UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
BACHARELADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

JUCELINO NOVAES DA SILVA

Avaliação da qualidade do ar no interior de habitações de interesse social em Maceió-AL por meio de simulação computacional

Maceió - AL
2024

JUCELINO NOVAES DA SILVA

Avaliação da qualidade do ar no interior de habitações de interesse social em Maceió-AL por meio de simulação computacional

Trabalho Final de Graduação, apresentado ao curso de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal de Alagoas, como produto para conclusão de curso. Orientado pela Prof.(a) Drª Juliana Oliveira Batista.

Maceió - AL

2024

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Maria Helena Mendes Lessa– CRB-4 – 1616

S586t Silva, Jucelino Novaes da.
Trabalho Final de Graduação : avaliação da qualidade do ar no interior de habitações de interesse social em Maceió-AL por meio de simulação computacional / Jucelino Novaes da Silva. - 2024.
54 f. : il. color. + 1 supl.

Orientadora: Juliana Oliveira Batista.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 51-54.
Suplemento: f. 1-4.

1. Ventilação – Ambiente residencial. 2. Habitação – Interesse social. 3. Simulação computacional – Moradias unifamiliares. I. Título

CDU: 728.3:004.383.4(813.5)

Dedico,

a minha mãe que tanto contribuiu para a minha caminhada.

RESUMO

A presença de microorganismos e gases poluentes comprometem a qualidade do ar, causando prejuízos à saúde. Assegurar a qualidade do ar em edificações é uma prioridade para preservar a saúde e o conforto dos ocupantes. A ventilação natural contribui para remoção de partículas suspensas no ar, assim como da umidade e do calor no ambiente interno, contribuindo também para o conforto térmico. O objetivo geral deste trabalho consiste em avaliar as trocas de ar em residências unifamiliares localizadas em Maceió-AL, considerando 4 diferentes implantações, em função de parâmetros de qualidade do ar interno. A residência estudada pertence ao Residencial Jardim das Orquídeas, localizada no bairro Cidade Universitária. Foram realizadas simulações das trocas de ar de um modelo computacional da residência no programa EnergyPlus v. 9.6, utilizando o plugin Euclid para modelagem da geometria no programa SketchUp, considerando-se o intervalo de 26m³/h a 34m³/h como parâmetros mínimo e recomendável, respectivamente, conforme definido por Mesquita et al. (1977) para ambientes de apartamentos populares. Os resultados obtidos indicaram a predominância de baixas taxas de renovação de ar ao longo do ano, variando de acordo com os padrões de abertura das esquadrias especificados para cada ambiente. O quarto de casal (implantações NE e SE) e a cozinha (implantações SO e NO) obtiveram os melhores resultados, verificando-se o alcance de taxas de renovação superiores a 34m³/h em alguns meses do ano. Para a implantação sudeste, os quatro ambientes alcançaram o número mínimo de trocas de ar, sendo esta a mais favorável. Por fim, ressalta-se a importância da qualidade do ar no interior residencial, especialmente na habitação popular, sabendo que nos resultados todas as unidades simuladas permaneceram 80% das horas do ano ou mais com taxas de renovação do ar inferior ao mínimo recomendado.

Palavras-chave: Ventilação. Habitação de interesse social. Simulação computacional.

ABSTRACT

The presence of microorganisms and polluting gases compromises air quality, causing harm to health. Ensuring air quality in buildings is a priority to preserve the health and comfort of occupants. Natural ventilation helps to remove suspended particles in the air, as well as humidity and heat in the internal environment, also contributing to thermal comfort. This work aims to evaluate air Exchange rates in single-family homes located in Maceió-AL, considering 4 different building orientations, for analysing indoor air quality parameters. The dwelling studied belongs to Residencial Jardim das Orquídeas, located in the Cidade Universitária neighborhood. Air exchange simulations of a computational model of the residence were carried out using the EnergyPlus v program. 9.6 and the Euclid plugin to model the geometry in the SketchUp program, considering the range of 26m³/h to 34m³/h as minimum and recommended parameters for air exchange, respectively, as defined by Mesquita et al. (1977) for low-income apartment rooms. The results indicated the predominance of low air exchange rates throughout the year, varying according to the opening patterns of the windows specified for each environment. The double bedroom (NE and SE oriented house) and the kitchen (SW and NO oriented house) obtained the best results, with renovation rates exceeding 34m³/h in some months of the year. The southeast oriented house was the most favorable, with the four rooms reaching the minimum number of air exchanges. Finally, the importance of air quality in residential environments is highlighted, especially in low income housing, knowing that in the results all simulated units spent at least 80% of the hours of the year with air renewal rates lower than the recommended minimum.

Keywords: Ventilation. Popular housing. Computer simulation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 7
1.1. Objetivos..... 11
1.1.1. Geral..... 11
1.1.2. Específicos..... 11
1.3 Estrutura do trabalho..... 11
2. REFERENCIAL TEÓRICO..... 13
2.1. O ar no interior residencial..... 13
2.1.1. Ventilação natural e fatores que afetam a qualidade do ar interno..... 13
2.2. Taxas de renovação de ar para manutenção da Qualidade Do Ar Interno..... 17
2.3. Condicionantes climáticas referentes a Maceió-AL..... 19
3. METODOLOGIA..... 24
3.1. Modelo padrão de residência..... 24
3.1.1. Sobre a estrutura física..... 26
3.2. Parâmetros de simulação..... 30
3.2.1. Parâmetros de avaliação da qualidade do ar interno..... 31
4. RESULTADOS..... 34
4.1. Taxas de renovação de ar obtidas nas diferentes orientações..... 34
4.1.1. Trocas de ar: sala de estar/jantar..... 36
4.1.2. Trocas de ar: cozinha..... 37
4.1.3. Trocas de ar: quarto solteiro..... 38
4.1.4. Trocas de ar: quarto casal..... 39
4.2. Frequências mensais das taxas de renovação de ar..... 39
4.2.1. Implantação Nordeste..... 40
4.2.2. Implantação Sudeste..... 42
4.2.3. Implantação Sudoeste..... 43
4.2.4. Implantação Noroeste..... 45
4.3. Recomendações projetuais após análises..... 46
5. CONCLUSÃO..... 49
5.1. Sugestões para trabalhos futuros..... 50
6. REFERÊNCIAS..... 51

1. INTRODUÇÃO

Na relação entre a qualidade do ar e a saúde, a qualidade do ar interno (QAI), tornou-se tema de saúde pública após a descoberta da associação de reduzidas taxas de troca de ar no ambiente com o aumento na concentração de poluentes químicos e biológicos no ar (Ferreira e Cardoso, 2013). A ventilação e o condicionamento do ar são consideradas estratégias primárias no controle de doenças infecciosas em hospitais e outras instalações, porque trata-se de uma combinação de processos que promove a diluição do ar ambiente favorecendo a remoção dos agentes infecciosos existentes (Silva e Navarro, 2013).

A inalação de resíduos tóxicos e microorganismos por via respiratória, que possam de alguma forma causar danos à saúde, afeta pessoas de todas as idades. Alguns dos principais poluentes do ar que podem ter efeitos nocivos incluem partículas finas (PM2.5), ozônio troposférico (O3), dióxido de nitrogênio (NO2), dióxido de enxofre (SO2), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COVs) (Castro; Araújo; Silva, 2013).

A exposição crônica à poluição do ar está relacionada a uma maior suscetibilidade a infecções respiratórias. O controle da qualidade do ar tem um papel crucial para prevenir o contágio pela COVID-19, doença causada pelo coronavírus SARS-CoV-2, pois a principal via de transmissão do vírus envolve a emissão de partículas respiratórias por indivíduos infectados durante a fala, tosse e espirros. Além disso, indivíduos com condições pré-existentes, como asma ou doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), enfrentam um risco elevado de complicações graves caso sejam infectados pelo vírus, devido à deterioração do seu sistema respiratório causada pela poluição do ar (Cardoso, 2020).

A interação entre microrganismos e poluentes atmosféricos, notadamente partículas em suspensão (PM2.5 e PM10) e aerossóis, pode exercer influência direta na saúde humana, atuando como vetores para microrganismos patogênicos, incluindo vírus, bactérias e fungos. A exposição a poluentes atmosféricos como o ozônio troposférico e o dióxido de nitrogênio (NO2) pode irritar as vias aéreas, tornando os indivíduos mais suscetíveis a alergias e agravando os sintomas da asma (Castro; Araújo; Silva, 2013). Por sua vez, a inalação de microrganismos, bactérias e fungos, presentes no mofo no interior dos ambientes fechados, pode

causar alergias e infecções respiratórias, afetando a microbiota do trato respiratório, a qual desempenha um papel fundamental na resistência às infecções e na modulação do sistema imunológico.

Assegurar a qualidade do ar em edificações é uma prioridade para preservar a saúde e o conforto dos ocupantes. Diversas estratégias e técnicas podem ser aplicadas para garantir a qualidade do ar, como implementar sistemas de ventilação mecânica eficazes, janelas operáveis ou combinações desses métodos para promover a circulação do ar.

Primeiramente, deve-se educar os ocupantes sobre a importância da qualidade do ar e instruindo-os sobre práticas que a favoreçam. Dentre essas práticas, pode-se destacar: a manutenção da ventilação natural adequada, mantendo as janelas abertas; implementar programas de manutenção preventiva para sistemas de ventilação e filtração de ar, a fim de assegurar o funcionamento eficiente desses sistemas; e integrar princípios de arquitetura sustentável desde as fases iniciais do processo de construção, visando à eficiência energética e à qualidade do ar interno, como parte de uma abordagem holística.

A ventilação, conceituada como o processo controlado de troca de ar entre o interior e o exterior de um espaço confinado, desempenha um papel primordial na regulação e manutenção da qualidade do ar em ambientes internos (Bittencourt; Cândido, 2008).

Um dos aspectos é diluir e mitigar poluentes internos, tais como os compostos orgânicos voláteis (COVs) provenientes de produtos químicos, odores, fumaça, bem como a remoção do dióxido de carbono (CO2) exalado pelos ocupantes e outros contaminantes. Ao permitir a entrada de ar fresco do exterior a concentração desses poluentes é reduzida, pois à medida que o ar externo entra no espaço interno, arrasta consigo partículas em suspensão, poeira e alérgenos, efetivamente retirando-as do ambiente. Além disso, a ventilação fornece um suprimento contínuo de oxigênio fresco, vital para a respiração dos ocupantes, evitando a carência de oxigênio, que pode resultar em desconforto e afetar a clareza cognitiva (Silva et al, 2019). A ventilação também tem influência sobre a temperatura interna, auxiliando na dissipação do calor e na regulação térmica, reduzindo os custos relacionados ao resfriamento em ambientes fechados (Dantas, 2015). A regulação da umidade é outra faceta da ventilação, pois seu excesso pode propiciar o desenvolvimento de

mofo e ácaros, ou na mitigação de ambientes excessivamente secos, que podem ocasionar desconforto respiratório (Copass, 2023).

Normas e regulamentações estabelecem critérios e exigências mínimas de ventilação em edificações comerciais e residenciais, com o objetivo de garantir a qualidade do ar interno e, consequentemente, o bem-estar dos ocupantes. A ventilação é recomendada pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005) em 7 das 8 zonas bioclimáticas do país, correspondendo a 99,2% da área de todo o território nacional. Na zona bioclimática 8, onde se localiza a cidade de Maceió-AL, a referida norma, que estabelece o zoneamento bioclimático brasileiro, recomenda que a ventilação seja cruzada, ou seja, com aberturas em faces opostas e orientadas para a corrente de ar predominante, permitindo que o ar permeie toda a edificação. É importante manter as janelas abertas para que o ar externo entre e substitua o ar interno.

Promover adequadas condições de higiene e salubridade na habitação possui profundo impacto na saúde humana, pois estima-se que os indivíduos permanecem de 80% a 90% do dia dentro das edificações, sendo que a maioria desse tempo é dispendido em casa (Pasternak, 2016). Logo, faz se necessário analisar os impactos que esses ambientes causam no bem-estar dos seus usuários. Por isso, é importante ter um melhor aproveitamento da ventilação natural para manter a qualidade do ar e conforto térmico, com destaque para as habitações populares.

O aproveitamento da ventilação natural nessas habitações deve ser priorizado pelo fato desse recurso ser o mais econômico se comparado com equipamentos como ventiladores, exaustores e condicionadores de ar, que consomem energia elétrica e possuem um custo de aquisição e manutenção proibitivo para as faixas da população com renda mais baixa. Contudo, deve-se observar a existência de impedimentos relativos a poluição local do ar, ruído excessivo no entorno e questões específicas ligadas à privacidade e segurança, visto que os edifícios ventilados naturalmente são mais abertos e permeáveis (Liddament, 1996).

Os conjuntos habitacionais, em geral, possuem um replicação de plantas-baixas, em diversas implantações no terreno, resultando em diferentes relações de ventilação com essas residências, frequentemente com fachadas desprovidas de aberturas coincidindo com o sentido principal dos ventos predominantes naquela região. Logo, há necessidade de se planejar a implantação das unidades habitacionais de acordo com a melhor orientação para captação da ventilação predominante, assim como para favorecer o sombreamento das

aberturas. Também deve-se buscar adequar a melhor opção de subdivisão dos ambientes internos, de modo que adaptações advindas de reformas não prejudiquem o aproveitamento da ventilação natural dessas residências.

No entanto, a prática da produção de habitação popular no Brasil apresenta desafios. Em 2009, foi criado o programa habitacional “Minha Casa Minha Vida” pelo governo federal brasileiro, em parceria com estados, municípios, empresas e entidades sem fins lucrativos, com o objetivo de oferecer moradias dignas para famílias de baixa renda. O Programa foi criado com o intuito de reduzir o déficit habitacional e utiliza subsídios governamentais para financiar a aquisição ou construção de moradias para famílias com renda mensal de até R$ 7 mil. Além disso, o programa oferece taxas de juros reduzidas e prazos de pagamento mais longos para o financiamento habitacional. O programa prevê ainda a construção de empreendimentos habitacionais em áreas urbanas, com infraestrutura e equipamentos sociais como escolas, creches, postos de saúde e áreas de lazer, para proporcionar um ambiente mais adequado e seguro para as famílias (Ministerio das Cidades, 2023).

