

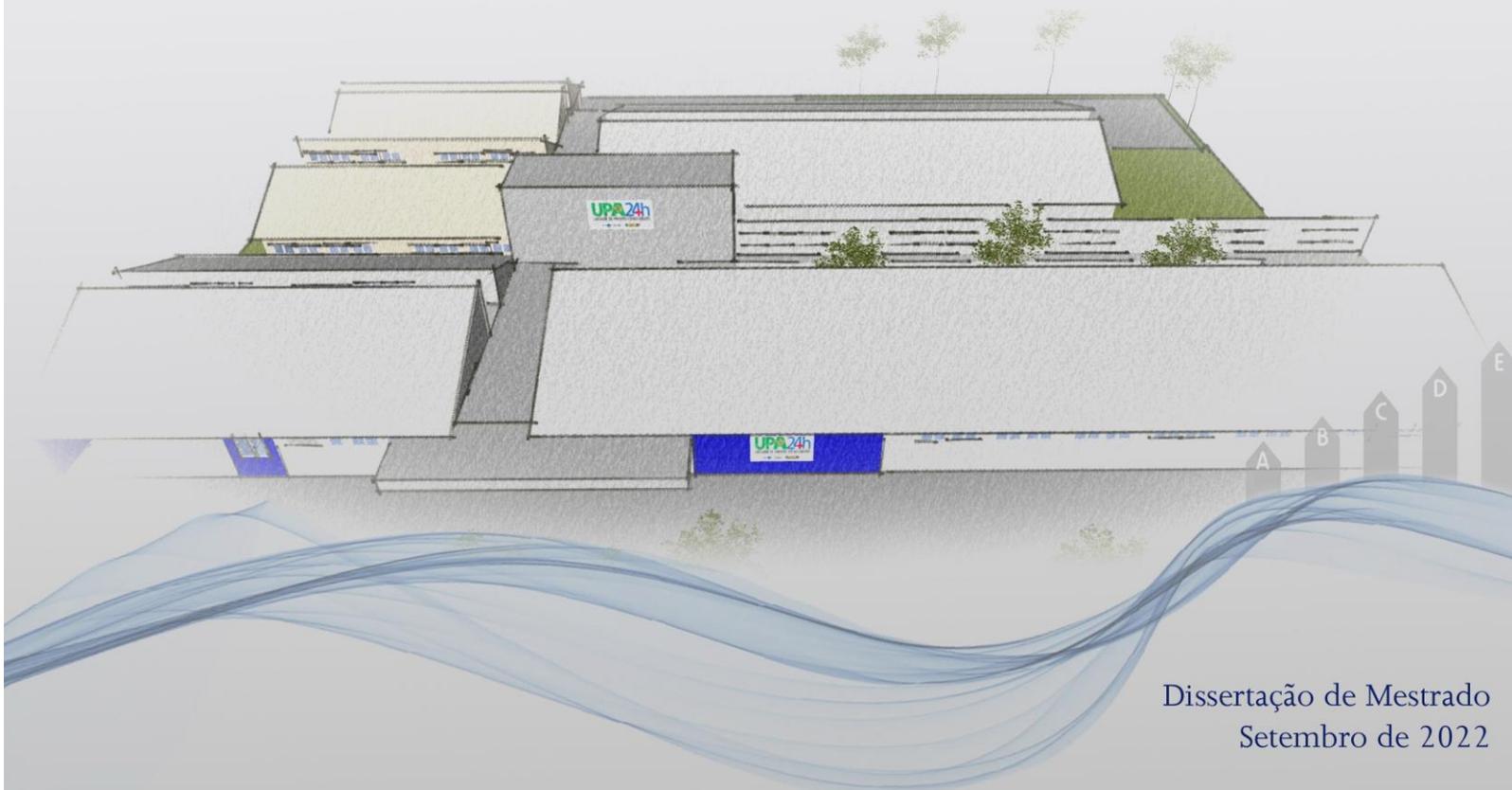


Universidade de Brasília



Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Programa de Pós-graduação

## **Desempenho térmico e energético em estabelecimentos assistenciais de saúde: três contextos climáticos do Brasil**



Dissertação de Mestrado  
Setembro de 2022

**Thaís Aurora Vilela Sancho**

Orietadora: Joára Cronemberger Ribeiro Silva



Universidade de Brasília – UnB  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo  
Dissertação de Mestrado

Thaís Aurora Vilela Sancho

**DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO EM ESTABELECIMENTOS  
ASSISTENCIAIS DE SAÚDE: TRÊS CONTEXTOS CLIMÁTICOS DO BRASIL**

Brasília – DF

2022

# DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE: TRÊS CONTEXTOS CLIMÁTICOS DO BRASIL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joára Cronemberger Ribeiro Silva

Banca examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joára Cronemberger Ribeiro Silva (1º membro – presidente)

Universidade de Brasília

Banca examinadora:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Eliete de Pinho Araujo (2º membro)

Centro Universitário de Brasília

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Caio Frederico e Silva (3º membro)

Universidade de Brasília

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Gustavo de Luna Sales (4º membro – suplente)

Universidade de Brasília

Brasília - DF

2022

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Sd Sancho, Tháís Aurora Vilela

DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO EM ESTABELECIMENTOS  
ASSISTENCIAIS DE SAÚDE: TRÊS CONTEXTOS CLIMÁTICOS DO BRASIL

/ Tháís Aurora Vilela Sancho; orientador Joára Cronemberger  
Ribeiro Silva. -- Brasília, 2022.

165 p.

1. Arquitetura e urbanismo. 2. conforto térmico. 3.  
eficiência energética. 4. ventilação natural. 5. simulações  
termoenergéticas. I. Silva, Joára Cronemberger Ribeiro ,  
orient. II. Título.

## RESUMO

Os estabelecimentos assistenciais de saúde, além de servirem de local onde se oferece a assistência à saúde dos pacientes, devem apresentar características arquitetônicas que conciliem o conforto ambiental aos usuários com a eficiência energética. Partindo dessa premissa, esta dissertação avaliou o desempenho térmico e energético de uma tipologia arquitetônica hospitalar em particular, as Unidades de Pronto Atendimento (UPAs), tomando como base o projeto de referência em três contextos climáticos do Brasil - quente-seco, quente-úmido e subtropical. O estudo cumpriu as seguintes etapas: revisão de bibliografia, normas e legislações arquitetônicas específicas; caracterização e análise do objeto de estudo; e, por fim, execução, em duas fases, de simulações termoenergéticas do ambiente “sala de observação” ventilado naturalmente, realizadas com auxílio do programa *DesignBuilder* para as cidades de Brasília, Salvador e Florianópolis, que caracterizam os climas supracitados. Na primeira fase de simulações, analisou-se o percentual de horas ocupadas em conforto (POC), em função do índice de temperatura neutra ( $T_n$ ) e a taxa de renovação de ar (ACH), para definir a orientação de implantação do projeto-referência mais apropriada à obtenção dessas renovações. Na segunda fase, avaliaram-se os ganhos térmicos da envoltória e a demanda de energia elétrica da sala de observação em sua forma básica (caso-base) e em cenários com diferentes propostas para a melhoria da envoltória (cobertura e sombreamento). Os resultados apontaram que, no contexto climático de Brasília e Florianópolis, a sala de observação ventilada naturalmente com melhorias na envoltória – mudança da cobertura e instalação de dispositivos de sombreamento – alcançou índices satisfatórios de POC de 84% em Brasília e 80% em Florianópolis, bem como ACH superior a 12, além de eficiência energética nível A em ambas as cidades. No entanto, aplicadas as mesmas condições para Salvador, apenas o ACH foi satisfatório. No contexto climático de Salvador, apesar de essas melhorias não possibilitarem ao ambiente ventilado de forma natural índices adequados de conforto térmico e eficiência energética, elas permitiram ao ambiente climatizado artificialmente a redução da demanda de energia elétrica, obtendo nível A de eficiência energética (RTQ-C), com o percentual de redução (PRCEPreal-D) de 21,06%. Como base nesses resultados, indica-se um conjunto de diretrizes para os projetos de referência relacionados à orientação e às envoltórias, respectivamente para favorecer o aproveitamento da ventilação natural e reduzir ganhos térmicos para obter mais eficiência energética nos contextos climáticos analisados. Sua adoção teria como consequência a melhoria da qualidade ambiental dos espaços nos estabelecimentos assistenciais de saúde, contribuindo potencialmente para a redução de custos dos cofres públicos com climatização artificial e permitindo aos usuários ambientes mais saudáveis e humanizados.

Palavras-chave: Conforto térmico. Eficiência energética. Ventilação natural. Unidades de Pronto Atendimento. Simulações termoenergéticas.

## ABSTRACT

Health care establishments, in addition to serving as a place where health care is provided to patients, must have architectural characteristics that reconcile environmental comfort to users with energy efficiency. Based on this premise, this dissertation evaluated the thermal and energy performance of a hospital architectural typology in particular, the Emergency Care Units (UPAs), based on the reference project in three climatic contexts in Brazil - hot-dry, hot-humid. and subtropical. The study carried out the following steps: review of the bibliography, specific architectural norms and legislation; characterization and analysis of the object of study; and, finally, execution, in two phases, of thermoenergetic simulations of the naturally ventilated "observation room" environment, carried out with the help of the DesignBuilder program for the cities of Brasília, Salvador and Florianópolis, which characterize the aforementioned climates. In the first phase of simulations, the percentage of hours occupied in comfort (POC) was analyzed, as a function of the neutral temperature index ( $T_n$ ) and the air renewal rate (ACH), in order to define the project implementation orientation. most appropriate reference for obtaining these renewals. In the second phase, the thermal gains of the envelope and the electrical energy demand of the observation room were evaluated in its basic form (base case) and in scenarios with different proposals for improving the envelope (coverage and shading). The results demonstrated that, in the climatic context of Brasília and Florianópolis, the naturally ventilated observation room with improvements in the envelope – changing the coverage and installing shading devices – reached satisfactory levels of POC, of 84% in Brasília and 80% in Florianópolis, as well as ACH greater than 12 and energy efficiency level A in both cities. However, applying the same conditions for Salvador, only the ACH was satisfactory. In the climatic context of Salvador, although these improvements did not allow the environment to be naturally ventilated with adequate levels of thermal comfort and energy efficiency, they allowed the artificially conditioned environment to reduce the demand for electricity, achieving level A of energy efficiency (RTQ- C), with a reduction percentage (PRCEPreal-D) of 21.06%. Based on these results, a set of guidelines is indicated for reference projects related to orientation and envelopes, respectively, to favor the use of natural ventilation and reduce thermal gains to obtain more energy efficiency in the analyzed climatic contexts. Its adoption would improve the environmental quality of spaces in health care establishments, potentially contributing to the reduction of costs in public coffers with artificial air conditioning and allowing users to have healthier and more humanized environments.

Keywords: Thermal Comfort. Energy Efficiency. Natural Ventilation. Emergency Care Units. Thermoenergetic simulations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura e conteúdo da dissertação	233
Figura 2: Exemplo do sistema radial. Hospital de Toledo, do arquiteto Enriques Egas	255
Figura 3: Ilustração de pacientes ocupando o mesmo leito hospitalar, em enfermaria do Hôtel-Dieu,	266
Figura 4: Exemplo de organização pavilhonar	277
Figura 5: Interior do Hospital Sarah Kubitschek Brasília	355
Figura 6: Neutralidade térmica – o calor produzido igual ao calor perdido pelo corpo.	377
Figura 7: Escala do índice PMV	377
Figura 8: Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente condicionados segundo a ASHRAE 55 (2017)	400
Figura 9: Índices adaptativos e suas respectivas equações e faixas de conforto	41
Figura 10: Processo de implantação das UPAs	555
Figura 11: Distribuição das UPAs em atividades e em construção no Brasil, dados fornecidos pelo SISMOB via Lei de Acesso a Informação (LAI).	566
Figura 12: Imagens de salas de observação de UPAs climatizadas por Split e localizadas no Distrito Federal, Salvador e Florianópolis.	60
Figura 13: Representação gráfica do método da pesquisa.	62
Figura 14: Perspectiva esquemática do Projeto de Referência da UPA 24h Porte III	633
Figura 15: Planta do setor de observação.	655
Figura 16: Zona térmica única do Setor de Observação com ventilação natural cruzada.	666
Figura 17: As sete abas principais do <i>DesignBuilder</i> .	688
Figura 18: Esquema resumido da caracterização do caso-base.	70
Figura 19: Planta e modelo virtual do bloco de observação e sua implantação no projeto, com indicação da orientação Norte da sala de observação estudada.	71

Figura 20: Proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (RORIZ, 2014).	733
Figura 21: Brasília, Salvador e Florianópolis - características climáticas.	744
Figura 22: Esquema de simulações termoenergéticas propostas neste estudo	81
Figura 23: Cenários Base e propostos para as duas fases de simulações termoenergéticas.	822
Figura 24: Equação do Índice adaptativo de Temperatura Neutra por De Dear e Brager (2002) + faixa de conforto sugerida por Pereira e Assis (2010).	833
Figura 25: Orientações simuladas para obtenção de maiores números de ACH	833
Figura 26: Tabela com intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética.	855
Figura 27: Zoneamento do Setor de Observação	866
Figura 28: Volumetria final do Setor de Observação elaborada no <i>DesignBuilder</i> .	877
Figura 29: Volumetria final do Setor de Observação e os demais blocos de edifícios da UPA elaborada no <i>DesignBuilder</i> .	899
Figura 30: Propriedades térmicas das coberturas com telha de fibrocimento e com telha sanduíche segundo Weber <i>et al.</i> (2017).	90
Figura 31: Mapa esquemático das simulações termoenergéticas.	933
Figura 32: Tabela de Equivalentes numéricos de POC para ventilação natural.	955
Figura 33: Ganhos térmicos - Área de observação de pacientes, Brasília.	999
Figura 34: Quadro comparativo de Carga Latente Total, POC e ACH entre os quatro cenários simulados, Brasília	100
Figura 35: Quadro comparativo de demanda de energia elétrica entre os três tipos diferentes de condicionamentos simulados, Brasília.	101
Figura 36: Quadro comparativo de demanda de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes de condicionamentos, Brasília.	102
Figura 37: Quadro comparativo de POC e ACH entre os dois cenários simulados, Salvador.	1077

