

Aplicação de uma ferramenta de apoio à tomada de decisões no processo de projeto de uma casa passiva para o semiárido

Application of a decision-making support tool in the design process of a passive house for the semi-arid

Gabriela do Rosário Baggio(1); Renata do Prado Leite(2); Rafael Lucas Escobar Hansen(3); Eduardo Andrey Silva Meireles(4); Giovanna Schiwinski Verussa(5); Kimberly Gabriela Angelo Dias(6); Marcio Jose Sorgato(7); Leandro Carlos Fernandes(8)

1 Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba / PR, Brasil.

E-mail: gabii.rbaggio@hotmail.com

2 Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba / PR, Brasil.

E-mail: renatapleite@outlook.com

3 Graduando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba / PR, Brasil.

E-mail: rafael-hansen@hotmail.com

4 Graduando em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba / PR, Brasil.

E-mail: eandreymeireles@gmail.com

5 Mestre em Engenharia Civil, Arquiteta e Urbanista, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba / PR, Brasil.

E-mail: giovanna.verussa@outlook.com

6 Mestranda em Engenharia Civil, Arquiteta e Urbanista, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba / PR, Brasil.

E-mail: kimberly.ufpr@gmail.com

7 Doutor em Engenharia Civil, Arquiteto e Urbanista, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba / PR, Brasil.

E-mail: sorgato@professores.utfpr.edu.br

8 Doutor em Tecnologia e Sociedade, Arquiteto e Urbanista, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba / PR, Brasil.

E-mail: leandrofernandes@ufpr.br

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 12, n. 2, p. 117-140, julho-dezembro, 2023 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2023.v12i2.4958>

Artigo convidado do



IX Seminário Internacional de
Construções Sustentáveis

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

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

Resumo

A segunda metade do século XX foi marcada pelo afloramento da consciência ambiental na sociedade. Na arquitetura, surgiram diversas vertentes, abordagens e ferramentas para apoiar a inserção do viés ambiental nas práticas de projeto. No entanto, no presente, não se conta com abordagens estruturadas passíveis de serem aplicadas a diferentes contextos ambientais. Diante disso, vem sendo desenvolvida uma abordagem para o projeto de edificações focada tanto nas necessidades dos usuários quanto no baixo impacto ambiental. Esta pesquisa teve como objetivo testar a aplicação dessa abordagem no processo de desenvolvimento de um estudo preliminar para uma habitação hipotética para o clima semiárido da cidade de Picos/PI. Para isso, foi utilizada como apoio a ferramenta Antropo, que automatiza a análise de dados e fornece diretrizes para os projetistas. Como resultado, obteve-se um conjunto de diretrizes que foram traduzidas para a forma de uma edificação compacta, com alta capacidade térmica, sombreada, configurada de maneira a possibilitar a ventilação seletiva e a tirar proveito do resfriamento evaporativo. Embora o experimento não conte com uma etapa de testes computacionais, obteve-se um projeto que atende boa parte das principais recomendações apontadas pela bibliografia para o clima em questão.

Palavras-chave: Condicionamento térmico passivo; Projeto para o semiárido; Regionalismo arquitetônico; Processo de projeto; Diagramas de apoio para o processo de decisão em design.

Abstract

The second half of the 20th century was marked by the emergence of environmental awareness in society. In architecture, various approaches and tools emerged to enable the integration of environmental considerations into design practices. However, at present, there is a lack of structured approaches that can be applied to different environmental contexts. In light of this, an approach has been developed for building design that focuses on both user needs and low environmental impact. This research aimed to test the application of this approach in the development process of a preliminary study for a hypothetical dwelling in the semi-arid climate of Picos, Piauí. The Antropo tool was used to support this analysis, automating data analysis and providing guidelines for designers. As a result, a set of guidelines was obtained, which were translated into the form of a compact building with high thermal capacity, shading, configured in a way that allows for selective ventilation and takes advantage of evaporative cooling. Although the experiment did not include computational testing, the project met a significant portion of the main recommendations identified in the literature for the specific climate.

Keywords: Passive thermal conditioning; Design for the semi-arid region; Architectural regionalism; Design process; Supportive diagrams for the design decision process.

1 Introdução

O final do século XX foi marcado pelo despertar da consciência ambiental, movimento que permeou os diversos setores da sociedade questionando o modelo econômico em vigor, baseado no uso desmedido dos recursos naturais. No mesmo período, no âmbito da arquitetura, observou-se uma sucessão de vertentes – bioclimática, passiva, ecológica, sustentável, entre outras – com preocupações centradas na relação do edifício com o meio em que está inserido (MONTANER, 2016).

Neste sentido, diversos autores defendem o conhecimento e a adequação das edificações ao clima local. Frota e Schiffer (2001) acreditam que o partido arquitetônico deve estar condicionado pelas características climáticas. Docherty e Szokolay (1999) afirmam que o desempenho térmico de um edifício está ligado à sua forma e orientação, aos materiais empregados, ao posicionamento das aberturas e à solução de ventilação adotada. Olgyay (2008) menciona que a adequação ao clima deve ser explorada ao ponto de caracterizar um regionalismo arquitetônico.

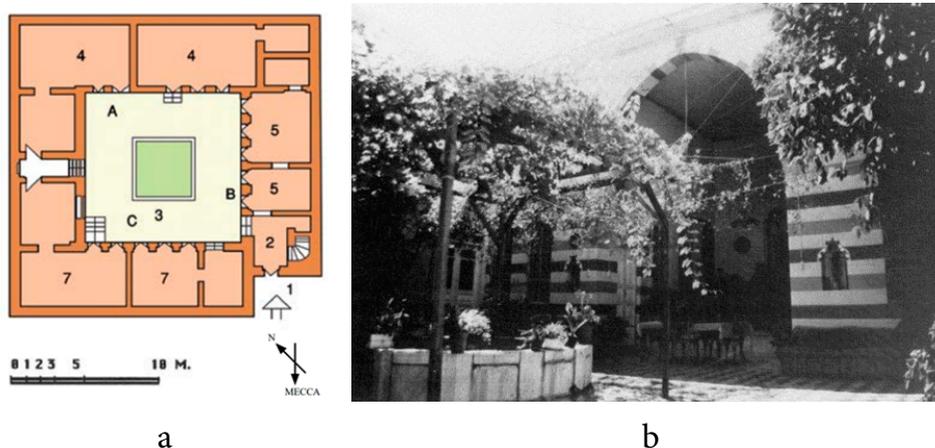
Em regiões com valores de temperatura e umidade distantes dos recomendados para ambientes internos de edificações, o conhecimento do clima se torna ainda mais relevante, caso do clima semiárido (Aw) que corresponde a zona bioclimática 7 na classificação brasileira. Segundo a NBR 15.220-3, as diretrizes projetuais para esta zona incluem: o uso de pequenas aberturas para ventilação e sombreamento; paredes e cobertura pesadas; e estratégias para condicionamento térmico passivo durante o verão, com a combinação de resfriamento evaporativo, massa térmica para resfriamento e ventilação seletiva (ABNT, 2005).

Outra fonte de orientações para projetos no clima semiárido é o livro “Roteiro para construir no Nordeste”, desenvolvido por Armando de Holanda a partir da sua atuação como arquiteto na região, no qual apresenta nove diretrizes projetuais e as relaciona com o clima nordestino. De maneira objetiva, o autor recomenda: gerar sombra, recuar as paredes, vazar os muros, proteger as janelas, abrir as portas, continuar os espaços, construir com pouco, conviver com a natureza e construir frondosamente (HOLANDA, 1976). Tais premissas foram identificadas em algumas dezenas de edificações, como atestam os trabalhos de Carmo Filho (2005) e Woensel (2016).

Também enfocando o regionalismo arquitetônico, Veloso (1999) analisa a adequação da arquitetura vernacular ao clima quente e seco do sertão nordestino, tomando como exemplo as cidades de Petrolina (PE) e Picos (PI). No estudo, foi constatada a adequação de um número significativo de moradias populares quanto aos aspectos bioclimáticos nas duas localidades, sendo que as principais soluções identificadas foram: construções compactas, pátio central ou posterior com vegetação, aberturas pequenas evitando a orientação oeste, telhado alto (com beiral) e pintura com cores claras.

Para além do contexto do semiárido brasileiro, também é possível observar exemplos de arquiteturas regionalistas e de soluções específicas para os climas quentes e secos em outras regiões. Como exemplo, os jardins e vazios internos podem ser uma estratégia interessante para condicionamento térmico passivo, como adotado na arquitetura das casas árabes tradicionais (Figura 1), com potencial para ser aplicada no clima semiárido brasileiro. Os jardins apresentam múltiplas funções. A primeira é proporcionar um ambiente ameno em comparação com o exterior. A segunda é prover aos usuários conforto e satisfação física e emocional (BEHSH, 1988). Os jardins apresentam diferentes configurações, podendo ser descobertos, sombreados por uma cobertura, protegidos por vegetação e, algumas vezes, apresentam fontes de água, chafariz, espelho d'água ou piscinas rasas, as quais promovem a redução das temperaturas do entorno imediato mediante resfriamento evaporativo.