As famílias beneficiárias são selecionadas por meio de critérios socioeconômicos e podem escolher entre imóveis novos ou usados, desde que atendam aos padrões de qualidade e segurança estabelecidos pelo programa. Os beneficiários também recebem assistência técnica para a construção ou reforma de suas moradias.

> Em seu lançamento, PMCMV representava uma promessa de oferta de melhores condições habitacionais e, por conseguinte, melhor qualidade de vida para a população. Na prática, percebe-se que a qualidade arquitetônica e urbanística das habitações produzidas não alcançou um nível de qualidade compatível com as necessidades dos seus usuários. (Ferreira; Batista; Barbosa, 2020, p. 709)

Em Maceió, os empreendimentos financiados pelo Programa Minha Casa Minha Vida, encontram-se majoritariamente na região dos tabuleiros, na periferia da cidade, com cerca de 20 km de distância da orla, considerada a parte mais nobre da cidade. Isso decorre do fenômeno de aumento do valor de casas, terrenos e apartamentos nas regiões com maior interesse, de modo que a oferta de moradia das famílias mais pobres acaba se concentrando nas regiões periféricas da cidade.

Considerando a importância da ventilação para a manutenção da qualidade do ar e do conforto térmico nas habitações populares, o presente trabalho apresenta um estudo de caso utilizando uma tipologia de unidade habitacional unifamiliar replicada em residenciais financiados pelo Programa Minha Casa Minha Vida, situados em Maceió-AL.

1.1. Objetivos

1.1.1. Geral

Avaliar as trocas de ar em residências unifamiliares localizadas em Maceió-AL, considerando diferentes implantações, em função de parâmetros de qualidade do ar interno.

1.1.2. Específicos

- Identificar parâmetros de salubridade relacionados à qualidade do ar interno de ambientes residenciais;

- Classificar as condições de salubridade dos ambientes internos, com base nas estimativas de renovação do ar e critérios estabelecidos pela literatura;

- Elaborar recomendações para a elaboração de projetos arquitetônicos, visando a salubridade e qualidade do ar interno.

1.3 Estrutura do trabalho

O capítulo 1 apresenta a introdução, objetivos e a estruturação do trabalho. No capítulo 2 deste trabalho é apresentado o embasamento teórico sobre ventilação natural, habitação popular e condicionantes ambientais característicos de Maceió-AL.

No capítulo 3 é apresentada a caracterização das condições climáticas da cidade de Maceió e da unidade habitacional utilizada como objeto de estudo. Nele também é descrito o método de simulação computacional adotado no estudo, bem

como os parâmetros adotados para tratamento dos resultados das simulações das trocas de ar no interior dos ambientes residenciais.

No capítulo 4, são apresentados os resultados das simulações e sua discussão, contendo gráficos ilustrativos das trocas de ar nas diferentes orientações da unidade habitacional unifamiliar escolhida como objeto de estudo, analisando o enquadramento destes resultados nas recomendações para troca de ar ideais em ambientes residenciais estabelecidas pela literatura.

O capítulo 5 apresenta as recomendações para a elaboração de projetos arquitetônicos com maior qualidade de ar interno.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho, apontando-se também as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica sobre o ar no interior residencial, bem como a ventilação natural e as taxas de renovação de ar para manutenção da qualidade do ar no interior das edificações. Por fim, será referenciado sobre a cidade de Maceió as suas condicionantes climáticas e epidemiológicas.

2.1. O ar no interior residencial

No interior das habitações há partículas de microrganismos que podem ser prejudiciais à saúde dos ocupantes. Logo, há a necessidade da renovação do ar interno através da ventilação natural, substituindo o ar contaminado pelo ar purificado do meio exterior. Esse fenômeno pode ser contabilizado através das trocas de ar.

2.1.1. Ventilação natural e fatores que afetam a qualidade do ar interno

De acordo com a NBR 14679, “ventilação é o processo de retirar ou fornecer ar por meios naturais ou mecânicos de ou para recinto fechado” (ABNT, 2002, p. 3). A ventilação natural por meio das trocas de ar do ambiente externo com o interno proporciona a melhor qualidade do ar, expelindo para o meio externo o ar contaminado com microrganismos e reduz o consumo energético por diminuir o uso de equipamentos de climatização artificial. Para haver trocas de ar, devem existir aberturas à barlavento para entrada do ar e à sotavento, para permitir que o ar interno seja retirado, realizando a sua renovação. Logo, é necessário que as aberturas estejam posicionadas na direção da ventilação que prevalece naquela localidade.

Os imóveis habitacionais em algumas cidades do Brasil tiveram suas áreas reduzidas e o mesmo ocorreu com a diminuição do tamanho das janelas e o desenho delas cada vez mais minimalista, diminuindo as possibilidades de controle sazonal e o desempenho da ventilação natural (Tablada et al, 2009; Sacht et al, 2017). Por outro lado, o aumento do adensamento urbano brasileiro e verticalização

sem considerar aspectos ambientais têm causado a diminuição da velocidade média do vento (Ferreira, 2010), fazendo com que a troca de ar fique cada vez mais dificultada devido ao volume dos edifícios, causando a perda de pressão do ventos.

Vários fatores podem alterar a qualidade do ar residencial, de acordo com a cartilha *WHO Housing and Health Guidelines*, produzida pela OMS (Organização Mundial da Saúde):

> A qualidade do ar interno é afetada por vários aspectos do ambiente interno e ambiente ao ar livre, incluindo o sistema de ventilação, estrutura da habitação, a sua situação, os dispositivos de cocção, iluminação e aquecimento utilizados, o tipos de móveis, adesivos e revestimentos e poluição externa e tabagismo por ocupantes ou infiltrações de fumaça de tabaco provenientes de unidades vizinhas. O ar interno úmido estimula o crescimento de fungos e pode indicar que não há ventilação suficiente para dispersar a umidade gerada a partir de atividades internas, como cozinhar e tomar banho. Má qualidade de dispositivos de aquecimento e de cozinha, e falta de ventilação, podem resultar em poluição do ar interno. (OMS, 2018, p. 88)

Além de fungos, a permanência de pessoas com doenças respiratórias como a COVID-19 podem dispersar o vírus no ar, transmitindo-a para outros indivíduos. Umidade e mofo podem ser particularmente prevalentes em moradia para pessoas de baixa renda. Segundo a Organização Mundial da Saúde, 4,6 milhões de pessoas morrem anualmente de doenças diretamente relacionadas à má qualidade do ar (Cohen et al., 2017).

Sobre as diretrizes de qualidade de ar em residências, a OMS cita que para o gerenciamento da umidade, a ventilação deve ser distribuída de forma eficaz em todos os espaços e as zonas de ar estagnado devem ser evitadas. Recomendações locais para diferentes regiões climáticas devem ser atualizadas para controlar o crescimento microbiano mediado pela umidade em edifícios, para garantir qualidade do ar interior desejável.

A seguir, serão apresentadas algumas recomendações referentes ao controle da qualidade do ar no interior de ambientes residenciais.

- **Umidade do ar:** de acordo com a cartilha WHO Housing and Health Guidelines, produzida pela OMS (Organização Mundial da Saúde):

> A baixa umidade relativa do ar interno é responsável por causar desconforto nos seres humanos, manifestando-se por sintomas como dores de cabeça,

> irritação nos olhos, dor de garganta e ressecamento da pele. Além disso, o ar seco diminui a capacidade natural de defesa contra infecções transmitidas pelo ar, deixando as pessoas mais suscetíveis a vírus e outros microrganismos. Por outro lado, a umidade excessiva também pode trazer problemas, como o crescimento de poluentes biológicos prejudiciais e o impacto negativo da umidade nos materiais de construção (2018, p.48).

De acordo com Lamberts et al (1997), em Maceió há alta umidade, logo, mofo e fungos se proliferam com maior facilidade causando problemas respiratórios para os ocupantes de determinado ambiente que esteja infestado por esses microorganismos.

Dióxido de carbono: A norma europeia EN 13779:2007 estabelece critérios para a boa qualidade do ar interno, definindo-a com base na concentração de CO_2. A norma estabelece que a faixa normal de concentração de CO_2 em ambientes internos fechados seja de 400 a 600 ppm, ligeiramente acima dos níveis encontrados no ar externo (400 ppm). Os sistemas de ventilação modernos são projetados com base nessa premissa, visando garantir uma qualidade do ar interno adequada, ao mesmo tempo em que mantêm a eficiência energética. Entretanto, na prática, essas diretrizes são aplicáveis principalmente a escritórios modernos equipados com sistemas de ventilação avançados. De acordo com um estudo de Harvard sobre a Qualidade do Ar Interno (Harvard Indoor Air Quality Study), por Joseph Allen e John Macomber, publicado em 2015, o aumento dos níveis internos de CO_2 afeta negativamente as habilidades cognitivas, como a capacidade de resposta a crises, estratégia e uso de informações, reduzindo-as a apenas 20% quando a concentração de CO_2 atinge 1.400 ppm em comparação com os níveis externos normais de 400 ppm. O desempenho em tarefas complexas torna-se significativamente mais difícil à medida que os níveis de CO_2 aumentam em ambientes fechados, destacando a importância de se manter uma renovação do ar adequada principalmente em escritórios.

Compostos orgânicos voláteis: Os compostos orgânicos voláteis são parte de uma ampla classe de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, incluindo seus derivados halogenados, álcoois, cetonas e aldeídos. Têm grande importância, na medida em que direta ou indiretamente afetam as mudanças climáticas e a saúde humana. Podem originar-se naturalmente, a partir de emissões biogênicas em oceanos, florestas, vulcões etc., ou resultar de atividades antropogênicas, como

emissões veiculares, produtos de petróleo, químicos, indústrias manufatureiras, operações de pintura e lavagem a seco, entre outras (CETESB, 2021, pg.13). Nesse caso, quando a casa está situada em um ambiente onde o ar externo é poluído, é crucial adotar medidas para melhorar a qualidade do ar dentro de casa. Uma abordagem eficaz inclui o uso de purificadores de ar equipados com filtros HEPA (High Efficiency Particulate Air), manter portas e janelas fechadas durante os períodos de maior poluição externa para evitar a entrada de poluentes, monitorar regularmente a qualidade do ar dentro de casa com o auxílio de medidores específicos, ajustando as medidas conforme necessário e em situações de poluição do ar externo severa e crônica, é aconselhável consultar especialistas em qualidade do ar ou saúde ambiental para orientações mais específicas e soluções avançadas.

A Organização Mundial da Saúde - OMS é a maior agência mundial reguladora da saúde sob o domínio das Nações Unidas. Onde realizam vários estudos sobre a saúde e também criaram definições para qualidade do ar, onde eles colocam o como principais poluentes residênciais o $PM_{2.5}$, PM_{10}, ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono (OMS, 2021). A $PM_{2.5}$, PM_{10} são poluentes conhecidos como matérias particuladas, sendo a $PM_{2.5}$ as particulas menores que 2,5 micrômetros e PM_{10} as menores que 10. O ambiente interno possuem fontes de poluição como cozinhar, veiculos estacionados, hobbies, fumar, produtos domésticos, animais de estimação, roedores e insetos, contaminando o ar com PM (Matéria Particulada), CO (Monóxido de Carbono), NO_x (Óxidos de Nitrogênio), VOCs (Compostos Orgânicos Voláteis) e alérgenos (OMS, 2021, pg.179).

Conforme citado anteriormente, a ventilação adequada favorece a salubridade do ar ao dispersar as partículas e agentes patogênicos prejudiciais a saúde. No próximo tópico, serão apresentados parâmetros citados na literatura que servem como referência para avaliar a qualidade do ar nos ambientes externos.

2.2. Taxas de renovação de ar para manutenção da Qualidade Do Ar Interno

O número de taxas de renovação de ar é um parâmetro que indica o volume de ar que sai de um ambiente interno para o meio externo em um determinado período de tempo, para uma determinada quantidade de pessoas. A Anvisa indica

que a Taxa de Renovação do Ar adequada de ambientes climatizados seja, no mínimo, de 27 m³/hora/pessoa (ANVISA, 2023).

A ventilação é uma questão de saúde pública e recomendações normativas sobre padrões de ventilação para habitação foram publicadas por várias organizações, como a ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers e o Buildings Performance Institute Europe.

A *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality,* apresenta dados de trocas de ar de espaços comerciais, escolas, escritórios, auditórios e grandes espaços de entretenimento. Entretanto, não indica referenciais para edificações residenciais.

Sobre a quantificação de trocas de ar, Assis e Mendes (2021, pg. 1127) relatam que:

> No caso americano, a Standard 62.1 (ANSI/ASHRAE, 2019) prevê para ambientes de estar até 1 l/(s.m^2) e para as cozinhas entre 1 e 2 l/(s.m^2); são taxas extremamente baixas, considerando que 1 l/s corresponde a 4,4 m^3/h. A TS-L1 (ATTMA, 2016) identifica como boa prática para ventilação natural em habitações uma taxa de renovação de 3 a 5 m^3 /(h.m^2). Considerando que grande parte das habitações têm áreas relativamente pequenas, a renovação do ar considerando tais taxas cumpre apenas com o suprimento de ar fresco para ventilação higiênica, já que em climas frios a ventilação para extração de calor não apenas não é desejável para o conforto térmico, como também levaria a um consumo excessivo de energia para aquecimento do ar interior, havendo assim, uma grande preocupação, nestes países, com a estanqueidade ao ar dos componentes da construção e com a indesejada infiltração de ar externo ou vazamento do ar interno tratado.

A ventilação natural em habitações é tratada como um conjunto de boas práticas resultantes da experiência ou da análise de soluções da arquitetura vernacular em domínios climáticos variados (Liddament, 1996).

