

Projeto de uma habitação para o clima tropical (Aw) a partir de diretrizes obtidas dos diagramas antropoclimáticos

Design of a single-family house for tropical climate (Aw) from guidelines obtained from anthropoclimate diagrams

Patrícia Soares Teixeira(1); Gabriel Moraes De Bem(2); Leandro Carlos Fernandes(3)

1 Arquiteta e Urbanista, Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPG da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

E-mail: patriciateixeira.arq@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1843-0976>

2 Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEU/UTFPR, Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Canoinhas, SC, Brasil.

E-mail: gabrieldebem@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8179-2422>

3 Doutor em Tecnologia e Sociedade, Professor no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEU da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

E-mail: fernandes.ufpr@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4393-7322>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 10, n. 2, p. 17-47, julho-dezembro, 2021 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2021.v10i2.4640>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora-chefe: Thaísa Leal da Silva

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

Ao se observar o ambiente ao nosso redor, percebe-se diversos impactos ambientais negativos resultantes da ação humana (destruição de florestas, estiagens prolongadas, aumento da temperatura e consequente degelo de calotas polares e até mesmo a disseminação de doenças infecciosas como a SARS-CoV2). A produção de edificações contribui para esse processo de degradação ambiental ao consumir recursos para construção e manutenção e por gerar resíduos. Por isso, é importante contar com ferramentas e procedimentos para viabilizar a elaboração de projetos de edificações menos impactantes. Com essa intenção, foram desenvolvidos procedimentos e ferramentas gráficas como as cartas de Olgyay e de Givoni. Porém, com o advento dos modelos adaptativos e com os avanços na simulação térmica, essas ferramentas historicamente consolidadas demandam atualização. Por isso, foi elaborado um novo procedimento, utilizando diagramas baseados no modelo adaptativo (denominados Diagramas Antropoclimáticos 1 e 2) e envolvendo a simulação de um ambiente térmico interno. Da sua aplicação, obtém-se diretrizes para o processo de projeto. Em virtude de seu recente desenvolvimento, os diagramas foram aplicados a poucas zonas climáticas brasileiras. Este artigo teve como propósito apresentar um projeto desenvolvido segundo as diretrizes obtidas para o clima de Fortaleza/CE (Aw). Como resultado, projetou-se uma edificação com paredes leves, sombreada (prevenindo-se o sobreaquecimento) e com ventilação cruzada. Utilizou-se uma grande varanda que, além do sombreamento, cumpre o papel da circulação. Para o layout interno, optou-se por uma planta baixa próxima da planta livre.

Palavras-chave: Diagramas antropoclimáticos. Estratégias para condicionamento passivo. Edificações com baixo consumo energético. nZEB. Clima tropical (Aw).

Abstract

When we look at the environment around us, we see several negative environmental impacts resulting from human action (forest destruction, prolonged droughts, increased temperature and consequent melting of ice caps and even the spread of infectious diseases such as SARS-CoV2). Building production contributes to this process of environmental degradation by consuming resources for construction and maintenance and by generating waste. Therefore, it is important that we have tools and procedures to enable the development of less impacting building projects. With this intention, procedures and graphic tools such as the Olgyay and Givoni charts were developed. However, with the advent of adaptive models and advances in thermal simulation, these historically consolidated graphical tools demand updating. Therefore, a new procedure was developed, using diagrams based on the adaptive model (called Anthropoclimatic Diagrams 1 and 2) and involving the simulation of an internal thermal environment. From its application, guidelines for the design process are obtained. Due to their recent development, the Anthropoclimatic Diagrams were applied to few Brazilian climatic zones. This article aimed to present a project developed according to the guidelines obtained for the climate of Fortaleza/CE (Aw). As a result, a building was designed with light walls, shaded (preventing overheating) and cross ventilation. A large porch was used which, in addition to shading, fulfills the role of circulation.

Keywords: Anthropoclimatic diagrams. Strategies for passive conditioning. Nearly zero energy buildings (nZEB). Tropical climate (Aw).

1 Introdução¹

Ainda antes do final do século XX, a humanidade passou a refletir mais criticamente sobre as consequências de uma orientação focada excessivamente no crescimento econômico. O acesso à informação sobre danos ao meio ambiente e sobre perda de vidas fomentou pressões sobre os governos por medidas para remediação de danos, com resultados a partir da década de 1960. Nos anos 1990, computavam-se resultados sob a forma de acordos, convenções e leis com a finalidade de tornar o desenvolvimento econômico menos impactante ao ambiente e à humanidade (POTT; ESTRELA, 2017).

Atualmente, no entanto, mesmo com iniciativas diversas, os problemas continuam a se avolumar. No Brasil, períodos de seca intensa vêm sendo observados com frequência (2006, 2012/2013, 2019/2020/2021), impactando o abastecimento de água, a produção agrícola e a geração de energia elétrica (FERNANDES *et al.*, 2021). Períodos de estiagem severa e de queimadas potencializam a dispersão de poluentes, enquanto se observa aumento das temperaturas e do número de dias com altas temperaturas, com impactos sobre a qualidade de vida da população (FERNANDES; HACON; NOVAIS, 2021). Autores apontam ainda a existência de relação entre o surgimento de doenças infecciosas e as mudanças climáticas. Cita-se como exemplo as doenças consideradas como epidêmicas e pandêmicas, como a SARS-CoV2, COVID-19, cujas crises são agravadas por contextos de vulnerabilidade social presentes em países pobres e em desenvolvimento (ZEZZO *et al.*, 2021).

Sendo a atividade da construção civil responsável por consumir grandes quantidades de recursos durante a execução e ao longo da vida útil das edificações, é imperioso que sejam realizados esforços para redução dos impactos ambientais dela decorrentes (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2018). Alinhadas com essa ideia, na história recente da arquitetura, observou-se o surgimento de abordagens projetuais voltadas para a produção de edificações que apresentem ambientes internos adequados para as atividades humanas e com baixo consumo energético. Para dar suporte a essas abordagens foram propostas ferramentas de apoio para os projetistas. Entre essas ferramentas, destacam-se as Tabelas de Mahoney (KOENIGSBERGER *et al.*, 1973), o Diagrama Bioclimático (OLGYAY, 2008) e o *Building Bio-Climatic Chart – BBCC* (GIVONI, 1992), também conhecido como Diagrama de Givoni.

Atualmente, por terem sido desenvolvidas para um contexto específico (climas tropical e equatorial da Nigéria), as Tabelas de Mahoney são pouco utilizadas. Os diagramas de Olgyay e Givoni, por utilizarem modelos de percepção térmica estáticos, também resultaram desatualizados diante da consolidação dos modelos adaptativos para edificações condicionadas naturalmente, como os estabelecidos pelas normas

1 Este artigo é uma versão expandida e revisada do texto originalmente publicado nos Anais do VIII Seminário Internacional de Construções Sustentáveis.

internacionais EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION - CEN, 2007) e ANSI/ASHRAE Standard – 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE, 2020).

Com a adoção de modelos adaptativos, nos quais se considera que o ser humano sofre aclimação, assume-se que a faixa de temperaturas recomendadas para o interior de edificações varia no tempo (com as estações do ano) e no espaço (com as diferenças climáticas de uma região para a outra). Se, por um lado, aceitar essa dinamicidade é algo coerente com as pesquisas atuais, por outro, coloca em xeque parte das ferramentas de que se dispõem para orientar o projeto de edificações eficientes.

Outro problema das abordagens atuais e de suas ferramentas, os diagramas, são os procedimentos para sua aplicação, baseados em apenas uma análise do contexto climático. A partir dela, recomendam uma série de artifícios. No entanto, a utilização de um artifício pode resultar na não necessidade de outros, pois os artifícios utilizados para condicionamento térmico impactam uns aos outros. Por exemplo, em climas com temperaturas médias confortáveis e grandes amplitudes térmicas diárias (ΔT_d), a aplicação do diagrama de Givoni pode indicar os artifícios: a) resfriamento mecânico; b) ventilação; c) capacidade térmica; d) aquecimento solar; e e) aquecimento artificial. Ocorre que aumentar a inércia térmica (c) para reduzir as amplitudes térmicas diárias (ΔT_d) pode eliminar ou reduzir grandemente a demanda por resfriamento (a) e/ou aquecimento (d e e), sem que sejam necessárias outras medidas. Devido ao descrito, abordagens com mais etapas de análise, possibilitando reavaliar demandas, podem ser mais acertadas.

Uma das potencialidades que surgem com análises em mais do que uma etapa é a incorporação de ferramentas de simulação/predição de temperaturas internas em edificações, sob a forma de programas computacionais ou de equações preditivas (KRÜGER *et al.*, 2017).

Diante da necessidade de revisão das abordagens e ferramentas listadas, elaborou-se uma ferramenta fundamentada no modelo adaptativo da ANSI/ASHRAE Standard – 55 (ASHRAE, 2020) e um procedimento alternativo, realizado em duas ou mais etapas e incorporando a simulação de um ambiente interno hipotético. No texto com o primeiro esboço para a ferramenta e para o procedimento (FERNANDES, 2019), os resultados obtidos para o clima de Belo Horizonte foram comparados com os obtidos quando utilizado o diagrama de Givoni (GIVONI, 1992). A comparação de resultados indicou que o diagrama e o método proposto apresentam resultados diferentes dos obtidos quando utilizado o diagrama de Givoni, dando maior enfoque para o papel da inércia térmica.

