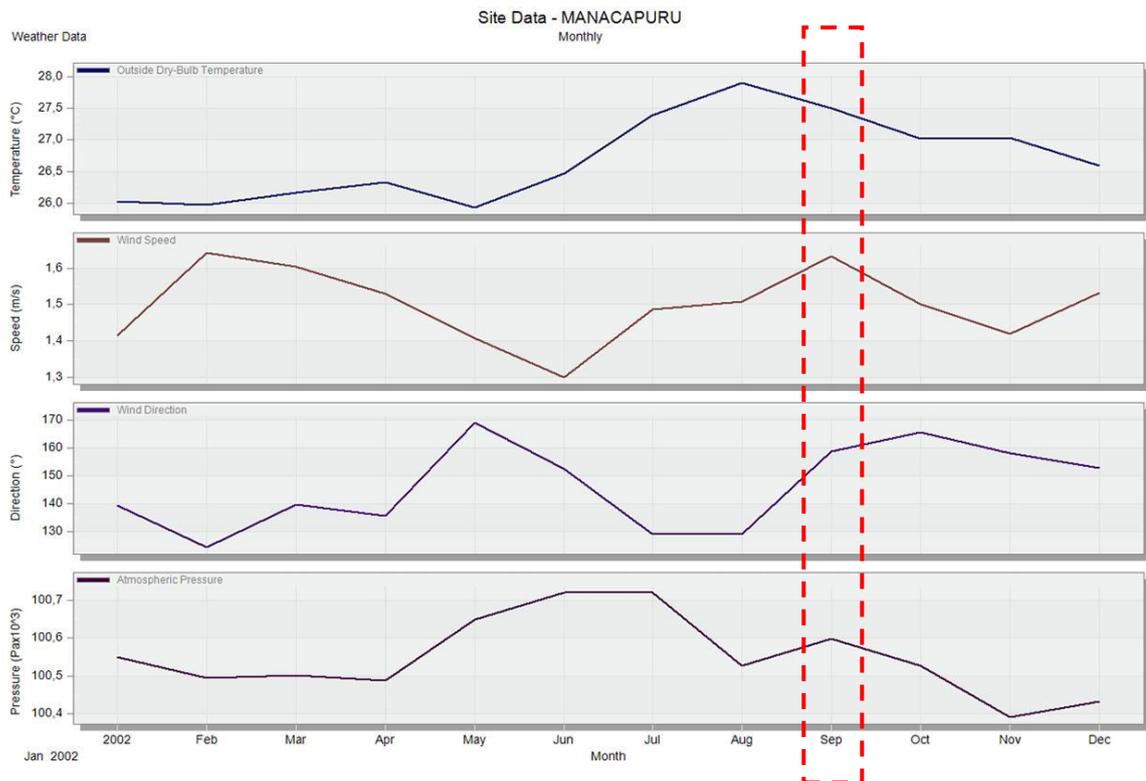
A modelagem das habitações foi realizada com base em medidas obtidas *in loco*, tendo sido incorporadas variações nas aberturas verticais nas fachadas de maiores dimensões, gerando quatro modelos representativos a partir dos quais foi realizada a simulação CFD com base nos dados climáticos de Manacapuru, tendo como objetivo avaliar diferentes soluções de projeto para a melhoria do conforto térmico.

#### 4. RESULTADO E DISCUSSÃO

##### 4.1 DADOS CLIMÁTICOS DE MANACAPURU

A partir dos dados obtidos na etapa de revisão da literatura, foi realizada a simulação digital utilizando-se os dados climáticos da cidade de Manacapuru AM, obtidos através do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações UFSC – LabEEE, incluindo temperatura, velocidade do vento, direção do vento e pressão, conforme a Figura 8:

Figura 8. Dados climáticos de Manacapuru



Fonte: Elaboração própria a partir do software *DesignBuilder*

Considerando-se que os dados climáticos apontam os primeiros dias de setembro como a época de mais ventos, optou-se por realizar o cálculo do modelo CFD em um único dia do ano, o dia 01 de setembro.

#### 4.2 DIMENSÕES DA HABITAÇÃO PADRÃO

Para a modelagem da habitação ribeirinha padrão, foram utilizadas as medidas obtidas em visita realizada pelo grupo de pesquisa Sistemas Construtivos na Arquitetura Contemporânea em 2018 na Cidade de Manacapuru/AM, na região das comunidades ribeirinhas de “Pesqueiro” e “Rei Dani – Calado” para modelar digitalmente a moradia ribeirinha.