Os requisitos são frequentemente prescritos no sentido de uma taxa mínima de renovação do volume de ar de um ambiente ou de um tamanho mínimo de aberturas. O Código de Edificações de Maceió (Maceió, 2007) não menciona nenhum parâmetro relacionado a ventilação natural. Entretanto, a grande maioria dos códigos de edificações brasileiros relacionam um tamanho mínimo de aberturas para ventilação e iluminação com uma fração da área de piso - o que provavelmente está muito mais ligado à iluminação do que propriamente à ventilação dos ambientes.

De fato, não há qualquer parâmetro normativo relacionando a área de abertura com o tipo de esquadria, para definir as condições de efetivo acesso do ar, bem como com a orientação da edificação aos ventos dominantes locais, a eventual obstrução do entorno construído e o posicionamento da abertura no ambiente. Mesmo no caso da NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que apresenta recomendações de tamanhos de aberturas para cada zona climática com base nas Tabelas de Mahoney, tais recomendações aparecem como uma fração da área de piso, enquanto as mesmas recomendações no original das referidas Tabelas (UN, 1971) dizem respeito à área das paredes onde as aberturas se encontram.

De acordo com Bittencourt e Araújo (2022), as taxas de ventilação adequadas para a ventilação higiênica recomendadas pela norma norte-americana *ANSI/ ASHRAE Standard* 62-2 devem ser iguais ou superiores aquelas apresentadas na Tabela 01 para uma casa de 47 m². Os valores fornecidos pela tabela original forneciam os valores em L/s, entretanto, foram convertidos para m³/h para melhor comparação.

Tabela 01: Vazões mínimas (m³/h) para manter a qualidade do ar em moradias, em função da quantidade de moradores e do número de dormitórios.

Quantidade de moradores	**Número de dormitórios**			
	1	**2**	**3**	**4**
2	50,4	64,8	75,6	90
3	63	77,4	88,2	102,6
4	75,6	90	100,8	115,2

Fonte: ANSI/ASHRAE Standard 62-2, adaptado.

Outra indicação é a compilação brasileira de Mesquita et al (1977), apresentada na Tabela 02:

Tabela 02: Vazões mínima para manter a qualidade do ar em moradias

Local	Taxa de ventilação		
	m^3/h por pessoa		No. trocas/ hora
	mínima	recomendada	
Apartamentos populares	26	34	
Apartamentos de luxo	43	50	
Cozinhas			20 a 30
Residências: geral			5 a 20
Residências: sala jantar			4 a 12

Fonte: Mesquita et al (1977), adaptado.

Na proposta de Mesquita et. al (1977), um apartamento popular com dois ocupantes por ambiente demanda uma taxa de renovação de ar variando entre 52 a 68 m³/h, enquanto o valor recomendado pela ANSI/ASHRAE é 64,8 m³/h sob as mesmas condições. No entanto, enquanto a base de cálculo de Mesquita et. al (1977) multiplica a taxa recomendável pelo número de ocupantes, segundo a recomendação da ANSI/ASHRAE, acima de dois ocupantes soma-se 12,6 m³/h para cada pessoa a mais.

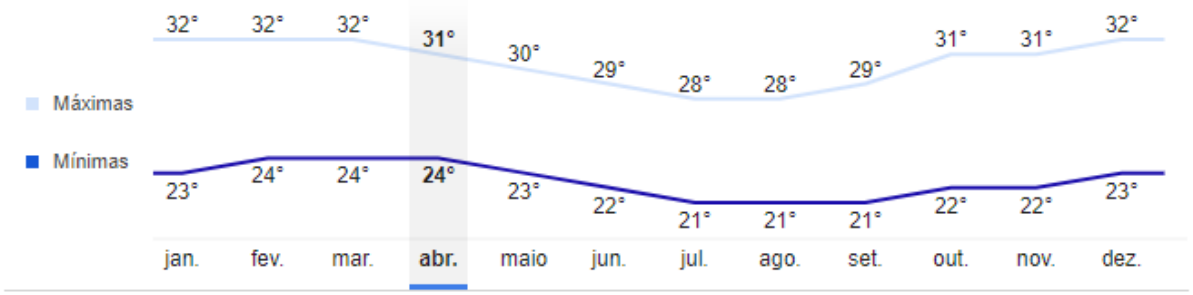
2.3. Condicionantes climáticas referentes a Maceió-AL

A cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas, está localizada no litoral, em clima tropical. De acordo com o zoneamento bioclimático vigente a *NBR 15220: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social* (ABNT, 2005), está classificada na zona bioclimática 8, cujas recomendações para condicionamento térmico passivo são aberturas grandes para ventilação (maior que 40% da área de piso do ambiente) e ventilação cruzada permanente.

O clima quente e úmido de Maceió apresenta pluviosidade significativa ao longo do ano, com máxima precipitação no mês de junho. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger o clima é classificado como As, tropical com estação seca (IBGE, 1990). Março é o mês mais quente do ano (figura 01), com uma

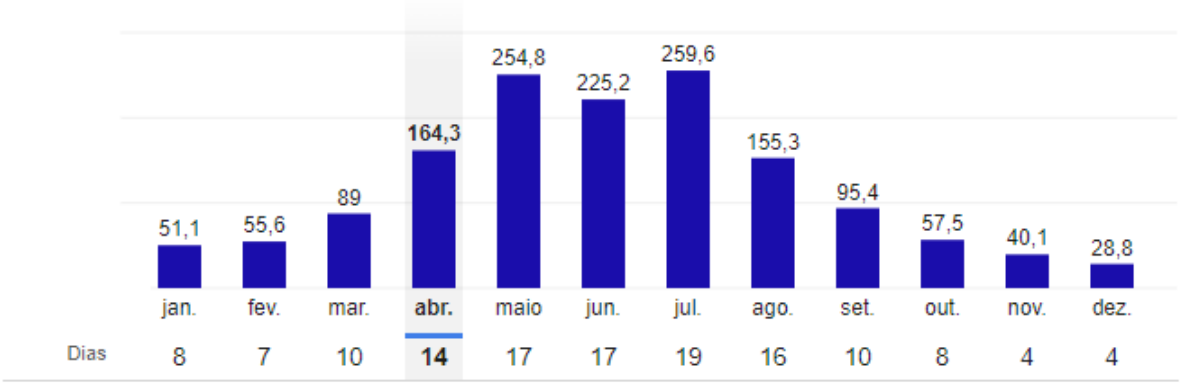
temperatura média de 26,4 °C e agosto é o mês com a mais baixa temperatura média, de 23,5 °C ao longo do ano e tem 1410 mm de pluviosidade média anual (figura 02). Suas temperaturas médias mensais variam em torno de 25,1°C, tendo uma máxima mensal de 29,9°C e a mínima de 20,8°C. A umidade relativa do ar é em média de 80,5 %, sendo julho o mês mais úmido do ano e novembro o mês mais seco (figura 03) (Santiago; Gomes, 2016).

Figura 01: Temperaturas médias mensais em Maceió (ºC)



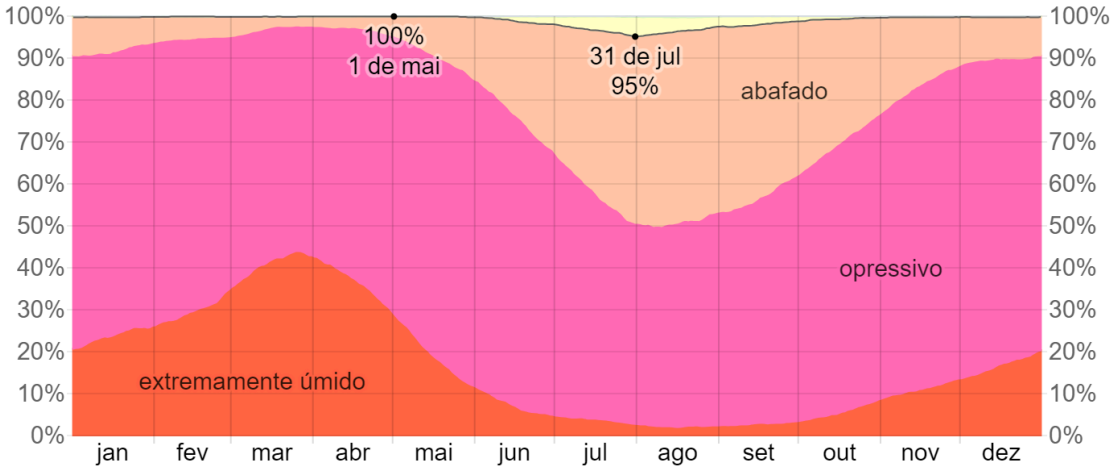
Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2024.

Figura 02: Pluviosidades médias mensais em Maceió (milímetros)



Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration, 2024.

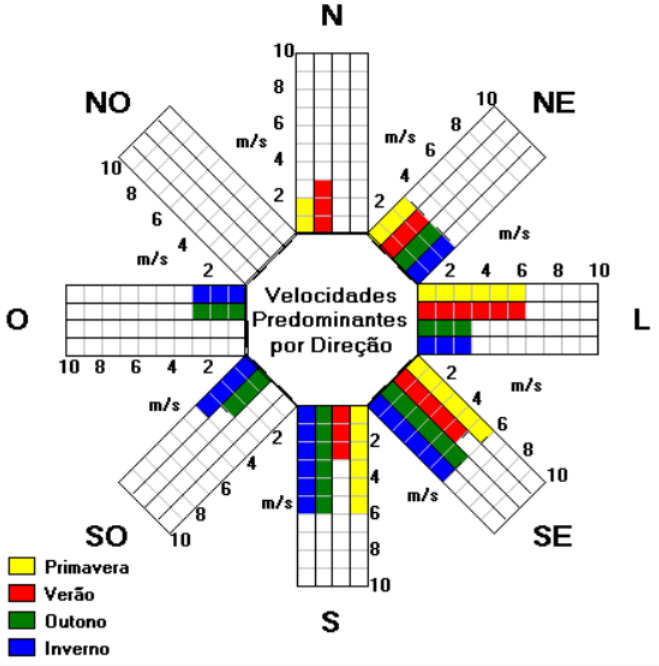
Figura 03: Umidades médias mensais em Maceió (%)



Fonte: Weather Spark, 2024.

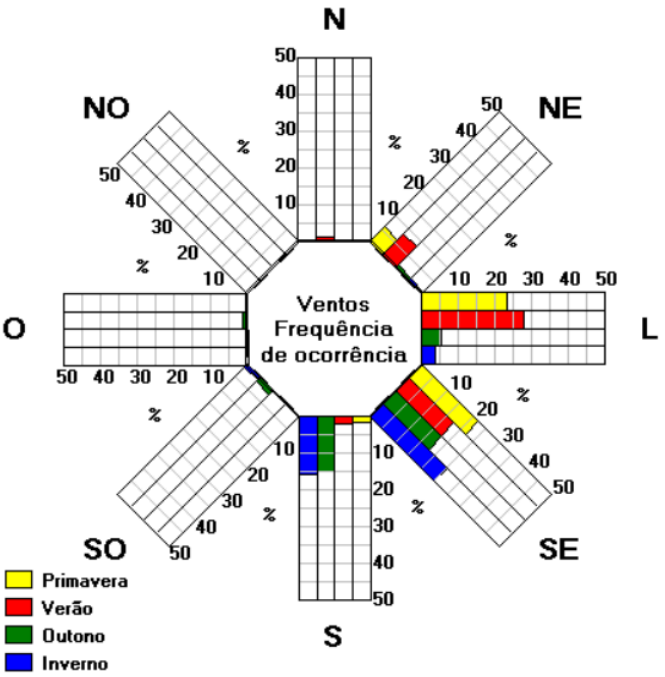
De setembro a abril (período seco), a incidência predominante dos ventos é a leste e a secundária varia entre nordeste e sudeste. Já de maio a agosto (período úmido), a incidência principal é sudeste, enquanto as secundárias foram, respectivamente, leste e oeste, esta última, com velocidades mais baixas (Silva, 2019). As Figuras 01 e 02 ilustram as rosas dos ventos de Maceió, respectivamente, referentes às velocidades e frequências, por direção, para cada estação do ano.

Figura 04: Rosa dos ventos (velocidades) da cidade de Maceió-AL



Fonte: SOL-AR, 2023.

Figura 05: Rosa dos ventos (frequência de incidência) da cidade de Maceió-AL



Fonte: SOL-AR, 2023.

A permanência do mesmo ar em um ambiente por longo período de tempo pode causar diversos problemas à saúde devido a proliferação de microrganismos, especialmente naqueles nos quais a ventilação não cumpre a função de renovar o ar interno adequadamente. Exemplo disso foi a pandemia da COVID-19, onde uma pessoa infectada, com o agravante da não utilização de máscara, pode expelir no ar partículas do vírus e contaminar outros usuários deste local.

Até o dia 25 de março de 2023, último informe epidemiológico sobre o coronavirus na cidade, o distrito de saúde que compreende o bairro da Cidade Universitária era o que apresentava o maior número de infectados pela COVID-19 desde o início da epidemia, um dos mais carentes da cidade de Maceió. Na sequência, o segundo distrito com o maior número de casos correspondia aquele que abriga os bairros de Ponta Verde, Pajuçara e Jatiúca e possui um alta demanda turística, com aglomerações em seus estabelecimentos comerciais (Calheiros et al., 2023). Percebe-se a relação entre os fatores sociais e econômicos com a vulnerabilidade ao contágio, demonstrando a importância da adoção de medidas que preservem condições de salubridade adequadas nos diferentes ambientes construídos da cidade.

Ressalta-se que a pandemia COVID-19 não é o tema norteador da pesquisa, mas esse acontecimento com a população mundial confinada nas residências ressaltou a importância da manutenção das taxas de renovação do ar nos ambientes internos para a promoção da saúde. Neste trabalho, o foco é o ambiente residencial, no âmbito da habitação popular, caracterizada por deficiências com relação a qualidade arquitetônica, replicação massiva e que costuma possuir densidade de ocupantes elevada, ampliando o risco de contaminação por doenças respiratórias e outros problemas advindos da ventilação inadequada.