Figura 1. a) Planta baixa de uma casa de Shiraz, Irã. b) Vista do interior de um jardim interno de uma casa de Damasco, Síria.



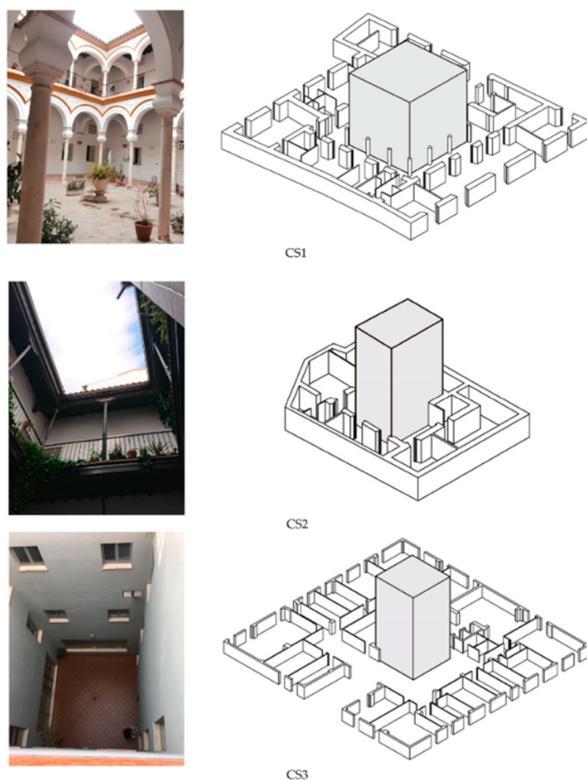
Legenda: A) Área privada / área de inverno. B) Área de recepção. C) Área de verão.
 1) Entrada principal. 2) Vestíbulo. 3) Pátio. 4) Grandes quartos de inverno.
 5) Sala de três portas. 6) Sala de duas portas. 7) Quartos de verão.

Fonte: a) Memarian (2021). b) Mehsh (2021).

Quando o jardim interno é utilizado para redução de temperaturas via resfriamento evaporativo, é de fundamental importância que as massas de água expostas à evaporação sejam sombreadas, sob pena do efeito da evaporação ser anulado por ganhos térmicos devidos à radiação (GIVONI, 1998; ABDULKAREEM, 2016; FERNANDES; KRÜGER; MOTZAFI-HALLER, 2021).

Em climas quentes, mesmo quando os jardins internos não apresentam superfícies para realizar o resfriamento evaporativo, eles ainda representam uma boa estratégia para condicionamento passivo. Um estudo realizado por Diz-Mellado *et al.* (2023) com três exemplos em Sevilha, na Espanha (Figura 2), mostraram que os vazios internos reduziram o consumo de energia para resfriamento em até 18%.

Figura 2. Vazios internos em três estudos de caso realizados em Sevilha, Espanha



Fonte: (DIZ-MELLADO *et al.*, 2023).

Os exemplos apresentados ilustram que existem estudos buscando uma maior integração entre as edificações e o clima regional. *Porém, poucos são os trabalhos que relacionam a integração entre arquitetura e clima a partir de uma abordagem científica estruturada e aplicável a outros contextos, sendo mais comum a fundamentação com base na observação empírica.* Além disso, as publicações são pouco difundidas e não é possível identificar uma arquitetura regional dominante, especialmente entre as edificações novas, verificando-se o emprego das mesmas tipologias e sistemas construtivos utilizados em outras regiões climáticas.

Em se tratando do projeto de habitações isoladas considerando os vários desafios do clima Aw no contexto brasileiro, conta-se com muitos exemplos históricos. No entanto, há carência de publicações sobre exemplos recentes, projetados a partir de uma abordagem científica, que possam servir como referências didáticas para projetistas. Em relação a contextos semelhantes no campo do design, Papalambros (2015) afirma que design é arte e ciência. *Aproximar as práticas do design do método científico não é negar a presença da arte no design, é simplesmente uma questão de foco.* A prática de projeto pode obter grandes benefícios da pesquisa e do uso explícito dos métodos da ciência. Uma das maneiras de realizar essa aproximação é explorar abordagens estruturadas e ferramentas de apoio para o processo de projeto e para a tomada de decisões no campo da arquitetura. No contexto dos climas do Piauí, a realização do estudo neste sentido colabora para o enriquecimento do conhecimento dos desafios vinculados ao clima semiárido e das possíveis estratégias para enfrentar tais problemas.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como o objetivo aplicar uma abordagem focada nas particularidades do clima para a elaboração de um estudo preliminar para uma residência unifamiliar no clima semiárido.

2 Método

Neste trabalho é adotada uma abordagem para o processo de projeto em arquitetura alinhada com a ideia do *design* centrado no ser humano (*human-centered design HCD*) e no baixo impacto ambiental, dando preferência por métodos passivos para o condicionamento térmico. Busca-se, a partir do entendimento das demandas ambientais do ser humano e dos desafios dados pelo clima local, produzir ambientes adequados para abrigar as atividades humanas, com alto desempenho térmico e com baixo impacto ambiental a partir de estratégias passivas.

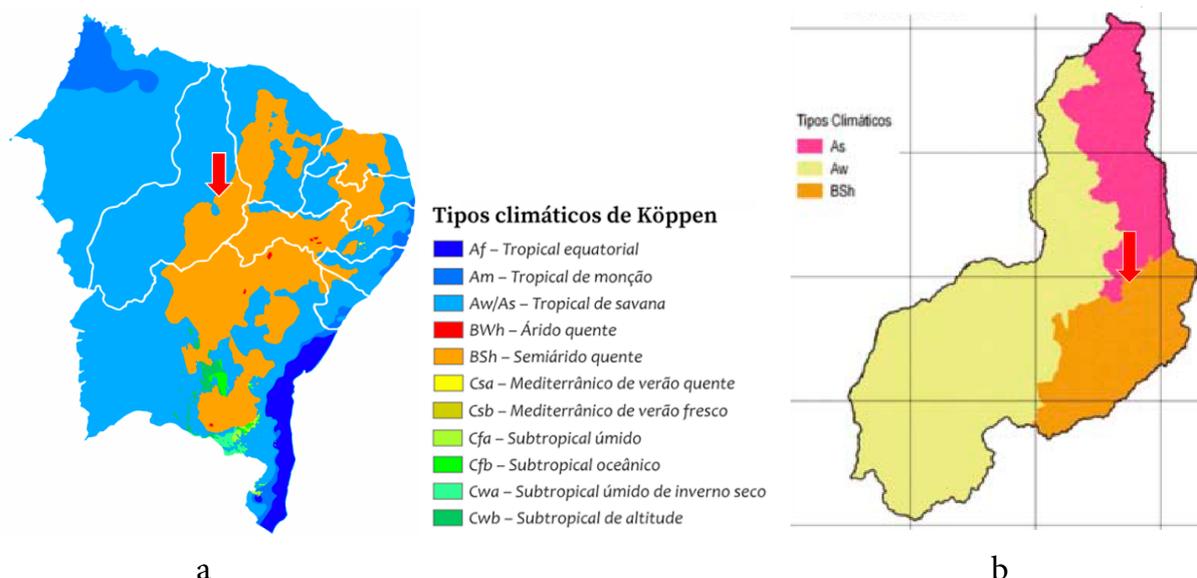
Como ferramenta de apoio, foi utilizada a ferramenta Antropo (v. 1.04), cujos diagramas são apresentados em Fernandes (2020). A ferramenta se fundamenta no modelo adaptativo para determinar as temperaturas operativas adequadas para ambientes internos. A abordagem se desenvolve ao longo de diferentes etapas:

- ♦ Na primeira etapa, realiza-se uma análise preliminar dos dados do clima local.
- ♦ Na segunda etapa, busca-se adequar as amplitudes térmicas diárias internas da futura edificação às restrições do modelo adaptativo. Para isso, são analisados os dados do clima, considerando-os como se fossem de um ambiente interno, e definidas estratégias iniciais para o projeto.
- ♦ Na terceira etapa, após a adoção das estratégias para o controle das amplitudes térmicas diárias (etapa anterior), são apontadas novas estratégias, desta vez para que as temperaturas operativas internas sejam situadas no patamar adequado, também segundo o modelo adaptativo.

2.1 Picos/PI e seu clima

Picos/PI está localizada na latitude $-7,07^\circ$ e longitude $-41,47^\circ$. Adota o fuso horário -3 e sua altitude média é de 322 m acima do nível do mar. Quanto à classificação climática, Picos está em uma região limítrofe. Considerando o modelo de classificação climática de Köpen, o clima de Picos é classificado como BSh - semiárido quente (ALVARES *et al.*, 2013; DE MEDEIROS; CAVALCANTI; DUARTE, 2020; LIMA *et al.*, 2020). Eventualmente, o clima da região pode ser nomeado como As ou Aw, a depender do método e dos dados utilizados pelos autores para realizar a classificação. Isso se deve ao fato de Picos estar localizada em uma zona de transição em se tratando de fatores meteorológicos (DE MEDEIROS; CAVALCANTI; DUARTE, 2020).