A tipologia de residência escolhida (Figuras 9 e 10) representa grande parte das moradias locais (MEIRELLES., 2018), possuindo portanto, maior representatividade. O modelo escolhido foi simplificado, excluindo-se um anexo de banheiro ao fundo e as divisões internas. A habitação de referência não possui varandas no entorno, tem dimensões de 6,9 m x 11,50 m, definidas pelas tesouras da cobertura, e modulação entre esteios de 2,3 m. A habitação modelada apresenta 4 janelas na fachada norte e 4 janelas na fachada sul.

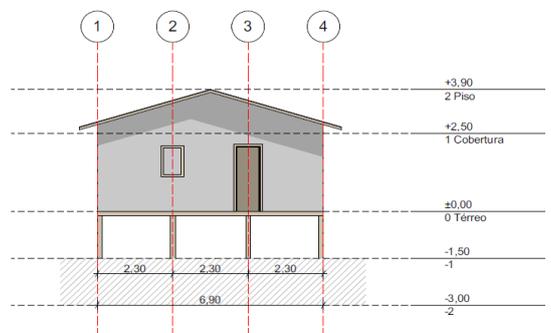
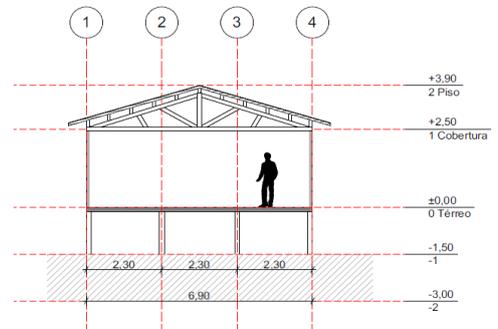
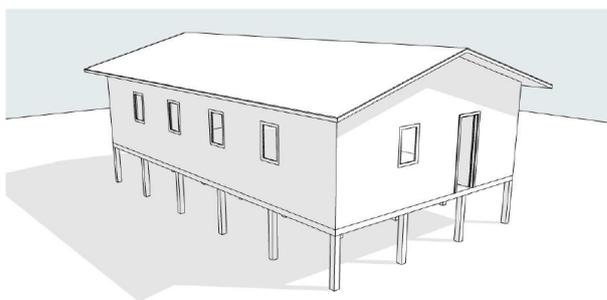
Durante a modelagem dos cenários, não foi alterado o perímetro da residência, o tamanho de janelas e a altura em relação ao solo, mantendo essa uniformidade em todos os modelos. A orientação também é igual e foi escolhida a partir dos dados direção de vento predominantes obtidos através dos dados climáticos da região. Assim, as faces com mais janelas foram voltadas para a direção sul.

Figura 9. Fotos da habitação de referência.



Fonte: Meirelles (2018)