Figura 38: Ganhos térmicos – Área de observação de pacientes, Salvador.	1088
Figura 39: Quadro comparativo de Carga Latente Total, POC e ACH entre os quatro cenários simulados, Salvador.	1099
Figura 40: Detalhamento da demanda de energia elétrica entre os três tipos diferentes de climatização simulados, Salvador.	11010
Figura 41: Quadro comparativo de demanda de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes climatização, Salvador.	1122
Figura 42: Esquema de cenários simulados para a comparação de demanda de energia primária. C6_SSA x Cenário Referência (nível D de eficiência energética) (RTQ-C).	1144
Figura 43: Resultados das simulações para a demanda de energia primária, cenário C6_SSA e cenário referência (nível D de eficiência energética) (RTQ-C).	1155
Figura 44: Tabela com intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética elaborada	1155
Figura 45: Quadro comparativo de POC e ACH entre os dois cenários simulados, Florianópolis	12121
Figura 46: Ganhos térmicos – Área de observação de pacientes, Florianópolis	1233
Figura 47: Quadro comparativo de Carga Latente Total, POC e ACH entre os cenários simulados	1244
Figura 48: Quadro comparativo de Demanda de Energia Elétrica entre os três tipos diferentes de condicionamentos simulados no Caso Base, Florianópolis.	1255
Figura 49: Quadro comparativo de Demanda de Energia Elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes de condicionamentos, Florianópolis.	1266

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráficos 1 e 2: Gráficos de temperatura e umidade relativa do ar em Brasília-DF	755
Gráfico 3: Gráficos de direção, frequência e velocidade dos ventos de Brasília-DF.	766

Gráficos 4 e 5: Gráficos de temperatura e zona de conforto; e de umidade relativa de Salvador-Ba.	777
Gráfico 6: Gráficos de direção, frequência e velocidade dos ventos de Salvador-Ba.	777
Gráfico 7: Gráfico comparativo da Insolação Total de Salvador-Ba.	788
Gráficos 8 e 9: Gráficos de temperatura e zona de conforto; e de umidade relativa de Florianópolis - SC.	799
Gráfico 10: Gráficos de direção, frequência e velocidade dos ventos de Florianópolis - SC.	80
Gráfico 11: Percentual de horas ocupadas em conforto simulados em oito direções diferentes, Brasília.	955
Gráfico 12: Resultado de ACH do Caso Base para diferentes orientações, Brasília.	966
Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software <i>DesignBuilder</i> .	966
Gráfico 13: Resultados de ACH para os cenários simulados, Brasília.	977
Gráfico 14: Percentual de horas ocupadas em conforto para os cenários simulados, Brasília	977
Gráfico 15: Gráfico comparativo de demanda anual de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes de climatização, Brasília.	1022
Gráfico 16: Percentual de horas ocupadas em conforto simulados em oito direções diferentes, Salvador.	1044
Gráfico 17: Resultado de ACH do Caso Base para diferentes orientações, Salvador	1055
Gráfico 18: Resultados de ACH para os cenários simulados, Salvador.	1066
Gráfico 19: Percentual de horas ocupadas em conforto para os cenários simulados, Salvador.	1066
Gráfico 20: Gráfico comparativo de demanda anual de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes climatização, Salvador.	1133
Gráfico 21: Percentual de horas ocupadas em conforto simulados em oito direções diferentes,	1188

Gráfico 22: Média anual do número de ACH simulados em oito direções diferentes, Florianópolis.	1199
Gráfico 23: Média anual do número de ACH dos cenários simulados, Florianópolis.	12020
Gráfico 24: Percentual de horas ocupadas em conforto dos cenários simulados, Florianópolis.	12121
Gráfico 25: Gráfico comparativo de demanda anual de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes de climatização, Florianópolis.	1266

### **LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1: Cálculo do voto médio estimado.	388
Equação 2: Percentual de Redução do consumo de energia primária entre a edificação em sua condição real e a condição de referência.	844

### **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Limites de aceitabilidade para definição de zona de conforto segundo a ASHRAE 55 (2017).	399
--	-----

### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Caracterização dos cenários, primeira fase de simulações.	888
Quadro 2: Caracterização dos cenários, segunda fase de simulações, Brasília.	91
Quadro 3: Caracterização dos cenários da segunda fase de simulações, Salvador.	911
Quadro 4: Caracterização dos cenários da segunda fase de simulações, Florian.	92

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1.	Motivações, problemas e justificativas	15
1.2.	Objetivos	20
1.3.	Estrutura do trabalho	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1	Breve histórico da arquitetura hospitalar	24
2.2	Normatização dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS)	28
2.3	Conforto ambiental e humanização dos ambientes de saúde	32
2.4	Conforto térmico	36
2.4.1	Conceitos e índices de conforto térmico	36
2.4.2	Conforto térmico em ambientes de saúde	41
2.5	Eficiência energética	43
2.5.1	Conceitos e normas	43
2.5.2	Eficiência energética em ambientes de saúde	46
2.6	Ventilação natural	48
2.6.1	Ventilação natural - conforto térmico e eficiência energética	48
2.6.2	Ventilação natural – ambiente de saúde e Qualidade do Ar Interno (QAI)	50
2.7	Unidades de Pronto Atendimento	53
2.7.1	Estudos sobre UPA - conforto térmico e a eficiência energética	58
3	MÉTODO E PROCEDIMENTOS	61
3.1	Caracterização e análise do objeto de estudo	62
3.1.1.	Bloco de observação - foco no objeto de estudo	64
3.1.2	Determinação das características do Caso Base para as simulações	67
3.2	Determinação de cidades que caracterizam os climas quente-seco, quente-úmido e subtropical do Brasil	71

3.2.1	Caracterização dos climas de Brasília, Salvador e Florianópolis	73
A)	Brasília	74
B)	Salvador	76
C)	Florianópolis	78
3.3	Procedimentos - as simulações computacionais	80
3.3.1	Critérios de bondade e avaliação	82
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
4.1	BRASÍLIA	94
4.1.1	Resultados da primeira etapa	94
A)	Avaliação do Caso Base (CB0)	94
B)	Avaliação do Cenário 1	96
C)	Discussão da primeira fase	98
4.1.2	Resultados da segunda fase	98
A)	Avaliação da influência de ganhos térmicos no POC e ACH	98
B)	Avaliação da demanda de eletricidade	100
4.1.3	Considerações sobre as duas fases	103
4.2	SALVADOR	103
4.2.1	Resultados da primeira fase	103
A)	Avaliação do Caso Base (CB0)	103
B)	Avaliação Cenário 1	105
C)	Discussão da primeira fase	107
4.2.2	Resultados da segunda fase	107
A)	Avaliação da influência de ganhos térmicos no POC e ACH	108
B)	Avaliação da demanda de eletricidade	110
4.2.3	Considerações sobre as duas fases	116
4.3	FLORIANÓPOLIS	117
4.3.1	Resultados da primeira etapa	117

A) Avaliação do Caso Base (CB0)	117
B) Avaliação Cenário 1	119
C) Discussão primeira fase	122
4.3.2 Resultados da segunda etapa	122
A) Avaliação da influência de ganhos térmicos no POC e ACH	122
B) Avaliação da demanda de eletricidade	124
4.3.3 Considerações sobre as duas fases	127
4.4 Síntese e Considerações dos Resultados	128
A) POC e ACH	128
B) Ganhos Térmicos	128
C) Demanda de energia elétrica	129
D) Diretrizes de projeto para o projeto de referência das UPAs	129
5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
5.1 Limitações da pesquisa	132
5.2 Diretrizes para trabalhos futuros	132
REFERÊNCIAS	134
ANEXO 1	1488
APÊNDICE 1	149
APÊNDICE 2	161
APÊNDICE 3	161
APÊNDICE 4	164

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, os arquitetos e urbanistas têm como diretriz de trabalho conceber projetos ambientalmente confortáveis e mais eficientes, com o mínimo possível de impactos ambientais e de consumo energético. Para Romero (2016, p.423), o edifício eficiente é aquele que é “pensado e executado” adequando-se ao clima do lugar e que “desempenha suas funções maximizando as condições de segurança e conforto de seus usuários, poupando energia e reduzindo o impacto sobre o meio ambiente”. A demanda energética, por sua vez, está diretamente relacionada às condições de conforto que os ocupantes pretendem atingir. Dessa forma, haverá maior consumo de energia para alcançar as condições de conforto térmico desejado se o edifício estiver pouco adaptado ao clima (ROMERO, 2015).

O ambiente hospitalar além de servir de local onde se oferece assistência à saúde dos pacientes, deve apresentar uma organização arquitetônica que promova o conforto ambiental aos usuários, entendido como conforto térmico, visual, acústico e luminoso, garantindo uma adequada qualidade de serviços (LIMA *et al.*, 2015; ROMERO & FERNANDES, 2016; ARAÚJO & DANTAS, 2013; GOÉS, 2011).

De acordo com Amorim e Fernandes (2016), a concepção da tipologia arquitetônica hospitalar está condicionada aos critérios de complexidade e normativas exigidos para essa tipologia arquitetônica. Essas autoras afirmam, ainda, que devido a essa grande complexidade, muitas vezes a questão ambiental é desconsiderada nos ambientes de saúde, principalmente o conforto térmico, resultando em espaços frios, desumanizados e com grande demanda de energia elétrica. Para elas, é necessário tratar aspectos detalhados da edificação, levando em consideração as variáveis que influenciam nas condições de conforto e de eficiência energética: forma, implantação no terreno, materiais que as constituem, aberturas, proteções solares, etc.

## 1.1. Motivações, problemas e justificativas

Sou arquiteta e enfermeira. Trabalhei ao longo de dez anos em estabelecimentos assistenciais de saúde, principalmente em hospitais de grande porte. As longas jornadas de trabalho aguçaram-me a percepção da importância da

arquitetura hospitalar para o bem-estar e o conforto dos funcionários, pacientes e acompanhantes.

Eu constatei que o simples fato de existir uma janela aberta nessas edificações de saúde traz aos usuários, assim como trazia para mim enquanto profissional de saúde, o contato direto com o ambiente exterior. Os benefícios em manter essa conexão são múltiplos, como a manutenção do bom funcionamento do nosso ritmo circadiano e a recepção de estímulos variados provenientes do entorno da edificação, como sons, aromas, formas, texturas, cores, luzes, temperatura e ventilação.

Percebi também que para os profissionais de saúde como eu, a ausência de janelas em qualquer um dos ambientes pode nos dar a sensação de estarmos sempre em uma UTI - setor fechado, ambiente frio, com controle rigoroso da temperatura, dotado de cheiro característico que fica impregnado em nossas roupas e que nos provoca grande tensão psicológica, dada a necessidade de dedicar atenção ininterrupta aos pacientes.

Para os profissionais de saúde, portanto, o contato com o ambiente exterior pode reduzir a fadiga emocional trazida pela carga de responsabilidade constante e pelas numerosas horas seguidas de trabalho, impostas pelos regimes de plantões de 12 e 24 horas (por vezes mais). Isso ameniza a rotina de trabalho, tornando-a menos estressante e repetitiva. O contato direto com o ambiente externo pode evitar, além disso, a perda da noção de dia e noite, problema que, se não resolvido, traz em longo prazo repercussões negativas significativas, como distúrbios do sono, distúrbios alimentares, redução da atenção, baixo desempenho no trabalho, ansiedade, depressão, hipertensão, etc.

Para os pacientes e seus acompanhantes, eu notava que eles sempre se debruçavam horas nas janelas, quando existentes, ainda que pequenas ou mal posicionadas, para sentir o cheiro, ver a chuva cair, assistir o movimento da rua e aliviar a carga psicológica negativa da internação. Já para os indivíduos que tinham a privação desse contato direto com o ambiente exterior, eu percebia neles um desânimo, uma sonolência constante, uma irritação e uma explícita confusão entre dia e noite. Essas diferenças de estado emocional e de contato de pacientes e

acompanhantes com o ambiente e a rotina hospitalar influenciam, indubitavelmente, na adesão dos pacientes aos tratamentos propostos, na relação deles com a equipe de saúde que os assiste, nos resultados das terapias instituídas e, decerto, na experiência de satisfação geral de todos os usuários com relação às instalações hospitalares.

A relação interior/exterior é, portanto, benéfica aos usuários dessas edificações hospitalares, graças aos estímulos em seus sistemas sensoriais que propicia, a partir dos elementos ambientais que possui, causando diferentes percepções do ambiente. O contato com o ambiente exterior por meio de uma ventilação e iluminação naturais pode ser, desse modo, complementar ao tratamento e à recuperação do enfermo, contribuindo para acelerar seu processo de cura e reduzir o seu tempo de internação.

A minha principal motivação para esse estudo é incentivar projetos futuros de estabelecimentos assistenciais de saúde ventilados naturalmente, menos herméticos possíveis, para que possa impedir ou minimizar essas repercussões indesejadas aos seus usuários.

Tipologia arquitetônica hospitalar em particular, as Unidades de Pronto Atendimento (UPAs) são de grande importância na prestação de saúde dos brasileiros. No entanto, existem poucos estudos de avaliação dos benefícios da ventilação natural nessas edificações, principalmente em se tratando de um ambiente específico delas, as salas de observação. Embora as UPAs estejam distribuídas por todo o território nacional, essa carência de avaliações pode ser decorrente do curto tempo de implantação desses estabelecimentos no sistema de saúde brasileiro. Em algumas pesquisas (SILVA, 2019; CAVALCANTE *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2015), inclusive algumas com participação dessa autora (SANCHO *et al.*, 2021, 2021a), nota-se a necessidade de que maior atenção seja dada ao conforto térmico e à eficiência energética, principalmente pela adoção da ventilação natural.

Por se tratar de arquitetura hospitalar, a qualidade do ar e a salubridade são condicionantes expressivas, que devem ser consideradas conjuntamente com conforto térmico e eficiência energética. Conforme Araujo e Dantas (2013), soluções

projetuais para espaços de saúde disponibilizam para esses ambientes áreas íntegras e assépticas, que auxiliam no controle de infecção hospitalar. Assim, a ventilação natural torna-se uma das principais variáveis para obtenção desses benefícios.

Em climas predominantemente quentes, como o brasileiro, segundo a ABNT NBR nº 15.220/2003, a ventilação natural é uma das estratégias bioclimáticas mais aplicadas, em razão da promoção de salubridade, do conforto térmico nos ambientes e da eficiência energética. A adoção da ventilação natural em estabelecimentos de saúde é apoiada pela ASHRAE (2019), desde que seja considerada a qualidade do ar externo, com estabelecimento de taxas mínimas de renovação de ar e que não haja a recirculação ou transferência do ar para os demais ambientes.

Atendidas essas exigências, a ventilação natural auxilia, por meio da renovação do ar, no controle de infecção hospitalar nos locais onde não há obrigatoriedade do uso de sistemas de ar condicionado (SANCHO *et al.*, 2021a). Ela proporciona também o conforto térmico aos usuários, promove a humanização do ambiente, permite a redução da demanda energética e a boa Qualidade do Ar Interno (QAI) (ASHRAE, 2017, SALES, 2016; AGUIAR, 2017; SANCHO *et al.*, 2021a). A QAI é, como a ventilação natural, conexas ao controle de transmissão de infecções por aerossóis e ao conforto térmico. Essa conexão existe, segundo diversos autores (ATKINSON *et al.*, 2009; SALES, 2016; AGUIAR, 2017; SANCHO *et al.*, 2021a) pela renovação do ar no ambiente, que possibilita a atenuação da quantidade de partículas concentradas no ar.