Em um segundo momento, o diagrama e os procedimentos propostos foram revisados. A revisão resultou na reestruturação dos procedimentos e na adoção de dois diagramas: um para uma análise inicial, visando diretrizes primárias, denominado Diagrama Antropoclimático 1 (DA1); e outro para análises posteriores, visando diretrizes secundárias e refinamentos destas, denominado Diagrama Antropoclimático 2 (DA2). Os diagramas e o procedimento foram publicados em um artigo abordando

o contexto climático de Curitiba/PR e visando diretrizes de projeto para uma pequena edificação (FERNANDES, 2020). Também neste estudo, os dados obtidos foram comparados com os retornados pelo diagrama de Givoni. A comparação mostrou que a aplicação dos diagramas antropoclimáticos em duas etapas foi acertada, evidenciando que, no caso de Curitiba, o atendimento à demanda por maior inércia impacta significativamente as demandas pelas demais estratégias recomendadas pela ferramenta de Givoni na primeira análise, reduzindo-as, o que justifica a sua prioridade. Também foram observadas outras diferenças, como o fato de os diagramas antropoclimáticos não indicarem necessidade de resfriamento para o clima curitibano, enquanto a ferramenta de Givoni apresenta essa necessidade em 11% das horas do ano.

Quanto ao DA2, cabe reforçar que ele pode ser reaplicado sempre que forem gerados novos dados, resultantes da simulação da introdução de uma nova estratégia para condicionamento térmico. Esse aspecto do procedimento enfatiza a ideia de encarar a elaboração do projeto arquitetônico como um processo sequencial, de refinamento e com a possibilidade de revisão de decisões e de alteração. Alternativamente, o DA2 também foi pensado para ser uma ferramenta para avaliações pós-ocupação – APO.

Conforme Fernandes (2020), a abordagem proposta visa apoiar o processo de projeto de pequenas edificações com consumo energético quase nulo (nZEB) e tem também como objetivo colaborar para a construção de alternativas nacionais, adequadas às práticas projetuais e aos problemas brasileiros.

Na ocasião da apresentação do DA1 e do DA2 (FERNANDES, 2020), a abordagem foi testada e comparada com a baseada no diagrama de Givoni tendo em conta o clima de Curitiba/PR. No entanto, para sua validação, é necessário que também seja demonstrada a sua aplicabilidade a outros climas brasileiros e que, para além de se apresentar análises estatísticas, apresentem-se projetos arquitetônicos elaborados segundo essa abordagem. Por isso, este artigo teve como objetivo apresentar os resultados da aplicação dos DA1 e DA2 ao clima de Fortaleza/CE e o projeto arquitetônico de uma habitação unifamiliar elaborado segundo orientações obtidas da análise desses resultados.

2 Procedimentos

O projeto da habitação aqui apresentado foi elaborado como atividade da disciplina “Tópicos Emergentes III: Abordagem Antropoclimática do Projeto de Edificações” do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPR.

2.1 Programa da habitação

A fim de testar e demonstrar a aplicação dos procedimentos relativos ao DA1 e ao DA2, tomou-se como objeto o projeto de uma habitação unifamiliar. Considerou-se como cliente uma família hipotética composta por um casal e um filho adolescente.

A edificação apresenta a seguinte setorização em função das atividades previstas:

- ♦ Íntimo: um quarto de casal com banheiro e um quarto para o filho.
- ♦ Social: uma sala de estar/jantar, um escritório e um banheiro social.
- ♦ Serviços: uma cozinha/copa, uma lavanderia e uma garagem.

Como condicionantes locais, considerou-se que a edificação seria proposta para um terreno de meio de quadras, plano, com frente (com 20 m de largura) orientada para leste e com laterais (com 35 m de profundidade) para norte e sul. O projeto observa recuo frontal de 5,0 m e as paredes que possuísssem aberturas deveriam respeitar recuos (1,5 m) das divisas laterais.

2.2 Localidade

Fortaleza está localizada no litoral norte do Estado do Ceará, a 3°46' de latitude sul e 38°33' de longitude oeste, ocupando uma área de aproximadamente 314 km². Sua temperatura média é 26,7°C, com máxima por volta de 30,2°C e mínima de 23,5°C (PETALAS, 2014).

Fortaleza apresenta tipo climático Aw (tropical com estação seca no período de inverno), da classificação de Köppen. Trata-se da região pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso, com temperatura média do mês mais frio maior ou igual a 18 °C e precipitação do mês mais seco menor que 30 mm, onde a época mais seca ocorre no inverno e o máximo de chuvas ocorre no outono. Caracteriza-se por ser um clima úmido a subúmido, com grande deficiência no inverno, megatérmico, e a concentração dos três meses de verão responsável por 25,4% da evapotranspiração potencial normal (AGUIAR et al., 2003).

2.3 Dados de entrada

Como dados de entrada, foram utilizadas as temperaturas externas do ar ($T_{a\ ex}$) de base horária e a latitude local. Estes dados foram obtidos de um arquivo do tipo EPW (*EnergyPlus Weather File*) elaborado por Maurício Roriz, correspondendo ao ano 2009, selecionado do período 2001 – 2009, originalmente disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e medidos na estação meteorológica de número 817580, localizada no Aeroporto Internacional de Fortaleza - Pinto Martins. O arquivo de dados está disponível no site https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA/Fortaleza_CE_BRA.

Complementarmente, para as análises também foram considerados os diagramas carta solar e rosa dos ventos (frequência de ocorrência).

2.4 Aplicação dos diagramas antropoclimáticos

A fim de obter dados para orientar o processo de projeto da habitação, foram seguidos os passos sugeridos por Fernandes (2020). Para isso, foi utilizada a ferramenta Antropo (V. 1.01), desenvolvida no editor de planilhas Microsoft Excel.

No Antropo, os dados de entrada ($T_{a\ ex}$ e latitude) foram processados para obtenção das variáveis: Temperaturas médias diárias ($T_{a\ ex\ m}$); Amplitudes térmicas diárias (ΔT_d); Temperaturas médias móveis dos últimos 30 dias ($T_{a\ ex\ m\ m}$) e Temperaturas operativas neutras ($T_{o\ conf}$).

2.4.1 Diagrama antropoclimático 1 (DA1)

A plotagem de dados sobre o DA1 corresponde à primeira etapa do processo. Para isso, os dados do ambiente externo são considerados como se de um ambiente interno hipotético, sem inércia térmica, plenamente integrado com o exterior, sombreado e com grandes aberturas (Figura 1).

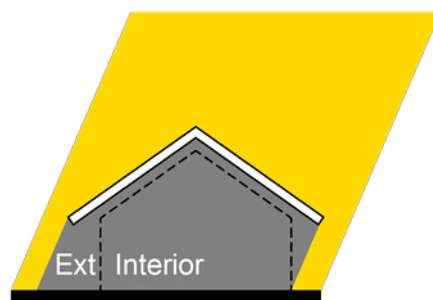


Figura 1 – No diagrama antropoclimático 1 (DA1), o ambiente externo é considerado como equivalente a um ambiente interno hipotético, sem inércia térmica, sombreado e com grandes aberturas.

Fonte: Antropo 1.01.

A ideia é que esse ambiente original seja transformado ao longo do projeto, no transcorrer de etapas sucessivas, para que suas temperaturas operativas e amplitudes térmicas diárias venham a corresponder ao recomendado para ambientes internos considerando o modelo adaptativo utilizado (FERNANDES, 2020).

Os objetivos principais desta etapa são: obter o Nível de Inércia Térmica Relativo Recomendado (NITRR) para o clima em questão; e obter orientações sobre o sistema construtivo apropriado para o clima local (para moderar as amplitudes térmicas diárias e regular os ganhos/perdas térmicas).

A depender do NITRR, esse sistema construtivo pode apresentar diferentes configurações quanto à:

- a. Capacidade térmica e isolamento capacitivo, como leve (madeira) (Figura 2), intermediário (alvenaria sem reboco) e pesado (alvenaria com reboco) (Figura 3);
- b. Isolamento resistivo (sistemas com camadas extras isolantes).

Conhecendo-se o NITRR, o Antropo calibra seu modelo de simulação (KRÜGER et al., 2017), ajustando o impacto das variações das temperaturas sobre as variações das temperaturas internas, e gera dados horários para a edificação hipotética já com o nível de inércia térmica (NIT) ajustado. Estes dados foram utilizados na próxima etapa de análise (plotagem sobre o DA2).



Figura 2 – Edificação hipotética com sistema construtivo leve.
Fonte: Autoria própria.



Figura 3 – Edificação hipotética com sistema construtivo pesado.
Fonte: Autoria própria.

A partir do DA1 e da latitude local, o Antropo também produz relatórios estatísticos sobre: as amplitudes térmicas diárias, as temperaturas operativas internas, dias representativos do clima local e os horários do nascer e do pôr do sol.

2.4.2 Diagrama antropoclimático 2 (DA2)

Nesta etapa, são plotados sobre o DA2 os dados simulados (temperaturas internas horárias) para uma edificação hipotética já com o nível de inércia térmica (NIT) recomendado para o clima local (Figura 4). Neste momento, o ambiente interno da edificação hipotética já apresenta diferenças em relação ao ambiente externo.

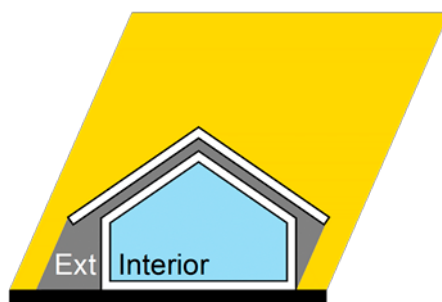


Figura 4 – No diagrama antropoclimático 2 (DA2), o ambiente interno apresenta comportamento diferente do externo.

Fonte: Antropo 1.01.

O objetivo desta etapa é obter recomendações sobre a demanda do ambiente hipotético por:

- a. Resfriamento artificial;
- b. Aumento da velocidade do ar;

- c. Preservar as condições atingidas (manter condições adequadas);
- d. Aquecimento solar;
- e. Aquecimento artificial;
- f. Sombreamento / Exposição ao Sol.

Para o trabalho aqui apresentado foi realizada a simulação térmica de apenas um ambiente hipotético inicial, similar a uma célula-teste. Mas, havendo possibilidade, após a segunda análise de dados, pode ser elaborado um modelo detalhado da edificação para simulação térmica a fim de se obter dados para uma terceira fase de análise utilizando novamente o DA2. Ou seja, caso seja gerado um modelo para simulação térmica com as características de projeto definidas pelos arquitetos, é recomendável simular o comportamento térmico da edificação e plotar os dados simulados novamente no DA2, o que pode direcionar ajustes finos no projeto.