Considerando-se a importância da renovação do ar para a manutenção da saúde dos habitantes, justifica-se investigar a possibilidade de utilizar a ventilação natural para garantir a qualidade do ar nos ambientes residenciais.

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa para obter os resultados quantitativos e qualitativos do objeto pesquisado: a unidade habitacional unifamiliar do Conjunto Jardim das Orquídeas, em Maceió-AL.

Na primeira etapa, foi feita a seleção do modelo de residência. Para efeito comparativo, as unidades habitacionais possuem a mesma planta-baixa, variando-se apenas a posição de implantação.

Na segunda etapa, foram realizadas as simulações computacionais do número de renovações de ar dos ambientes internos, utilizando-se o software EnergyPlus v.9.6 (EUA, 2021). A geometria da casa foi modelada com o auxílio do plugin Euclid v.9.4.3 no programa SketchUp 2017, que é a última versão original gratuitamente disponível pela empresa Trimble.inc.

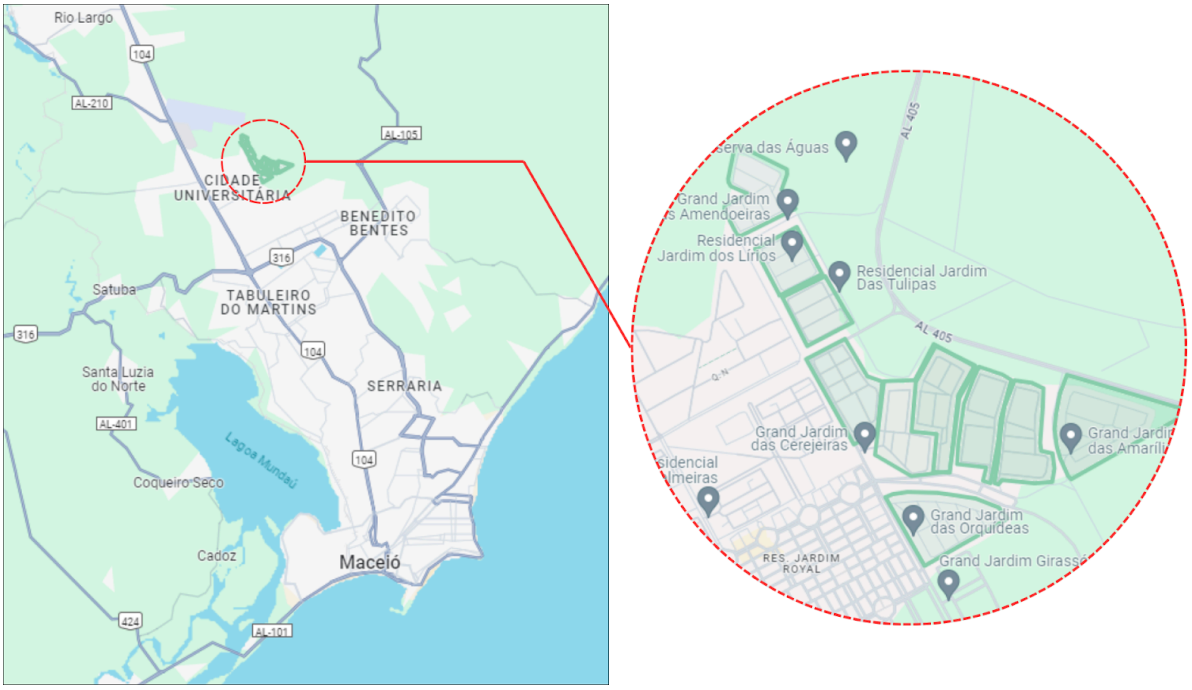
Na terceira e última etapa, os resultados das simulações referentes às taxas de renovação de ar dos ambientes foram analisados em planilhas eletrônicas, sendo gerados os gráficos ilustrativos para cada implantação investigada.

3.1. Modelo padrão de residência

O modelo de residência objeto de estudo consiste no projeto padrão de unidade habitacional utilizado nos residenciais Jardim das Orquídeas, Jardim das Cerejeiras, Jardim das Hortências e Jardim dos Ipês, lançados no período entre 2015 e 2019, situado na cidade de Maceió-AL, no bairro Cidade Universitária (Figura 05). Concebidos pela empresa Engenharq, essas casas foram financiadas pelo Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV) e se enquadram na Faixa de renda 2.

A seleção desses conjuntos se deve a alguns fatores como replicação do mesmo modelo de planta, totalizando 1601 unidades. O Jardim das Orquídeas (figura 06), enfocado neste estudo, possui um total de 466 unidades habitacionais de interesse social, sendo elas, 189 na implantação nordeste, 186 na sudoeste, 52 na noroeste e 39 a sul (figura 07). A figura 08 ilustra as unidades habitacionais após a conclusão da obra.

Figura 06: Localização do Conjunto Jardim das Orquídeas em Maceió



Fonte: Adaptado, Google Maps, 2023.

Figura 07: Planta Baixa do Residencial Jardim das Orquídeas, Maceió-AL

Fonte: EngenhArq, 2023.

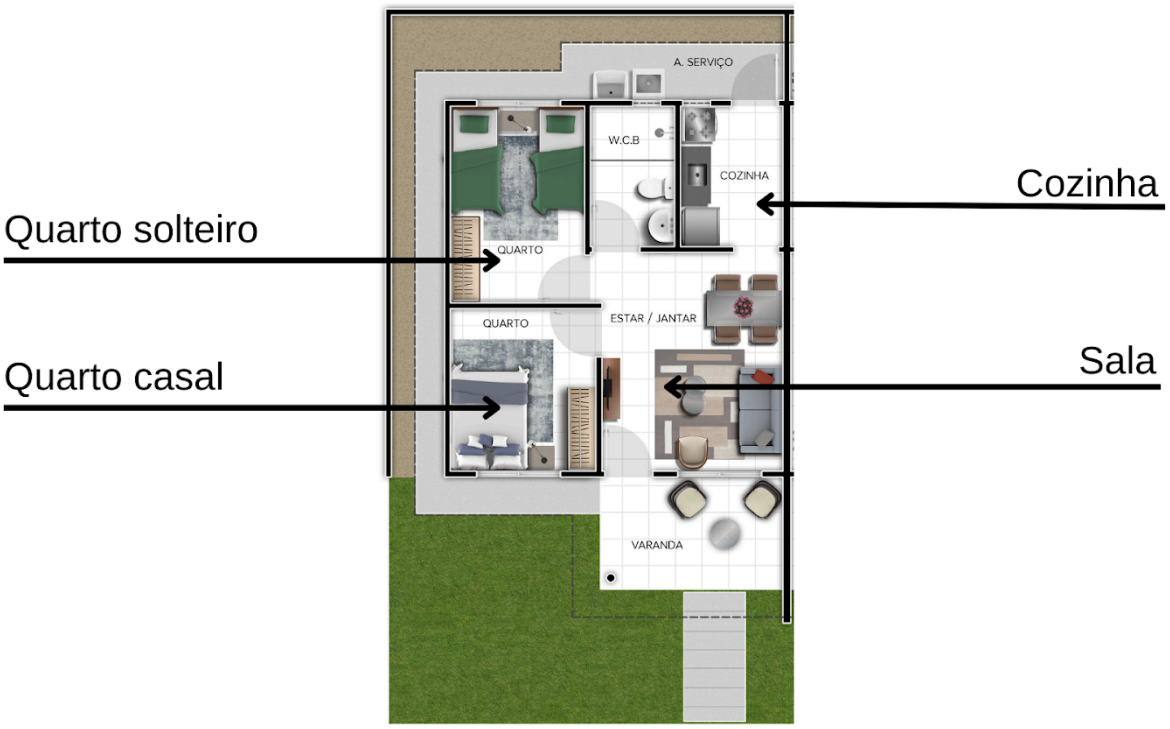
Figura 08: Unidades habitacionais do residencial Jardim das Orquídeas, Maceió-AL

Fonte: OLX, 2023.

3.1.1. Sobre a estrutura física

A planta da residência dispõe de 5 cômodos internos, sendo eles, 1 sala, 1 cozinha, 1 banheiro e 2 quartos (Figura 09) com aberturas apenas nas fachadas frontal e posterior.

Figura 09: Planta Baixa da residência em análise



Fonte: EngenhArq, 2023

De acordo com Batista et al. (2014) o posicionamento das aberturas, quando voltadas a barlavento, proporcionam a maior passagem de ar pela residência. Porém, deve-se ter cautela quanto ao aumento do tamanho das aberturas, pois de acordo com Dantas (2015), o aumento das aberturas na Zona Bioclimática 8 resulta no aumento da temperatura no interior da edificação, devido a diminuição da área de envoltória em alvenaria, que é um material que possibilita uma menor troca de calor do ambiente externo com o interno.

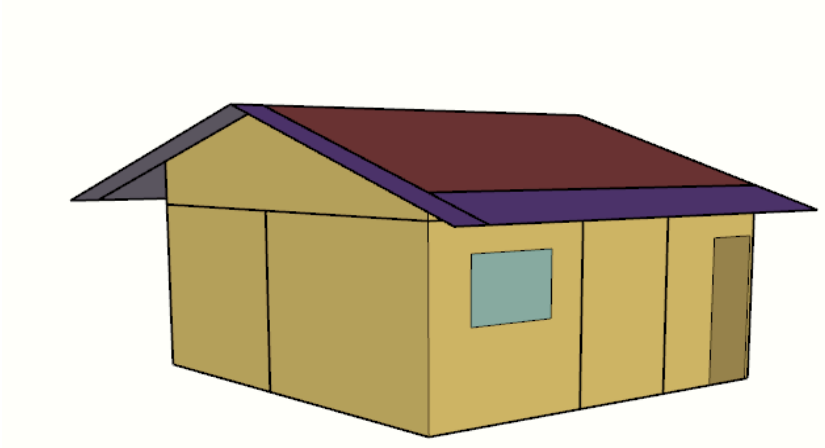
Sobre as aberturas, são predominantemente em vidro, tendo as janelas de correr com apenas 50% da sua capacidade de abertura em relação à área de janela (Figura 10). As janelas dos quartos são 1,0x1,1 m, da sala é 1,0x1,6 m e da cozinha é 0,4x0,4 m.

Figura 10: Fachada principal da residência

Fonte: Olx, 2023.

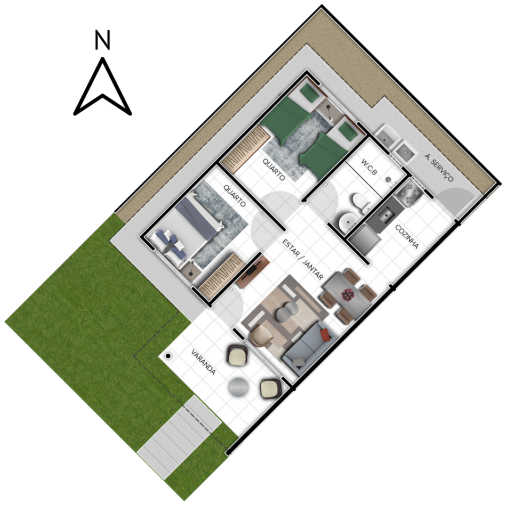
O modelo de moradia selecionado para estudo (figura 11) tem suas fachadas principais orientadas no sentido sudeste, nordeste, noroeste e sudoeste (figura 12). Levando em consideração as incidências predominantes do vento em Maceió, as fachadas nordeste e sudeste situam-se à barlavento e as fachadas sudoeste e noroeste estarão à sotavento.

Figura 11: Modelo de residência elaborado com auxílio do plugin Euclid.



Fonte: Autoral, 2023.

Figura 12: Implantações simuladas.

Fachada principal a noroeste	Fachada principal a nordeste
Fachada principal a sudoeste	**Fachada principal a sudeste**
	

Fonte: Adaptado de Telesil, 2024.

Para a modelagem computacional da unidade habitacional, o programa EnergyPlus requer a descrição das propriedades termofísicas dos componentes construtivos da envoltória: rugosidade, espessura, condutividade, densidade e calor específico, de acordo com a tabela 03.

Tabela 03: Características dos materiais

Material	Rugosidade	Espessura (m)	Condutividade (W/mK)	Densidade (Kg/m³)	Calor específico (J/KgK)
Telha cerâmica	média	0,01	0,9	1600	920
Forro de Gesso	média	0,02	0,9	1000	840
Argamassa	média	0,025	1,15	2000	1000
Piso Concreto	média	0,1	1,75	2300	1000
Brita	muito	0,1	0,7	1500	800
Piso Cerâmica	média	0,01	0,9	1600	920
Porta de Madeira	média	0,03	0,15	500	1340
Tijolo de cerâmica	média	0,014	0,9	1600	920
Esquadria de alumínio	suave	0,01	230	2700	880
Forro de PVC	média	0,01	0,2	1300	960
Argamassa Externa	média	0,025	1,15	2000	1000

Fonte: Adaptado de NBR15220-2 (ABNT, 2005).

3.2. Parâmetros de simulação

Foi utilizado um arquivo climático em formato EPW da base do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET do LABEEE[1], o qual contém dados de temperatura, umidade, velocidade e direção do vento, radiação solar, entre outros dados relevantes para simulação de desempenho termo energético, para cada uma das 8760 horas anuais. Estes dados são utilizados para simular o comportamento

[1] Disponível em: https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018

termo energético de um edifício nas condições climáticas específicas da cidade de Maceió.

Os padrões de abertura das esquadrias, referentes às horas nas quais é permitida a entrada da ventilação natural e o padrão de ocupação de cada ambiente, indicando-se o número de ocupantes e os horários de permanência correspondentes.