Figura 3. a) Mapa da classificação climática de Köppen para a Região Nordeste do Brasil. b) Classificação climática segundo Köppen para o estado do Piauí

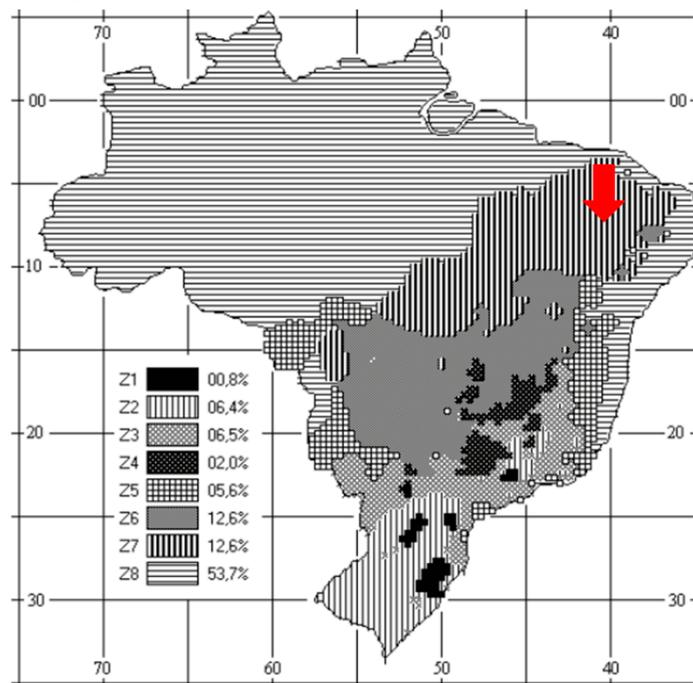


Fonte: a) Adaptado de Alvares *et al.* (2013). b) Adaptado de Lima *et al.* (2020).

No zoneamento bioclimático brasileiro, a norma NBR15.220 Parte 3, voltada especificamente para a construção civil (Figura 4), o clima de Picos é classificado como pertencente à zona bioclimática 7 (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT/CB-55, 2005). Para essa zona, a norma recomenda:

- ♦ Aberturas para ventilação: pequenas, com área medindo de 10% até 15% da área do piso do ambiente.
- ♦ Sombreamento das aberturas: sombrear.
- ♦ Paredes externas: pesadas (transmitância térmica menor ou igual a 2,3 W/m², atraso térmico maior ou igual a 3,5 horas e fator solar menor ou igual a 6,5%).
- ♦ Cobertura: pesada (transmitância térmica menor ou igual a 2,0 W/m², atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas e fator solar menor ou igual a 6,5%).
- ♦ Resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento.
- ♦ Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior à externa).

Figura 4. Zoneamento Bioclimático Brasileiro

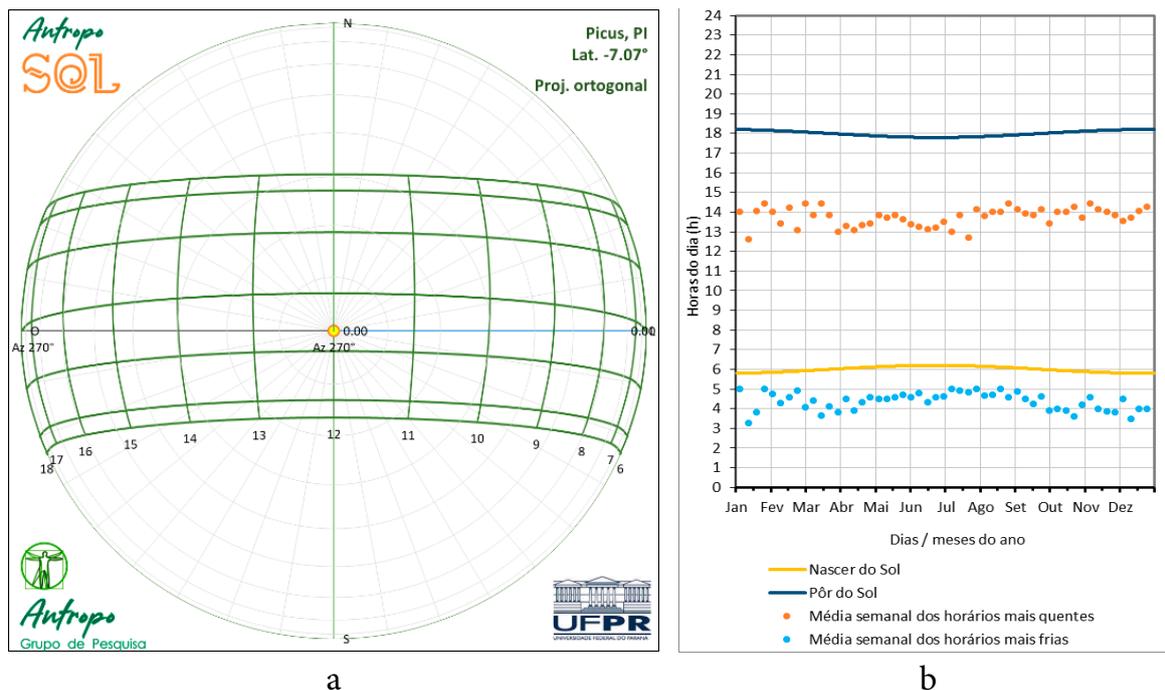


Fonte: NBR 15.220 (ABNT, 2005).

Para as análises deste artigo, foi utilizado como fonte de dados um arquivo climático do tipo EPW, disponibilizado no site <https://climate.onebuilding.org/>. A fonte primária dos dados é o Instituto Nacional de Meteorologia, INMET. Os dados foram registrados na estação meteorológica de número 827910. O arquivo foi elaborado por M.Roriz (ANTAC - GT Conforto e Energia) com dados de 2009 e de 2010. Porém, considerou a análise de dados registrados de 2001 até 2010.

A latitude de Picos, $-7,07^\circ$, resulta em percursos solares quase simétricos em se tratando dos quadrantes norte e sul da abóbada celeste, com leve predominância da radiação solar oriunda de norte (Figura 5a). O controle da radiação solar direta incidente de norte e sul é facilitada, pois, entre as 9:00 e 15:00 horas, as alturas solares são altas. Por outro lado, os raios solares dos horários próximos do nascer e do pôr do sol demandam maiores cuidados, pois são mais difíceis de bloquear (Figura 5a). A duração dos períodos diurno e noturno é quase constante ao longo do ano, com aproximadamente 12:00 horas para cada período (Figura 5b).

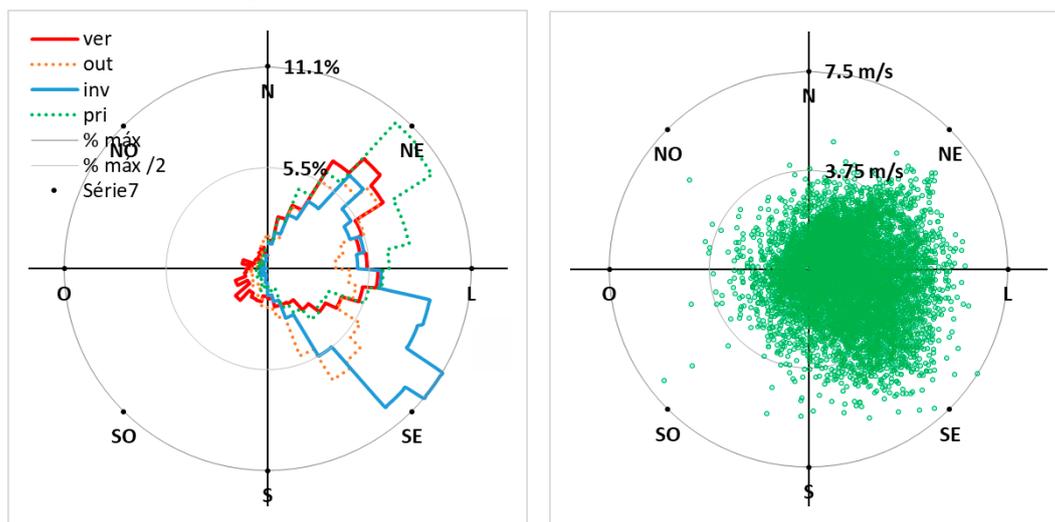
Figura 5. Carta solar, projeção ortogonal (a) e diagrama da duração dos períodos diurno e noturno (b) para Picos



Fonte: a) Antropo.Sol v. 2.0. b) Antropo v. 1.04.

Os ventos são oriundos de diferentes direções. No entanto, na primavera e verão predomina os ventos originados do nordeste e no inverno os vindos do sudeste (Figura 6a). Quanto à intensidade (Figura 6b), a velocidade máxima é de 7,5 m/s, predominando ventos com velocidade abaixo de 4 m/s.

Figura 6. Ventos: direção (a) e intensidade (b).