Como acontece com o DA1, a partir do DA2, o Antropo também produz relatórios estatísticos sobre as amplitudes térmicas diárias internas, as temperaturas operativas internas e o desempenho térmico esperado para a edificação hipotética em dias representativos do clima local.

2.5 Outras ferramentas de apoio para o processo de projeto

Também foram utilizadas como ferramentas de apoio para o processo de projeto: uma planilha elaborada no software Excel (Microsoft) para visualização da direção dos ventos (frequência de ocorrência); a carta solar, produzida na ferramenta on-line Sun-Path (<http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html>); e as ferramentas para projeção de sombras do programa Revit, versão 2021 (Autodesk) (Figura 5).

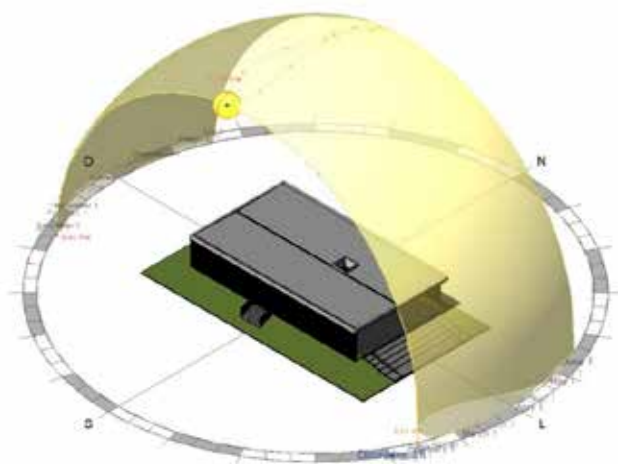


Figura 5 - Ferramenta para projeção de sombras do programa Revit (Autodesk).

Fonte: Elaborado pelos autores no programa Revit.

3 Resultados

3.1 Plotagem dos dados de Fortaleza sobre o Diagrama Antropoclimático 1 (DA1)

A plotagem dos dados horários sobre o DA1 (figura 6) mostrou que as temperaturas locais apresentam flutuação baixa, com amplitudes térmicas diárias raramente excedendo 10 °C. Observando o eixo vertical no lado direito do diagrama, o nível de inércia térmica relativo recomendado (NITRR) para a localidade é aproximadamente 1, o que, segundo Kramel (2021), corresponde a sistemas construtivos leves.

A plotagem das temperaturas médias diárias (Figura 7) mostrou que, em praticamente todos os dias do ano, elas se situam sobre a faixa de temperaturas adequadas para o interior de edificações.

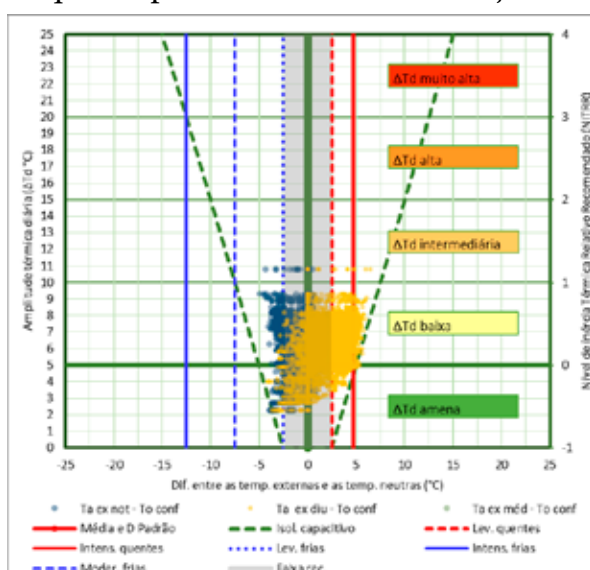


Figura 6 - Diagrama antropoclimático 1 (DA1), temperaturas operativas horária para Fortaleza/CE.

Fonte: Antropo 1.01.

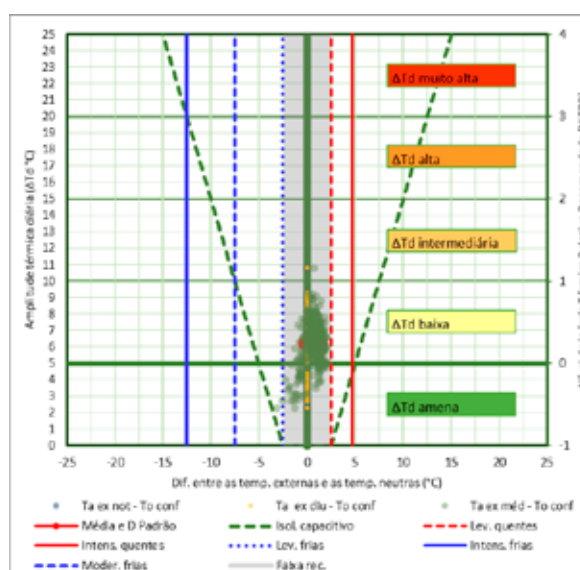


Figura 7 - Diagrama antropoclimático 1 (DA1), temperaturas operativas médias diárias para Fortaleza/CE.

Fonte: Antropo 1.01.

Observando em detalhe as amplitudes térmicas diárias (Figura 8), percebe-se uma distribuição próxima da normal, com maior frequência de ocorrência de ΔT_d entre 6 °C e 7 °C. Para atingir o NITRR, a ferramenta recomenda que sejam utilizados sistemas construtivos por ela chamados de tipo 2, sem necessidade de camada extra de isolamento térmico resistivo para frio ou calor (Figura 9). O sistema tipo 2 é recomendado para climas onde as temperaturas médias diárias fiquem predominantemente na faixa recomendada para o interior de edificação, o que ocorre em 98,1 % dos dias do ano em Fortaleza. Caso houvesse a necessidade de camada extra de isolamento resistivo para frio (quando as temperaturas médias diárias ficam à esquerda da faixa recomenda), o sistema seria do tipo 1. Se houvesse demanda para

isolamento para calor (quando as temperaturas médias diárias ficam à direita da faixa recomendada), o sistema construtivo seria o tipo 3.

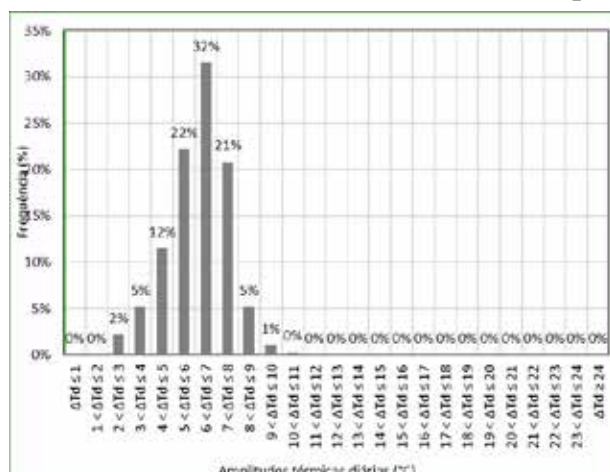


Figura 8 – Amplitudes térmicas diárias em Fortaleza/CE.

Fonte: Antropo 1.01.

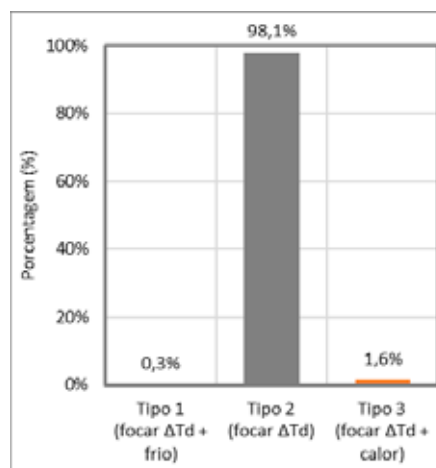


Figura 9 – Tipo de sistema construtivo recomendado para Fortaleza/CE.

Fonte: Antropo 1.01.

Ao longo do ano, conforme observado no DA1, grande parte das temperaturas horárias também se encontra na faixa de temperaturas recomendada para o interior de edificações. Essa situação se repete em todos os meses do ano (Figura 10). Porém, quando observados em separado os períodos diurno e noturno (Figura 11), percebe-se que o período noturno apresenta bem mais horas com temperaturas adequadas para o interior de edificações do que o período diurno.

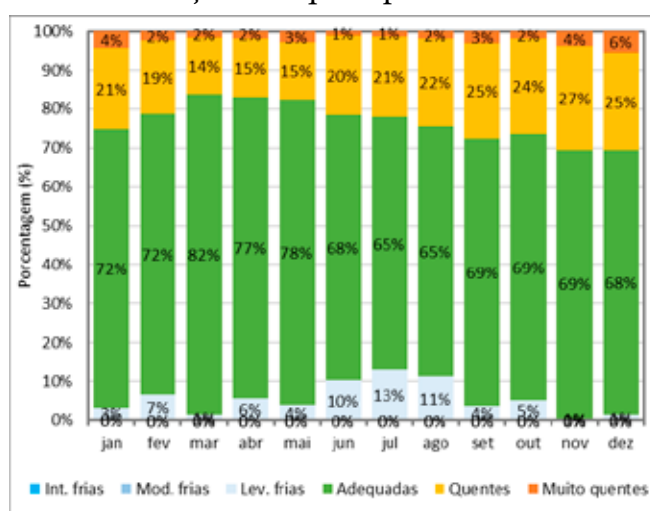


Figura 10 - Classificação das temperaturas operativas ao longo dos meses do ano na primeira etapa de análise.

Fonte: Antropo 1.01.