Nesse contexto, pode-se afirmar que o planejamento das futuras UPAs deve ser cuidadosamente pensado para assegurar as condições de conforto térmico e demanda energética. Nesse planejamento, deve-se considerar também a qualidade do ar e a salubridade dos ambientes, de modo a contribuir para a humanização desses espaços, para segurança e o bem-estar dos usuários, reduzindo o desgaste emocional da permanência nesses ambientes.

A importância particular das salas de observação das UPAs reside no fato de que elas são as áreas destinadas ao acolhimento de pacientes que recebem

atendimento nos consultórios e que necessitam de vigilância constante, devido ao potencial de gravidade do quadro clínico e a possível necessidade de intervenção imediata.

Nas salas de observação, os pacientes permanecem até receberem alta médica ou serem transferidos para a rede hospitalar de alta complexidade. A duração dessa permanência pode variar de acordo com a prescrição médica, podendo estender-se até 24 horas. No entanto, segundo Konder e O'dwer (2015), a insuficiente retaguarda hospitalar obriga as UPAs a prestarem cuidados aos enfermos até sua melhora clínica, ultrapassando o tempo limite estimado de observação, configurando uma situação de internação e de longa permanência do paciente.

A Sala de Observação foi escolhida como objeto de estudo deste trabalho, portanto, devido a sua importância no funcionamento e na organização dessas unidades de saúde, aos longos períodos que os usuários se mantêm nesse ambiente, e em virtude da escassa disponibilidade de material específico que oriente o seu planejamento, principalmente no que concernem avaliações do conforto térmico e eficiência energética em ambientes naturalmente ventilados.

O estudo foi realizado no contexto climático das cidades de Brasília, Salvador e Florianópolis, pois elas apresentam três tipos de climas brasileiros típicos e distintos: clima quente seco, quente úmido e subtropical respectivamente.

Diante das limitações impostas pela pandemia da covid-19 - confinamento, afastamento e isolamento social - para a realização dessa pesquisa em campo, parte do estudo foi realizada por meio de simulações computacionais. Essas simulações foram realizadas para a avaliação do desempenho térmico e energético do setor de observação naturalmente ventilado do projeto de referência porte III para UPAs, proposto pelo Ministério da Saúde. O programa de simulação adotado nesta pesquisa foi o *DesignBuilder*, cujo motor de cálculo é dado pelo software *EnergyPlus* 9.4.

A presente pesquisa tem como foco o conforto térmico e a eficiência energética em estabelecimentos assistenciais de saúde ventilados naturalmente,

em diferentes climas brasileiros, tomando como ambiente representativo a sala de observação de UPAs; e é norteadada pelos seguintes problemas de pesquisa:

- Considerando-se o contexto climático diversificado do Brasil, as aberturas existentes no setor de observação em estudo promovem ventilação natural suficiente para viabilizar o conforto térmico?
- Ao adotar três cidades brasileiras com climas e latitudes distintos, quais variáveis de projeto poderiam ser incrementadas para obter o melhor desempenho térmico e energético por meio da ventilação natural em cada uma delas?

Esse trabalho justifica-se, primeiramente, pelas especificidades das edificações hospitalares, tipologia arquitetônica complexa, que fazem das UPAs um ambiente atrativo para estudos de conforto térmico por meio da ventilação natural. A contribuição para o corpo de conhecimento sobre conforto térmico em espaços ventilados naturalmente nessa área pode possibilitar melhorias no desempenho térmico e energético, na qualidade do ar interno e na salubridade dessas unidades, além de promover ambientes mais humanizados e bem-estar aos usuários. No contexto pós-crise da pandemia da covid-19, motivação adicional para o estudo está na busca de alternativas para a redução de custos de operação com a climatização artificial e para a garantia de uma adequada renovação do ar interno e da salubridade. Adicionalmente, melhorias arquitetônicas pontuais em edifícios hospitalares podem representar ganhos substanciais de conforto térmico e humanização dos ambientes e impactar indicadores de morbidade e mortalidade hospitalar.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar, nas dimensões do desempenho térmico e energético, a sala de observação das Unidades de Pronto Atendimento (Porte III, Ministério da Saúde) ventiladas naturalmente aos climas brasileiros. Para tanto, se estabeleceram os seguintes objetivos específicos:

- Identificar parâmetros relativos a conforto térmico, eficiência energética e ventilação natural na normatização de arquitetura hospitalar;

- Definir cidades e contextos climáticos representativos da climatologia brasileira;
- Verificar, por meio de simulações termoenergéticas, o comportamento térmico e energético na sala de observação ventilada naturalmente de UPAs *vis à vis* às normas de referência;
- Definir diretrizes de projeto com base nos cenários de melhorias propostas, com o objetivo de melhor promover o desempenho térmico e energético dos estabelecimentos assistenciais de saúde.

### **1.3.Estrutura do trabalho**

O trabalho está dividido em cinco partes. A primeira parte corresponde à introdução, que apresenta as motivações, problemas e justificativas, um breve desenvolvimento do tema de pesquisa, as definições dos objetivos geral e específicos e a estrutura do trabalho. A segunda parte discorre sobre o referencial teórico. A terceira trata dos procedimentos metodológicos. A quarta apresenta os resultados e as discussões das simulações. Finalmente, a quinta parte apresenta as conclusões e considerações finais. A Figura 1 resume a estrutura e o conteúdo deste estudo.

Em maior detalhamento da estrutura do trabalho, na introdução expõe-se a importância do conforto térmico, da eficiência energética e da ventilação natural para os ambientes de Estabelecimentos Assistenciais à Saúde (EAS). Explana-se também, brevemente, sobre as UPAs e o protagonismo das salas de observação no funcionamento e na organização das unidades de pronto atendimento.

Na parte II, apresenta-se o referencial teórico inicial, contendo as principais teorias que abordam o conforto térmico, eficiência energética, ventilação natural e as normas técnicas relacionadas aos EAS, conceitos esses que fundamentam o tema desenvolvido nesta dissertação. Apresenta-se, também, um breve histórico da arquitetura hospitalar e das Unidades de Pronto Atendimento (UPA).

Na parte III, descreve-se o método e os procedimentos realizados para a caracterização e a análise do objeto de estudo; a definição das características do caso-base e dos cenários; a determinação das cidades representantes de diferentes

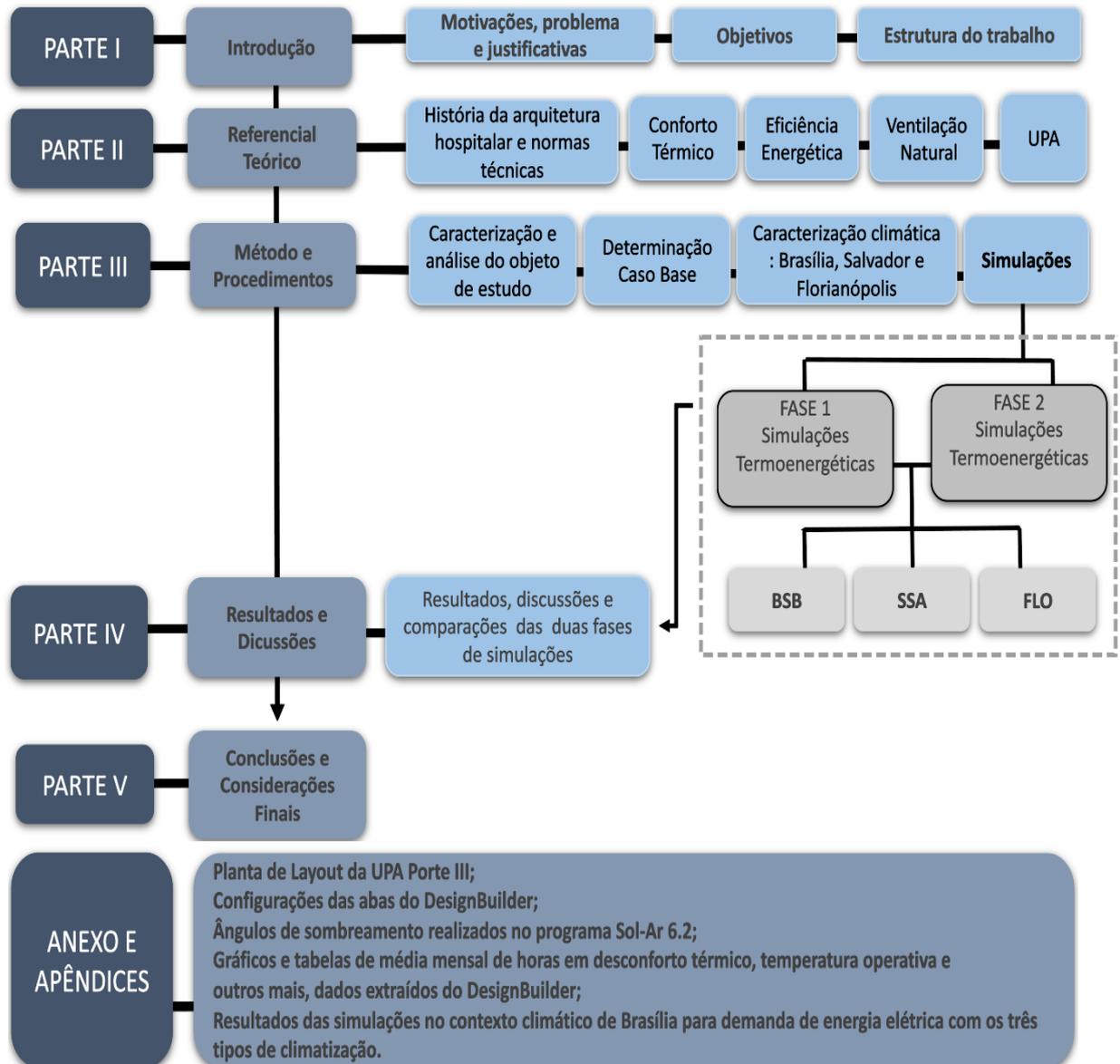
climas brasileiros; e a definição do entorno teórico para simulações termoenergéticas.

Na parte IV, apresentam-se os resultados das simulações termoenergéticas realizadas com o *DesignBuilder* e as discussões desses resultados.

Na parte V, apresentam-se as conclusões alcançadas e as considerações finais da pesquisa, incluindo-se uma reflexão sobre suas limitações e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são disponibilizados um anexo e quatro apêndices. O anexo corresponde à planta de *layout* da UPA Porte III disponibilizada pelo Ministério da Saúde. No primeiro apêndice, encontram-se as configurações realizadas em cada uma das abas do programa *DesignBuilder* necessárias aos processos de simulações termoenergéticas realizadas. No segundo apêndice, apresentam-se os ângulos de sombreamento correspondentes a cada uma das cidades abordadas nesse trabalho, que foram encontrados por meio do programa Sol-Ar. No terceiro, disponibilizam-se os gráficos e as tabelas de média mensal de horas em desconforto térmico, da temperatura operativa e outros mais, que foram extraídos das simulações por meio do programa *DesignBuilder*. No quarto e último apêndice, expõem-se os resultados das simulações no contexto climático de Brasília para demanda de energia elétrica com os três tipos de climatização.

Figura 1: Estrutura e conteúdo da dissertação.



Fonte: Autora (2022).

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Em um primeiro momento, com vistas a fundamentar teoricamente o trabalho e possibilitar o entendimento geral sobre o tema da pesquisa, apresenta-se revisão bibliográfica sobre a história da arquitetura hospitalar e a normatização que embasam essa tipologia arquitetônica.

Em seguida, tratam-se os conceitos de conforto ambiental e humanização em ambientes de saúde; conforto térmico; eficiência energética e ventilação natural.

Finalmente, é elaborado o levantamento de dados arquitetônicos, normativos e técnicos sobre as Unidades de Pronto Atendimento, tipologia arquitetônica escolhida como representativa de estabelecimentos assistenciais de saúde. Esse levantamento de dados foi procedido em fontes como livros, artigos e trabalhos acadêmicos que abordam os temas supracitados, bem como em fontes primárias, como documentos, manuais e normas. Essa pesquisa documental tem por objetivo traçar um panorama da unidade avaliada e envolve o levantamento do processo de implantação, funcionamento e identificação das principais referências técnicas que regulam as UPAs.

### **2.1 Breve histórico da arquitetura hospitalar**

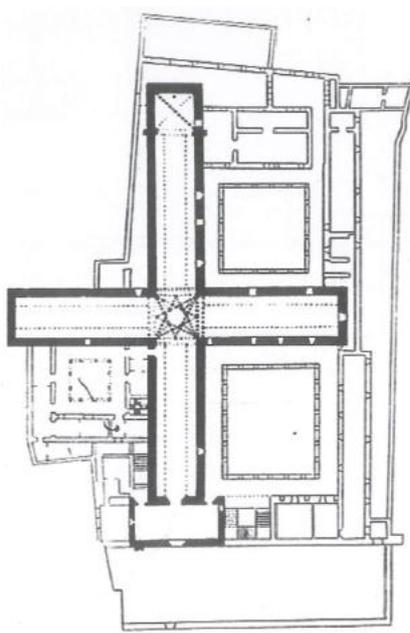
A evolução da arquitetura hospitalar pode ser associada aos conceitos e ao desenvolvimento das práticas médicas adotadas na concepção desses espaços, uma vez que, no decorrer dos séculos, percebeu-se que a cura de doenças tem relação com as soluções construtivas e espaciais adotadas (CARVALHO, 2014; AGUIAR, 2017).

Os hospitais surgiram na Idade Média com a função de hospedagem e caridade, servindo de abrigo para viajantes, peregrinos e pobres. Esses estabelecimentos exerciam um papel de exclusão, segregação e vigilância dos enfermos em relação aos indivíduos saudáveis, em contexto histórico em que se

priorizavam os aspectos sagrados ou religiosos e se consideravam os “males da saúde” como punição divina (CARVALHO, 2014; MIQUELIN, 1992).

Conforme Carvalho (2014), na Idade Média, a forma arquitetônica predominante dos hospitais era o sistema em nave, que evoluiu para o sistema radial (Figura 2). Esses hospitais eram constituídos de grandes espaços, que não apresentavam barreiras ou diferenciação entre as enfermidades ou sexo dos pacientes e que não possuíam limites do número de enfermos recebidos, sendo permitidos vários pacientes em um único leito (Figura 3). Esses espaços eram caracterizados pela insalubridade e falta de ventilação natural. Serviam como locais de morte digna para os doentes e desconsideravam sua recuperação ou conforto.

Figura 2: Exemplo do sistema radial. Hospital de Toledo, do arquiteto Enriques Egas



. Fonte: Carvalho (2014).