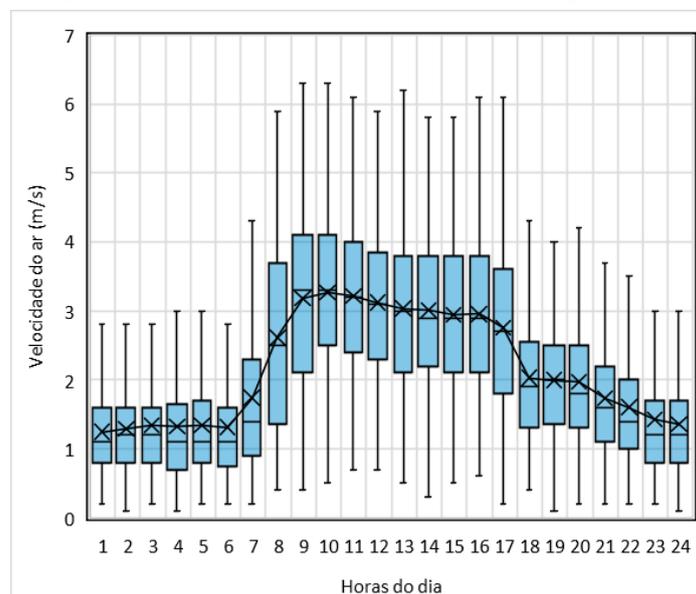


Fonte: Antropo v. 1.04.

A velocidade do ar é maior no período entre as 8:00 horas e as 17:00 horas (Figura 7), período mais quente do dia, o que favorece o uso da estratégia resfriamento evaporativo, pois velocidades e temperaturas altas e baixa umidade relativa favorecem

a evaporação. Por outro lado, nestes horários não é adequado ventilar os ambientes internos. Durante a noite e antes das 8:00 horas da manhã, a velocidade do ar é reduzida, tornando-se uma brisa leve, com uma média próxima de 1,5 m/s. Essa velocidade é propícia para a ventilação seletiva, pois se trata de uma velocidade agradável para os moradores.

Figura 7. Velocidade dos ventos ao longo do dia



Fonte: Antropo v. 1.04.

2.2 Condicionantes relativos ao lote e usuários

A fim de realizar o estudo, foram tomados usuários e um lote hipotético, conforme informações a seguir.

2.2.1 Usuários da moradia

Como usuários da moradia proposta, considerou-se uma família composta por um casal e 1 filho adolescente.

2.2.2 Ambientes da moradia

A edificação foi pensada para apresentar os seguintes setores e ambientes mínimos:

Setor íntimo: 01 quarto casal/banheiro + 01 quarto para o filho.

Setor social: 01 estar/jantar + 01 escritório + 01 banheiro social.

Setor de serviços: 01 cozinha/copa + lavanderia + garagem.

2.2.3 Outros condicionantes

Como terreno hipotético, foi considerado um lote de meio de quadra, plano, retangular, com frente medindo 20 m de largura (orientada para oeste) e laterais medindo 35 m de comprimento (orientadas para norte e sul).

2.3 Aplicação do Diagrama antropoclimático 1 (DA1)

Nesta etapa, a temperatura externa do ar e as respectivas amplitudes térmicas são tomadas como se fossem dados de um ambiente interno hipotético. A partir da análise dessas variáveis são obtidas diretrizes iniciais para adequação das variáveis ambientais do ambiente interno a ser proposto. Estas diretrizes iniciais focam principalmente o controle das amplitudes térmicas diárias e dizem respeito ao sistema construtivo (incluindo os revestimentos) e à forma da edificação.

2.4 Aplicação do Diagrama antropoclimático 2 (DA2)

Nesta etapa, a partir dos dados da temperatura externa do ar e das diretrizes obtidas do DA1 para o sistema construtivo, são simuladas temperaturas operativas para o ambiente interno. Em seguida, as temperaturas operativas simuladas e as respectivas amplitudes térmicas diárias são plotadas sobre o DA2 para análises. Da análise são obtidas novas diretrizes de projeto. Desta vez, as diretrizes são mais voltadas para a o posicionamento da temperatura interna dentro do patamar adequado, segundo o modelo adaptativo. As diretrizes indicam estratégias voltadas principalmente para aquecimento ou aquecimento passivo.

2.5 Aplicação das diretrizes ao estudo preliminar da habitação

Nesta etapa, tendo em mãos as diretrizes para o projeto, estas foram implementadas, dando-se forma para a proposta.

3 Resultados

Nesta seção, são apresentados os resultados da aplicação dos diagramas antropoclimáticos 1 e 2 (DA1 e DA2) e os resultados da tradução das diretrizes projetuais para a forma de um estudo preliminar.

3.1 Aplicação do Diagrama antropoclimático 1 (DA1)

A plotagem sobre o DA1 (Figura 8a e Figura 8b) mostrou que as amplitudes térmicas diárias em Picos atingem valores altos (17,9 °C no percentil 99). Em função

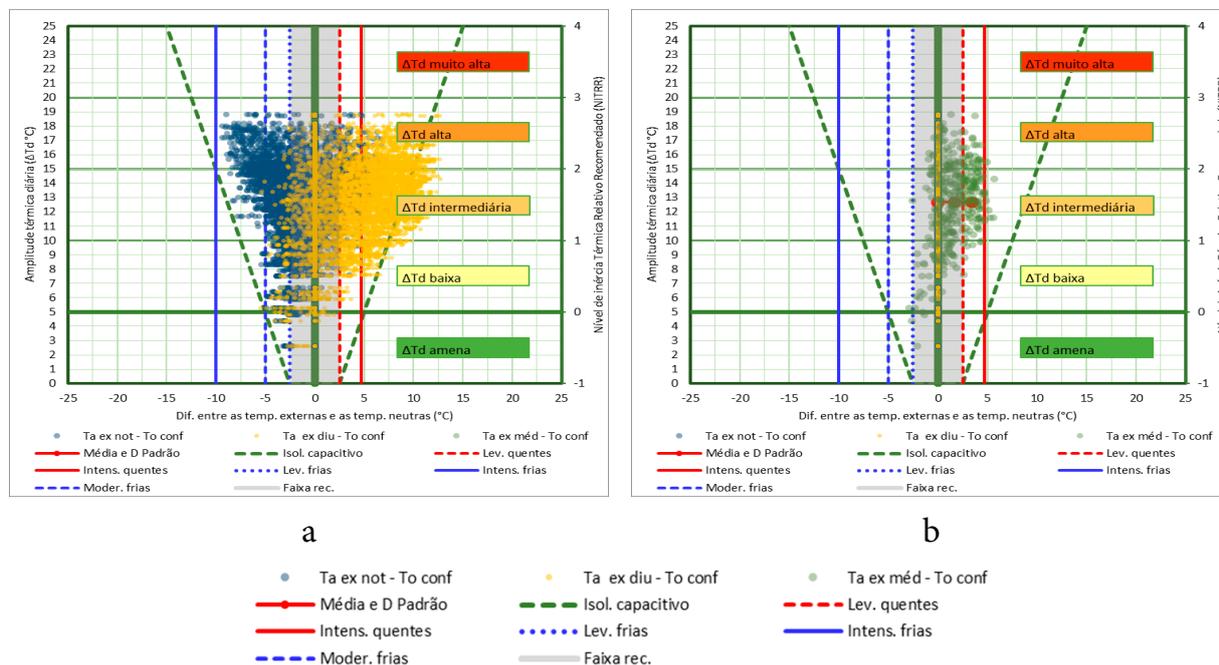
destas amplitudes, o Antropo recomenda a adoção de um nível de inércia térmica com o valor 2,59.

A plotagem das diferenças entre a temperatura neutra e os valores horários da temperatura no período noturno se situam predominantemente no intervalo recomendado para ambientes internos e à esquerda desse intervalo (Figura 8a). As diferenças referentes ao período diurno se situam predominantemente à direita, apontando a predominância de temperaturas excessivamente altas para ambientes internos.

Quando analisados as diferenças entre a temperatura neutra e as temperaturas médias diárias (Figura 8b), percebe-se que as diferenças médias se situam sobre a faixa de conforto ou à sua direita. Ou seja, os valores das temperaturas médias diárias também tendem a ser excessivos.

Para enfrentamento dessas questões, a ferramenta sugeriu a adoção de um sistema construtivo pesado e isolante, voltado para a redução das amplitudes térmicas diárias internas e para o isolamento do ambiente interno, prevenindo as perdas térmicas em caso de utilização de resfriamento térmico (ativo ou passivo).