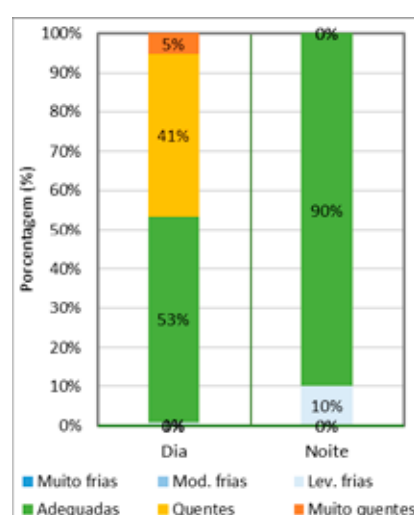


Figura 11 - Classificação das temp. operativas nos períodos diurno e noturno na 1ª etapa de análise.

Fonte: Antropo 1.01.

3.2 Plotagem dos dados simulados para o ambiente hipotético sobre o Diagrama Antropoclimático 2 (DA2)

Definido o nível de inércia térmica para a edificação e, considerando um sistema construtivo leve (alvenaria sem reboco), foram simuladas as temperaturas operativas internas para o período de um ano. Estas temperaturas foram plotadas sobre o DA2 para a segunda rodada de análises.

A plotagem das temperaturas operativas horárias simuladas para a edificação hipotética (Figura 12) revelou que aumentar o nível de inércia térmica reduziu significativamente a flutuação dessas temperaturas, concentrando-as ainda mais sobre a faixa de temperaturas recomendadas. Quanto às médias diárias das temperaturas operativas simuladas (Figura 13), não apresentaram maiores diferenças quando comparadas com as médias originais (da etapa anterior – DA1).

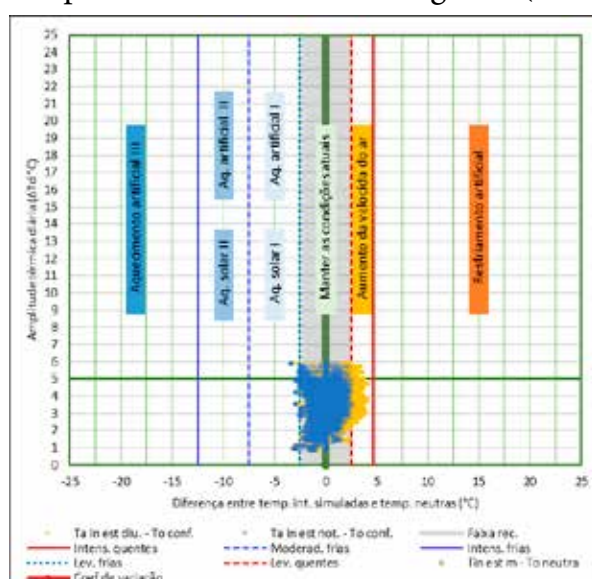


Figura 12 - Diagrama antropoclimático 2 (DA2), temperaturas operativas horárias simuladas para uma edificação hipotética em Fortaleza/CE.

Fonte: Antropo 1.01.

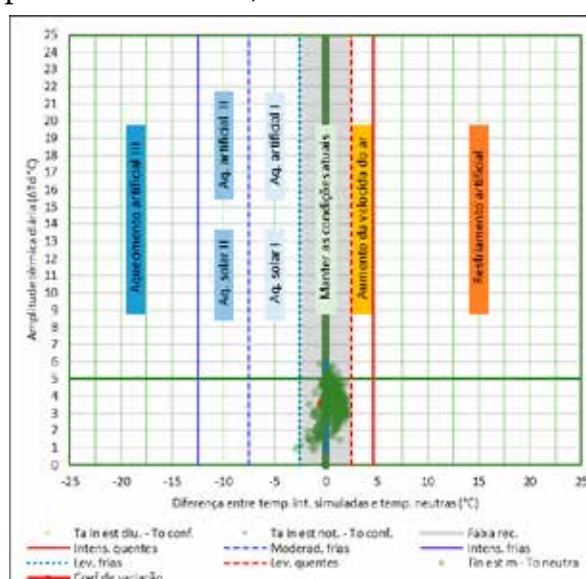


Figura 13 - Diagrama antropoclimático 2 (DA2), temperaturas operativas médias diárias simuladas para uma edificação hipotética em Fortaleza/CE.

Fonte: Antropo 1.01.

Quanto às amplitudes térmicas diárias internas, elas passaram a ser menores ou iguais a 5 °C em 95 % dos dias e as amplitudes com maior ocorrência passaram a ser as entre 3 °C e 4 °C (Figura 14).

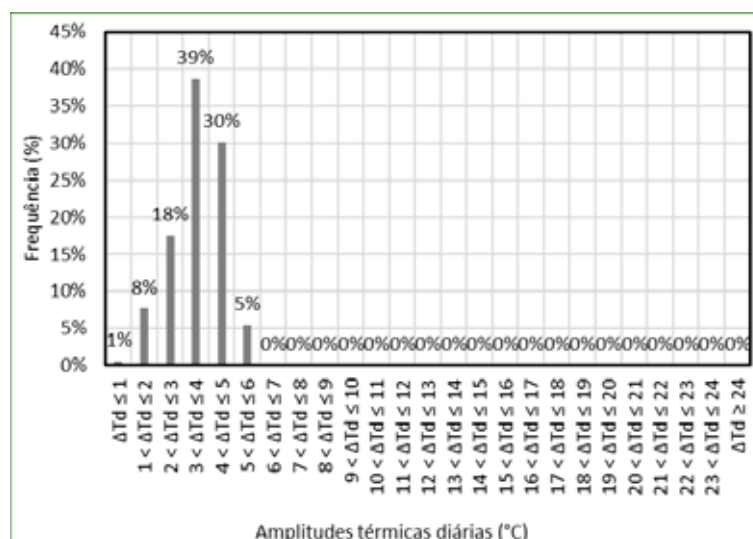


Figura 14 – Amplitudes térmicas diárias da edificação hipotética cujas temperaturas foram simuladas para Fortaleza/CE.

Fonte: Antropo 1.01.

Quando as temperaturas internas simuladas para a edificação hipotética foram classificadas, percebeu-se que o simples aumento da inércia térmica aumentou o número de horas na faixa de temperaturas recomendadas em todos os meses do ano (Figura 15). O mesmo aumento foi observado quando analisados os períodos diurno e noturno (Figura 16).

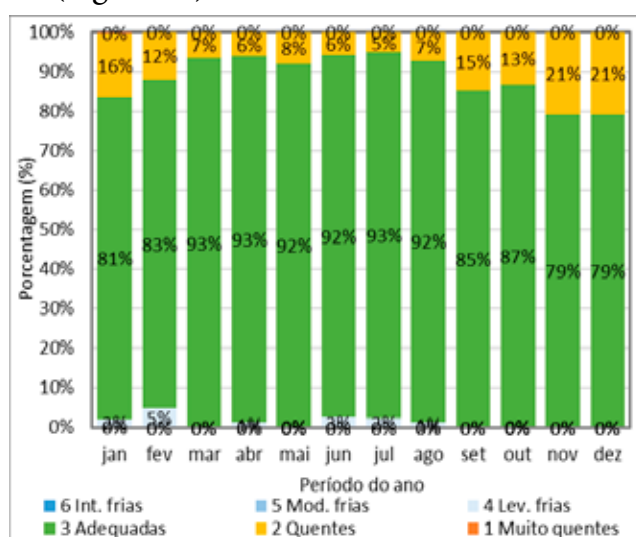


Figura 15 - Classificação das temperaturas operativas internas da edificação hipotética simuladas para 12 meses.

Fonte: Antropo 1.01.

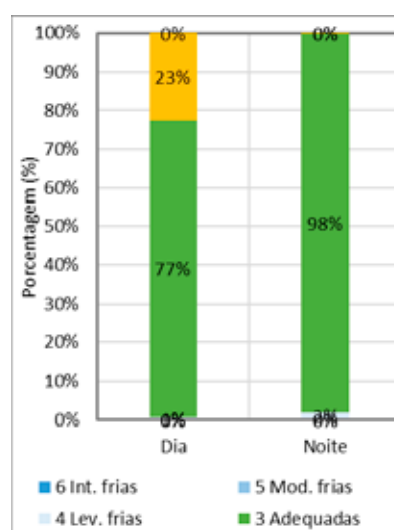


Figura 16 - Classificação das temp. operativas internas da edificação hipotética simuladas: períodos diurno e noturno.

Fonte: Antropo 1.01.

Após a análise dos dados simulados, nesta segunda etapa, a ferramenta faz novas recomendações para os projetistas abordando outros aspectos. Quanto à demanda por sombra (Figura 17), a ferramenta recomenda que os ambientes internos sejam

protegidos da radiação solar direta em 99,5 % das horas diurnas. Por fim, recomenda aos projetistas que 1º) tomem medidas para preservar as temperaturas internas que já estão dentro da faixa recomendada em 87 % das horas do ano (neste caso, por medidas preventivas, pode-se entender como medidas para evitar o superaquecimento); 2º) criem condições para que possa haver incremento da ventilação (natural ou por ventiladores), necessário em 11 % das horas (Figura 18). A princípio, a ferramenta não aponta demanda por resfriamento ou aquecimento artificial.

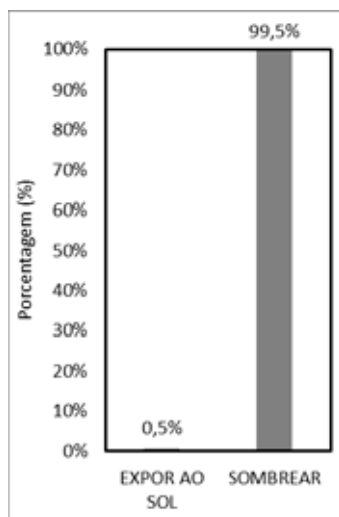


Figura 17 - Demanda do ambiente hipotético simulado por sombreamento / exposição ao sol.

Fonte: Antropo 1.01.