O grande incêndio do *Hôtel-Dieu*, em 1772, o maior e principal hospital de Paris da época, foi o evento determinante para a mudança nesse tipo estrutura hospitalar (CARVALHO, 2014; COSTEIRA, 2014; TOLEDO, 2006; MIQUELIN,

1992), marcado por instalações insalubres e por abrigar centenas de pacientes agrupados (Figura 3).

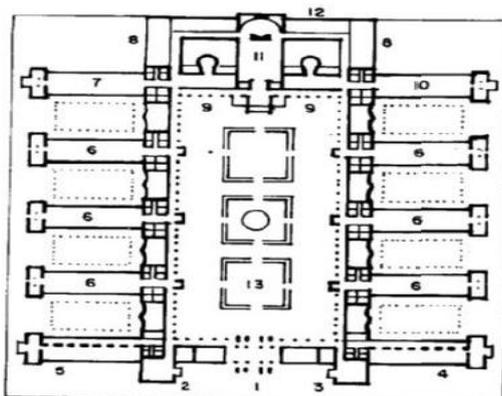
Figura 3: Ilustração de pacientes ocupando o mesmo leito hospitalar, em enfermaria do Hôtel-Dieu, em Paris.



Fonte: Toledo (2006).

Esse incêndio impulsionou um grande debate na França acerca da melhor forma de se executar um hospital. Assim, foi estabelecida uma comissão de avaliação de projetos arquitetônicos, que por meio de estudos e pesquisas tentava encontrar uma solução definitiva para o hospital (COSTEIRA, 2014). Nesse contexto, teve destaque o estudo do médico francês Jacques-René Tenon, *Memoires sur les hôpitaux de Paris*, publicado em 1788, que analisou diversos hospitais e defendeu novas propostas ambientais para assistência hospitalar, a organização pavilhonar, além de fazer recomendações para volume mínimo de ar por paciente, atendendo as exigências da teoria do miasma em voga à época. Essa organização permitia a ventilação cruzada e a iluminação natural, que favoreciam a higienização, a salubridade, o conforto e a humanização dos ambientes (Figura 4).

Figura 4: Exemplo de organização pavilhonar.



Fonte: Miquelin (1992).

Outra personalidade relevante para a evolução do edifício hospitalar foi a enfermeira inglesa Florence Nightingale (1820-1910). Essa profissional, mediante suas observações e experiências na guerra da Criméia (1853-1856), teve grande influência na configuração do partido pavilhonar e na otimização da cura nesses espaços. Ela destacou que os principais problemas nesses estabelecimentos eram oriundos da falta de iluminação e ventilação naturais, dos curtos espaços entre os leitos e da superlotação nas enfermarias. As enfermarias Nightingale, como ficaram conhecidas, resultado de seus estudos sobre a conformação física desses ambientes, estabeleceram um novo padrão de espaço para a internação dos pacientes, que representou um avanço no sistema de saúde e (CARVALHO, 2014; COSTEIRA, 2014). Essas enfermarias são caracterizadas por um salão longo, com leitos dispostos perpendicularmente em relação às paredes, um pé direito generoso, janelas entre um leito e outro, de ambos os lados, para facilitar a ventilação cruzada e a iluminação natural.

“As enfermarias “Nightingale” serviram de modelo para a implantação de hospitais durante muitos anos, sendo uma referência até as primeiras décadas do século XX, e permanecem sendo usadas, até os dias de hoje, para algumas concepções e desenhos de estruturas com implantação térrea” (COSTEIRA, 2014, p.58).

De acordo com Costeira (2021, p.401), essas enfermarias devem ser inspiração para a construção de hospitais no futuro, “para atender a todas as

exigências da atualidade médica sem abrir mão do ar puro e do sol nos ambientes”. Para a autora, os futuros estabelecimentos assistenciais de saúde devem ser projetados com ambientes ventilados naturalmente, enfatizando os “benefícios da diluição de bactérias e vírus quando grandemente diluídos e renovados na sua dispersão em ambientes plenamente ventilados”.

Transformações arquitetônicas em estabelecimentos de saúde podem humanizar o ambiente e influenciar positivamente nos resultados médicos (VIANNA, BRUZSTYN & SANTOS, 2008).

## **2.2 Normatização dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS)**

No Brasil, desde 2002, a principal norma que embasa os projetos de Estabelecimentos Assistenciais à Saúde (EAS) é a Resolução RDC 50 (ANVISA, 2002), que se encontra em processo de atualização. Essa resolução é denominada de “Regulamento Técnico para planejamento, elaboração, análise e aprovação de projetos de serviços de saúde” (ANVISA, p.1, 2002). Todos os projetos de EAS devem ser obrigatoriamente elaborados de acordo com as disposições dessa norma, que abrangem as construções novas, ampliações ou reformas. Na proposta de atualização dessa norma, que foi disponibilizada de forma online pela ANVISA para consulta pública em 2019 (CONSULTA PÚBLICA Nº 725, DE 17 DE SETEMBRO DE 2019), incluem-se ainda as adequações de edifícios anteriormente não destinados aos serviços de saúde.

A RDC 50 (ANVISA, 2002) dispõe, na parte III, item 5, sobre às condições ambientais de conforto:

“Os sistemas de controle ambiental nos EAS abrangem duas dimensões: a endógena, que considera o edifício em sua finalidade de criar condições desejáveis de salubridade por meio do distanciamento das pessoas das variáveis ambientais externas, e a exógena, que observa os impactos causados pelas construções no meio ambiente externo alterando, de forma positiva ou negativa, suas condições climáticas naturais” (ANVISA, 2002, p. 83).

No excerto acima, observa-se a exclusão do aproveitamento da ventilação e iluminação naturais, uma das principais premissas de sustentabilidade e de humanização do ambiente, ao considerar a criação de “condições desejáveis de salubridade” mediante “o distanciamento das pessoas das variáveis ambientais externas”. No entanto, a norma contradiz-se ao estabelecer ambientes funcionais de EAS que demandam “conforto luminoso a partir de fonte natural”, tais como: salas de observação, quartos e enfermarias, internação intensiva e queimados, salas para tratamento hemodialítico, entre outros.

A RDC 50 (ANVISA, 2002) não cita nada sobre a ventilação natural, desconsiderando a sua importância tanto para o conforto térmico e eficiência energética quanto para a qualidade do ar interno ou salubridade dos ambientes. Ela determina a obrigatoriedade do uso de ar condicionado em relação aos conceitos de área crítica, semicrítica e não crítica. As áreas críticas são os ambientes com maior risco de transmissão de infecção, que podem acomodar pacientes imunodeprimidos (UTIs, hemodinâmicas, centros cirúrgicos, etc) e onde ocorrem procedimentos de risco. Esses espaços devem ser providos de condições especialmente controladas de temperatura, umidade e qualidade do ar interno, sendo obrigatório o uso do ar condicionado com filtragem de insuflamento para controlar os agentes contaminantes (asepsia), regulamentados pela NBR-7256/2005.

A climatização artificial não é obrigatória nas áreas semicríticas e não críticas. As áreas semicríticas são caracterizadas pela ocupação de pacientes com doenças infecciosas de baixa transmissibilidade e doenças não infecciosas. As áreas não críticas, por sua vez, não são ocupadas por pacientes. Não obstante, a norma estabelece que nessas áreas, em função do tempo de permanência dos pacientes e das características particulares dos equipamentos que abrigam, devem-se buscar as melhores condições por meio da ventilação e exaustão direta. Para Quadros (2016), essas condições dispostas pela RDC 50 “desencorajam” os projetistas na busca de alternativas de tipologias arquitetônicas que priorizem a ventilação natural para fins de conforto térmico.

Segundo Araujo (2016), para que a climatização artificial disponibilize uma boa qualidade do ar em EAS, são necessários procedimentos adequados no

sistema de ar condicionado, tais como: higienização dos dutos do sistema de ar condicionado para controlar a qualidade do ar e localizar focos potenciais de contaminação; instalação de sistema automatizado; e instalação de filtros Hepa, responsáveis pela captação de partículas de 1 a 0,3 microns. Esses procedimentos implicam a necessidade de manutenção contínua, resultando em um custo fixo elevado, exigências que dificultam sua implantação prática na realidade dos serviços de saúde da rede pública brasileira.

A versão em atualização da RDC 50, diferente da norma em vigor, aborda expressamente a ventilação natural. Nela, a ventilação natural “deve garantir a necessária circulação e troca de ar nos ambientes”, tais como: quartos e enfermarias de internação, algumas salas de atendimentos ambulatoriais, salas de coleta de sangue e as áreas de apoio funcional e apoio logístico. No entanto, observa-se a falta de associação da ventilação natural com a finalidade almejada de garantia do conforto térmico, de auxílio no controle de infecção ou de obtenção de boa QAI. Além disso, não são determinadas as taxas mínimas de ventilação ou de renovação do ar por hora.

Em relação ao conforto térmico, a RDC 50 (ANVISA, 2002) recomenda a NBR 6401 de 1980, substituída em 2008 pela NBR 16401, nos parâmetros de conforto térmico em ambientes condicionados (parte 2) e na qualidade do ar interior (parte 3). A segunda parte dessa norma apresenta limites de temperatura e velocidade do ar restrito, sendo, dessa forma, pertinentes para edifícios climatizados artificialmente, que disponibilizam rígido controle de velocidade e umidade relativa do ar. A terceira parte, apesar de ser indicada pela principal norma brasileira que regulamenta as EAS, não disponibiliza nenhum dado de parâmetro de vazão eficaz mínima de ar exterior para ventilação correspondente ao edifício hospitalar, sem mesmo citar essa tipologia arquitetônica em toda a norma.

Diferente da norma brasileira NBR 16401-3/2008, que não disponibiliza recomendações sobre ventilação para os ambientes hospitalares, a ASHRAE Standard 170 (2017) tem como objetivo definir o sistema de ventilação e os requisitos de projeto que fornecem controle ambiental para conforto, assepsia e odor em estabelecimentos de saúde. No entanto, essa norma incentiva apenas a utilização da climatização artificial. Segundo Ninomura *et al.* (2017) a norma

americana impossibilita a adoção de ventilação natural em todos os espaços das instalações de saúde. O grupo de pesquisadores sugere que a ventilação natural deva ser permitida na maioria dos espaços de cuidados de saúde, excluindo áreas de uso obrigatório do ar condicionado, tais como: salas cirúrgicas, centrais de esterilização, entre outras. Os autores afirmam que projetos de ventilação natural ou de modo misto podem oferecer benefícios como a redução da demanda energética, a satisfação dos pacientes e a melhor qualidade do ar interior.

A ASHRAE Standard 62.1 (2019) apresenta uma nota informativa sobre as taxas de ventilação em ASHRAE / ASHRAE Standard 170, que se destinam a alcançar assepsia e controlar a migração de odores, podendo não ser adequado para atingir o nível aceitável QAI conforme definido no Padrão 62.1. Esse padrão define a QAI como o ar em que não há concentrações de contaminantes, conforme determinado pelas autoridades competentes, e com as quais uma maioria substancial (80% ou mais) de pessoas expostas não expressa insatisfação. Esse padrão ainda incentiva fortemente a apropriação da ventilação em ambientes de saúde, incluindo as salas de observação em atendimentos de urgência.

A Organização Mundial de Saúde (OMS), em 2009, publicou um guia sobre a aplicação da ventilação natural para o controle de infecção em estabelecimentos de saúde (Atkinson *et al.*, 2009), que recomenda as seguintes taxas mínimas de ventilação:

- 80l/s por paciente para os quartos de internação com risco de infecção;
- 60l/s por paciente para áreas com pacientes em atendimento de emergência, com pacientes externos, quartos de internação, enfermarias em geral;
- 2.5 l/s/m<sup>3</sup> para as circulações.
- 12 ACH (renovação do ar por hora) a taxa de ventilação mecânica recomendada para os quartos de internação com risco de infecção

Em relação à taxa de renovação do ar por hora para a ventilação natural, o guia da OMS recomenda que, se a ventilação natural for usada para controle de infecção, a taxa de ventilação mínima deve ser maior do que a recomendada para ventilação mecânica (>12 ACH), a fim de compensar as flutuações previsíveis e as

dificuldades no controle da ventilação. O guia (Atkinson *et al.*, 2009) sugere, ainda, que quando a ventilação natural não for suficiente para satisfazer os requisitos de ventilação recomendados, pode ser adotado o sistema de ventilação natural híbrida (mista) e, se não for suficiente, indica-se a utilização da ventilação mecânica.

### **2.3 Conforto ambiental e humanização dos ambientes de saúde**

O termo conforto é oriundo da palavra em latim *cumfortare*, que significa conforto, derivado de *cum-fortis*, que também deu origem a expressão força (BRASIL, 2014). “Levar força significava consolar, apoiar, aliviar dor ou fadiga” (BRASIL, 2014, p.16). Essas são ações comumente empregadas pelos profissionais de saúde na assistência a seus pacientes. Para compreender o conforto nos ambientes hospitalares, Keith Slater (apud BRASIL, 2014, p.17), define o conforto como “um estado prazeroso de harmonia fisiológica, física e psicológica entre o ser humano e o ambiente”.

Segundo Frota e Schiffer (2006), a arquitetura tem como uma de suas funções a disponibilização de ambientes internos com condições favoráveis ao uso, independentemente das condições climáticas às quais estão expostos. O conforto ambiental é a área da arquitetura que compreende todo conhecimento relacionado à obtenção desses benefícios. Esses benefícios são adquiridos por meio de soluções projetuais que influenciam no desempenho de conforto ambiental do edifício e, conseqüentemente, no conforto térmico de seus usuários.

O conceito de conforto ambiental pode ser compreendido também como “um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo” (LAMBERTS *et al.*, 2014, p. 43). O conforto ambiental em EAS contribui para o bem-estar dos pacientes e funcionários, promovendo ambientes humanizados (BRASIL, 2014; LIMA *et al.*, 2015; ROMERO; FERNANDES, 2016, SANCHO *et al.*, 2021b). De acordo com Romero e Fernandes (2016), os arquitetos e engenheiros envolvidos em projetos da área de saúde devem conhecer todo o funcionamento de um EAS para propor soluções que atendam tanto às

necessidades técnicas quanto às de humanização, com a promoção de edifícios flexíveis e expansíveis que suportem as demandas das inovações tecnológicas e, sobretudo, sejam mais humanos.

Em 2003, foi lançado no Brasil o programa HumanizaSUS. Esse plano abrange questões que vão além da humanização da assistência e da valorização dos usuários, incluindo também os aspectos que dizem respeito ao espaço físico. Conforme esse programa, a “ambiência hospitalar” deve ser acolhedora, humana e confortável, “exaltando elementos do ambiente que interagem com o homem – a dizer cor, cheiro, som, iluminação, morfologia; e garantindo conforto a trabalhadores, paciente e sua rede social” (BRASIL, 2004, p. 5). A humanização em ambientes hospitalares pode ser estabelecida por meio dos aspectos projetuais arquitetônicos de conforto, que vão além dos referenciais decorativos frequentemente utilizados nesses ambientes como dimensão humanizadora (BRASIL, 2014). Dessa forma, entende-se que ambiência hospitalar é alcançada por meio do conforto ambiental.