Para a simulação da ventilação, foi utilizado o modelo de rede (*AirFlow Network*), capaz de simular fluxos de ar multizona, impulsionados pelo vento, de acordo com os dados de direção e velocidade do vento existentes no arquivo climático.

As trocas de ar durante a maior parte da noite são iguais a zero, visto que as janelas permanecem fechadas por razões de segurança e privacidade. Caso fosse calculada a media diária das taxas de renovação de ar, os valores ficariam muito baixos, sendo inviável comparar com as trocas de ar sugeridas por Mesquita et al (1977). Logo, optou-se por analisar as máximas taxas de renovação atingidas em cada ambiente por orientação para verificar quais ambientes atingem os valores mínimos e recomendados.

3.2.1. Parâmetros de avaliação da qualidade do ar interno

Para definir a quantidade de trocas de ar ideal de cada ambiente residencial, foi utilizada como parâmetro a Tabela 04, produzida por Mesquita et al (1977), adotando-se o valor mínimo de 26m³/h por pessoa e o ideal de 34 m³/h por pessoa, apontado como o padrão para apartamentos populares. Para este estudo, padronizou-se cada ambiente como sendo ocupado por 2 pessoas, sendo eles: uma sala, uma cozinha, um quarto solteiro e um quarto casal.

Tabela 04: Taxas de ventilação para apartamentos populares

Local	m³/h por pessoa	
	mínima	recomendada
Apartamentos populares	26	34

Fonte: Mesquita et al (1977), adaptado.

A quantidade de trocas de ar foram obtidas a partir dos resultados da variável *AFN Zone Ventilation Volume [m3](Hourly)*, que de acordo com o LABEEE - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, fornece o número de trocas de ar, em metros cúbicos por hora, resultante da ventilação através das aberturas das janelas/portas. Para sintetizar os dados obtidos em gráficos foi utilizada a ferramenta Planilhas Google.

As simulações foram realizadas para as 8760 horas do ano A tabela 06 apresenta os horários nos quais as janelas de cada ambiente são mantidas abertas durante a semana (segunda a sexta-feira)e nos finais de semana.

Tabela 05: Padrões de abertura das janelas dos ambientes.

Legenda: Aberto Fechado

Hora	Durante a semana				Finais de semana			
	Sala	Cozinha	Q. S.	Q. C.	Sala	Cozinha	Q. S.	Q. C.
01:00								
02:00								
03:00								
04:00								
05:00								
06:00								
07:00								
08:00								
09:00								
10:00								
11:00								
12:00								
13:00								
14:00								
15:00								
16:00								
17:00								

18:00								
19:00								
20:00								
21:00								
22:00								
23:00								
24:00								

Fonte: Autoral, 2024.

De acordo com os padrões descritos na tabela 05, os ambientes permaneceriam com as janelas abertas durante pelo menos 16,7% das horas do dia. No caso da cozinha, esse percentual de horas manteve-se o mesmo durante todos os dias do ano, enquanto os quartos de solteiro e de casal mantiveram as janelas abertas durante um intervalo de tempo maior: até 58,3% e 41,7%, respectivamente.

Para a análise dos resultados, foram elaborados gráficos ilustrativos das máximas trocas de ar alcançadas em cada implantação simulada e também a frequência de ocorrência das trocas de ar para três intervalos: inferior a 26 m³/h (insuficiente); maior ou igual a 26 m³/h e menor que 34 m³/h e maior ou igual a 34 m³/h, com base nas recomendações de Mesquita et al (1977). Estas frequências foram calculadas para cada mês, demonstrando os efeitos do padrão de ventilação adotado ao longo do ano.

4. RESULTADOS

Os resultados apresentados neste capítulo foram divididos em duas partes. Na primeira serão analisadas as taxas de renovação de ar verificando se cada ambiente enquadra-se nas recomendações indicadas por Mesquita et al. (1977) durante o ano e a qual a máxima taxa de renovação de ar atingida em cada caso. Na segunda parte, é verificado o percentual mensal de horas em que cada ambiente mantém-se enquadrada nas recomendações dos referidos autores.

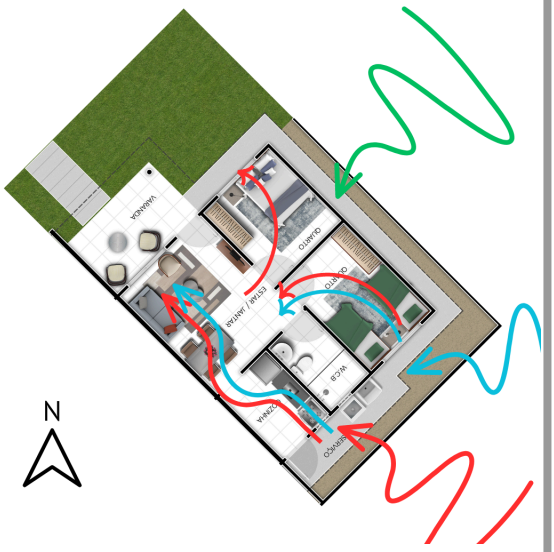
4.1. Taxas de renovação de ar obtidas nas diferentes orientações

Foram elaborados gráficos das trocas de ar máximas de cada ambiente, para cada uma das quatro implantações analisadas. Os resultados foram comparados com as prescrições selecionadas na literatura referentes ao número de trocas de ar mínima, igual 26 m³/h, e recomendada, igual a 34 m³/h, por pessoa, considerando todos os ambientes ocupados simultaneamente por 2 pessoas.

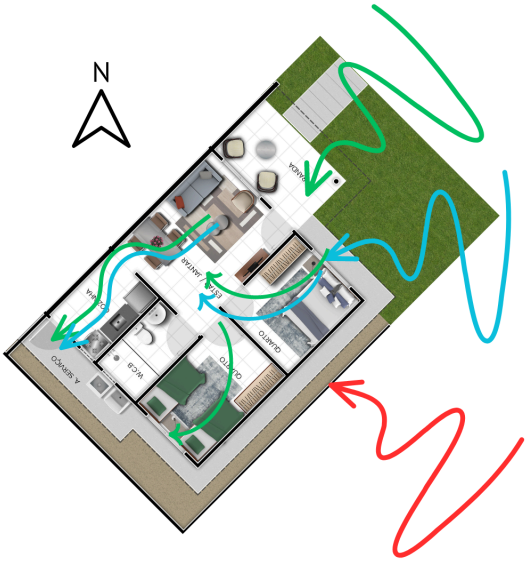
Os ventos predominantes em Maceió são de incidências nordeste, leste e sudeste (figura 13). Assim, a partir do posicionamento da edificação, há diferentes resultados nas trocas de ar da edificação com o seu meio exterior.

Figura 13: Incidência dos ventos predominantes nas fachadas

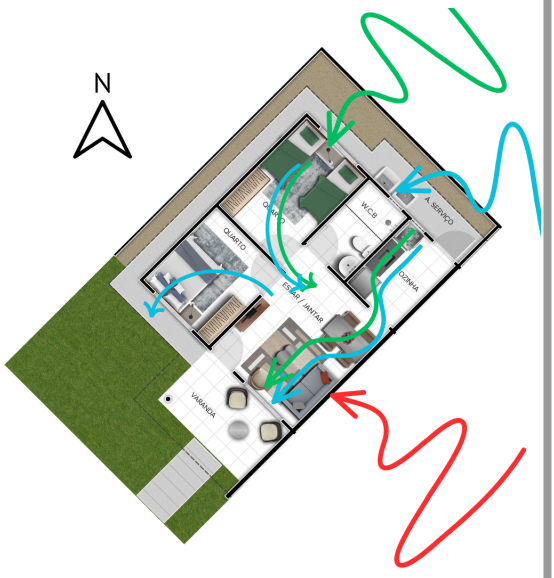
Fachada principal a noroeste



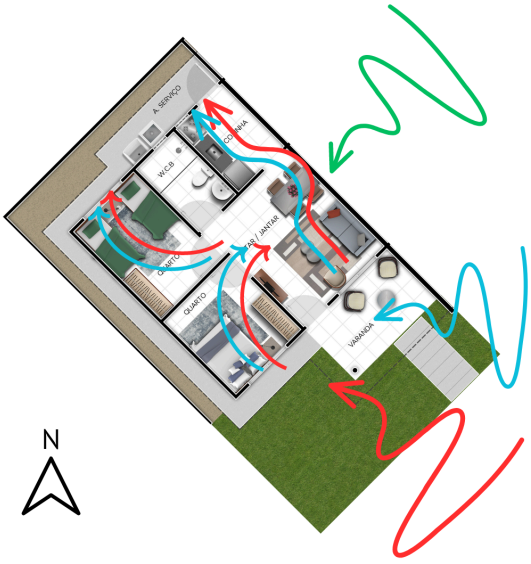
Fachada principal a nordeste



Fachada principal a sudoeste



Fachada principal a sudeste



Legenda:

- Vento a nordeste
- Vento a leste
- Vento a sudeste

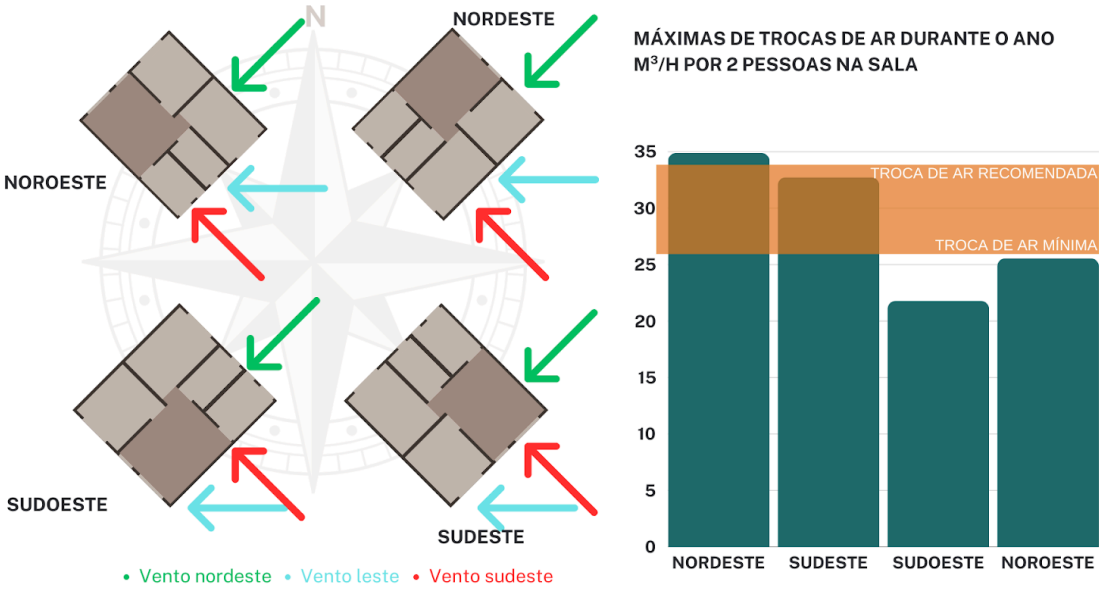
Fonte: Adaptado de EngenhArq, 2024.

4.1.1. Trocas de ar: sala de estar/jantar

Para a sala de estar/jantar, no mês de outubro, na implantação nordeste, verificou-se a maior taxa de renovação de ar, igual a 34,9 m³/h. Quando a fachada principal foi orientada para sudoeste ou noroeste, a quantidade mínima necessária de trocas de ar não foi alcançada, durante todo o ano, sendo que nestas condições, a sala está a sotavento. Para o modelo com fachada principal orientada a sudeste, a máxima taxa de renovação de ar alcançada foi igual a 32,7 m³/h, ultrapassando o valor mínimo sugerido (figura 14).

Pode-se verificar que o vento nordeste (figura 13) e leste tem maior incidência na sala quando a residência está orientada a nordeste, isso pode ser verificado nas trocas de ar (figura 14) onde a implantação nordeste apresenta a maior taxa e as implantações sudoeste e noroeste os menores valores respectivamente.

Figura 14: Valor máximo mensal das trocas de ar por m³/h por pessoa na sala.

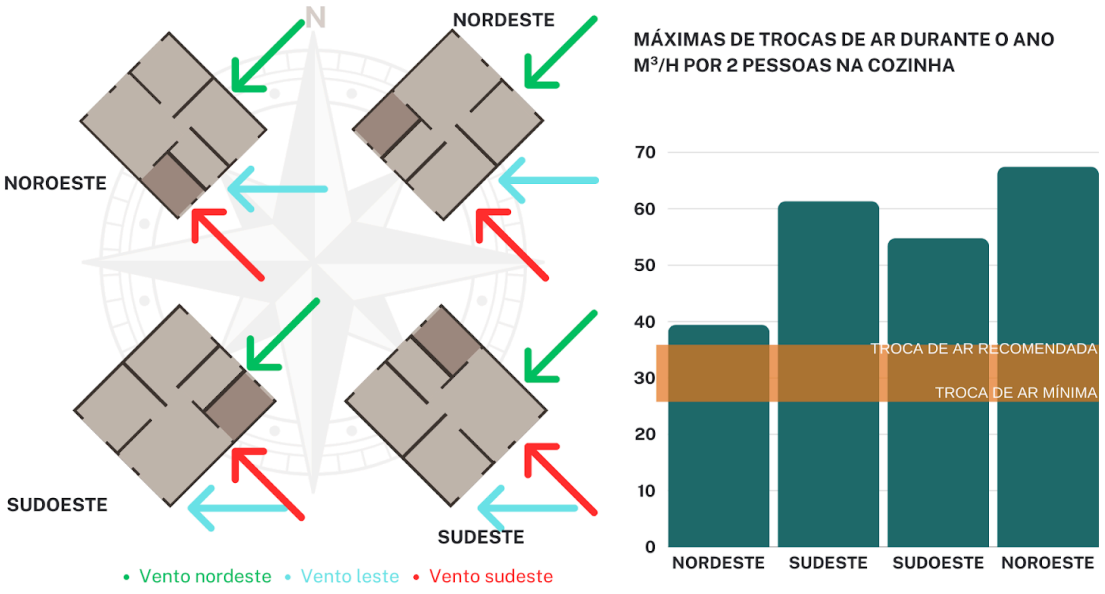


Fonte: Autoral, 2024.