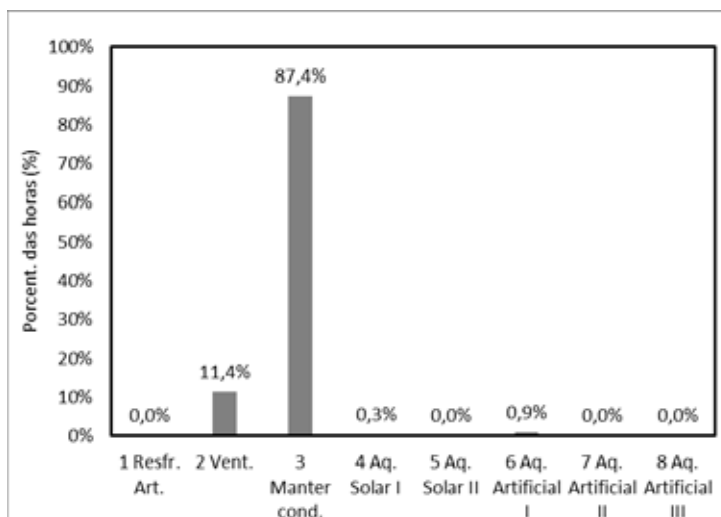


Figura 18 - Classificação das temperaturas operativas internas da edificação hipotética simuladas para 12 meses.

Fonte: Antropo 1.01.

3.3 Rosa dos ventos e carta solar

Como ferramentas complementares ao processo de análise, também foram considerados os diagramas rosa dos ventos (frequência de ocorrência) e a carta solar da localidade.

A rosa dos ventos (Figura 19) indicou que durante a primavera, o verão e o inverno, embora ocorram ventos de diferentes direções, predominam os oriundos do leste.

Quando analisada a carta solar (Figura 20), percebe-se que as laterais norte e sul são facilmente protegidas, cabendo maior preocupação com a radiação solar oriunda do leste e do oeste.

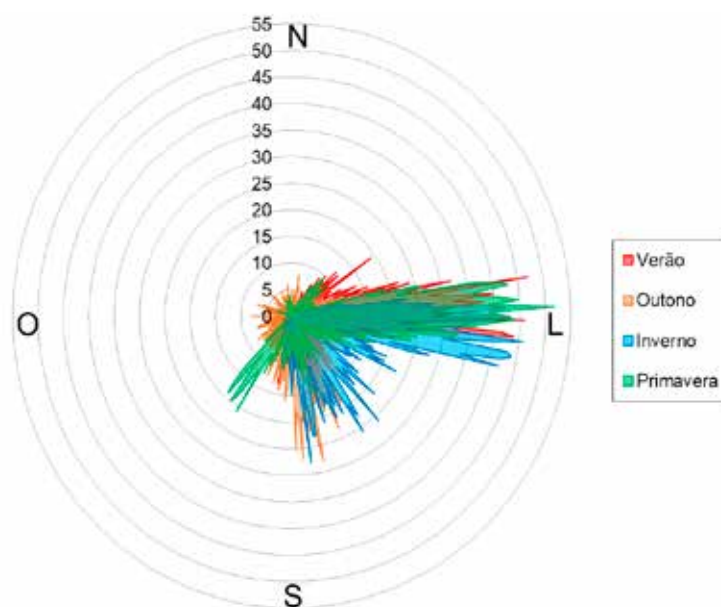


Figura 19 – Rosa dos ventos para a localidade de Fortaleza / CE (ano 2009).

Fonte: Autoria própria.

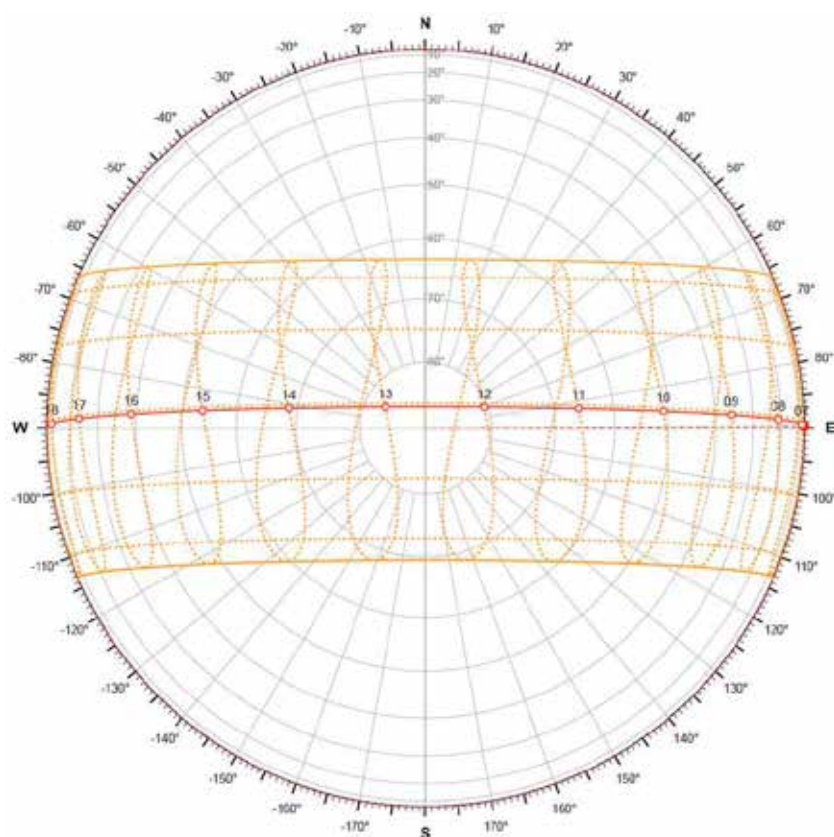


Figura 20 - Carta solar para a localidade de Fortaleza / CE.

Fonte: <http://andrewmarsh.com/apps/releases/sunpath2d.html>.

3.4 Aplicação das recomendações no projeto arquitetônico de uma habitação unifamiliar no clima de Fortaleza

Considerando as orientações da primeira etapa (DA1), que apontaram que não havia demanda por altos níveis de inércia térmica (NIT) porque o clima é relativamente estável, a envoltória foi, em sua maior parte, resolvida com componentes leves. Parte das paredes foi composta por esquadrias metálicas e panos de vidro e a parte da frente (leste) por alvenaria revestida por um ripado de madeira para prevenir o aquecimento durante a manhã. Para a cobertura, optou-se por telhas claras do tipo sanduíche (por seu potencial para isolamento resistivo e refletivo). Para o forro foi especificado lambril de madeira. Entre o forro e a cobertura, criou-se uma câmara de ar, também para prevenir o sobreaquecimento.

A implantação no terreno resultou em uma edificação alongada (Figura 21), com as faces menores voltadas para leste e oeste a fim de minimizar os ganhos por radiação solar direta e para potencializar o uso das laterais norte e sul, nas quais é mais fácil gerar sombras.

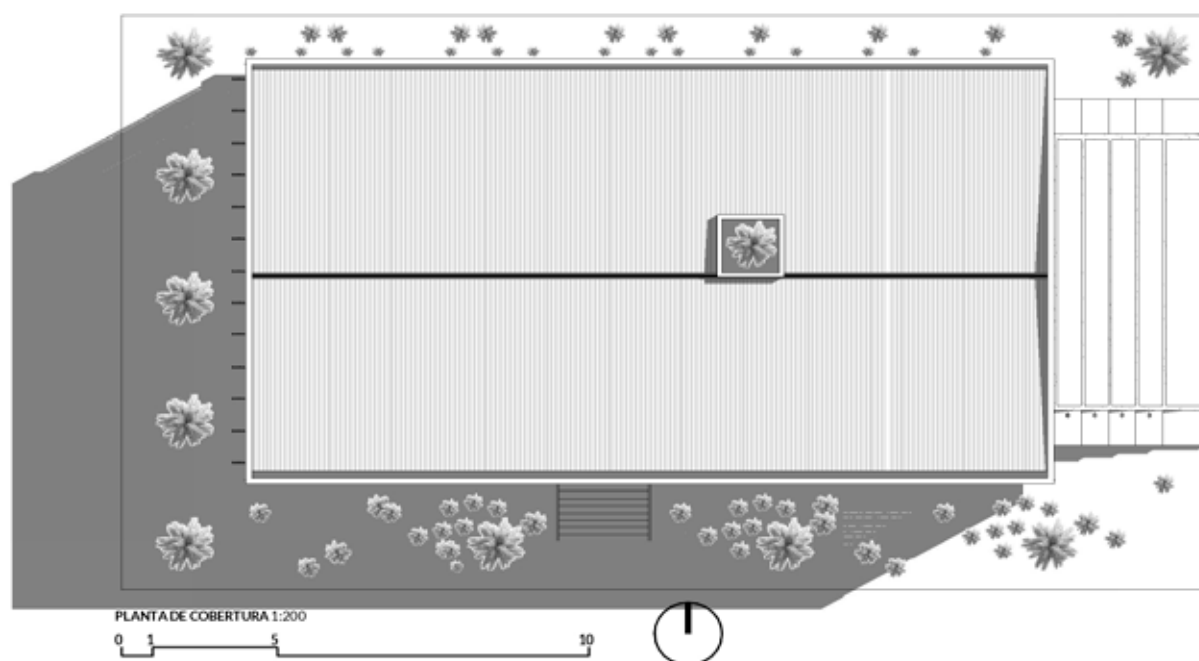


Figura 21 - Planta de cobertura.

Fontes: Autoria própria.

Para a disposição dos ambientes internos, levou-se em conta principalmente a análise realizada na segunda etapa, considerando a simulação do ambiente interno de uma edificação hipotética (DA2). Esta análise apontou a necessidade de sombreamento, de manutenção das temperaturas internas dentro da faixa recomendada (prevenção do sobreaquecimento) e da necessidade de ventilação (natural ou mecânica) em parte das horas dos dias. Buscando atender estas orientações, foram tomadas as seguintes medidas: a) Os ambientes internos foram agregados em um volume único, que foi

completamente circundado por uma grande galeria (Figura 22). A profundidade dessa galeria visa garantir sombreamento. Externamente, essa galeria foi limitada por painéis de madeira, vazados e móveis, com a função de regular a incidência solar e de permitir a ventilação natural. B) Internamente, optou-se por ambientes contíguos, limitando a instalação de paredes divisórias ao mínimo necessário (Figura 23). A associação da conexão entre os ambientes internos com possibilidade de tornar a envoltória permeável, garante o controle da ventilação natural para os usuários.