Em EAS, o conforto ambiental é fundamental para a condição de bem-estar dos usuários (ROMERO & FERNANDES, 2016). O projeto arquitetônico, desde sua fase de concepção, define o conforto ambiental dos usuários de um edifício (OLIVEIRA, 2016). O projeto ainda deve beneficiar a saúde dos usuários e também o meio ambiente. Para isso, o projeto deve ser elaborado para que o mínimo de intervenções mecânicas seja necessário.

O conceito de conforto ambiental abrange o conforto visual, o conforto térmico, o conforto acústico e o conforto luminoso. Todos esses estão relacionados aos conceitos de qualidade ambiental do espaço construído (AMORIM; BRAGA, 2015).

A arquitetura hospitalar requer conforto e qualidade mais do que qualquer outro ambiente, pois nos hospitais essas variáveis estão associadas diretamente à saúde dos seres humanos. Para Sampaio (2005), o conforto e a qualidade nos ambientes hospitalares são a própria satisfação dos seus usuários (os pacientes, os profissionais de saúde, os acompanhantes/familiares, os funcionários e os administradores) e, para isso:

“Os ambientes hospitalares devem ter, então, adequadas temperaturas, trocas de ar e umidade, iluminação natural e

artificial; contato interior/exterior com visualização do meio externo; jardins para contemplação e passeios e ruído adequados quando forem inevitáveis” (SAMPAIO, 2005, p. 23).

A humanização em EAS é diretamente relacionada à sustentabilidade, devido à preocupação com o outro e com o bem estar coletivo, de forma sistemática e multidisciplinar. Segundo Romero & Fernandes (2016), a humanização em EAS, associada, portanto, às necessidades de diminuir a ação dos agentes infecciosos e os impactos que esses edifícios causam a seus usuários e ao meio ambiente, requer da arquitetura edifícios cada vez mais eficientes. Essas autoras afirmam (2016, p. 80) que a nova geração de EAS é suportada nos cuidados direcionados aos pacientes, “os fundamentos do *Patient – Centered Care* buscam a cura do paciente de forma global”. Esses fundamentos buscam a concepção de novos EAS, caracterizados como santuários espirituais dotados de jardins, de luz natural, de fontes, de música e de arte. Para essas autoras, a arquitetura que desenvolve espaços com condições de convívio mais humana também contribui para o bem-estar dos usuários; essa arquitetura pode ser, portanto, um instrumento terapêutico.

Para Campelo (2019), a arquitetura hospitalar, unicamente, não é capaz de curar, porém ela pode facilitar ou catalisar esse processo. A autora afirma que a associação da humanização do cuidado e do espaço resulta em um ambiente de segurança para o paciente e de bem-estar dos usuários.

Em hospitais, o contato com o ambiente exterior, além de garantir a incidência de ventilação e iluminação naturais, é primordial na promoção dos confortos térmico, visual e psicológico dos pacientes. Possibilita, ainda, a minimização do uso artificial de iluminação e ventilação, contribuindo para uma redução da demanda de energia elétrica (CHRISTOPOULOS, 2017).

De acordo com Lamberts *et al.* (2014), edifícios com a demanda energética reduzida para a promoção do conforto térmico, visual e acústico aos usuários são considerados com eficientes energeticamente: “Um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia” (LAMBERTS, 2014, p. 22).

Com base nessas premissas, foram construídos os hospitais da Rede Sarah Kubitschek, projetados pelo arquiteto João Filgueiras Lima, conhecido como Lelé. Nessas unidades hospitalares, por meio da utilização da ventilação e da iluminação naturais, tornam-se os ambientes mais humanos, evita-se a frequência de espaços herméticos e auxilia-se no controle da infecção hospitalar. Para o arquiteto, a beleza é vista como chave da humanização (LUKIANCHUKI e SOUZA, 2010). Lelé humaniza também seus projetos hospitalares com a inserção de jardins e obras de arte, para dotar o edifício da capacidade de contribuir no processo de cura e na promoção dos confortos térmico, visual e psicológico dos pacientes.

“Os painéis e equipamentos criados por Athos Bulcão, presentes nos hospitais da rede, confirmam essa filosofia. São usados como uma contribuição integrada à arquitetura do local. [...] Os painéis de Athos fazem parte do ambiente. O paciente vai se sentir valorizado, mais respeitado, quando convive com uma obra de arte” (LIMA, 2004, p.50).

Os projetos hospitalares de Lelé, alguns deles exemplificados na Figura 5, contribuem com a arquitetura hospitalar contemporânea, por proporcionarem ao edifício a capacidade de auxiliar no processo de cura dos pacientes, “priorizando o conforto ambiental [...] o conforto visual e o bem estar de todos os usuários de seus ambientes” (ALVES, 2011, p. 99).

Figura 5: Interior do Hospital Sarah Kubitschek Brasília.



Fonte: Sancho *et al.* (2021b).

O Hospital Sarah Brasília é uma obra que sintetiza princípios técnico-construtivos e conceituais, com ênfase na promoção de espaços arquitetônicos com conforto ambiental e humanizado. Essa edificação difere da arquitetura hospitalar

predominante até meados da década de 1960, que era caracterizada por hospitais funcionalistas e cerrados. O Hospital Sarah Brasília foi inaugurado em 1980 e deu início à consolidação de princípios, conceitos e técnicas que o transformaram em centro de referência internacional e que fundamentaram o processo de criação de todas as demais unidades do que viria a se transformar na “Rede Sarah de Hospitais de Reabilitação”.

## **2.4 Conforto térmico**

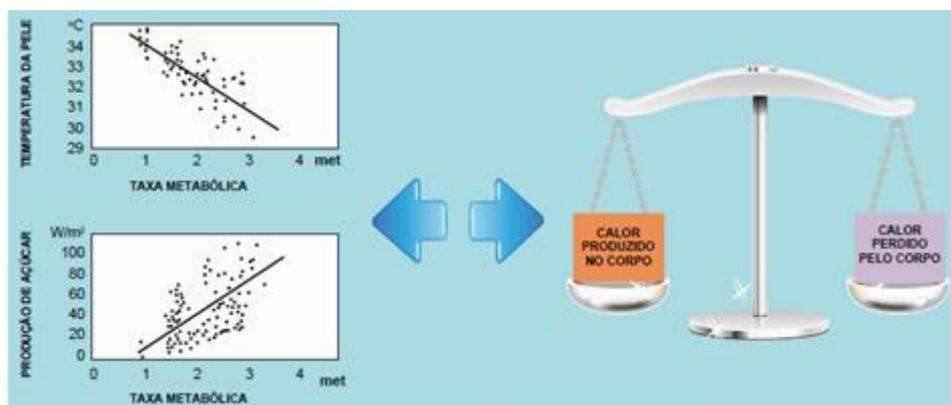
### **2.4.1 Conceitos e índices de conforto térmico**

O conforto térmico é definido, segundo a ASHRAE Standard 55 (2017), como uma condição mental do ser humano que exprime sua satisfação com o ambiente térmico que o envolve. Semelhante a esse conceito, a NBR 15220 estabelece o conforto térmico como a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente” (ABNT, 2005, p.5).

Esse conceito pode ser explanado ainda como a sensação de bem-estar vivenciada por uma pessoa, decorrente da combinação satisfatória de condições do ambiente variáveis ambientais, como a temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade relativa e a velocidade relativa do ar, associadas às variáveis individuais, como gênero, idade, biotipo, hábitos alimentares, atividade desenvolvida, vestimenta utilizada, entre outras (LAMBERTS *et al.*, 2014; DJONGYANG *et al.*, 2010; FROTA; SCHIFFER, 2006).

O conforto térmico está relacionado à “sensação de neutralidade térmica experimentada pelo ser humano em determinado ambiente” (BRASIL, p.30, 2014). De acordo com Fanger (1972), o indivíduo encontra-se nessa neutralidade térmica quando ele não deseja mais calor ou frio no ambiente em que se encontra. Conforme pode ser visto na Figura 6, o corpo vivencia a neutralidade térmica ou balanço térmico nulo quando todo o calor produzido pelo metabolismo de seu organismo é perdido na mesma proporção para o ambiente em seu entorno, por meio do suor e da respiração (FANGER, 1972 *apud* BRASIL, 2014; LAMBERTS *et al.*, 2014).

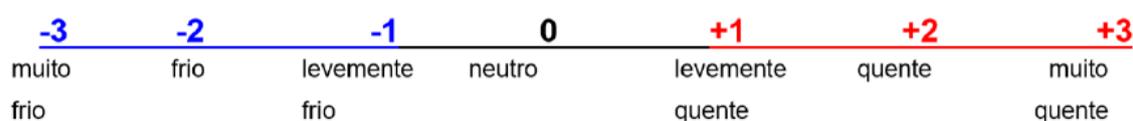
Figura 6: Neutralidade térmica – o calor produzido igual ao calor perdido pelo corpo.



Fonte: Brasil (2014).

O conforto térmico pode ser avaliado por duas abordagens diferentes: a analítica e a adaptativa. A abordagem analítica, chamada ainda de estática, tem como índice de conforto térmico o modelo do Voto Médio Predito (PMV), proposto pelo cientista dinamarquês Fanger (1970). Esse modelo é produto de pesquisas elaboradas com indivíduos em câmaras climatizadas artificialmente, partindo do princípio de que as sensações térmicas de pessoas saudáveis estão relacionadas às variáveis humanas (vestimenta e atividade física ou metabólica) e às ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade) (BRAGA, 2020; AMORIM & BRAGA, 2015; LAMBERTS *et al.*; 2014), derivando uma equação geral de conforto térmico, conforme equação 1. O índice calcula a partir de uma escala de 7 pontos (Figura 7) o valor médio de sensação térmica de um grupo expressivo de indivíduos, determinando o Percentual de Pessoas Insatisfeitas- PPD (BRAGA, 2020; AMORIM; BRAGA, 2015; LAMBERTS *et al.*; 2014). Embasada no PPD, norma ISO 7730 de 2005 recomenda como ideal um valor menor que 10% de pessoas insatisfeitas (BRAGA, 2020; AMORIM e BRAGA, 2015; LAMBERTS *et al.*; 2014).

Figura 7: Escala do índice PMV.



Fonte: Braga (2020).

Equação 1: Cálculo do voto médio estimado.

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036M} + 0,028) \cdot L$$

Onde:

M = Atividade desempenhada pelo indivíduo (met)

L = Carga térmica atuante sobre o corpo

Fonte: Lopes (2020).

Pereira e Assis (2010) consideram essa abordagem como um modelo embasado em experimentos laboratoriais extensivos e rigorosos, que adotam o corpo humano como um receptor do estímulo térmico ou como agente passivo, e estabelecem relações causais entre os efeitos das variáveis térmicas de um ambiente e a sensação de conforto por meio de trocas de calor e massa entre o indivíduo e o ambiente. Para essas autoras, o PMV é incapaz de aferir a percepção real de conforto térmico dos sujeitos aclimatados aos climas tropicais, que é o contexto climático brasileiro prevalecente, superestimando a sensação de desconforto térmico que as pessoas realmente sentem.

Em relação aos ambientes ventilados naturalmente, esse modelo não é o mais apropriado para calcular o percentual de horas ocupadas de conforto. Isso deve-se ao fato de que a análise do desempenho de edificações resfriadas passivamente abrange um número maior de variáveis, dentre elas as propriedades psicrométricas, a velocidade do ar, a temperatura radiante medida pelo termômetro de globo. Essas variáveis precisam ser consideradas caso se queira aferir da melhor forma possível o efeito ou sensação de resfriamento do ar sob a pele (AULICIEMS e SZOKOLAY, 1997 *apud* SALES, 2012).

A segunda abordagem, denominada de modelo adaptativo, baseia-se nos conceitos de Humphreys (1978), que, diferentemente de Fanger (1970), considera as pessoas como agentes ativos ao estabelecer o fator da aclimação humana como uma resposta a um determinado clima, relacionando a temperatura de conforto à temperatura média do local em estudo (LAMBERTS *et al.*, 2014). Segundo Pereira e Assis (2010), esse modelo é baseado:

“... em resultados de trabalhos de campo que medem as condições ambientais e a resposta simultânea de sensação térmica em indivíduos envolvidos em suas tarefas habituais, com a menor intervenção possível dos pesquisadores. Dessa forma, os índices adaptativos buscam reproduzir as condições reais, nas quais o indivíduo também é agente nas condições térmicas” (PEREIRA e ASSIS, p. 33, 2010).

O excerto acima demonstra que a abordagem adaptativa considera o estado de equilíbrio térmico como o resultado da associação das variáveis ambientais e humanas (mecanismos comportamentais, fisiológicos e psicológicos).

Outras pesquisas se destacaram na área de conforto adaptativo, dos quais são exemplos os estudos de Humphreys (1978), Nicol e Humphreys (2002), De Dear e Brager (2002) e de Auliciems (1981).

Desde 2004, a ASHRAE Standard 55 utiliza a abordagem adaptativa para determinar as condições aceitáveis de conforto térmico em edifícios naturalmente ventilados, adotando o modelo desenvolvido por De Dear e Brager (1998) (LOPES, 2020). Na norma americana o cálculo de conforto térmico é definido de acordo com a média da temperatura de bulbo seco de determinado período, estabelecendo uma “faixa de temperatura operativa aceitável entre os limites superior e inferior, para que 80% ou 90% dos usuários estejam em equilíbrio térmico” (LOPES, p. 17, 2020), conforme as fórmulas dispostas na Tabela 1 e a faixa de temperatura operativa aceitável apresentada na Figura 8.

Tabela 1: Limites de aceitabilidade para definição de zona de conforto segundo a ASHRAE 55 (2017).