4.1.2. Trocas de ar: cozinha

Para a cozinha, quando a fachada principal do modelo foi orientada a noroeste, obteve-se a maior quantidade de troca de ar nesse ambiente: 67,5 m³/h. Quando a fachada principal foi orientada para nordeste, a maior resultado alcançado foi igual a 39,4 m³/h (figura 15), o menor dentre as quatro orientações simuladas. Na habitação com fachada principal à nordeste, há uma inversão na quantidade de trocas da cozinha em relação a sala, sendo esse para a cozinha o melhor posicionamento e para a sala o pior. A cozinha consegue atingir em todas as orientações a quantidade recomendada por Mesquita et al. (1977).

Figura 15: Valor máximo mensal das trocas de ar por m³/h por pessoa na cozinha.



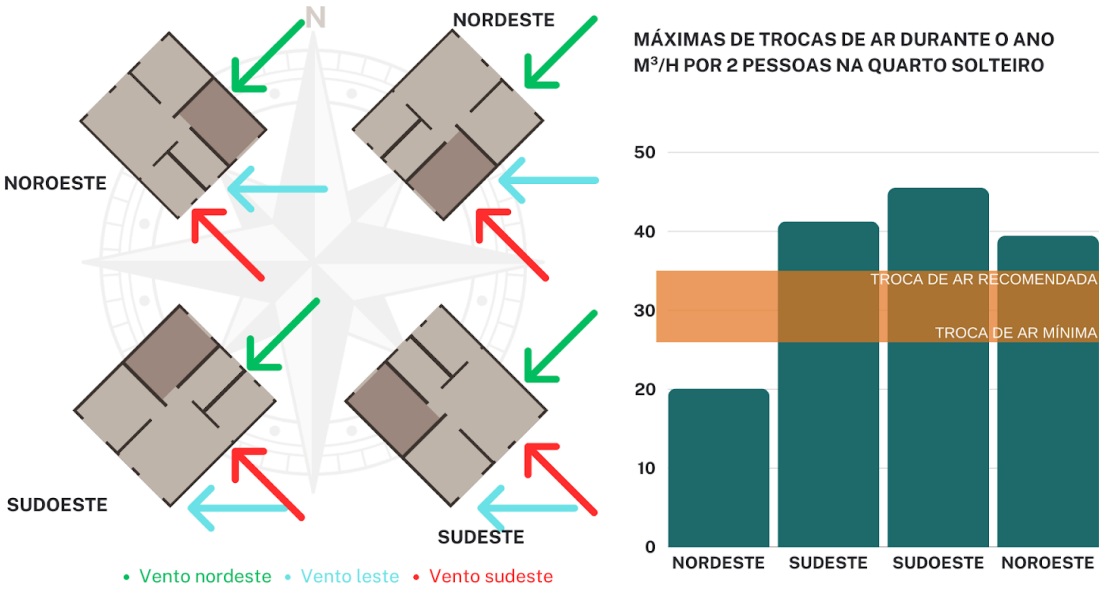
Fonte: Autoral, 2024.

A partir da análise da exposição dos ventos (figura 13), pode-se verificar que a cozinha fica melhor posicionada para a incidência do vento sudeste na implantação noroeste. Esse vento é considerado o melhor para a cidade de Maceió, devido a sua frequência presente ao longo de todo o ano (figura 05). Os piores resultados foram verificados na implantação nordeste, situação na qual a cozinha situa-se à sotavento.

4.1.3. Trocas de ar: quarto solteiro

Com a orientação da fachada principal à sudoeste, o quarto de solteiro alcançou a maior taxa de renovação de ar, igual a 45,52 m³/h. Isto se deve ao seu melhor posicionamento para o percurso dos ventos nordeste e leste, ao qual esse ambiente está diretamente orientado (figura 16). Somente no modelo com fachada principal orientada a nordeste a taxa de renovação máxima alcançada no quarto de solteiro foi inferior ao valor mínimo sugerido: 20,07 m³/h, devido ao fato do ambiente situar-se à sotavento nesta implantação. Nas outras 3 orientações foram alcançados valores acima do recomendado (figura 16).

Figura 16: Valor máximo mensal das trocas de ar por m³/h por pessoa no quarto solteiro.

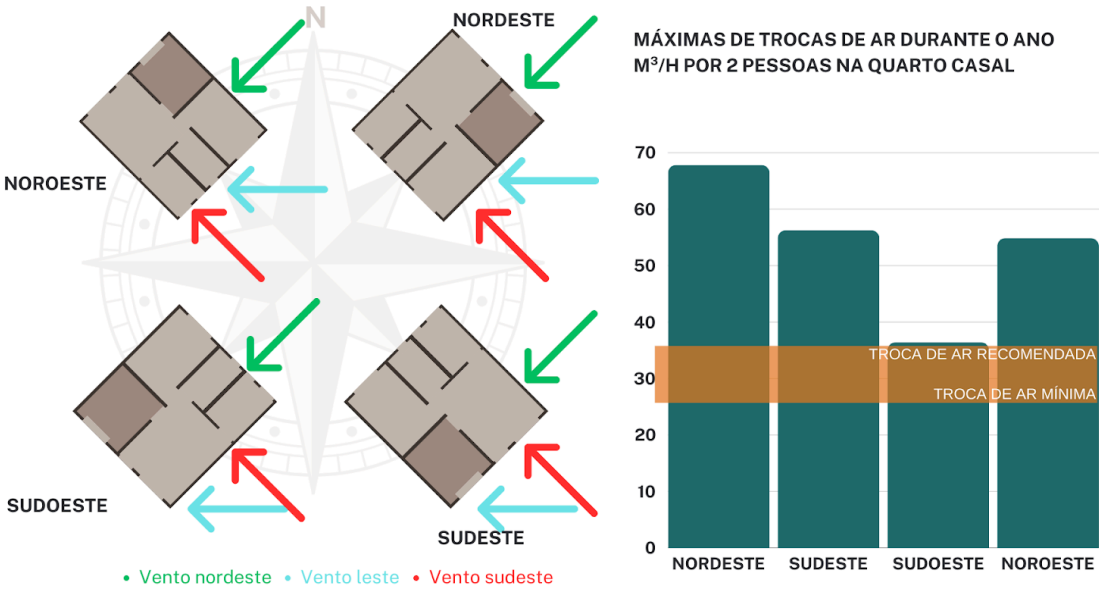


Fonte: Autoral, 2024.

4.1.4. Trocas de ar: quarto casal

Para o quarto casal, o modelo implantado com fachada principal orientada a sudoeste apresenta o mais baixo número de trocas de ar, igual a 21,78 m³/h, ficando abaixo do mínimo recomendado por Mesquita et al (1977). Isto se deve ao fato do quarto de casal situar-se à sotavento nesta implantação (figura 17). A residência orientada a nordeste apresenta no quarto casal a maior troca de ar máxima, igual a 67,8 m³/h, seguida da sudeste e noroeste, 56,3 m³/h e 54,9 m³/h respectivamente (figura 17).

Figura 17: Máximas mensal das trocas de ar por m³/h por pessoa no quarto casal.



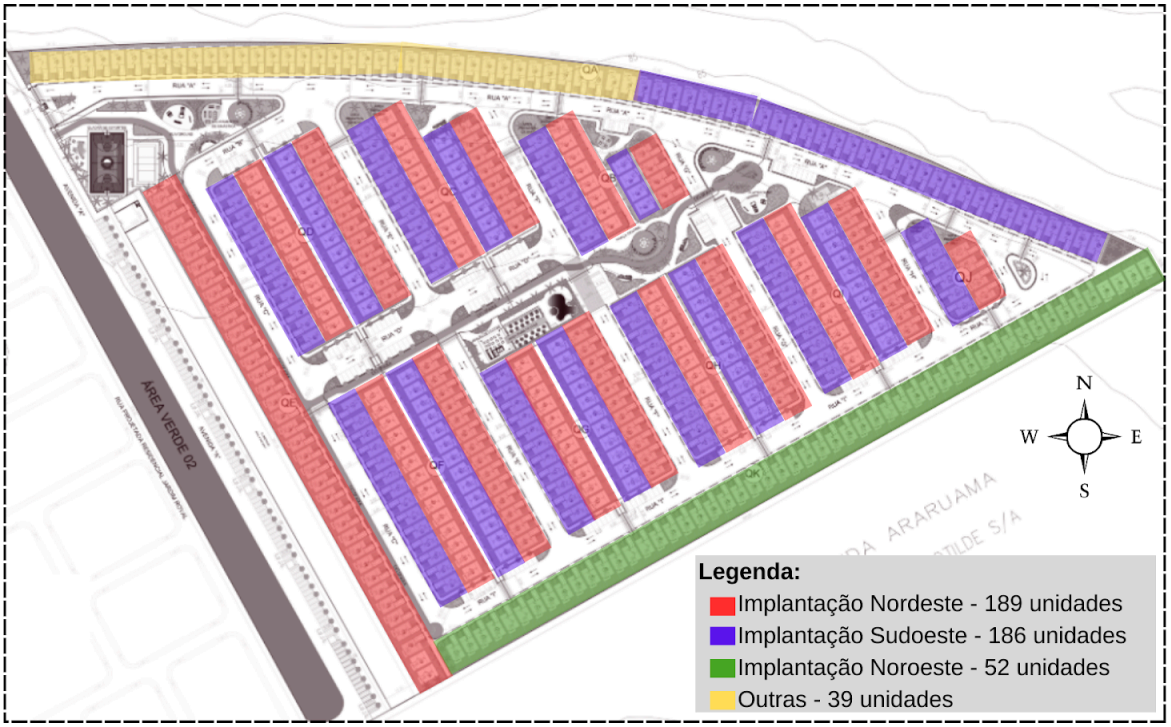
Fonte: Autoral, 2024.

4.2. Frequências mensais das taxas de renovação de ar

A fim de se obter um panorama quantitativo da ventilação mensalmente em cada implantação, nesse tópicos serão analisadas as frequências das taxas de renovação de ar nos ambientes de cada uma das 4 implantações simuladas.

Das 466 unidades habitacionais existentes no Jardim das Orquídeas, 189 foram implantadas com a fachada principal orientada a nordeste; 186 a sudoeste e 52 a noroeste. Além dessas implantações predominantes, a residência também foi simulada com a fachada principal à sudeste, pois a mesma planta foi replicada nesta orientação em outros conjuntos que fazem parte deste empreendimento. Assim, é de fundamental importância analisá-lo para compreender se há algum prejuízo à ventilação nesta implantação. Também é presente nesse residencial 39 unidades posicionadas a sul, que não foram simuladas (figura 18).

Figura 18: Unidades habitacionais e implantações do Residencial Jardim das Orquídeas.

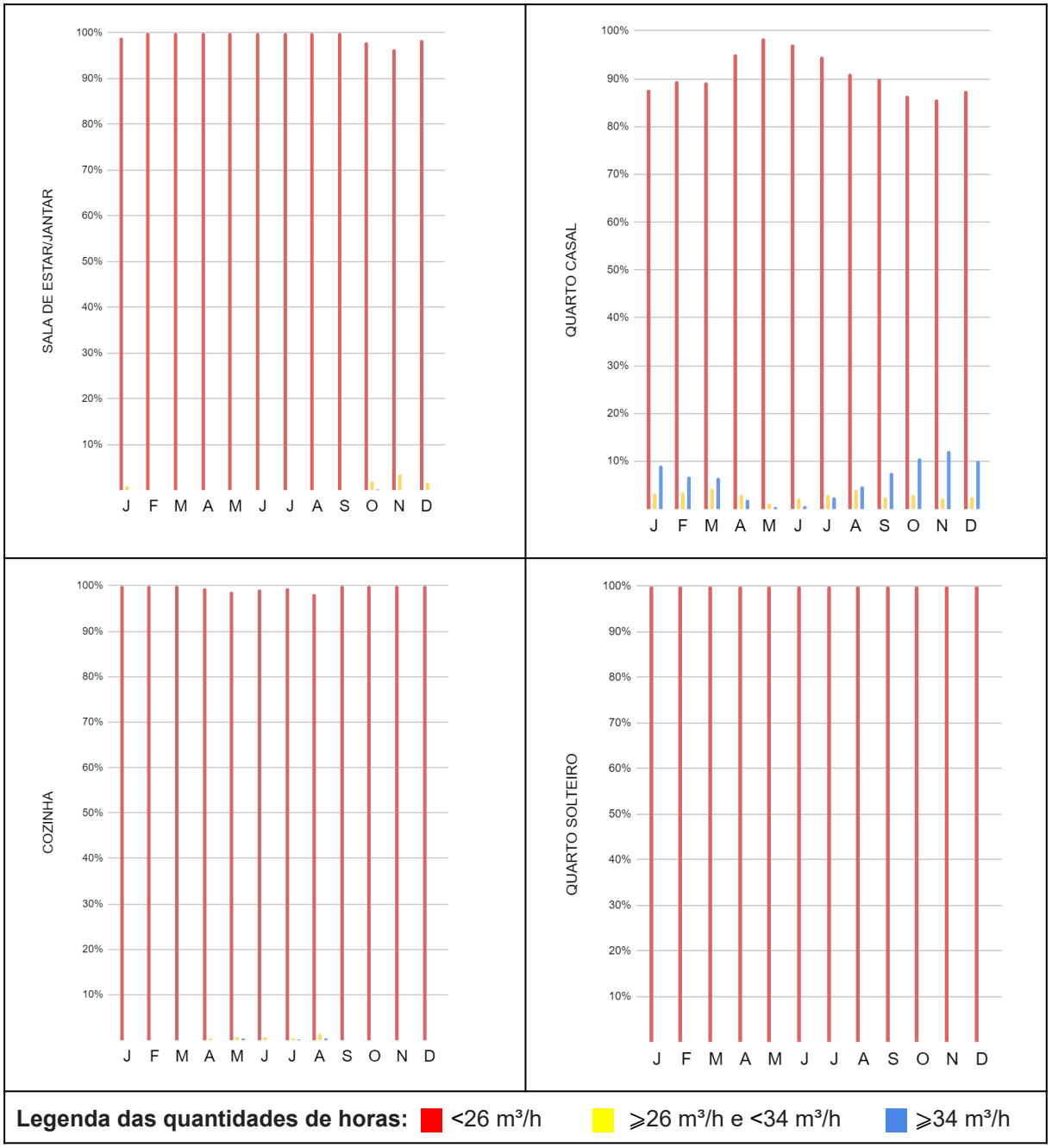


Fonte: Adaptado de EngenhArq, 2024.