Na face leste (Figura 23), a parede situada na frente da edificação foi proposta como um elemento de alvenaria revestido por um ripado painel de madeira. O ripado tem a função de proteger a alvenaria da radiação solar incidente e de funcionar como um dissipador de calor. Também para facilitar a extração de calor, a região entre os banheiros/closet/lavanderia recebeu um fosso de ventilação. Para a face oeste foram propostos painéis de madeira pivotantes com a função de proteger os ambientes internos da incidência solar no final da tarde e de permitirem visual durante o restante do dia.

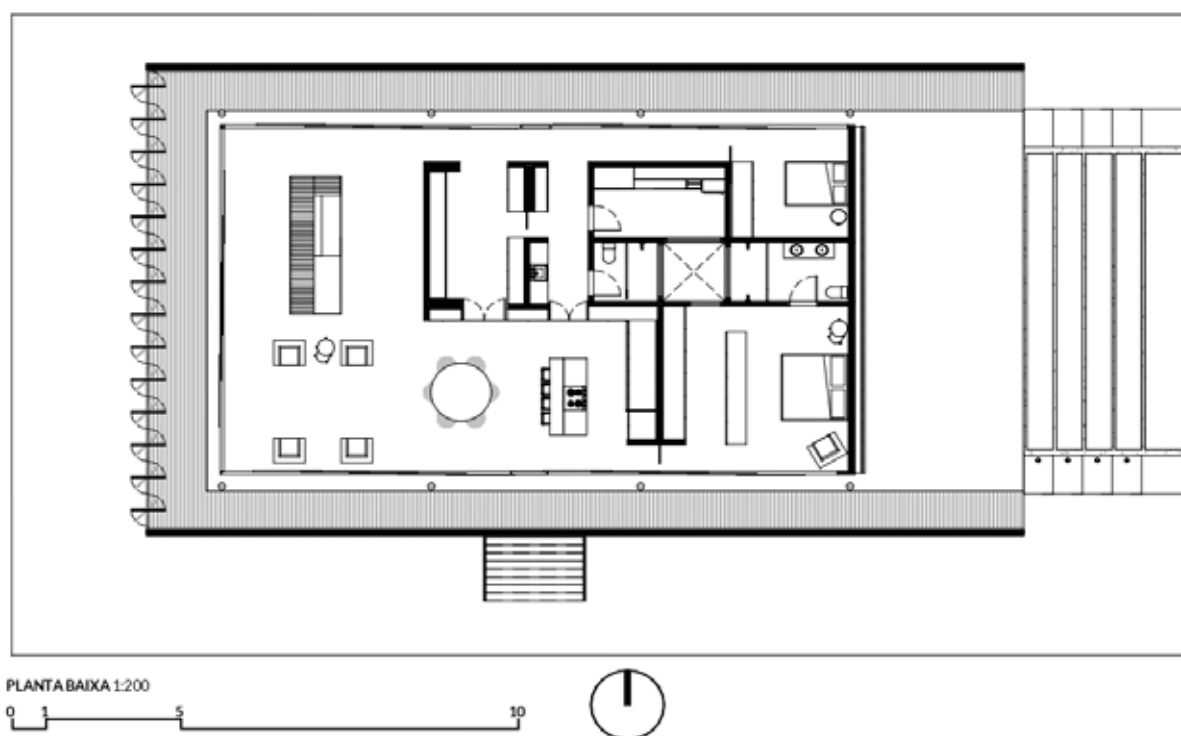


Figura 22 - Planta baixa.

Fonte: Autoria própria.

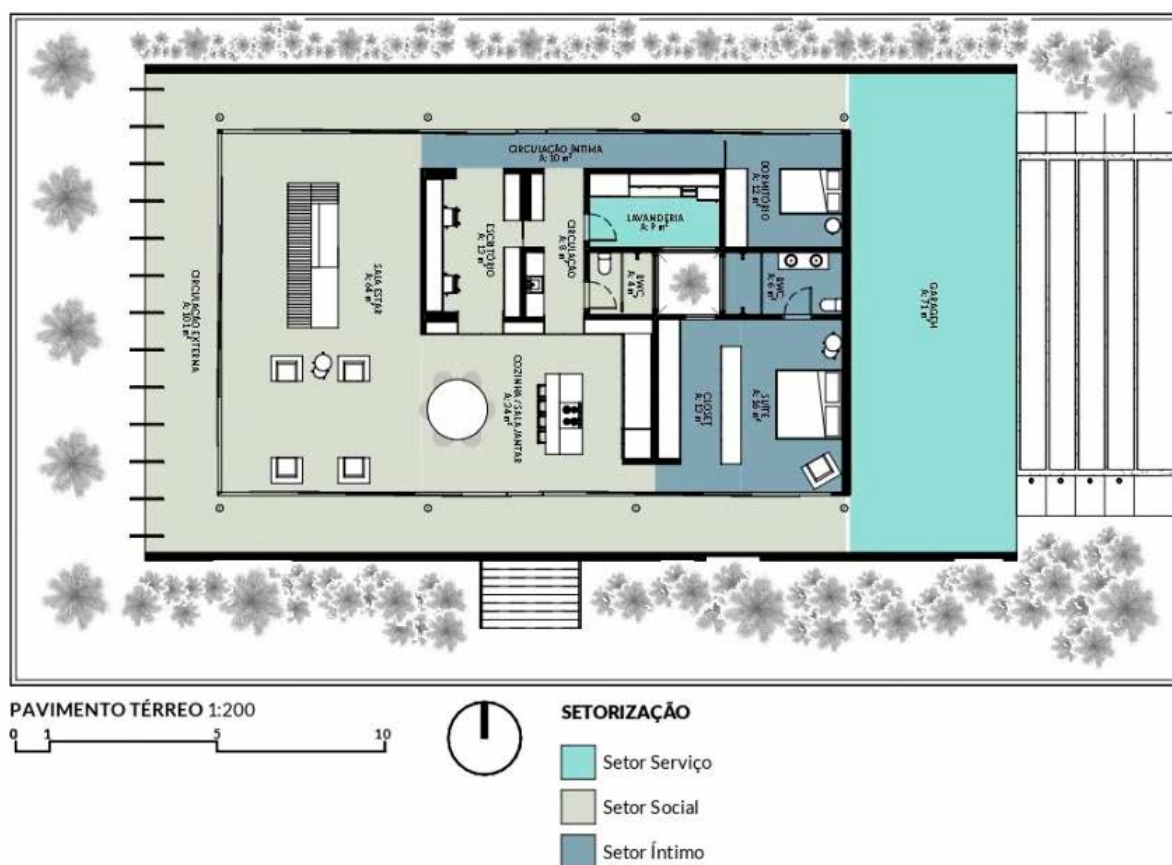


Figura 23 - Planta baixa com setorização.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 24 e a Figura 25, cortes transversal e longitudinal da edificação, mostram o forro ventilado, a cobertura leve, as galerias laterais e o volume único interno. A câmara de ar ventilada entre o forro e a cobertura tem dupla função: minimizar os ganhos de calor por condução; e maximizar as perdas térmicas por convecção.

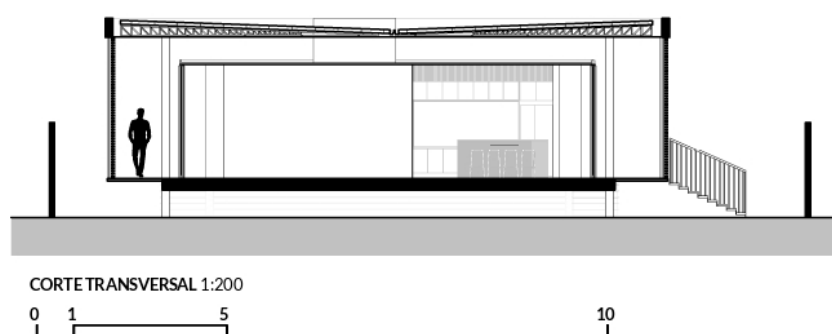


Figura 24 - Corte transversal.

Fonte: Autoria própria.