Figura 10. Desenhos técnicos da habitação de referência

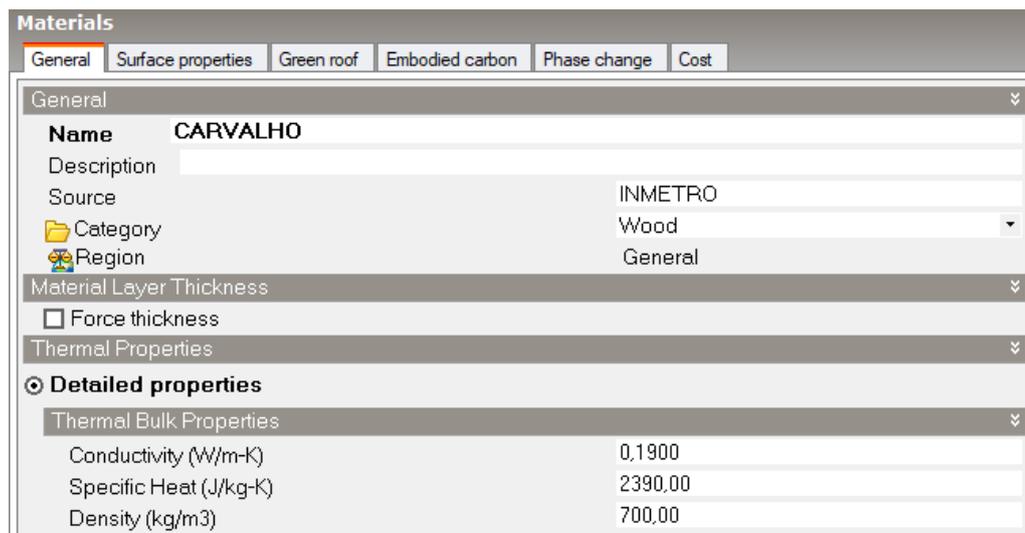


Fonte: Elaboração própria

### 4.3 MATERIAIS

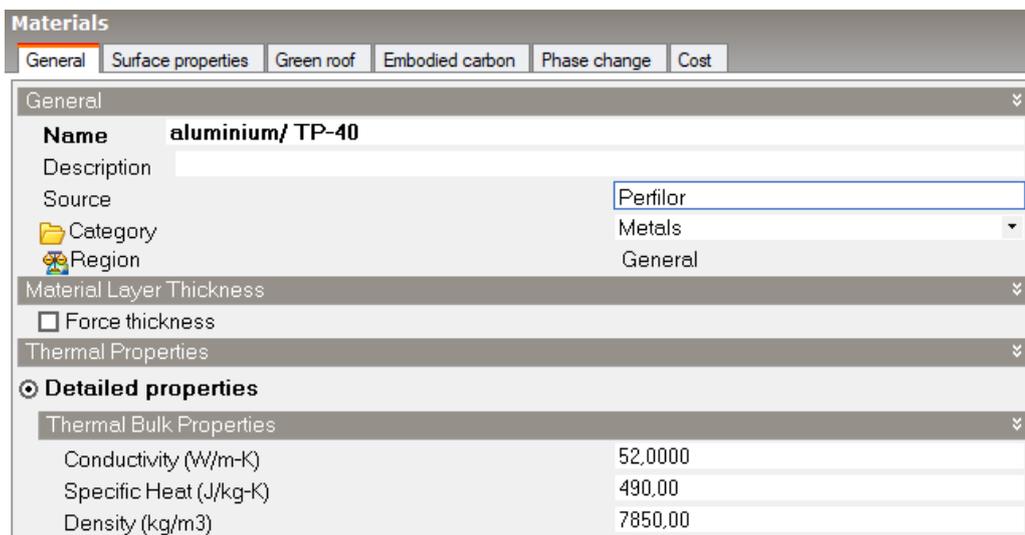
Como materialidade do modelo digital, foram utilizadas paredes externas, janelas e pisos como madeira cumaru de 2,3 cm, utilizando as propriedades térmicas, condutividade e calor específico constantes no programa *DesignBuilder* para o material madeira carvalho (Oak radial), conforme Figura 11. Para a cobertura, foi adotado como material a chapa de alumínio com zinco com 0,48 mm e acabamento superficial de metal oxidado (Figura 12).

Figura 11. Características térmicas do material utilizado como paredes externas, janelas e pisos



Fonte: Elaboração própria a partir do *software DesignBuilder*

Figura 12. Características térmicas do material utilizado como cobertura



Fonte: Elaboração própria a partir do *software DesignBuilder*

### 4.4 MODELOS

Foram modeladas diferentes configurações de aberturas e fechamentos com o objetivo de avaliar a ventilação natural dentro da habitação, a variação de temperatura operativa e taxa de renovação de ar dentro da casa. Em todas as simulações, não foi considerado