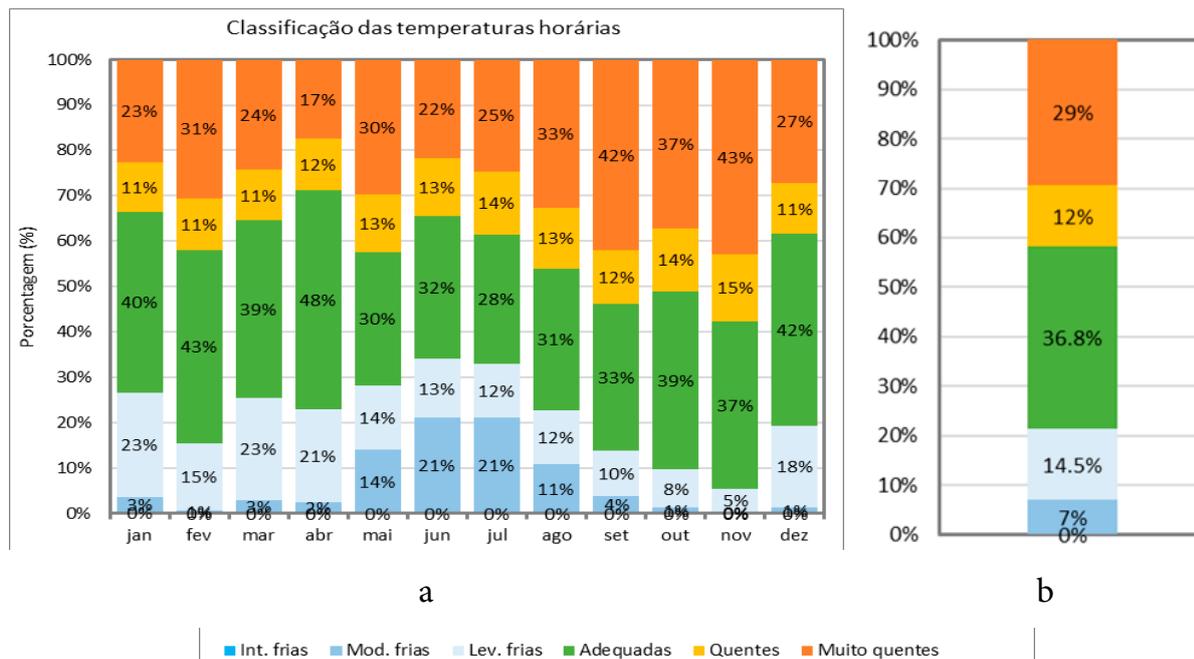
Figura 8. Amplitudes térmicas diárias e diferenças entre os valores da temperatura operativa e da temperatura neutra (a). Amplitudes térmicas diárias e diferença entre os valores da média diária e da temperatura neutra (b).



Fonte: Antropo v. 1.04.

Classificando as temperaturas internas segundo intervalos relacionados à percepção térmica humana, observa-se que os meses mais quentes são setembro, outubro e novembro (Figura 9a). Porém, temperaturas altas são um problema presente durante todo o ano climático e ocorrem em 29% das horas do ano (Figura 9b).

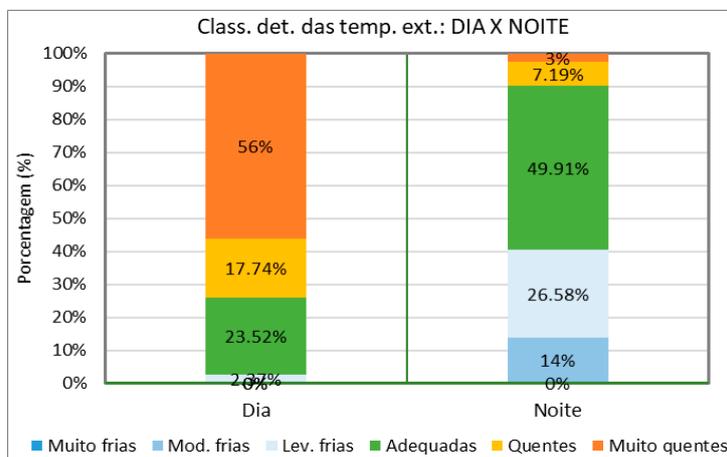
Figura 9. a) Percentuais das horas de cada mês em cada intervalo. b) Percentuais das horas do ano em cada intervalo.



Fonte: Antropo v. 1.04.

Observando os valores da temperatura interna nos períodos diurno e noturno (Figura 10), percebe-se que durante o dia predomina o desconforto devido às temperaturas altas enquanto o período noturno é bem mais agradável.

Figura 10. Percentuais das horas do ano em cada intervalo de temperatura (dia e noite)



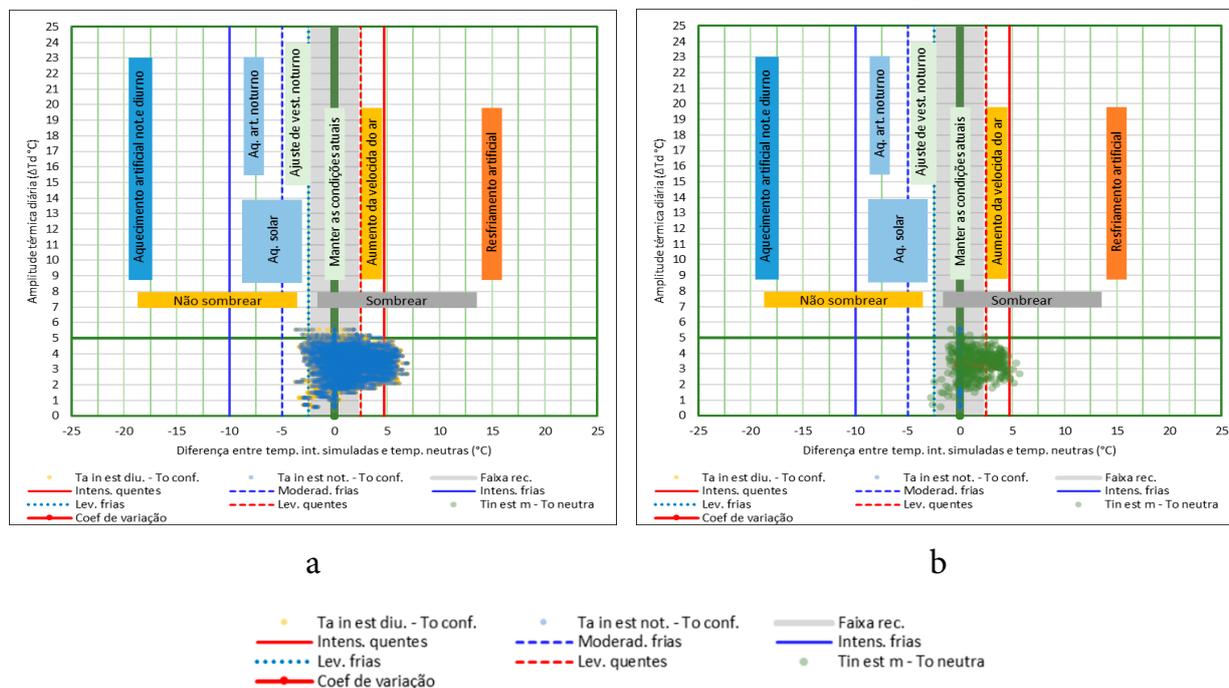
Fonte: Antropo v. 1.04.

3.2 Aplicação do diagrama antropoclimático 2 (DA2)

Com base nos dados da temperatura externa do ar e das diretrizes obtidas do DA1 para o sistema construtivo, as temperaturas operativas para um ambiente interno hipotético foram simuladas e posteriormente plotadas sobre o DA2. A partir delas foi realizada uma nova rodada de análises e novas diretrizes de projeto foram obtidas.

Observou-se que o controle das amplitudes térmicas não impede a ocorrência de temperaturas à direita do intervalo recomendado (Figura 11a). Ou seja, a estabilização térmica não impede a ocorrência de desconforto por calor. Até mesmo parte dos valores médios (Figura 11b) se situam em intervalos inadequados.

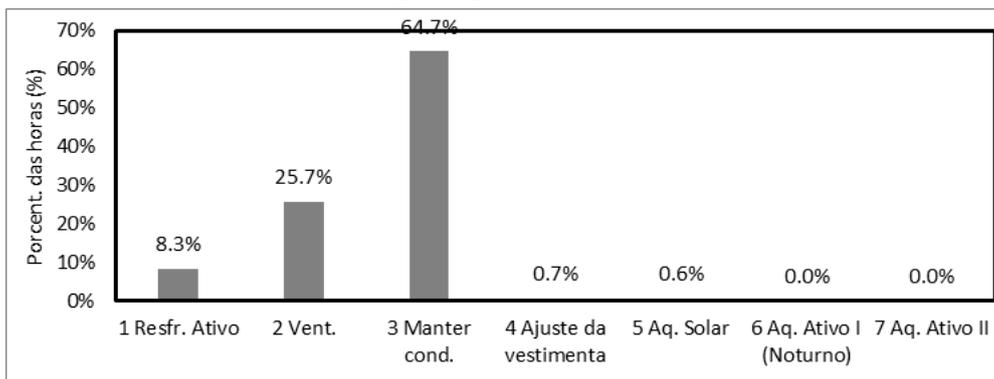
Figura 11. Amplitudes térmicas diárias e diferenças entre os valores da temperatura operativa simulada e da temperatura neutra (a). Amplitudes térmicas diárias e diferença entre os valores da média diária simulada e da temperatura neutra (b)



Fonte: Antropo v. 1.04.