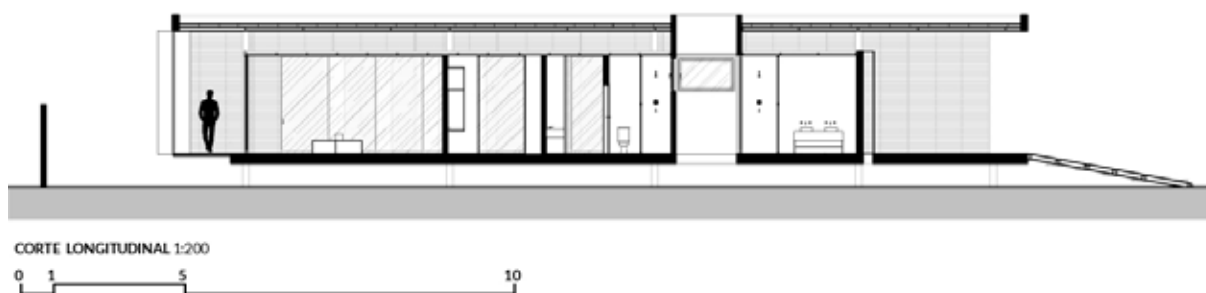
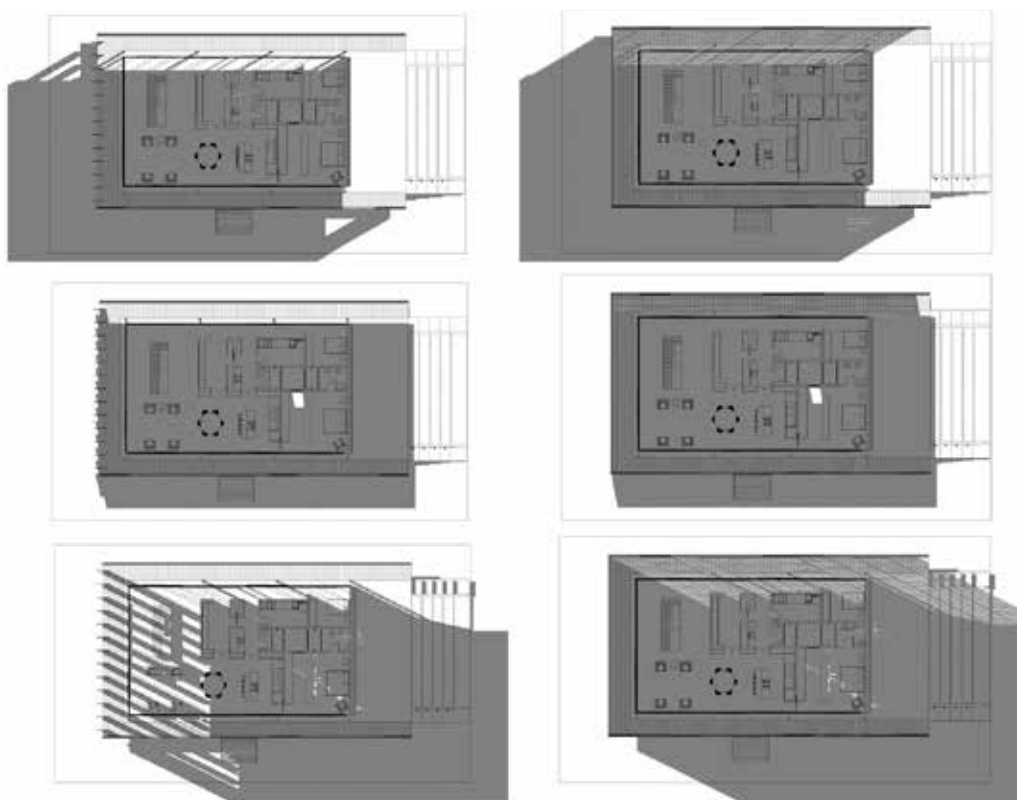


Figura 25 - Corte longitudinal.

Fonte: Autoria própria.

3.4.1 Sombreamento

Diante das diretrizes apontadas pelo DA2 de proteger (em 87,4% do tempo) as condições ambientais do ambiente interno atingidas com o aumento da inércia térmica, se sombreado e vedado, prevenindo especialmente o sobreaquecimento, e de propiciar sombreado (em 99,5% das horas diurnas), projetou-se um envelope operável que garantisse, ao mesmo tempo, sombra e permeabilidade. A Figura 26 apresenta a projeção das sombras no solstício de inverno quando os painéis estão abertos (A) e fechados (B).

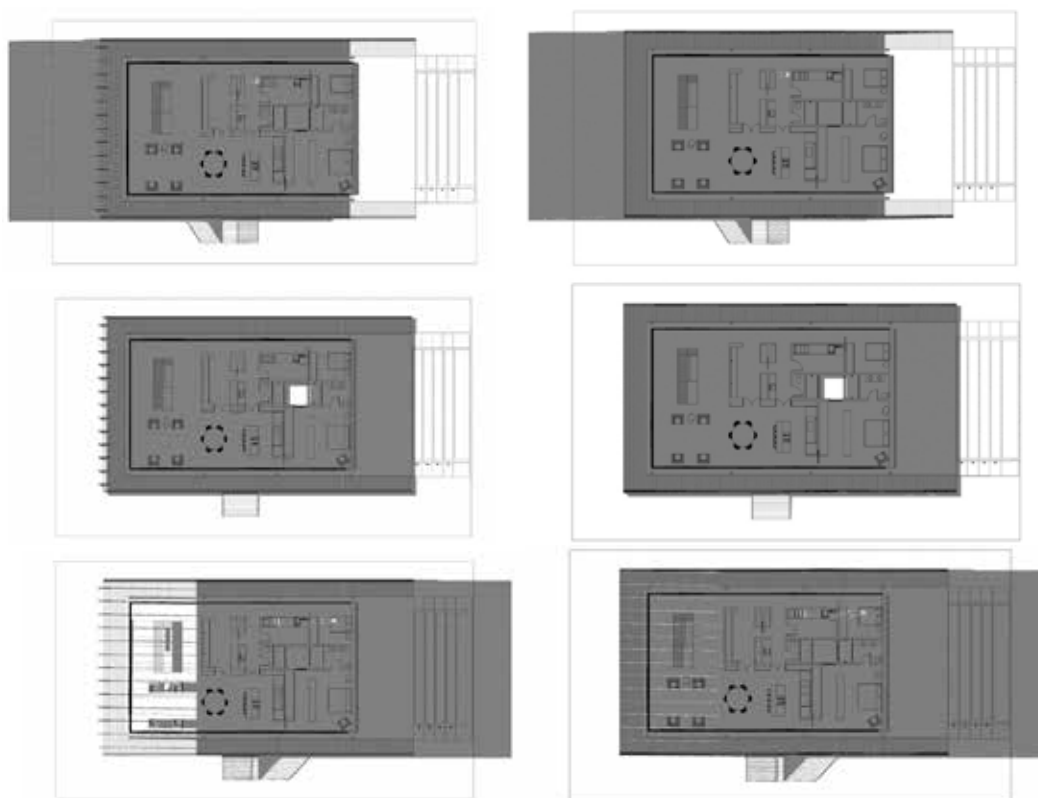


A) Painéis para sombreado abertos. B) Painéis para sombreado fechados.

Figura 26 - Sombreamento no Solstício de Inverno, às 8:00, 12:00 e 16:00 horas.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 27 apresenta a projeção das sombras nos equinócios, quando os painéis estão abertos (A) e quando estão fechados (B).



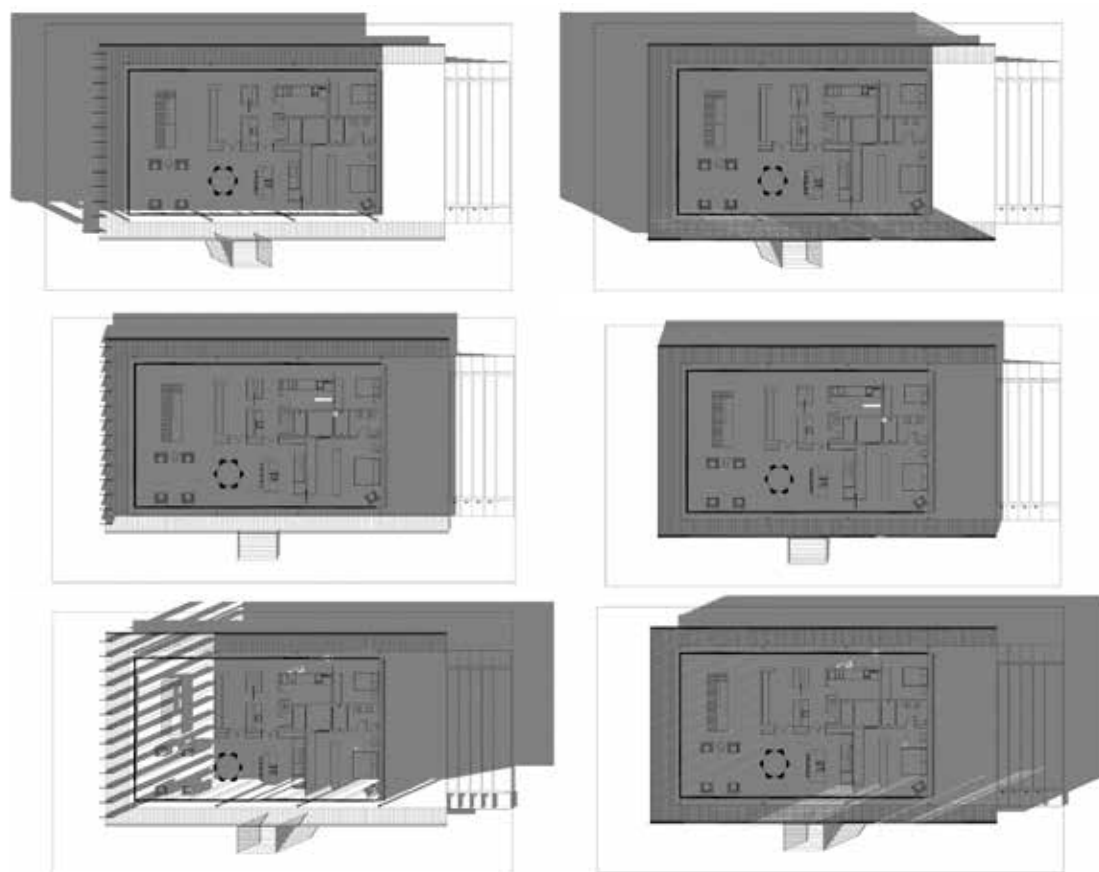
A) Painéis para sombreamento abertos.

B) Painéis para sombreamento fechados.

Figura 27 - Sombreamento nos Equinócios de Primavera e Outono, às 8:00, 12:00 e 16:00 horas.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 28 apresenta a projeção das sombras nos solstícios, quando os painéis estão abertos (A) e quando estão fechados (B). É possível observar que na maior parte do tempo, mesmo com os painéis abertos, os ambientes internos são sombreados. No entanto, o sombreamento é ainda maior quando os painéis são fechados (o que não impede a ventilação).



A) Painéis para sombreamento abertos. B) Painéis para sombreamento fechados.

Figura 28 - Sombreamento no Solstício de Verão, às 8:00, 12:00 e 16:00 horas.

Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Ventilação

Considerando a diretriz apontada pelo DA2, de criar condições para que os usuários possam promover a ventilação (mecânica ou natural) dos ambientes (necessária em 11% do tempo), o envelope e o layout interno foram projetados para serem permeáveis. Essa permeabilidade é mostrada na planta baixa (Figura 29) e nos cortes (Figura 30 e Figura 31).



Figura 29 - Permeabilidade aos ventos (planta baixa).