4.2.1. Implantação Nordeste

Nas residências orientadas a nordeste, a mais frequente do condomínio (189 unidades habitacionais), há uma baixa quantidade de trocas de ar durante o ano em todos todos os cômodos, sendo o quarto de casal o único que atinge o número de trocas de ar recomendado por Mesquita et. al (1977) 34 m³/h durante os meses de julho a abril, variando entre 0% e 12% entre maio e novembro, respectivamente.

Figura 19: Frequências de trocas de ar na implantação nordeste.

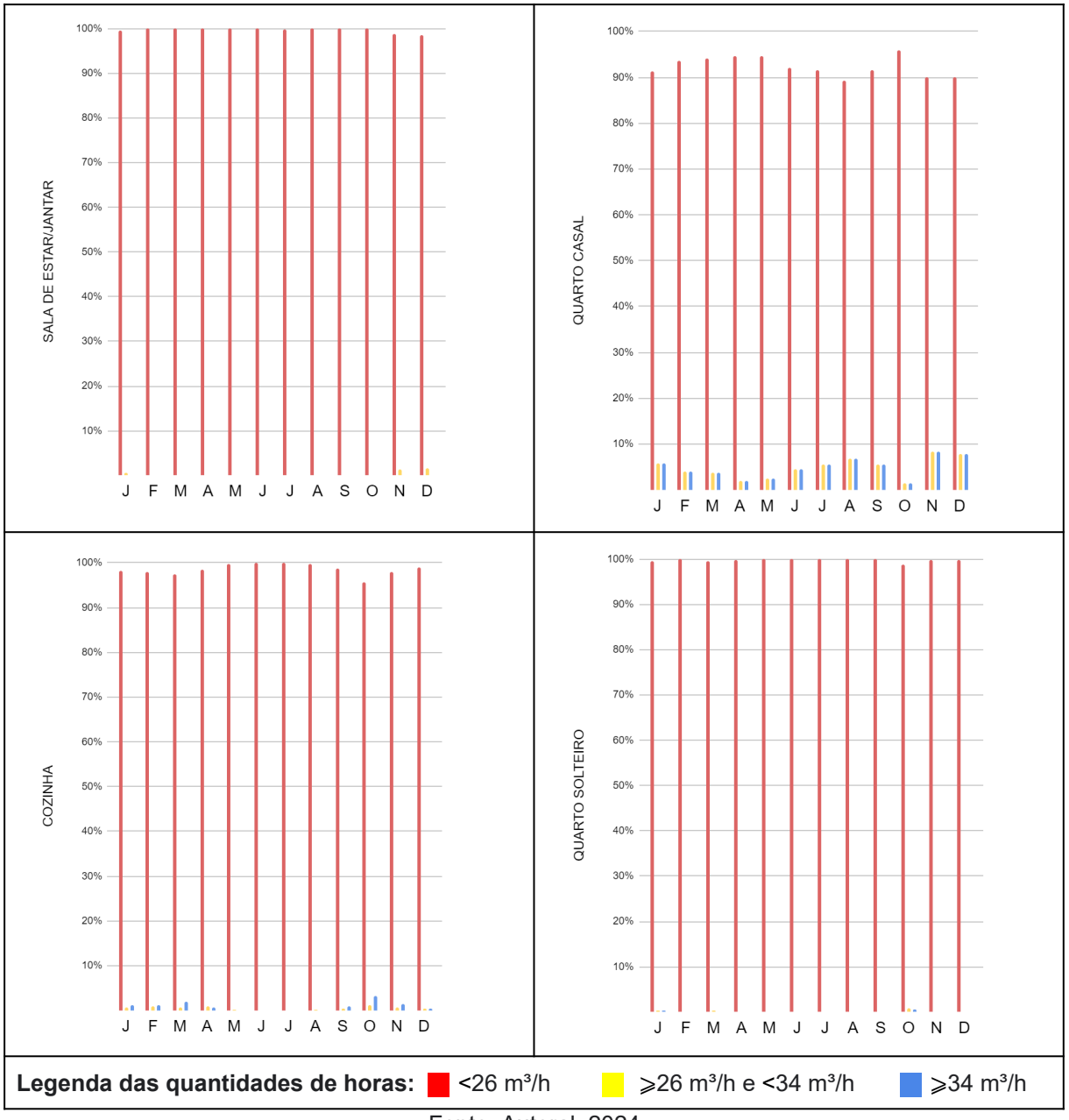


Fonte: Autoral, 2024

4.2.2. Implantação Sudeste

A implantação sudeste, não está presente no Residencial Jardim das Orquídeas. Na configuração atual do projeto, esse posicionamento também não teria resultados suficientes em relação a taxas de troca de ar. Somente o quarto de casal possui algumas horas acima do recomendado, tendo obtido os melhores resultados em novembro e dezembro quando as trocas de ar superariam o valor mínimo durante cerca de 16% das horas (figura 20).

Figura 20: Frequências de trocas de ar mensais na implantação sudeste.

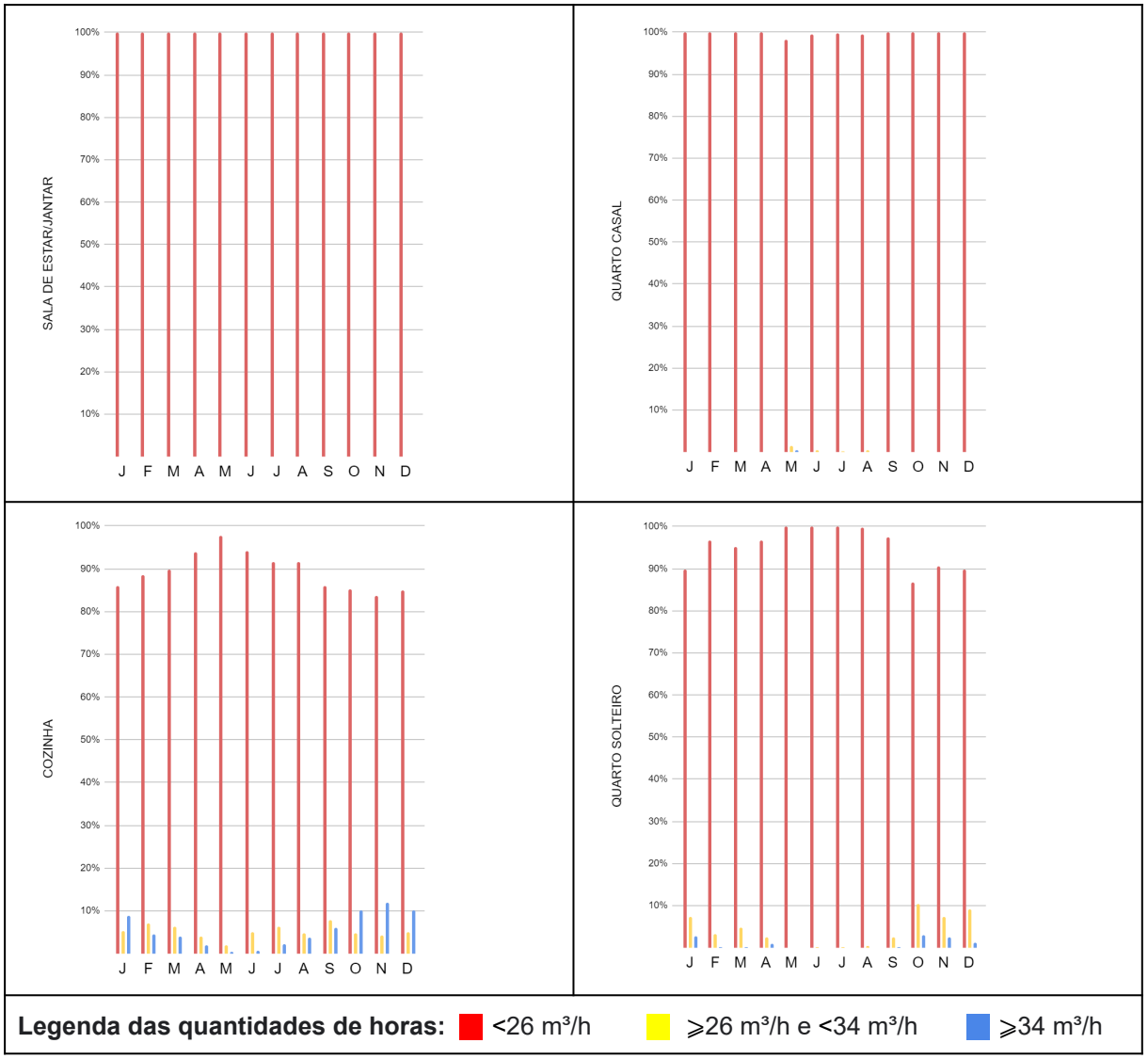


Fonte: Autoral, 2024

4.2.3. Implantação Sudoeste

A implantação sudoeste é a segunda mais frequente no condomínio Jardim das Orquídeas, com 186 unidades habitacionais. Nela a cozinha e quarto de solteiro ficam posicionados à barlavento aos ventos nordeste e leste, que são os mais frequentes em Maceió. Assim, durante todo o ano a cozinha alcançou a taxa de renovação mínima recomendada por Mesquita et al (1977), variando entre 3% e 16% das horas em cada mês (figura 21). Já o quarto solteiro atinge a taxa mínima durante os meses de setembro a abril, variando entre 3% e 13% das horas em cada mês. A sala em nenhum momento atinge o valor mínimo recomendado e o quarto casal atinge apenas em maio um total de 3% das horas.

Figura 21: Frequências de trocas de ar na implantação sudoeste.

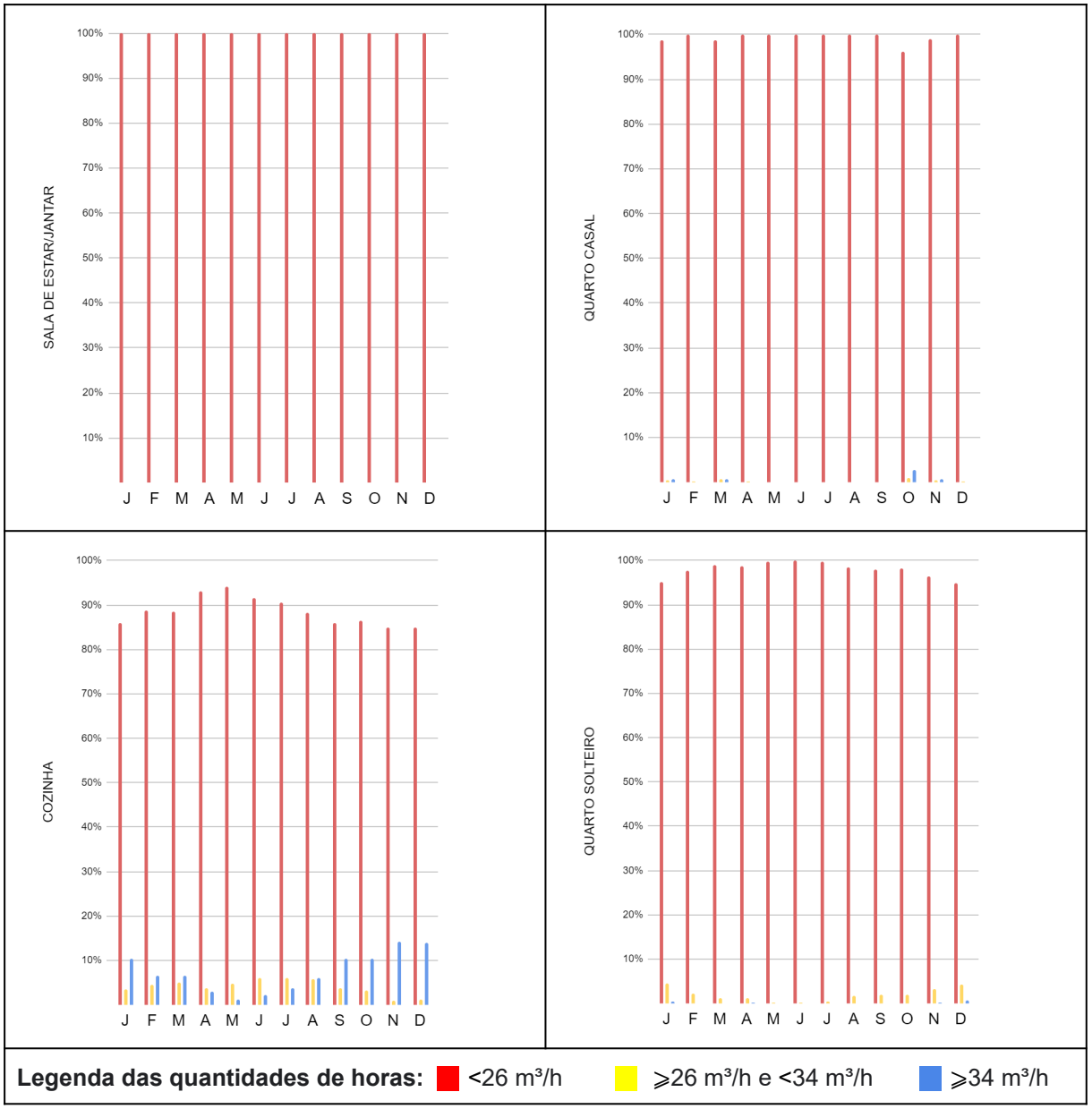


Fonte: Autoral, 2024

4.2.4. Implantação Noroeste

Na implantação das residências cuja fachada principal foi orientada a noroeste, a cozinha e quarto solteiro ficam posicionados à sudeste. Logo, esses dois ambientes apresentam os melhores resultados durante o ano, com a cozinha chegando a 15% das horas atingindo o mínimo recomendado por Mesquita et al. (1977) em novembro e dezembro, e o quarto solteiro durante 5% das horas de dezembro e de janeiro. A sala não apresenta em nenhum momento durante o ano as trocas mínimas necessárias (figura 22).