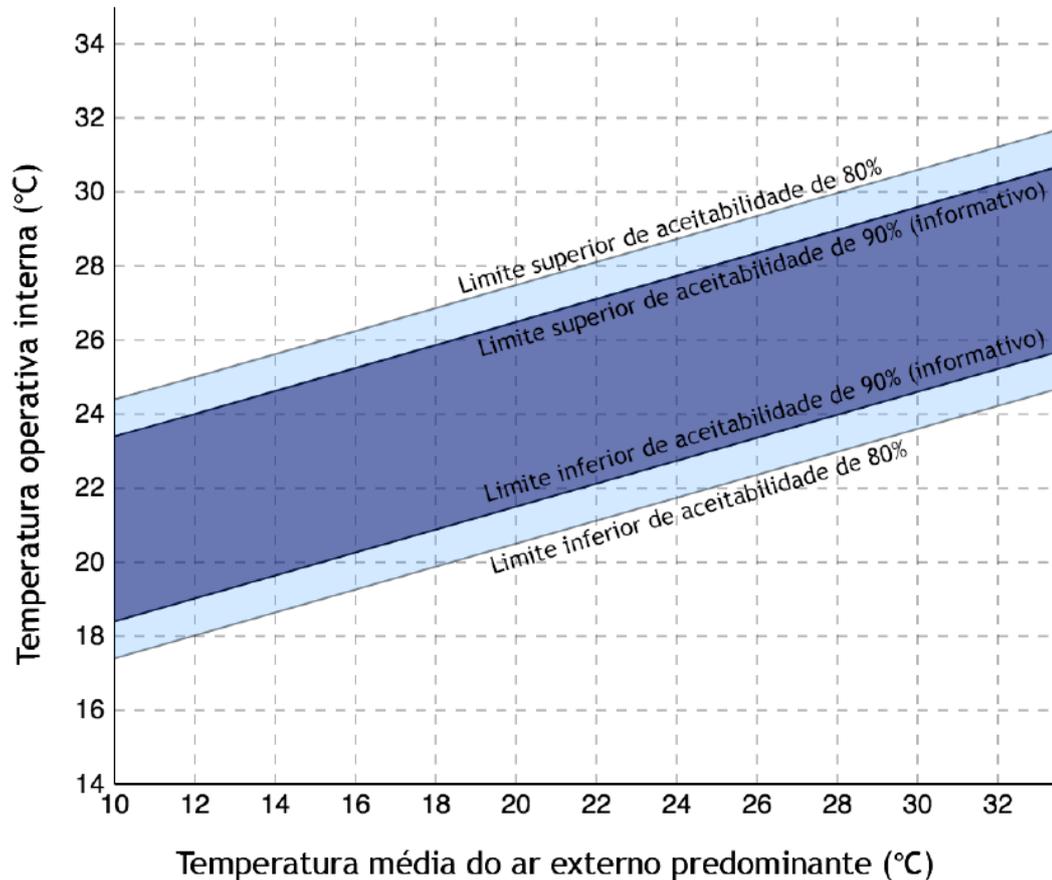
Aceitabilidade de 80% (normativo)	Limite superior (°C):	$0,31 \cdot tpma(out) + 21,3$
	Limite inferior (°C):	$0,31 \cdot tpma(out) + 20,3$
Aceitabilidade de 90% (informativo)	Limite superior (°C):	$0,31 \cdot tpma(out) + 15,3$
	Limite inferior (°C):	$0,31 \cdot tpma(out) + 14,3$

Onde:

$tpma(out)$  - Temperatura média do ar externo predominante.

Fonte: Lopes (2020).

Figura 8: Faixa de temperatura operativa aceitável para ambientes naturalmente condicionados segundo a ASHRAE 55 (2017).



Fonte: Lopes (2020).

Segundo Ahmed *et al.* (2021) a ASHRAE 55 pode apresentar limitações nos resultados de sensação de conforto térmico para diferentes pessoas, devido as percepções diferentes das taxas de ventilação natural ou da localização. Esses autores justificam suas conclusões por meio de pesquisas que demonstraram que pessoas em ambientes condicionados por ventos de velocidades elevadas se sentem mais confortáveis em temperaturas mais altas quando comparados aos valores inferiores apresentados pela norma. O aumento da velocidade do ar eleva a evaporação do suor, promovendo o resfriamento da pele e a consequente redução do desconforto de pele úmida.

No contexto brasileiro, as normas e regulamentos nacionais vigentes não

abordam a aceitabilidade térmica em conformidade com modelos de conforto adaptativo (LOPES, 2020). Alguns autores brasileiros desenvolveram pesquisas em campo sobre esse tema em diferentes climas do país. Destaca-se o estudo pioneiro de Pereira e Assis (2010), que avaliou a aceitabilidade térmica de quatro índices de conforto adaptativos nas condições climáticas brasileiras, conforme Figura 9. As autoras demonstraram que as temperaturas neutras resultantes das equações de Aluciems (1981) e das de De Dear e Bragger (2002) são as mais apropriadas a conjuntura climática do Brasil. Sobre a amplitude da faixa de conforto, essas autoras concluíram ainda que, para o nível de pouco desconforto o melhor resultado está na faixa de  $T_n \pm 2^\circ\text{C}$  e, para o nível de desconforto, o resultado está na faixa de  $T_n \pm 4^\circ\text{C}$ .

Figura 9: Índices adaptativos e suas respectivas equações e faixas de conforto.

Autores	Equação	Faixa de conforto
Aluciems (1981)	$T_n = 0,314 \cdot T + 17,6^\circ\text{C}$	Sem definição
Humphreys (1978)	$T_n = 0,534 \cdot T + 12,9^\circ\text{C}$	$T_n \pm 2$ a $3^\circ\text{C}$ e em condições de umidade relativa elevada, $T_n \pm 1^\circ\text{C}$
Nicol e Humphreys (2002)	$T_n = 0,540 \cdot T + 13,5^\circ\text{C}$	$T_n \pm 2^\circ\text{C}$ em situações onde não há possibilidades de mudança de vestimenta, nível de atividade ou taxa de ventilação
De Dear e Brager (2002)	$T_n = 0,310 \cdot T + 17,8^\circ\text{C}$	$T_n \pm 2,5^\circ\text{C}$ (90% de aceitabilidade) e $T_n \pm 3,5^\circ\text{C}$ (80% de aceitabilidade)

Legenda:

$T_n$ : temperatura de conforto ou de neutralidade;  
 $T$ : temperatura média mensal externa.

Fonte: Pereira e Assis (2010). Adaptado pela autora

#### 2.4.2 Conforto térmico em ambientes de saúde

Os modelos de avaliação de conforto térmico são frequentemente empregados para análise de pessoas saudáveis (QUADROS, 2016). A norma brasileira que trata do assunto, a NBR 16401 (ABNT, 2008), não diverge desse princípio, uma vez que também considera os parâmetros de conforto apenas para o ser humano saudável, excluindo o paciente.

A avaliação do conforto térmico dos indivíduos enfermos é complexa, em

decorrência do estado de fragilidade física e emocional em que eles se encontram, podendo alterar suas sensações de conforto térmico (QUADROS, 2016). A autora afirma ainda que os pacientes podem apresentar a “capacidade de adaptação térmica reduzida pela falta de controle do ambiente” (QUADROS, 2016, p. 46).

Segundo Quadros e Mizgier (2020), apesar da existência de estudos que avaliam o conforto térmico em hospitais, não existe definição ou recomendação específica de limites para o conforto térmico de sujeitos doentes. Diante dessa limitação na literatura, nesta dissertação são adotados os limites de faixa de conforto para pessoas saudáveis.

Em relação ao conforto térmico em ambientes hospitalares naturalmente ventilados, nota-se que a abordagem adaptativa é apoiada por vários autores, especialmente em regiões de clima quente.

Lukiantchuki (2010) estudou a evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural nos hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. A autora identificou o aperfeiçoamento progressivo entre os projetos hospitalares dessa rede, principalmente, em relação à estrutura de cobertura e o sistema de ventilação natural. Isso evidencia a intenção do arquiteto Lelé de explorar e integrar artifícios bioclimáticos nessas edificações, com vistas a promover o conforto térmico dos usuários (SANCHO *et al.* 2021b).

Quadros e Mizgier (2020) pesquisaram o conforto térmico em ambientes de internação hospitalar naturalmente ventilados, destacando a importância de privilegiar a orientação das aberturas em direção aos ventos predominantes e a adoção de ventilação cruzada desde a fase inicial do projeto. Os autores verificaram que, em um dia típico de verão brasileiro, a adoção exclusiva da ventilação natural com ventos com velocidade média de até 1,0 m/s é insuficiente para retificar o desconforto por calor. Nesse contexto, os pesquisadores preconizam a apropriação de estratégias complementares de ventilação híbrida, alternando a ventilação natural com sistemas de condicionamento artificial ou de sistemas mecânicos (ventilador de teto).

Holanda *et al.* (2021) realizaram uma revisão sistemática de projetos de

enfermarias hospitalares nos trópicos, com foco no conforto térmico. Os pesquisadores concluíram que os padrões de conforto térmico estabelecidos pelo PMV da ASHRAE-55 e da ISO 7730 não representam os padrões de conforto em ambientes hospitalares de países com clima tropical subtropical, tampouco condizem com as expectativas de conforto de seus habitantes. Para esses autores, torna-se necessário considerar a possibilidade de avaliar a temperatura máxima com aceitabilidade de conforto térmico de 80% dos pacientes nos ambientes que não tenham a obrigatoriedade de condicionamento artificial.

Diante desse contexto teórico, dentre as abordagens para a avaliação do desempenho térmico de ambientes internos, os modelos adaptativos são os que melhor representam os efeitos da ventilação natural sobre o corpo humano. Observa-se, ainda, que a ventilação natural tem significativa importância para a aclimação humana, resultando em conforto adaptativo, e para a redução do consumo energético dos edifícios. Assim, faz-se necessário a explanação de alguns conceitos relacionados a ventilação natural e eficiência energética.

## **2.5 Eficiência energética**

### **2.5.1 Conceitos e normas**

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a arquitetura tem de ser percebida como um produto em que há necessidade de eficiência energética. A eficiência energética de edifícios pode ser compreendida como o consumo reduzido de energia na promoção do conforto térmico, visual e acústico aos usuários: “Um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia” (LAMBERTS *et al.*, 2014, p.22).

Campos (2013) observa que a demanda eficiente de energia elétrica em edificações depende de diferentes fatores. As características físicas das edificações, tais como elementos construtivos, materiais de construção, revestimento da envoltória, orientação de implantação, entre outras, devem ser escolhidas considerando os aspectos bioclimáticos locais. O aproveitamento adequado dos condicionantes bioclimáticos contribui tanto para a redução de consumo energético

como para a redução de custos na manutenção e operação do edifício. Propicia, ainda, condições ambientais internas agradáveis aos ocupantes das edificações.

A racionalização do uso da energia apresenta estreitos laços com a adequação da arquitetura ao clima, evitando ou reduzindo os sistemas de condicionamento artificial de ar, quer com a finalidade de refrigerar, quer com a de aquecer os ambientes. Os controles térmicos naturais propiciam a redução do excesso de calor resultante no interior dos edifícios, minimizando, por vezes, os efeitos de climas excessivamente quentes (FROTA; SCHIFFER, 2001, p. 16).

No Brasil, estão em vigência ações relacionadas à eficiência energética, tais como: o Programa Nacional de Energia Elétrica (Procel), que foi criado em 1985 pelo Ministério de Minas e Energia e pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); a Lei de Eficiência Energética (Lei nº10.295/2001); e o Plano Nacional de Eficiência Energética (Portaria nº594/2011) (CAMPOS, 2013). Entre esses instrumentos, merece destaque a Lei de Eficiência Energética, que prioriza a elaboração de mecanismos para promoção da eficiência energética em edificações.

As normas referentes à eficiência energética, por si só, não garantem a melhoria da eficiência e do conforto dos edifícios. No entanto, elas são importantes para a promoção de exigências mínimas, que, por sua vez, provocam alterações na maneira como os projetos de arquitetura estão sendo elaborados, bem como na consciência ambiental dos arquitetos e da sociedade como um todo. Em outros termos, essas normas, que estão associadas ao programa de etiquetagem de edificações, influenciam tanto o modo de pensar quanto o de projetar da arquitetura brasileira (LAMBERTS *et al.*, 2014).

No Brasil, a primeira lei sobre eficiência energética foi criada em 2001. Trata-se da Lei 10.295 (BRASIL, 2001a), que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia Elétrica e tem como ponto essencial o estabelecimento pelo Poder Executivo dos níveis máximos de consumo específico de energia ou mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos elétricos fabricados ou comercializados no país. A lei também discorre sobre a importância de criação de mecanismos para a promoção de eficiência energética em edifícios.

A Lei 10.295 foi regulamentada em 17 de outubro de 2001, por meio do decreto 4.059, que, entre outros atos, cria o Grupo Técnico para Eficientização de Energia nas Edificações (BRASIL, 2001b). Os principais objetivos deste grupo são: avaliação energética das edificações, produção de indicadores referentes ao consumo de energia nas edificações para certificação de sua conformidade com relação à eficiência energética e instauração de requisitos técnicos para que os projetos a serem construídos acatem esses indicadores.

Em 2003, surge o Procel-Edifica, com o objetivo de reduzir o consumo energético nas edificações brasileiras. O Procel-Edifica possui seis diretrizes de ação: arquitetura bioclimática; certificação de materiais e equipamentos; indicadores referenciais das edificações; legislação e regulamentação; educação e remoção de barreiras à conservação de energia (LAMBERTS *at al.*, 2006).

Além disso, em 2010, foram aprovados o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (LABEEE, 2011a) e os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética em Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) (LABEEE, 2011b), que induzem à elaboração de projetos com melhor desempenho energético.

O RTQ-C (BRASIL, 2018) propõe avaliação do nível de eficiência energética de edificações por meio de dois métodos: prescritivo e simulação. O método prescritivo, mais simplificado, pode ser utilizado em edificações com volumetria simples. O método por simulação, mais preciso, é mais indicado para as geometrias mais complexas ou com a presença de aberturas zenitais.

A partir de aprimoramentos trazidos ao regulamento RTQ-C por meio de consultas públicas foi elaborada, em 2021, a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Essa instrução especifica os critérios e os métodos para classificação de edificações considerando-se o consumo de energia dos quatro sistemas avaliados: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água (INMETRO, 2021).

Na INI-C, a aplicação do método simplificado para as edificações ventiladas naturalmente ou híbridas é restrita às condições de aplicação do metamodelo utilizado para a análise. O método simplificado fica, portanto, restringido às edificações escolares e de escritórios. As demais tipologias arquitetônicas devem ser avaliadas pelo método de simulação (INMETRO, 2021).

### **2.5.2 Eficiência energética em ambientes de saúde**

Os conceitos de uso racional da energia devem ser considerados cruciais na elaboração de projetos de edificações, pois elas interferem substancialmente na demanda de energia elétrica dos centros urbanos. Em consequência disso, a tendência de elaboração de projetos sustentáveis e a preocupação com a eficiência energética e o conforto térmico cresceram nos últimos anos entre as diferentes tipologias de edificações. Com o hospital não é diferente, mesmo sendo ele considerado um dos tipos de edificações mais complexos.

As edificações hospitalares são altamente consumidoras de energia, pois são caracterizadas pelo funcionamento ininterrupto (DUBEY & KAMAL, 2022). Esse consumo é observado na utilização intensiva e constante de equipamentos; na iluminação artificial; nas necessidades energéticas distintas para suprir diferentes áreas da instituição; no uso obrigatório de ar condicionado em alguns setores (centro cirúrgico, UTI, hemodinâmica, entre outros); e na presença obrigatória de geradores para garantir fornecimento constante de energia. Para Dubey e Kamal (2022), essas edificações, se por um lado prestam bons atendimentos aos pacientes, por outro afetam negativamente o meio ambiente. Para os autores, isso implica que os projetos de hospitais devem incluir não somente intervenções direcionadas aos tratamentos dos pacientes, mas também a promoção da saúde e a prevenção de doenças, promovendo ambientes seguros e eficientes.