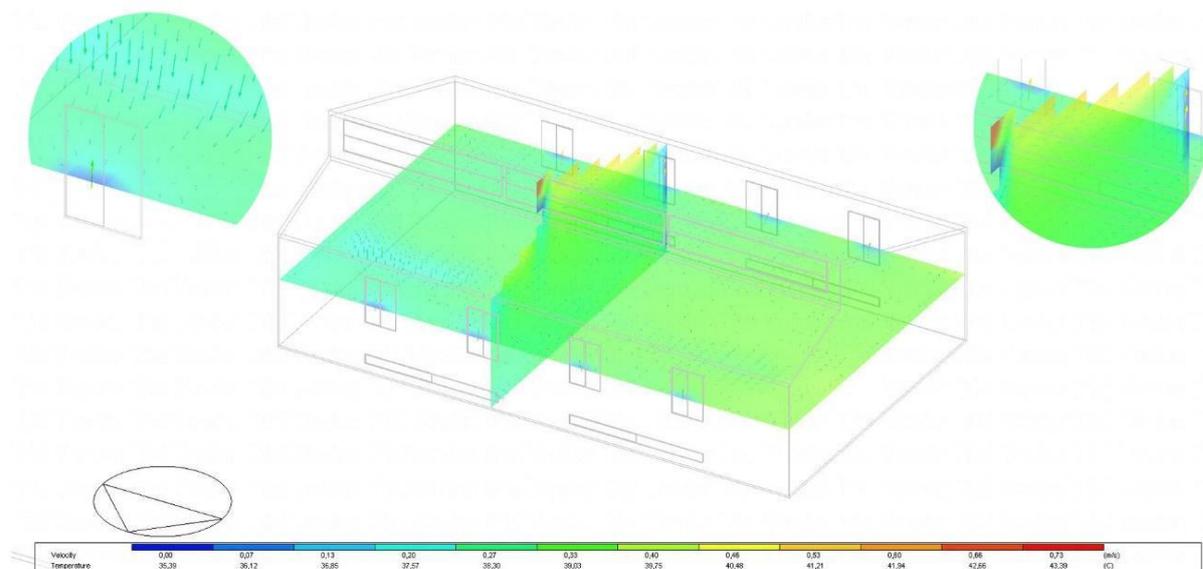
qualquer influência de sistemas ativos de AVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), tendo sido avaliada apenas a ventilação natural dentro da edificação.

Os modelos foram concebidos de modo a representar situações em que os métodos de ventilação passivos foram incorporados progressivamente. As decisões de desenho de aberturas foram adotadas de modo a testar o quanto a ventilação cruzada e o efeito chaminé podem melhorar o conforto térmico dentro da habitação.

Assim, no Modelo 01, tanto as grelhas inferiores quanto as janelas da habitação estão fechadas. Já o Modelo 02 representa um cenário em que as janelas estão abertas, possibilitando a ventilação cruzada. No Modelo 03, além das janelas, as grelhas inferiores também estão abertas.

Por fim, no Modelo 04, foi concebida uma nova estratégia utilizando-se aberturas na cobertura da habitação, testando-se assim, a ação do efeito chaminé (Figura 13).

Figura 13. Corte termodinâmico do Modelo 04

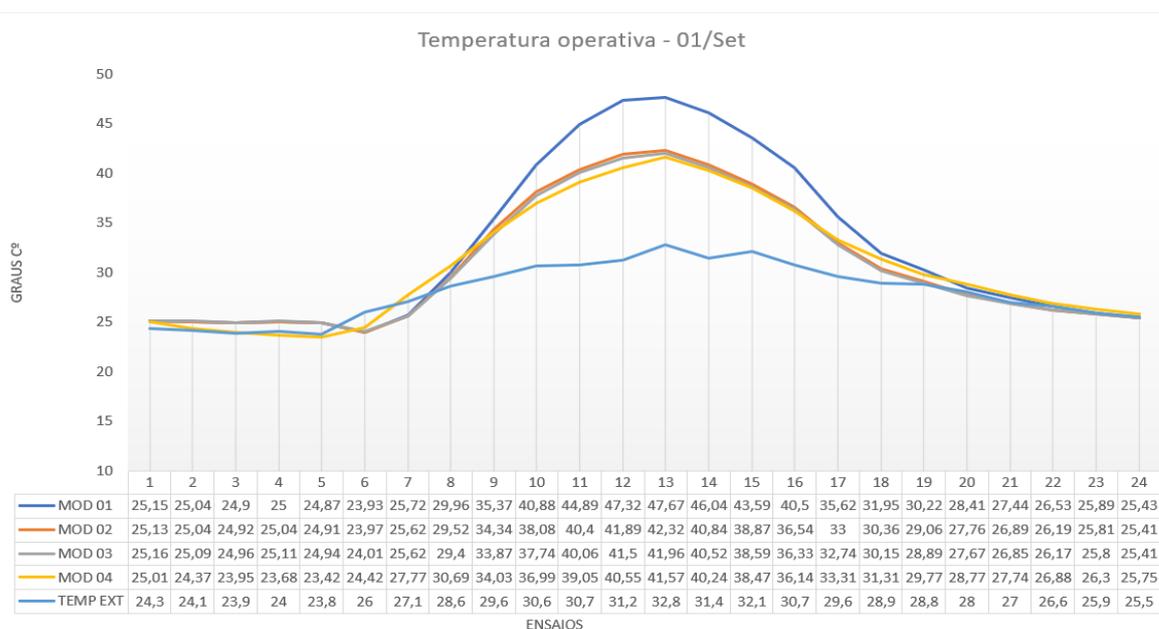


Fonte: Elaboração própria a partir do *software DesignBuilder*

#### 4.5 SIMULAÇÕES

Os cálculos foram realizados ao longo de todo o dia escolhido (01 de setembro), utilizando-se a opção “ventilação natural calculada”, em que o programa gera cálculos automáticos do fluxo de ar com base em parâmetros como coeficientes e dados climáticos, tendo-se obtido os seguintes resultados para a temperatura operativa (Figura 14).