Fonte: Autoria própria.

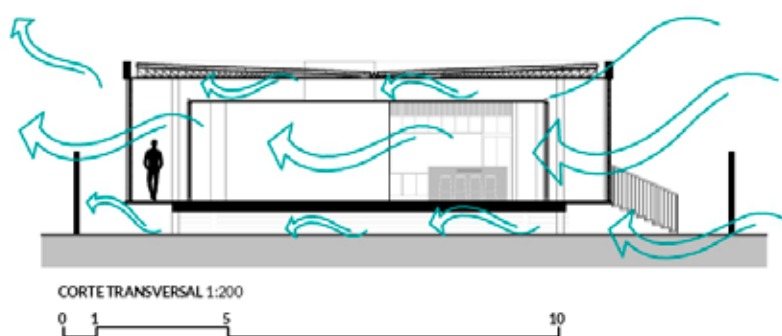


Figura 30 - Permeabilidade aos ventos (corte transversal).

Fonte: Autoria própria.

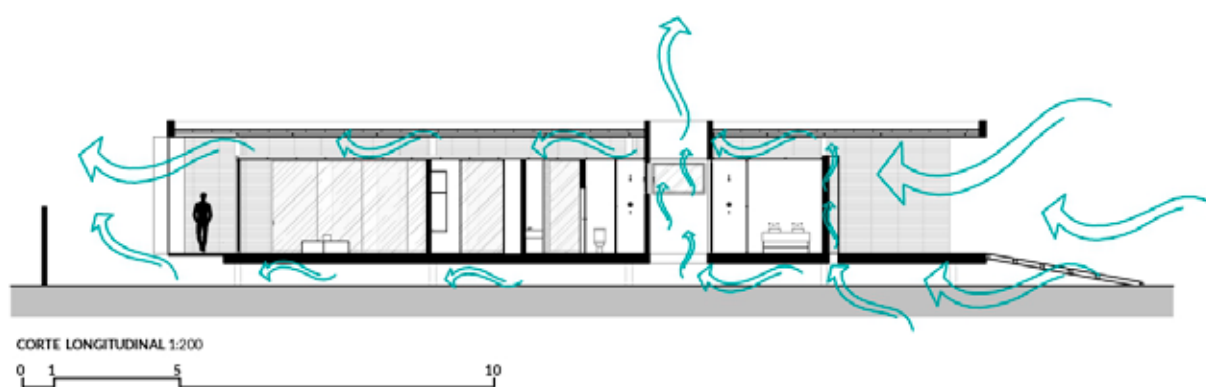


Figura 31 - Permeabilidade aos ventos (corte longitudinal).

Fonte: Autoria própria.

3.4.3 Exterior da edificação

A Figura 32, apresentando a frente da edificação (leste), mostra a parede leste para proteção contra a incidência de radiação solar, os painéis laterais móveis, a cobertura avançando na direção leste, propiciando sombreamento e proteção para as vagas de garagem, e as galerias laterais. Para além de servirem de elementos para sombreamento, os painéis laterais se integram ao projeto agregando valor estético e servindo como barreiras permeáveis, o que transforma as varandas em espaços de transição entre o interior e o exterior da edificação.



Figura 32 - Vista frontal (Norte).

Fonte: Autoria própria.

Na lateral sul é possível visualizar os painéis vazados para proteção contra a incidência de radiação solar (Figura 33) em duas posições: abertos (a) e fechados (b).



a)



b)

a) Painéis abertos. b) Painéis fechados.

Figura 33 – Lateral sul com painéis abertos.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 34 apresenta os painéis de proteção da lateral norte. São apresentados em três posições: abertos (a), semiabertos (b) e fechados (c).



a)



b)



c)

a) Painéis abertos. b) Painéis fechados.

Figura 34 – Lateral norte com painéis abertos.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 35 é possível visualizar os painéis vazados pivotantes da parte oeste da edificação, a galeria interna e o volume dos ambientes de permanência prolongada com seu forro ventilado. Os painéis desta parte da edificação também são apresentados em três posições.



a)



b)



c)

a) Painéis abertos. b) Painéis semiabertos. c) Painéis fechados.

Figura 35 - Painéis pivotantes para sombreamento da parte oeste da edificação.

Fonte: Autoria própria.

3.4.4 Interior da edificação

A Figura 36 apresenta uma vista das varandas, espaço de transição entre o interior e o exterior da edificação. Mostra a possibilidade de se utilizar os painéis móveis para controle dos níveis de iluminação natural no ambiente interno, alternando entre painéis abertos (a), semiabertos (b) e fechados (c). Por outro lado, os painéis móveis para sombreamento também possibilitam regular o nível de integração e comunicação visual com o exterior.



a)

b)



c)



a) Painéis abertos. b) Painéis semiabertos. c) Painéis fechados.

Figura 36 - Vista das varandas e dos painéis para sombreamento.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 37 apresenta uma vista do interior projetado para a edificação. Neste espaço, como nas varandas, a alteração da posição dos painéis externos possibilita controlar os níveis de luz natural e de exposição à radiação solar. Também é possível observar a integração entre os diferentes ambientes, opção em concordância com as diretrizes sugeridas pelo DA2.

a)



b)



c)



a) Painéis abertos. b) Painéis semiabertos. c) Painéis fechados.

Figura 37 - Vista do interior da edificação.

Fonte: Autoria própria.

4 Considerações Finais

Este artigo teve como objetivo a) apresentar os resultados da aplicação dos DA1 e DA2 ao clima de Fortaleza/CE e b) o projeto arquitetônico de uma habitação unifamiliar elaborado segundo orientações obtidas da análise desses resultados.

Na primeira etapa de análises, a plotagem dos dados horários sobre o DA1 mostrou que as temperaturas locais apresentam baixa flutuação, com amplitudes térmicas diárias raramente excedendo 10 °C. Diante disso, o nível de inércia térmica relativo recomendado (NITRR) para a localidade é aproximadamente 1, o que, segundo Kramel (2021), corresponde a sistemas construtivos leves. A plotagem das temperaturas médias diárias mostrou que, em geral, elas se situam sobre a faixa de temperaturas adequadas para o interior de edificações. Para atingir o NITRR, a ferramenta recomenda que sejam utilizados sistemas construtivos denominados de tipo 2, sem necessidade de camada extra de isolamento térmico resistivo para frio ou calor.

Na segunda etapa de análises, a plotagem, sobre o DA2, de dados simulados para uma edificação hipotética com o nível de inércia térmica relativo obtido na primeira etapa revelou que a aumentar a o nível de inércia térmica reduziu significativamente a flutuação das temperaturas, concentrando-as ainda mais sobre a faixa de temperaturas recomendadas. Como recomendações para projeto, a ferramenta destacou: 1º) a demanda por sombreamento; 2º) que fossem tomadas medidas para preservar as condições obtidas com o aumento da inércia térmica (em 87 % das horas do ano as temperaturas simuladas ficaram dentro da faixa recomendada); e 3º) que fossem criadas condições para possibilitar o incremento da ventilação (natural ou por ventiladores), necessária em 11 % das horas do ano.

Tendo em mente as orientações para projeto obtidas nas duas etapas de análises, elaborou-se a proposta para uma edificação unifamiliar dotada de envoltória leve e isolante quanto à radiação solar (tanto pela cobertura quanto pela galeria em todo o perímetro externo), permeável aos ventos, amplamente sombreada, com ambientes internos integrados e com possibilidade de ventilação (natural ou por ventiladores).

Considerando o exposto, os autores acreditam ter atingido os dois objetivos propostos no início desta pesquisa e estudo prático de projeto. Como estudos futuros, sugere-se a aplicação do método e seus diagramas a climas de outras localidades do Brasil e aos projetos de outros tipos de edificações. Os autores também deixam como sugestão a aplicação do DA2 a ambientes existentes, a fim de testar sua adequação para avaliações de pós-ocupação (APO).

Por fim, no projeto apresentado neste artigo não foram exploradas as possibilidades do uso da vegetação para proteção contra a radiação solar direta e uma melhor inserção no ambiente, cabendo estudos neste sentido.

Referências

- AGUIAR, M. de J. N. et al. *Dados climatológicos: Estação de Fortaleza*, 2002. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003.
- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. *ASHRAE Standard 55-2020 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. USA, Atlanta: 2020.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Nota Técnica EPE 030/2018 - Uso de Ar Condicionado no Setor Residencial Brasileiro: Perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2018.
- CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 15251 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Brussels: CEN, 2007.
- FERNANDES, L. C. Diagramas de apoio ao projeto baseados na ideia do conforto térmico adaptativo. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 11, n. 1, 2020.
- FERNANDES, L. C. Esboço de um novo diagrama de análise climática para modelos de conforto adaptativos. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO E XI ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2019, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2019.
- FERNANDES, T.; HACON, S. D. S.; NOVAIS, J. W. Z. Mudanças climáticas, poluição do ar e repercussões na saúde humana: revisão sistemática. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 28, 2021.
- FERNANDES, V. R. et al. Secas e os Impactos na Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 28, p. 561–584, 2021.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, v. 18, n. 1, p. 11–23, jan. 1992.
- KOENIGSBERGER, O. H. et al. *Manual of Tropical Housing and Building*. Bombay: Orient Langman, 1973.
- KRAMEL, C. *Inércia térmica para habitações unifamiliares nas diferentes regiões climáticas do estado do Paraná*. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.
- KRÜGER, E. L. et al. Proposition of a simplified method for predicting hourly indoor temperatures in test cells. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 3, p. 57–70, jul. 2017.
- OLGYAY, V. *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.
- PETALAS, K. V. Avaliação das condições bioclimáticas da região costeira do Nordeste Brasilei-

- ro: O Município de Fortaleza, CE. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 13, n. 1991, p. 185–201, 2014.
- POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: Desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos Avancados*, v. 31, n. 89, p. 271–283, 2017.
- ZEZZO, L. V. et al. Doenças infecciosas no contexto das mudanças climáticas e da vulnerabilidade socioambiental. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 28, 2021.