As especificidades supracitadas, relacionadas às necessidades particulares de conforto, principalmente o térmico, e o elevado consumo energético, fazem da arquitetura hospitalar um ambiente atrativo para estudos de eficiência energética por meio de propostas alternativas para a escolha de materiais ou intervenções

apropriadas na envoltória desse tipo de edificação a depender do contexto climático de implantação.

Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) são responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica em hospitais (TEKE; TIMUR, 2014). Para William *et al.* (2020), em lugares de clima quente e úmido, as altas temperaturas e os altos níveis de umidade causam desconforto humano, resultando em alto consumo de energia por meio de condicionadores de ar (HVAC). Nesse contexto, os pesquisadores afirmam que além do consumo de energia com os equipamentos médicos e com o controle de infecção, os hospitais consomem quantidades substanciais de energia com climatização artificial (HVAC). Ainda sobre a ligação entre climas quentes e o consumo de energia, Cygańska e Kludacz-Alessandri (2021) constataram a influência de diferentes zonas climáticas no consumo de energia elétrica em hospitais poloneses. Eles afirmam que os hospitais localizados na zona climática mais quente são caracterizados por maior consumo de energia do que os hospitais na zona mais fria.

Silva (2019) analisou a adequação do projeto de referência de UPAs nas oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras em relação a eficiência energética utilizando o método prescritivo do RTQ-C. Esse autor identificou que o projeto apresenta “potencial para se adequar às diferentes regiões climáticas com o mínimo de intervenções físicas em sua estrutura” (SILVA, 2019, p. 101). O autor encontrou dificuldades com o método empregado, principalmente por não possibilitar diferentes análises e discussões para se chegar a um modelo mais eficiente energeticamente.

Amorim e Fernandes (2016) citam princípios e técnicas para o conforto ambiental e a eficiência energética. Elas falam sobre características de edifícios, incluindo a tipologia hospitalar, que podem ser manipuladas para beneficiar tanto no conforto quanto na demanda de energia, tais como: a forma, a orientação da implantação e a envoltória, principalmente o percentual de aberturas nas fachadas e proteção solar. Para WILLIAM *et al.* 2019, técnicas de economia na demanda de energia auxiliam a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, o que ajuda a preservar o meio ambiente.

No Brasil, os hospitais da rede Sarah Kubitscheck são excelentes exemplos do emprego dessas técnicas para o conforto ambiental ou soluções arquitetônicas

bioclimáticas que resultam em edifícios eficientes energeticamente. Segundo Sancho e Teixeira (2021), os Hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte por meio das intervenções arquitetônicas adotadas por “Lelé”, promovem uma eficiência energética aos edifícios, apresentando baixas demandas energéticas pelo uso limitado de sistemas artificiais de climatização. De acordo com o manual de qualificação e sustentabilidade de construções dos EAS (BRASIL, 2015), os edifícios que possuem ambientes que satisfaçam as necessidades de seus usuários proporcionam uma interação edifício-ambiente eficiente e economia energética. Nesse manual são citadas estratégias arquitetônicas aplicadas nos hospitais da rede Sarah, tais como: oferta de ventilação natural 24h e presença ativa de vegetação no Sarah Salvador, promovendo o resfriamento e o sombreamento; sistema de aspersão e resfriamento evaporativo por meio de espelho d’água no Sarah Rio de Janeiro; e recepção e sala de espera com iluminação natural permanente nos Sarah Brasília e Lago Norte.

## **2.6 Ventilação natural**

A ventilação natural é a utilização de forças naturais para a introdução e distribuição do ar exterior no interior de um edifício ou para retirar o ar do edifício (ATKINSON *et al.*, 2009).

### **2.6.1 Ventilação natural - conforto térmico e eficiência energética**

A ventilação natural é uma estratégia bioclimática facilmente empregada em regiões de climas quentes. Segundo Lamberts *et al.* (2016), ela é o após sombreamento, a estratégia passiva mais importante para o Brasil. Essa estratégia permite o conforto térmico, a renovação contínua do ar interno e mantém a salubridade do ambiente (FERNANDES, 2009; SALES, 2016; GOBBI *et al.*, 2019).

“A ventilação natural (...) possui como principal propósito a introdução de ar limpo em um determinado recinto ou espaço externo tendo em vista a remoção de poluentes do ar. (...) Além de influenciar a saúde dos ocupantes do edifício, as

características de temperatura, umidade e velocidade do ar também são determinantes para assegurar condições adequadas de conforto térmico” (SALES, 2016, p.32).

A ventilação natural apresenta diferentes funções que são eficazes para a arquitetura e o urbanismo (GIVONI,1969). Uma dessas funções é a promoção do conforto térmico mediante a evaporação da pele humana e as trocas térmicas por convecção entre o corpo e o ar (GIVONI,1969; AMORIM & FERNANDES, 2016). A ventilação natural favorece o conforto térmico por resfriamento do ambiente, que ocorre pela diferença de temperaturas entre o ambiente interno e o externo, promovendo as trocas térmicas (ROMERO & FERNANDES, 2016).

De acordo LAMBERTS *et al.*, 2016, a ventilação natural é recomendada para temperaturas entre 20°C e 32°C, pois, a partir de temperaturas mais elevadas os ganhos térmicos por convecção funcionariam mais como aquecimento do ambiente do que como resfriamento. Em locais com temperaturas entre 27°C e 32°C, a ventilação só é eficiente se a umidade relativa do ar situar-se entre 15% e 75%.

Além dessas funções, a climatização natural também favorece a redução de demanda energética. Segundo Ahmed *et al.* (2021), a ventilação natural usa pouca energia, ao contrário da ventilação mecânica baseada em ventiladores ou ar condicionados, que são caros e consomem muita energia.

Observa-se na norma direcionada para habitações NBR 15.220-3 a presença de uma orientação para o uso da ventilação como uma “estratégia de condicionamento térmico passivo” na maior parte do território brasileiro, no período de verão. Conforme essa norma, para a cidade de Brasília, situada na Zona Bioclimática 4, essa estratégia pode ser complementada pelo resfriamento evaporativo e pela massa térmica para resfriamento. Para Salvador, Zona Bioclimática 8, a orientação é a utilização de ventilação cruzada e permanente. Para Florianópolis, a norma indica a ventilação cruzada durante o verão. Nota-se, portanto, uma escassez de normas nacionais que orientem e apoiem a adoção de ventilação natural na arquitetura de serviços de saúde.

Para a elaboração de ambientes com o melhor aproveitamento da ventilação natural direcionado ao conforto térmico passivo são necessárias determinadas

intervenções arquitetônicas. Romero e Fernandes (2016) citam algumas dessas intervenções: vedações modulares e permeáveis; ventilação cruzada; porosidade da massa construída; aberturas inferiores e superiores (entrada e saída do ar); resfriamento noturno e camadas de ar ventiladas nas fachadas. Essas intervenções, além de promoverem o conforto térmico passivo, possibilitam ambientes mais humanizados e menos herméticos, permitindo aos usuários o contato com o exterior. As intervenções contribuem, ainda, para a redução da demanda energética com climatização artificial.

Conforme França *et al.* (2020, p. 91122), “o projeto arquitetônico exerce significativa influência tanto sobre a ventilação natural, quanto na sensação de conforto térmico dentro da edificação”. Dessa forma, diretrizes de orientação empregadas no projeto arquitetônico favorecem a captação e a obstrução do fluxo de ar para estabelecer o conforto térmico pretendido (SALES, 2016).

### **2.6.2 Ventilação natural – ambiente de saúde e Qualidade do Ar Interno (QAI)**

Para Aguiar (2017), uma das funções da ventilação natural é a manutenção da qualidade do ar por meio da mudança das massas e da renovação do ar em determinado ambiente. Ainda segundo esse autor, a qualidade do ar interna é primordial para a manutenção e para o funcionamento adequado dos ambientes hospitalares, favorecendo o conforto aos usuários da edificação e a limpeza e pureza do ar dos espaços onde é preconizada a assepsia.

A Organização Mundial de Saúde – OMS (2009) reconhece que a qualidade do ar interior é um fator de risco para a saúde humana e um indicador de Saúde Pública. A QAI requer maior atenção em edifícios de saúde, já que esses ambientes possuem uma relação direta com a saúde humana. Poluentes químicos e biológicos, comumente existentes nessa tipologia arquitetônica, podem comprometer a saúde de seus usuários. Dessa forma, a boa qualidade do ar pode exercer forte influência na velocidade da recuperação dos pacientes e na redução de infecções hospitalares (QUADROS, 2008).

“Nos ambientes hospitalares, melhorar a qualidade do ar interno, incluindo não apenas as enfermarias de isolamento,

mas também as áreas comuns, pode impedir que esses ambientes sejam potenciais centros de contágio" JURADO et al., 2020, p. 2384).

De acordo com Carvalho (2016), existem diferentes parâmetros para avaliação da QAI, entre eles encontram-se os físicos (temperatura e umidade do ar), os contaminantes químicos (concentração de monóxido de carbono e dióxido de carbono) e os contaminantes biológicos (aerossóis virais e bacterianos). Alguns autores relacionam a qualidade do ar interno com a taxa de renovação do ar no ambiente (ATKINSON *et al.*, 2009; QUADROS *et al.*, 2016; SALES, 2016; AGUIAR, 2017; JURADO, 2020).

De acordo com ASHRAE (2017), a adoção da ventilação natural em hospitais é adequada se as taxas mínimas de renovação de ar forem estabelecidas e se o ar não for recirculado para os demais ambientes dessas instituições. A ASHE (2021) recomenda o aumento da entrada de ar externo para o nível máximo, permitindo a mistura e a eliminação de recirculação de ar, além do uso do padrão ASHRAE / ASHE 170-2017 e das diretrizes do padrão ASHRAE 62.1.

Em se tratando da relação entre a QAI e o atual contexto de pandemia da covid-19, de acordo com Jurado *et al.* (2020, p. 2376), “os aerossóis virais podem comprometer a qualidade do ar de ambientes interiores e facilitar a transmissão da SARS-CoV-2”. A promoção de um número adequado de renovação do ar pode auxiliar no controle desse tipo infecção, associado às medidas de higienização e limpeza das superfícies e do uso equipamentos de proteção individual (EPI).

Uma boa QAI em edifícios é de grande importância, pois a inspiração de um ar poluído pode afetar diretamente no bem-estar, no conforto e na produtividade de seus usuários. A QAI está relacionada, ainda, com a Síndrome do Edifício Doente (SED), definida por um conjunto de doenças causadas ou estimuladas pela poluição do ar em espaços fechados (SUNDELL, 2004), como enfatizado no excerto abaixo.

“A baixa QAI também pode causar sintomas mais perceptíveis cotidianamente, como aqueles relacionados à Síndrome do Edifício Doente – SED. Tais sintomas interferem na produtividade e no desempenho de tarefas, seja em

ambientes de trabalho ou em residências” (SALES, 2016, p.36).

De acordo com Wargocki *et al.* (2002), ambientes arquitetônicos que são climatizados artificialmente por sistemas de ar condicionado podem sofrer o risco elevado de apresentar os sintomas da SED, quando comparados aos edifícios que são climatizados pela ventilação natural ou mecânica. Para os autores, tanto o funcionamento inadequado quanto o design e a manutenção inapropriadas dos sistemas de ar condicionado colaboram para aumentar a prevalência desses sintomas.

Argiriou *et al.* (1994) pesquisaram sobre problemas de QAI em edifícios de hospitais e escritórios naturalmente ventilados e mecanicamente condicionados. Eles observaram que a quantidade de sintomas apresentados pelos usuários de edifícios mecanicamente ventilados foi levemente superior a dos naturalmente ventilados.

Para evitar ou minimizar essas adversidades causadas pela pouca QAI, é necessário a identificação dos fatores que influenciam diretamente na QAI desde a concepção do projeto. Segundo Sales (2016), tanto fatores externos quanto internos ao projeto influenciam na QAI. Segundo esse autor, os principais fatores externos que interferem na QAI são a composição da superfície do entorno (material particulado, pólen, pesticidas, radônio, etc.), a alta presença de veículos automotivos, de atividades industriais e comerciais. Os fatores internos, que influenciam na QAI, são fatores relacionados às aberturas das esquadrias (o dimensionamento, o posicionamento e a distribuição das janelas). Outro item de destaque, citado pelo autor, para a promoção da boa QAI é o potencial de aproveitamento da ventilação natural. Esse potencial pode ser avaliado pela velocidade, orientação e frequência dos ventos predominantes. Pode ser analisado, ainda, pela presença de vegetação no entorno, pela superfície do solo e pela umidade e temperatura do ar. De acordo com Romero (2007), a vegetação tem a capacidade de filtrar agentes poluentes do ar, além de reduzir a temperatura e de elevar umidade relativa do ar por meio da criação de um microclima diferenciado em relação às áreas com ausência de vegetação.

Aguiar (2017, p.154) afirma que a adoção da ventilação natural em ambientes de saúde pode auxiliar no combate às infecções hospitalares, “desde que observados alguns regramentos, como os níveis mínimos de vazão e renovação de ar estabelecido pelas normas, e se o ar externo possui uma boa qualidade”. Neste estudo, apesar da existência de vários parâmetros de avaliação da QAI, adota-se o critério de renovação de ar como o principal critério. A escolha deve-se ao fato de a avaliação ocorrer por simulações termoenergéticas em projeto de referência naturalmente ventilado, impossibilitando a medição *in loco* dos outros parâmetros supracitados.

## **2.7 Unidades de Pronto Atendimento**

O Sistema de Saúde brasileiro é organizado em três níveis hierárquicos complementares de atenção à saúde: básica, média e alta complexidade. A falta de articulação entre esses níveis associada à sobrecarga dos atendimentos nos hospitais, levou à criação das Unidades de Pronto Atendimento (UPAs). Essas unidades foram implantadas no Brasil, a partir dos anos 2000, com a finalidade de descentralizar o atendimento à saúde, diminuir o fluxo de pacientes aos hospitais de maior porte e assistir pacientes de baixa à média complexidade, reduzindo a superlotação nas emergências hospitalares (CAVALCANTI *et al.*, 2017; MENEZES, 2012; O'DWYER *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2017; SILVA, 2019). As UPAs desempenham, portanto, um papel importante no sistema de atenção à saúde dos brasileiros, principalmente da população de baixa renda, sendo apta portanto a ser utilizada como uma tipologia representativa de EAS.