Figura 14. Tabela comparativa entre ensaios e temperatura externa.



Fonte: Elaboração própria a partir do software *DesignBuilder*

Com base nesse gráfico, é possível verificar que as temperaturas operativas atingidas no interior da habitação em todos os cenários são superiores à temperatura externa observada entre às 8h e às 19h, o que demonstra que as características da habitação ribeirinha podem potencializar o desconforto térmico em regiões com temperaturas elevadas durante boa parte do dia. Isso ressalta a importância da análise de estratégias para reduzir essa amplificação de temperatura.

Conforme observado na Figura 14, no Modelo 01, foram observadas as maiores temperaturas internas, devido à ausência de trocas de calor. Para esse modelo, às 13h, em que foi atingida a maior temperatura operativa, este valor foi de 47,67°C. No mesmo horário, as temperaturas operativas dos Modelos 02, 03 e 04 foram, respectivamente, 42,32°C, 41,96°C e 41,57°C, sendo possível notar uma significativa melhora na temperatura.

A maior diferença de temperatura operativa entre modelos foi observada entre o Modelo 01 e o Modelo 02, com a abertura das janelas, proporcionando a ventilação cruzada. Esses resultados vão ao encontro daqueles obtidos por Bevilaqua (2019), a qual verificou através da simulação CFD que a presença de aberturas em paredes opostas da habitação possibilita a ventilação cruzada com aumento do fluxo de ar no espaço interno.

O Modelo 04, com aberturas inferiores e superiores, apresenta os melhores resultados em termos de redução da temperatura operativa. Isso pode ser explicado pela ação do efeito chaminé, que faz com que, no movimento de escape do ar quente, ocorra a substituição por um mais frio, renovando o ar no interior do espaço.

Do mesmo modo, no estudo Celuppi (2018), a solução construtiva com aberturas inferiores e superiores apresenta-se como uma boa estratégia na melhora das condições de conforto térmico, por proporcionar a formação do efeito chaminé.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Observando-se os dados obtidos através da simulação digital, é possível verificar a possibilidade de utilização da simulação digital para avaliar situações e testar diversas soluções de projeto em regiões de difícil acesso, constituindo-se uma importante ferramenta para o planejamento arquitetônico.

Verificou-se também a importância da ventilação dentro de ambientes de longa permanência em regiões climáticas de alta insolação e temperatura, bem como a potencialidade de emprego das aberturas e fechamentos verticais para a melhoria da ventilação e do conforto térmico nas habitações.

Os resultados sugerem também que o emprego de sistemas de aberturas que proporcionem a formação e a atuação do efeito chaminé tendem a apresentar melhores resultados em termos de redução da temperatura operativa, contribuindo para a melhoria do conforto térmico.

Além disso, considerando-se que, no período noturno, comumente as janelas são fechadas pelos moradores, cessando-se a ventilação natural, a solução de grelhas inferiores pode constituir uma intervenção para o aumento do conforto térmico, sendo importantes estudos posteriores para a verificação desta possibilidade.

É importante ressaltar que este estudo não possui pretensão de alcançar padrões ótimos de conforto térmico, tendo em vista que, para isso, seria necessário abarcar outros fatores além do desenho de aberturas, tais como a reavaliação da volumetria e dos sistemas de vedação e de cobertura. Sugere-se, contudo, que esta reavaliação leve em conta o emprego de técnicas construtivas tradicionais e materiais adequados às condicionantes locais, constituindo futuras oportunidades de estudo neste campo de pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVES, Fábio. *A função socioambiental do patrimônio da União na Amazônia*. Brasília: Ipea, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.2203: Desempenho Térmico de Edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. 2005.

BEVILAQUA, Camila Pizaia; BRESSIANINI, Bianca; AZUMA, Maurício Hidemi; LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia. Análise da ventilação natural: simulações CFD e ensaios em um modelo físico reduzido. *PARC – Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, v. 10, p. e019022-1 a 13, 2019.