Quanto à exposição ao Sol, considerando os dados simulados, a ferramenta utilizada aponta a necessidade de sombreamento em praticamente todas as horas do período diurno (Figura 12) e a necessidade de ênfase no resfriamento ativo, na ventilação (natural ou mecânica, para amenizar a sensação de calor) e em medidas para preservar o número de horas com condições aceitáveis, aumentado, comparativamente ao contexto anterior, graças ao incremento da inércia térmica.

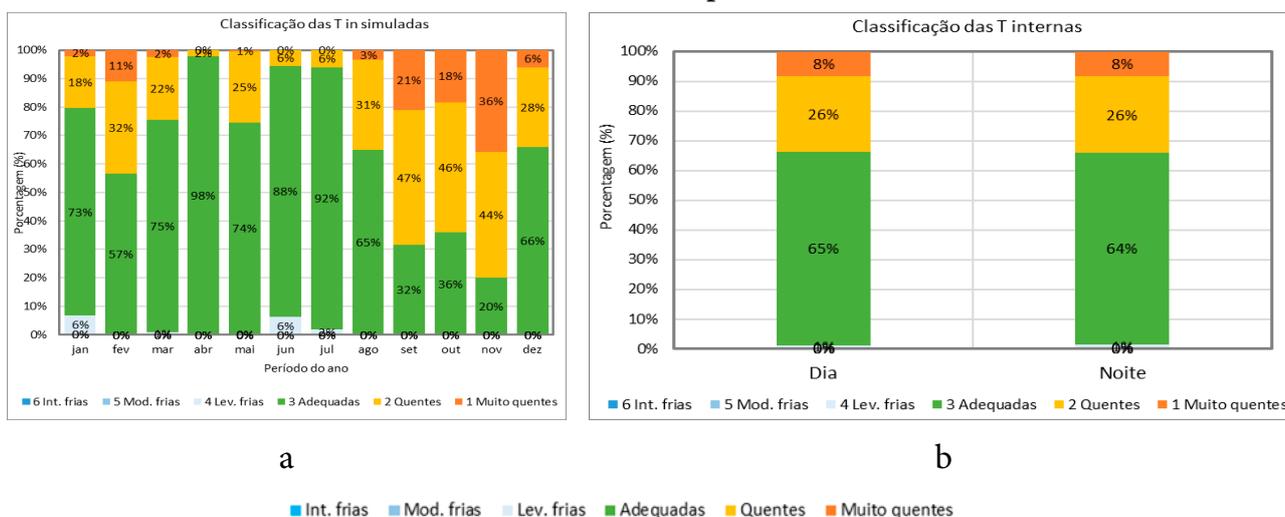
Figura 12. Estratégias para condicionamento térmico obtidas com a plotagem sobre o DA2



Fonte: Antropo v. 1.04.

Considerando as temperaturas simuladas, observa-se que, na maioria dos meses, o aumento da inércia térmica resulta em um aumento importante no número de horas com condições adequadas e na redução do número de horas com temperaturas excessivamente altas. Em abril, maio, junho e julho há expressiva melhora (Figura 13a). No entanto, nos meses de setembro, outubro e novembro ocorre redução do número de horas com condições adequadas e aumento no número de horas com demanda por ventilação. Outro efeito foi o aumento do número de horas no período noturno com valores de temperatura classificados como muito quentes (Figura 13b). Apesar disso, o aumento da inércia é bastante positivo para o desempenho térmico geral da edificação, cabendo a aplicação de estratégias para resfriamento passivo para que esse desempenho seja maximizado.

Figura 12. Percentuais de valores de temperaturas nas classes intensamente frias, moderadamente frias, levemente frias, adequadas, quentes e muito quentes de acordo com os meses (a) e com os períodos do dia (b)



3.3 Aplicação das diretrizes ao estudo preliminar da residência

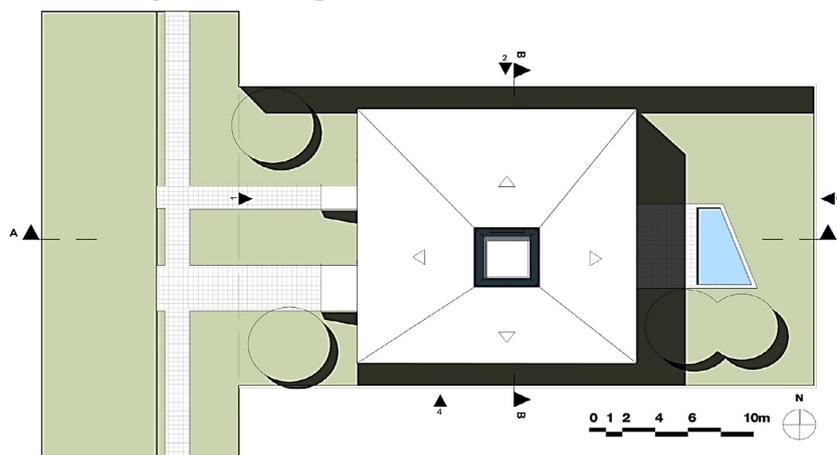
Considerando a abordagem utilizada neste estudo, um projeto arquitetônico em nível de estudo preliminar foi desenvolvido com as seguintes diretrizes:

- ◆ Sombreamento para evitar o sobreaquecimento;
- ◆ Corpo principal da edificação com materiais com alta capacidade térmica para amenizar as flutuações térmicas;
- ◆ Envelope com alta compactidade e cores claras (baixo fator solar e alta refletância) para minimizar os ganhos térmicos em função do ambiente predominantemente quente;
- ◆ Ventilação seletiva, predominantemente noturna;
- ◆ Resfriamento evaporativo (embora o resfriamento evaporativo não conste entre as diretrizes fornecidas pela ferramenta Antropo, encaixa-se como técnica para resfriamento passivo).

3.3.1 Implantação

A implantação da residência no terreno (Figura 14) foi uma decisão importante de projeto visando a melhor eficiência energética. Buscou-se afastar a edificação dos limites do terreno, a fim de criar “corredores” livres para a ventilação natural. Nas áreas não ocupadas pela edificação, para proteger o solo e a edificação da incidência de radiação solar direta, utilizou-se vegetação, com árvores com copas altas e largas.

Figura 14. Implantação da edificação no lote



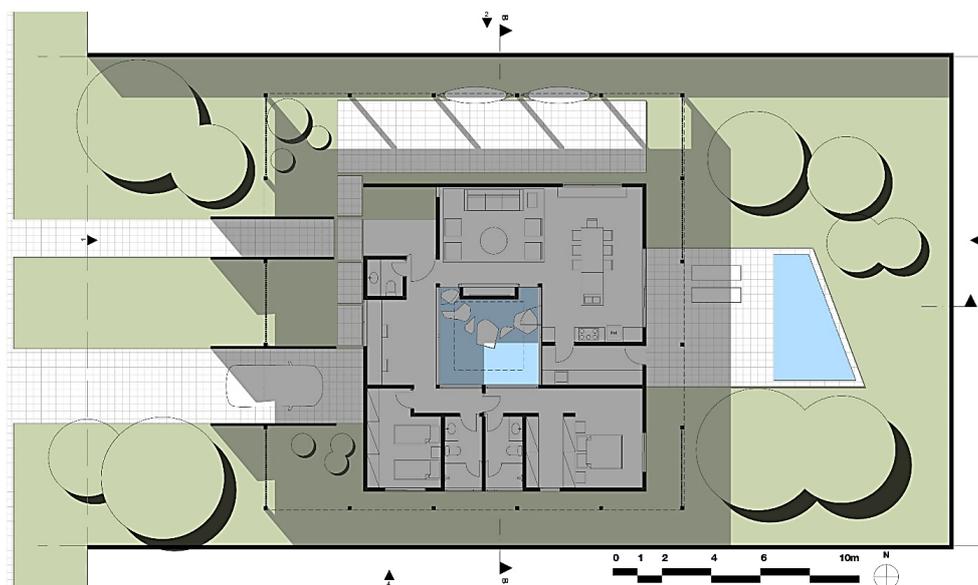
Fonte: Autores.

3.3.2 Geometria e disposição dos ambientes

A residência foi pensada para que a forma do perímetro externo (planta baixa) fosse próxima da de um quadrado, evitando reentrâncias, a fim de reduzir os ganhos térmicos a partir do exterior (Figura 15).

No clima em questão, a ventilação durante o período diurno deve ser restrita, dando-se preferência para que ocorra no início da manhã e no período noturno. Por isso, houve a intenção de reduzir o número de aberturas para o exterior, evitando trocas de calor mais intensas, optando-se por um envelope compacto. Deste modo, as janelas voltadas para exterior foram protegidas por beirais e quebra-sóis, priorizando-se as aberturas voltadas para o pátio central.

Figura 15. Planta baixa da edificação



Fonte: Autores.