Figura 22: Frequências de trocas de ar na implantação noroeste.



Fonte: Autoral, 2024

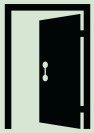
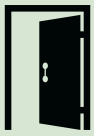
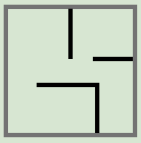
Em todos os ambientes analisados, nas quatro implantações simuladas, as taxas de renovação de ar alcançadas mantiveram-se inferiores ao valor mínimo adotado como referência em mais de 80% das horas, em todos os meses. Convém destacar que os percentuais foram calculados considerando também os horários nos quais as janelas dos ambientes permanecem fechadas, de acordo com os padrões de abertura descritos na Tabela 05. Desse modo, todos os ambientes mantiveram as janelas abertas durante pelo menos 16,7% das horas do dia, ao longo de todo o ano. No entanto, em todas as implantações simuladas, foram identificados ambientes com taxas de renovação de ar nulas em todos os meses do ano.

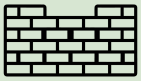
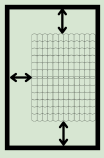
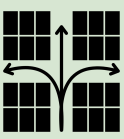
4.3. Recomendações projetuais após análises

A partir das análises observadas, foram propostas algumas recomendações para melhoria das trocas de ar nas residências, além de informações sobre inconformidades projetuais que influenciam negativamente nas trocas de ar nessas edificações.

Tabela 06: Recomendações projetuais e de reforma

Ambiente	Elemento	Recomendação
Sala	Janela	● A janela da sala é do modelo de correr de duas folhas, que quando aberta, uma fica sobreposta a outra tendo um aproveitamento de apenas 50% da abertura para a ventilação. Recomenda-se optar por janelas com 100% de abertura como as de giro ou pivotantes. ● Quanto ao modelo das janelas, a mais recomendável é utilizar as que possuem brises ou vazados que permitam a permeabilidade do vento em horários que elas precisam ficar fechadas como a noite. ● Recomenda-se prever em projeto futuros ou reformas caso haja permissão do condomínio, a utilização de peitoril ventilado para ampliar a área de abertura, mantendo a privacidade.

	 Porta	● A porta principal é de vidro e fica posicionada de frente para a rua. Por questões de privacidade, há uma tendência dos moradores de optarem por deixá-la fechada a maior parte do dia e por segurança fecha-lá a noite, impedindo a circulação do ar. Logo, recomenda-se utilizar portas com venezianas ou vazados que possibilitem a passagem de ar sem prejudicar a segurança e a privacidade.
Cozinha	 Janela	● Por ser janela alta, recomenda-se que ela permaneça aberta o tempo todo.
	 Porta	● Recomenda-se utilizar modelos que tenham a folha vazada para manter a permeabilidade dos ventos neste ambiente durante os momentos em que a esquadria permanece fechada.
	 Paredes internas	● Recomenda-se a remoção da parede que separa a sala da cozinha para diminuir a barreira ao fluxo do vento intensificando a circulação do ar no interior da residência.
Quarto Solteiro	 Janela	● A janela do quarto solteiro é do modelo de correr de duas folhas com apenas 50% de abertura para a ventilação. Recomenda-se optar por janelas com 100% de abertura como as de giro ou pivotantes. ● Quanto a folha da esquadria é recomendável utilizar elementos vazados que permitam a permeabilidade do vento. ● Recomenda-se prever em projeto futuros ou reformas caso haja permissão do condomínio, a utilização de peitoril ventilado para ampliar a área de abertura, mantendo a privacidade.

Quarto Casal	 Janela	● A janela do quarto casal é do modelo de correr de duas folhas com apenas 50% de abertura para a ventilação. Recomenda-se optar por janelas com 100% de abertura como as de giro, pivotantes ou basculantes. ● Quanto a folha da esquadria é recomendável utilizar elementos vazados que permitam a permeabilidade do vento. ● Recomenda-se prever em projeto futuros ou reformas caso haja permissão do condomínio, a utilização de peitoril ventilado para ampliar a área de abertura, mantendo a privacidade.
Ambiente externo	 Muros	● Recomenda-se que não sejam construídos muros entre as casas do condomínio, mas caso opte, o ideal são muros baixos e vazados com grades, cobogós, barras de aço ou lâminas verticais de concreto (Costa, 2018). ● Muros a barlavento com brises com lâminas horizontais direcionadas para baixo direcionam satisfatoriamente o vento para o interior das edificações e a porosidade de 35% dessa lâminas apresentam melhores resultados na permeabilidade (Costa, 2018).
	 Recuos	● De acordo com o plano diretor atual vigente em Maceió, os recuos laterais e posterior precisam ser de 2 metros na região que o residencial está inserido. Entretanto, a partir do projeto da construtora, nas residências os recuos de um lado é igual a zero e do outro é igual a 1,05m e o posterior apenas 1,5m. Quanto maior o espaço entre as edificações, melhor será a permeabilidade entre elas, por isso, é fundamental obedecer as medidas mínimas desses recuos para melhor fluxo dos ventos entre as casas.
	 Lotes	● Recomenda-se que as áreas livres sejam mais distribuídas entre as quadras, possibilitando maior distanciamento entre as mesmas para assim favorecer uma maior difusão da circulação do vento.

Fonte: Autoral, 2024.

5. CONCLUSÃO

De acordo com as análises das máximas trocas de ar por ambiente, a implantação cuja fachada principal com orientação a sudeste é a única que que atinge as taxas mínimas sugeridas por Mesquita et. al (1977) nos quatro ambientes analisados, sendo essa a mais indicada para se adotar na implantação do modelo de residência investigado.

As simulações foram feitas considerando horários padrão de abertura das janelas e portas. Durante a noite a casa fica completamente fechada, não havendo ventilação cruzada. Em contraponto, durante o dia, a maioria das janelas e portas internas ficam abertas na maior parte do tempo. No período diurno a sala é o ambiente com maior permanência, seguido da cozinha. Sendo assim, a sala e cozinha possuem prioridade no alcance das renovações de ar. Os melhores posicionamentos para a cozinha foram verificadas para os modelos cuja fachada principal foi orientada para noroeste ou sudoeste. Nestas implantações, o total de horas nas quais as taxas de ventilação atenderam o valor mínimo de 26 m³/h por pessoa foram respectivamente iguais a 998h e 928h. Para a sala de estar/jantar, as orientações nordeste e sudeste da fachada principal resultaram no atendimento da taxa de renovação de ar mínima durante 60h e 25h, respectivamente.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) não produziu um documento que quantifique a taxas ideais de troca de ar em edificações residenciais. Logo, observa-se a necessidade de criar parâmetros para serem seguidos nos projetos quanto a renovação e qualidade do ar. Atualmente, embora a NBR 15575 (ABNT, 2021) determine que um dos critérios de habitabilidade seja a saúde, higiene e qualidade do ar em habitações de interesse popular, não estabelece uma quantificação do limite do que é saudável e não saudável, por isso, foi utilizado um parâmetro indicado por Mesquita et al (1977).

Por fim, ressalta-se a importância da qualidade do ar no interior residencial para promoção da saúde em residências, especialmente na habitação popular, visto que nos resultados obtidos todas as unidades simuladas permaneceram 80% das horas do ano (ou mais) com taxas de renovação do ar inferiores ao mínimo recomendado.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

De acordo com a NBR 15220-3/2005 a estratégia de condicionamento passivo ideal para a zona bioclimática 8 é ventilação cruzada permanente, sugerindo também a adoção do ático ventilado, logo, pode se analisar esse fator e o quanto interferiria caso houvesse ventilação nele e a sua combinação com o forro vazado.

Para estudos futuros, indica-se também analisar as médias diárias da residência selecionando apenas os horários que os ambientes ficam abertos, para obter a média da quantidade de trocas de ar por dia, excluindo os períodos nos quais as esquadrias encontram-se fechadas.

Também sugere-se avaliar outros padrões de aberturas das esquadrias, assim como o efeito das mudança do tamanho, tipologia e localização das janelas na fachada, verificando a possibilidade de melhoria das taxas de renovação do ar no interior dos ambientes, para uma mesma configuração de planta estudada.

6. REFERÊNCIAS

ALLEN, J. G.; SPENGLER, J. D.; HARVARD, C. M.; JOHN, M. D.; MACOMBER, D. Harvard Indoor Air Quality Study. 2015.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 9, de 16 de janeiro de 2003. Brasília, DF, 2003. Disponível em: http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_.pdf/8ccafc91-1437-4695-8e3a-2a97deca4e10#:~:text=3.4%20%2D%20a%20Taxa%20de%20Renova%C3%A7%C3%A3o,com%20alta%20rotatividade%20de%20pessoas. Acesso em: 10 set. 2023.

ARAÚJO, M. L. T. Avaliação de desempenho térmico em creche do programa proinfância nas zonas bioclimáticas brasileiras. 2019. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ASHRAE STANDING STANDARD PROJECT COMMITTEE 62.1. Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Explicação e justificativa das condições climáticas de verificação e dos dados de entrada para o projeto das edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BATISTA, J. O. et al. Desempenho térmico de habitação multifamiliar do programa minha casa minha vida em Maceió – AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2014.

BIG LADDER SOFTWARE, Euclid. Disponível em: https://bigladdersoftware.com/projects/euclid/. Acesso em: 30 ago. 2019.

BITTENCOURT, L. C.; CÂNDIDO, C. Ventilação natural em edificações. PROCEL EDIFICA - Eficiência energética em edificações. Rio de Janeiro, 2010.

CALHEIROS, F. M.; NASCIMENTO, B. M. S.; OLIVEIRA, K. M. T. M.; BATISTA, J. O.; OLIVEIRA, R. V. S. Dinâmicas de uma quarentena urbana: um ensaio de indicador acerca da vulnerabilidade social em Maceió-AL. Paranoá, [S. l.], v. 16, n. 34, p. 1-22, 2023.

CASAL. Companhia de Saneamento de Alagoas. Disponível em: https://www.casal.al.gov.br/capital-2/. Acesso em: 17 abr. 2024.

CETESB. Estudo dos compostos orgânicos voláteis (COVs) na atmosfera do município de Paulínia - SP. São Paulo, 2021.

COPASS SAÚDE. Umidade relativa do ar: Como ela afeta a saúde e como se proteger. 2023. Disponível em: https://copass-saude.com.br/posts/umidade-relativa-do-ar-como-ela-afeta-a-saude-e-como-se-proteger. Acesso em: 20 jan. 2024.

DANTAS, C. M. Avaliação térmica de habitações unifamiliares do Programa Minha Casa Minha Vida em Maceió-AL. Maceió, 2015. 149 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

ENGINEERING MANUAL. ENERGYPLUS. Disponível em: http://www.energyplus.gov. Acesso em: 14 mar. 2020.

FERREIRA, A. M. C.; CARDOSO, S. M. Estudo exploratório da qualidade do ar em escolas de educação básica, Coimbra, Portugal. Revista de Saúde Pública, v. 47, p. 1059-1068, 2013.

FNDE, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Proinfância. Disponível em: http://www.fnde.gov.br/programas/proinfancia/proinfancia-apresentacao. Acesso em: 30 ago. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados Históricos INMET. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos. Acesso em: 20 nov. 2021.

KUNKEL, S.; KONTONASIOU, E.; ARCIPOWSKA, A.; MARIOTTINI, F.; ATANASIU, B. Indoor air quality, thermal comfort and daylight: Analysis of residential buildings regulations in eight EU Member States. Buildings Performance Institute Europe, 2015.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. Eficiência Energética na Arquitetura. São Paulo: PW Editores, 1997.

LAMENHA, M. A. A escola técnica do Brasil profissionalizado: Um projeto padrão para diferentes zonas bioclimáticas? 2016. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Conheça o programa Minha Casa, Minha Vida. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/noticias-1/conheca-o-programa-minha-casa-minha-vida. Acesso em: 30 abr. 2024.

NUNES, A. M. L. A. Análise do desempenho térmico de creche do programa Proinfância: estudo de caso no clima semiárido de Arapiraca-AL. 2020. Dissertação (Mestrado Dinâmicas do Espaço Habitado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

PASTERNAK, S. Habitação e Saúde. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ea/a/CHFxfxZBNt7kyDWRtSfXQFF/?format=pdf&lang=pt. Acesso em: 02 ago. 2023.

SANTIAGO, D. B.; GOMES, H. G. Estudo de Ilhas de Calor no Município de Maceió/AL usando Dados Orbitais do Landsat 5. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 09, n. 03, 2016.

SILVA, F. H. A. L.; NAVARRO, M. B. M. A. Biossegurança e prevenção da tuberculose: a importância da qualidade do ar no interior dos serviços de saúde. Rev. Patol. Trop. v. 42, n. 2, p. 133-146, 2013.

SILVA, D. R. R.; SUEMOTO, C. K.; GOUVEIA, N. Poluentes do ar como fator de risco para o desempenho cognitivo e demência. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 35, n. 8, e00085919, 2019.

TRIMBLE INC. SKETCHUP MAKER 2017. 2017. Disponível em: https://www.sketchup.com/pt-BR/download/all. Acesso em: 30 ago. 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Housing and health guidelines. Geneva, 2018.