BRASIL. *Projetando Edificações Energeticamente Eficientes: Efeito chaminé*, 2020a. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/implementacao/efeito-chamine/#:~:text=Aberturas%20em%20diferentes%20n%C3%ADveis%20podem,mais%20quente%20atrav%C3%AAs%20de%20lanternins>>. Acesso em 07 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. *Projetando Edificações Energeticamente Eficientes: Estratégias bioclimáticas*, 2020b. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/estrategias-bioclimaticas/>>. Acesso em 07 ago. 2020.

\_\_\_\_\_. *Projetando Edificações Energeticamente Eficientes: Glossário*, 2020c. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/glossario/arquitetura-bioclimatica/>>. Acesso em 02 ago. 2020.

BRUGNERA, Ana Carolina. *Meio ambiente cultural da Amazônia Brasileira: dos modos de vida a moradia do Caboclo Ribeirinho*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://tede.mackenzie.br/jspui/handle/tede/398>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

CELUPPI, Maria Cristina. *Arquitetura e percepção bioclimática em habitações ribeirinhas na Amazônia brasileira*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://tede.mackenzie.br/jspui/bitstream/tede/3785/5/Maria%20Cristina%20Celuppi.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

CIDADES-BRASIL. *Município de Manacapuru*, 2020. Disponível em: <<https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-manacapuru.html>>. Acesso em 03 ago. 2020.

CLARK, J. *Energy Simulation in Building Design*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

COSTA, Graciete Guerra da; RODRIGUES, Antônio da Silva Filho. G. *Arquitetura Moderna de Manaus: como a arquitetura moderna de Severiano Mário Porto incorporou práticas construtivas e atendeu aos condicionantes climáticos locais*. In: MOREIRA, Fernando Diniz. *Arquitetura moderna no Norte e Nordeste do Brasil: Universalidade e diversidade*. Recife: CECI/UNICAP, 2007. p. 219-235.

FREIRE, M. R.; TAHARA, A.; GUIMARAES, A.; AMORIM, A. *Uso do Ecotec e DesignBuilder na projeção arquitetônica para fins de avaliação de desempenho térmico por via passivas*. In:

XII ENCONTRO NACIONAL DO CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO/ VIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2013. *Anais...* Brasília, 2013.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. *Manual do Conforto Térmico*. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normais Climatológicas do Brasil*, 2020. <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em 03 ago. 2020.

KEELER, Marian; BURKE, Bill. *Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis*. Porto Alegre: Bookman, 2010.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW, 1997.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti. *As características da habitação ribeirinha no estado do Amazonas: rebatimentos na qualidade de vida e saúde*. Relatório Técnico Científico. São Paulo, Mackpesquisa, 2018. Disponível em: <[dspace.mackenzie.br](https://space.mackenzie.br)>. Acesso em: 02 set. 2020.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti; CHAVES, Maria do Perpétuo Socorro Rodrigues; BRUNA, Gilda Collet; OLIVEIRA JÚNIOR, Jair Antônio; MARCONDES, Flavio; FEHR, Lucas; SANT'ANNA, Silvio Stefanini; ALMEIDA, Antônia Lúcia Silva de. A problemática da urbanização na região Amazônica: bairro da correnteza em Manacapuru. In: PASQUOTTO, Geise Brizotti; GULINELLI, Érica Lemos. *Desenho Urbano*. Tupã: ANAP, 2019. p. 87-107.

NEVES, Letícia de Oliveira. *Arquitetura Bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-03012007-232857/publico/dissertacaoNEVES\\_compactada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-03012007-232857/publico/dissertacaoNEVES_compactada.pdf)>. Acesso em: 04 fev. 2020.

OLIVEIRA JÚNIOR, Jair Antônio. *Arquitetura ribeirinha sobre as águas do Amazonas: o habitat em ambientes complexos*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16134/tde-30032010-154115/pt-br.php>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

ROMERO, Marta. *Arquitetura Bioclimática dos Espaços Públicos*. Brasília: Editora UnB, 2001.

SCHMID, Aloísio Leoni. *A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído*. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

ZARETSKY, Michael. *Precedents in zero-energy design: architecture and passive design in the 2007 Solar Decathlon*. Routledge, 2009.

**Contatos:** gregorio.pierola@gmail.com e celiaregina.meirelles@mackenzie.br