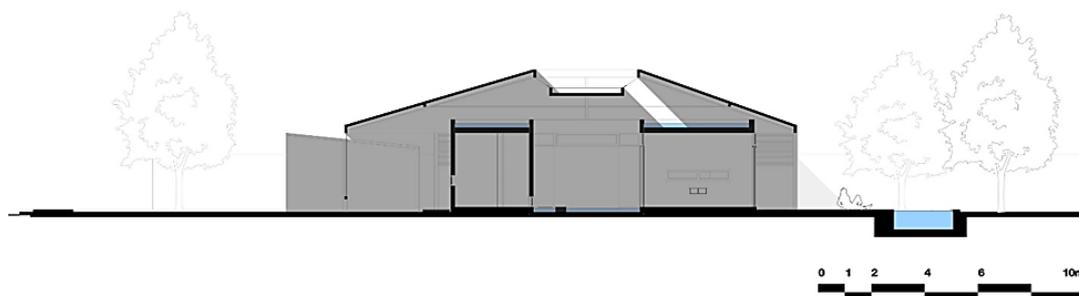
Para reduzir a demanda por resfriamento artificial, foram pensadas estratégias que possibilitem otimizar o gasto energético da residência. Nas faces norte e oeste, foi proposto um jardim protegido que serve como uma espécie de varanda. Os beirais grandes e os brises horizontais protegem as faces das paredes da exposição direta ao sol, logo reduzem o aquecimento das paredes externas. O pé direito elevado também contribui para minimizar o sobreaquecimento, uma vez que permite que o ar quente, menos denso, se concentre no alto e se afaste da faixa de altura útil dos ambientes. Adicionalmente, a vegetação dos jardins cobertos reduz a reflexão dos raios solares, minimizando a incidência sobre as paredes.

Focando o resfriamento, a proposta contempla o uso da estratégia 'resfriamento evaporativo', com instalação de lâminas d'água sobre o forro dos ambientes de permanência prolongada e no jardim interno (Figura 16 e Figura 17). A laje de forro é coberta com uma camada fina de água que é protegida por uma cobertura leve, que impede seu aquecimento e, ao mesmo tempo, possibilita ventilação e aceleração da evaporação d'água. Em climas quentes e secos, a lâmina d'água sobre o forro promove o resfriamento evaporativo da água da lâmina que, por sua vez, resulta no resfriamento do forro (laje) e da estrutura da edificação, resultando em temperaturas do ar aproximadamente 2 °C mais baixas nos ambientes internos do que nos ambientes

equivalentes sem esse recurso (FERNANDES; KRÜGER; MOTZAFI-HALLER, 2021). Embora 2 °C não pareça ser algo expressivo, ao final das contas, quando contabilizadas as horas com temperaturas dentro do intervalo recomendado, essa redução pode ter um grande impacto no percentual de horas com condições adequadas.

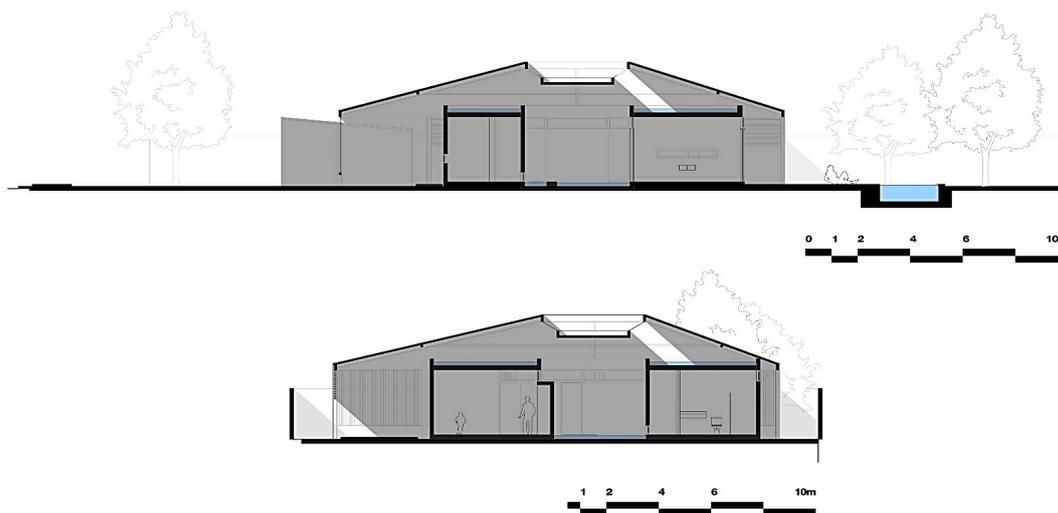
O pátio central da casa permite que seja criado um “microclima” no interior da edificação. Aberturas baixas permitem que o ar resfriado do pátio possa entrar e ventilar os ambientes da residência, diminuindo a necessidade de aberturas nas paredes externas. Por sua vez, as aberturas na cobertura facilitam a saída do ar quente.

Figura 16. Corte AA – Longitudinal



Fonte: Autores.

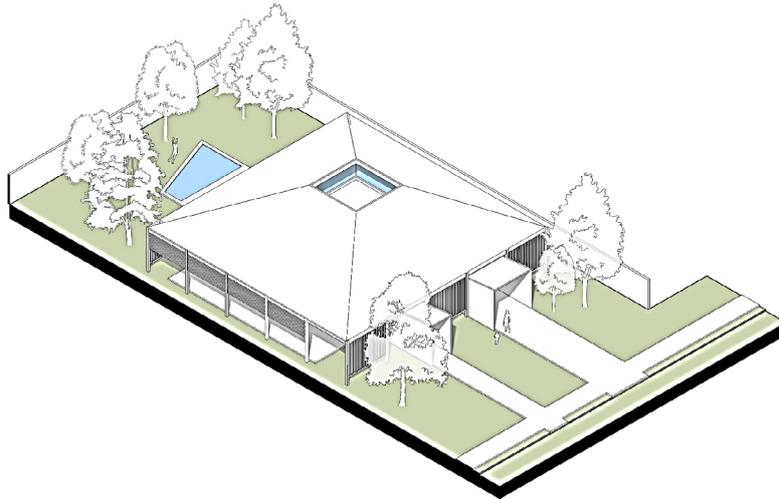
Figura 17. Corte BB – Transversal. Sombras às 15h do dia 25/12



Fonte: Autores.

A Figura 18 apresenta uma projeção isométrica da proposta. Destaca-se a ênfase no sombreamento, o que gerou o nome da proposta: Casa Sombra. A projeção também permite ao leitor ter uma noção mais clara da ocupação do terreno.

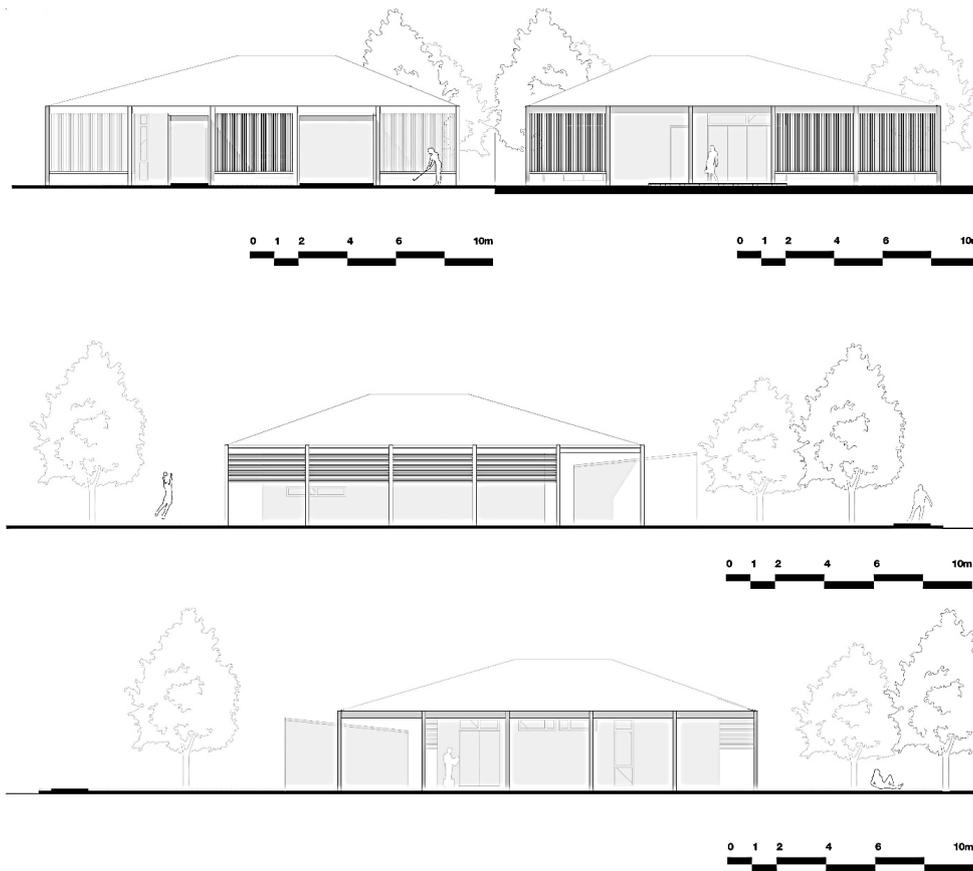
Figura 18. Isométrica, sombreada às 11h do dia 25/12



Fonte: Autores.

A Figura 19 apresenta as vistas da edificação desde Oeste, Leste, Norte e Sul. Em todas elas, foi enfatizado o sombreamento.

Figura 19. Vistas desde Oeste, Leste, Norte e Sul

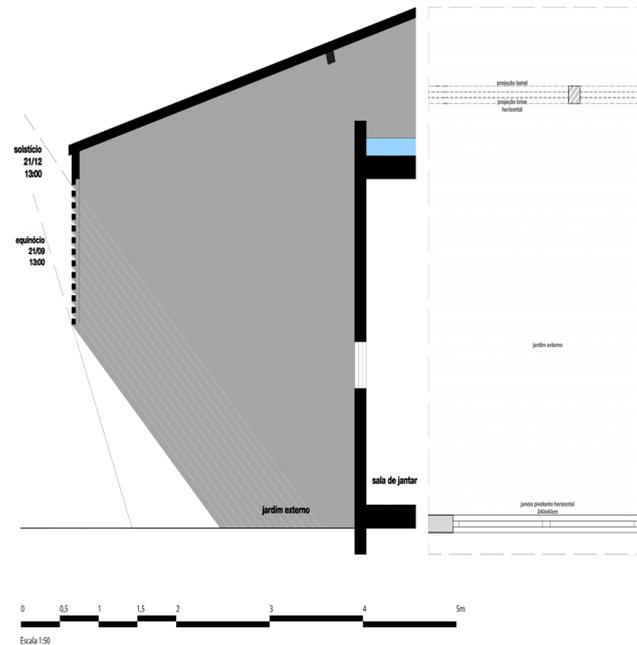


Fonte: Autores.

A fim de atender a recomendação de sombreamento em 100% do período diurno, a residência possui grandes beirais e brises horizontais que impedem a entrada direta

de luz solar nos ambientes. A título de exemplo, a Figura 20 apresenta a incidência de sombra na lateral voltada para norte, às 12:00 horas, no equinócio e no solstício de inverno.

Figura 20. Corte com detalhe do sombreamento: beiral e quebra-sol



Fonte: Autores.

A Figura 21 e a Figura 22 ilustram os ambientes externos gerados pela proposta. Destaca-se a opção pelo paisagismo contemplando plantas nativas, com gramíneas de porte médio, as quais permitem proteger o solo da incidência de radiação de maneira bastante efetiva e sem comprometer a ventilação do lote. A ideia é adotar esta estratégia tanto para as áreas mais periféricas do lote (Figura 21 e Figura 22) quanto para as áreas próximas da edificação, prevenindo assim os ganhos térmicos por reflexão no solo (Figura 23).

Figura 21. Perspectiva do acesso (oeste)



Fonte: Autores.

Figura 22. Perspectiva do quintal (leste)



Fonte: Autores.

Figura 23. Perspectiva



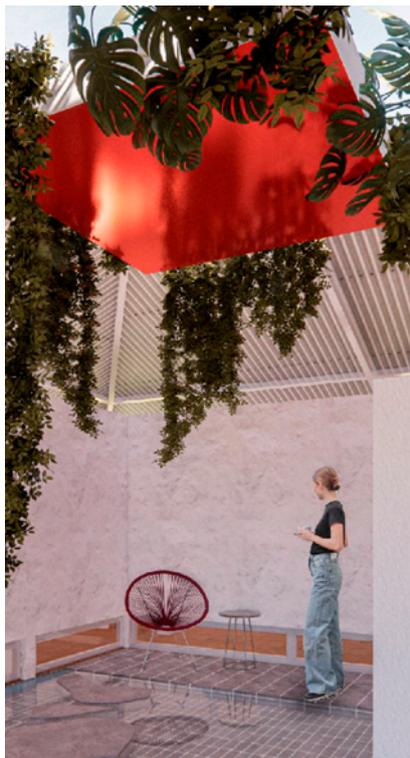
Fonte: Autores.

Por fim, a Figura 24 apresenta uma perspectiva do interior do jardim interno. Esse ambiente estratégico foi inspirado principalmente em edificações tradicionais do oriente médio, mas também em edificações tradicionais do período colonial brasileiro. Trata-se de um jardim interno coberto, dotado de uma lâmina d'água no piso e de vegetação em seu perímetro.

O objetivo principal desse recinto foi gerar um ambiente com condições diferenciadas daquelas encontradas no espaço externo. Buscou-se um espaço ameno em se tratando das variáveis umidade relativa, temperatura do ar, temperatura radiante média e temperatura operativa.

Secundariamente, a ideia foi a de criar um espaço no qual os moradores possam encontrar satisfação física, conforto, contato com a natureza e, eventualmente, isolamento, todos necessários para a saúde humana e passíveis de serem alcançados com uma arquitetura adequada.

Figura 24. Perspectiva vazio/jardim interno



Fonte: Autores.

4 Considerações finais

Esta pesquisa teve como o objetivo principal aplicar uma abordagem estruturada e focada nas particularidades do clima para a elaboração de um estudo preliminar para uma residência unifamiliar no clima semiárido, caracterizada pela busca da eficiência energética e redução do uso do resfriamento artificial.

Com o apoio da ferramenta Antropo (v. 1.04), foram realizadas análises estatísticas e obtidas diretrizes específicas para o contexto em questão. As principais diretrizes foram: a) sombreamento para evitar o sobreaquecimento; b) corpo principal da edificação com materiais com alta capacidade térmica para amenizar as flutuações térmicas; c) compactidade e cores claras (baixo fator solar e alta refletância) para minimizar os ganhos térmicos em função do ambiente predominantemente quente; d) ventilação seletiva, predominantemente noturna e nas primeiras horas da manhã; e) resfriamento evaporativo.

Embora a pesquisa não tenha contemplado uma etapa de modelagem para simulação computacional do comportamento térmico de maneira mais abrangente, tendo em vista a proposta alcançada, acredita-se que o objetivo principal tenha sido atingido.

Como etapa futura, a equipe de pesquisa tem como objetivo avançar para etapas envolvendo simulação computacional a fim de validar a ferramenta em desenvolvimento utilizada como apoio nesta etapa do processo.

Referências

- ABDULKAREEM, H. A. Thermal Comfort through the Microclimates of the Courtyard. A Critical Review of the Middle east Courtyard House as a Climatic Response. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 216, n. October 2015, p. 662–674, 2016.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT/CB-55. *ABNT NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social*. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Brasil, Rio de Janeiro, 2005.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- BEHSH, Basam. The Traditional Arabic House: Its Historical Roots. *Tidskrift för Arkitekturforskning*, v. 1, n. 4, 2017.
- CARMO FILHO, J. J. *Construir Frondoso: uma herança esquecida? Avaliação Pós-Ocupação em habitações unifamiliares projetadas de 1976 a 2004 na Região Metropolitana do Recife, com base nas recomendações do “Roteiro para construir no Nordeste” de Armando de Holanda*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.
- DE MEDEIROS, R. M.; CAVALCANTI, E. P.; DUARTE, J. F. D. M. Classificação Climática De Köppen Para O Estado Do Piauí – Brasil. *Revista Equador*, v. 9, n. 3, p. 82–99, 2020.
- DIZ-MELLADO, E. *et al.* Unravelling the impact of courtyard geometry on cooling energy consumption in buildings. *Building and Environment*, v. 237, n. March, 2023.
- DOCHERTY, M.; SZOKOLAY, S. *PLEA Note 5: Climate analysis*. Brisbane: PLEA, 1999.
- 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.; KRÜGER, E. L.; MOTZAFI-HALLER, W. Experimentos de campo com teto-reservatório e painéis para resfriamento radiante em uma edificação-teste. *Ambiente Construído*, v. 21, n. 1, p. 357–384, 2021.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. *Manual de Conforto Térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- GIVONI, B. *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons, 1998.
- HOLANDA, A. de. *Roteiro para construir no Nordeste: arquitetura como lugar ameno nos trópicos ensolarados*, Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1976.
- LIMA, M. G. De *et al.* *Climas do Piauí: interações com o ambiente*. Teresina: Edufi, 2020.
- MEMARIAN, Hossein. *Courtyard House: With Special Reference to Shiraz*. Tehran: 2021.
- OLGYAY, V. *Arquitectura y Clima*. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.
- MONTANER, J. M. *A condição contemporânea da arquitetura*, São Paulo: G. Gili, 2016.

PAPALAMBROS, P. Y. Design Science: Why, What and How. *Design Science*, v. 1, p. 1–38, 2015.

VELOSO, M. Adequação da arquitetura a climas quente e seco: o caso da arquitetura vernacular no sertão nordestino. In: V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, Fortaleza, 1999. *Anais...* Fortaleza: ANTAC, 1999.

WOENSEL, F. C. V. *Arquitetura no Nordeste brasileiro e o Roteiro de Armando Holanda*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.