A reformulação da Política Nacional de Atenção às Urgências (PNAU) está em curso desde 2011, a partir da Portaria GM/MS n. 1.600, promovendo inovações na assistência de urgência e emergência do Sistema Único de Saúde (SUS) (CONASS, 2015).

“A atenção à urgência e emergência em tempo oportuno e de forma qualificada reveste-se de grande importância por salvar vidas, evitar sequelas e reduzir o sofrimento das pessoas no

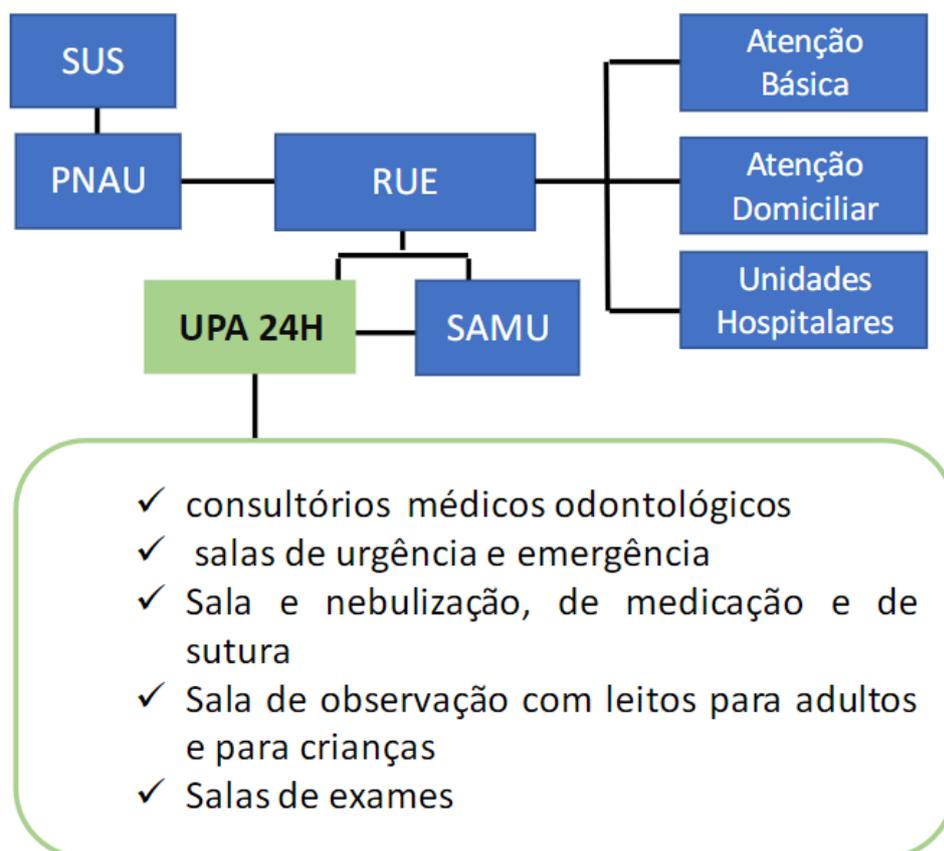
momento em que elas mais necessitam dos serviços de saúde”  
(CONASS, 2015, p. 23).

Dentro dessa política de assistência, a Unidade de Pronto Atendimento 24 horas (UPA) é um dos componentes da Rede de Urgência e Emergência (RUE). Essa unidade presta assistência de forma intermediária, entre a atenção básica e a atenção hospitalar. A UPA tem como principais objetivos apoiar a atenção básica em casos agudos e atenuar a demanda hospitalar.

As UPAs são qualificadas como estabelecimentos de saúde de complexidade intermediária ou atenção secundária, que fazem a conexão entre as Unidades Básicas de Saúde da Família, de baixa complexidade ou atenção primária, e a Rede Hospitalar, de alta complexidade ou atenção terciária. Esse sistema de integração da assistência de saúde tem como princípio a tríplice dimensão da integralidade, que consiste no atendimento integral dos pacientes mediante a promoção, a proteção e a recuperação da saúde. As UPAs em alinhamento com esse princípio possibilitam a integração com a rede básica, o Programa de Saúde da Família (PSF), proporcionando aos enfermos os serviços curativos e preventivos de promoção à saúde mediante prestação de exames diagnósticos e de atendimentos especializados (MENEZES, 2012; SILVA, 2019; SANCHO *et al.*, 2021a).

O processo de implantação dessas unidades teve início nos anos 2000 quando Ministério da Saúde estabeleceu uma Política Nacional de Atenção às Urgências (PNAU), que previa o estabelecimento de novos componentes pré-hospitalares: os serviços de atendimento móvel de urgência (SAMU) e as UPAs (KONDER e O'DWYER, 2015; O'DWYER *et al.*, 2017). Segundo O'dwyer *et al.* (2017), esses componentes foram instituídos de forma “desarticulada” e em diferentes momentos: em 2002, a aprovação do Regulamento Técnico dos Sistemas Estaduais de Urgência e Emergência (RUE); entre 2003 e 2008 - atenção no SAMU; finalmente a partir de 2009, ênfase nas UPAs (Figura 10).

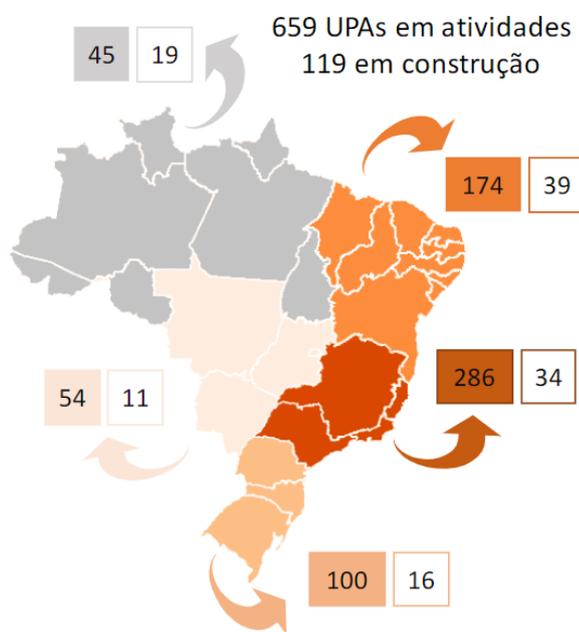
Figura 10: Processo de implantação das UPAs.



Fonte: Autora (2022).

Em 2015 havia 384 UPAs em funcionamento no Brasil, o que representava 43% de cobertura de população e mais de 4.488 leitos de observação (CONASS, 2015). Atualmente, segundo o Sistema de Monitoramento de Obras (SISMOB), existem 659 UPAs em atividades (Figura 11), o que significaria proporcionalmente uma cobertura superior a 70% e mais de 7.702 leitos de observação. Tais dados demonstram a importância desse componente pré-hospitalar na assistência de saúde brasileira.

Figura 11: Distribuição das UPAs em atividades e em construção no Brasil, dados fornecidos pelo SISMOB via Lei de Acesso a Informação (LAI).



Fonte: Autora (2021).

Nas UPAs são disponibilizados consultórios de pediatria, de clínica médica e de odontologia, salas de urgência e emergência, de espera, de nebulização, de medicação, de sutura, de observação com leitos para adultos e para crianças, de raios-x e gesso, de laboratório e de farmácia.

Algumas UPAs são dotadas de Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) que garante o transporte dos pacientes em casos mais graves. As bases descentralizadas do SAMU são anexadas às UPAs, se essas unidades apresentarem um dimensionamento mínimo, conforme previsto na PORTARIA nº 2.657/2004. Nas UPA o funcionamento procede-se em regime de 24 horas por dia. Nessas unidades, presta-se assistência às pessoas que se encontram em condições críticas de saúde, que precisam de atendimento de urgência ou emergência. Esses atendimentos estão, frequentemente, relacionados a algum acidente ou à manifestação aguda de uma patologia ou comorbidade. Nesse cenário, os pacientes acometidos por uma disfunção fisiológica podem sofrer, ainda, um desgaste emocional, que pode repercutir de forma estressante sobre

seus familiares e acompanhantes. Associado a esses comprometimentos supracitados, estão as rotinas do corpo médico e de enfermagem, que podem se tornar exaustivas e desgastantes em decorrência do tipo de serviço que é prestado e do ambiente ao qual estão expostos, com pacientes em estado crítico de saúde e as dificuldades e sobrecargas de trabalho que o sistema público de saúde brasileiro muitas vezes impõe sobre esses profissionais, como superlotação dos estabelecimentos (CAVALCANTI *et al.*, 2017).

Por meio da Portaria de Consolidação nº 6, de 28 de setembro de 2017, o Ministério da Saúde estabelece as normas e que tratam do financiamento de implantação das unidades de pronto atendimento em todo o país e prioriza a capacidade operacional de funcionamento de cada um desses estabelecimentos como critério de custeio mensal (SANCHO *et al.*, 2021a; SILVA, 2019).

Inicialmente as UPAS eram classificadas em portes I, II e III, conforme a área de abrangência, os números de leitos de observação e de emergência, os números de profissionais médicos por plantão e de atendimentos médicos em 24h. Atualmente, elas são classificadas como Opções de I a VIII, baseadas em critérios de número de profissionais médicos e de atendimentos médicos por mês (SANCHO *et al.*, 2021a).

O Ministério da Saúde disponibiliza três tipos de projetos de referência para UPA. Cada um deles é direcionado para unidades de PORTE I, II e III. A prática de desenvolvimento de projetos arquitetônicos padronizados ou de referência é um fato recorrente em obras públicas brasileiras como hospitais, escolas, centros esportivos e creches. Essa prática destina-se principalmente a atender os objetivos econômicos e a racionalidade construtiva (LOPES, 2020). Esses projetos são orientativos e padronizados, deixando pouca margem para adaptações às condições locais em que serão implantados. Para Lopes (2020, p. 5), essa adaptabilidade em relação “as situações específicas de implantação nem sempre é simples ou eficiente, podendo indicar modificações substanciais que impactam no custo do projeto”. Dada a importância do projeto referência das UPAs percebe-se, portanto, a necessidade de verificação do cumprimento de parâmetros para sua implantação e adaptação local, sobretudo no que concerne à adequação climática.

### 2.7.1 Estudos sobre UPA - conforto térmico e a eficiência energética

As UPAs, na realidade cotidiana do SUS, além da assistência e estabilização de curta duração dos pacientes de média e alta complexidades, servem frequentemente ao propósito de internação de pacientes por duração superior a 24h, em decorrência, sobretudo, da limitada oferta de leitos hospitalares, distorcendo a finalidade dessas unidades (KONDER & O'DWYER, 2015).

O tempo de permanência prolongada em um ambiente hospitalar pode provocar estresse emocional para muitos usuários (CAVALCANTI *et al.*, 2017). Conforme esses autores, o espaço físico não elimina a patologia do paciente, mas pode promover o bem-estar aos usuários por meio de ambientes humanizados. O ambiente físico de um hospital está ligado, além do bem-estar, à produtividade e à satisfação dos funcionários (MOURSHED & ZHAO, 2012). Nesse contexto, percebe-se a importância de estudos sobre a qualidade do ambiente interno oferecido nas UPA brasileiras, principalmente em relação ao conforto térmico e a demanda energética.

Sancho *et al.* (2021a) analisaram o potencial de aproveitamento da ventilação natural das salas de espera das UPAs no contexto climático de Brasília. Os autores ressaltaram que o Distrito Federal dispõe de temperaturas, qualidade do ar, velocidade e frequência dos ventos que permitem as edificações o emprego da ventilação natural para a promoção de uma boa QAI e de conforto térmico. Eles verificaram, ainda, que esse potencial se modifica de ruim a ótimo a depender da variação do entorno de implantação e de fatores internos do projeto como dimensionamento, posicionamento e distribuição das janelas, que interferiram diretamente no número de renovações do ar por hora e na QAI.

Silva (2019) analisou a eficiência energética do projeto de referência III de UPA 24h por meio uma ferramenta online “*webprescritivo*” e propostas de implantação nas oito Zonas Bioclimáticas Brasileiras (ZBB). Apesar de ter empregado uma ferramenta inapropriada para esse tipo de edificação, esse autor sugeriu o projeto de referência das UPAs apresentaria potencial para adequações às

variadas regiões climáticas, porém com necessidade de aprofundamentos nos estudos de conforto térmico e ventilação natural.

O estudo realizado por Cavalcante *et al.* (2017) concentrou-se na compreensão da percepção e do comportamento dos usuários das UPAs. Essa pesquisa teve como objetivo definir critérios projetuais, nos aspectos relativos à humanização do ambiente, para o planejamento do posto de enfermagem e da sala de observação, que são áreas específicas e características dessas unidades de saúde. Os autores evidenciaram que, em se tratando de conforto ambiental, dada a longa permanência dos usuários, é fundamental garantir a eles o “bem-estar em relação aos aspectos acústicos, lumínicos e térmicos, como ventilação natural e temperatura adequada” (p.26). Assim, esses pesquisadores recomendam a disposição de aberturas para o exterior para a promoção do conforto térmico, da ventilação natural e da renovação do ar, que podem reduzir o consumo de energia, auxiliar no controle de infecção e permitir contato visual com o ambiente externo.

Lima *et al.* (2015) analisaram as condições de conforto ambiental da UPA de Samambaia - Distrito Federal, de forma exploratória e descritiva, norteando-se nos critérios de conforto higrotérmico, acústico, luminoso e visual, encontrados na literatura, normas e resoluções brasileiras vigentes. Nesse estudo, concluiu-se que a unidade de saúde avaliada não atende a esses parâmetros. Em relação aos princípios de conforto, principalmente o higrotérmico, esses autores observaram a falta de aberturas de janelas na maioria dos ambientes (consultórios, sala de observação, recepção, etc.) e a utilização de climatização artificial por meio de condicionadores de janelas, sem manutenção frequente, e que não atendem às normas RE nº 09 da ANVISA (BRASIL, 2003). Assim, esses ambientes “sofrem com a falta de ventilação e iluminação natural e de renovação do ar”, podendo provocar aos usuários: contaminação por aerossóis devido à recirculação do ar e renovação do ar prejudicada; alteração do relógio biológico humano por perda da noção de tempo decorrente da ausência de iluminação natural e contato com o entorno exterior (LIMA *et al.* 2015, p.38).

Apesar da existência da RE nº 09 da ANVISA (BRASIL, 2003), que estabelece padrões de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo e da norma ABNT NBR 7256 da ABNT –

Tratamento de ar em Estabelecimento Assistencial à Saúde (ABNT, 2005), que estabelece o uso de condicionadores de ar com filtro HEPA; observa-se na prática a utilização de ar condicionado do tipo Split em inúmeras UPAs no Brasil (Figura 12).

Figura 12: Imagens de salas de observação de UPAs climatizadas por Split e localizadas no Distrito Federal, Salvador e Florianópolis.



Fonte: <https://igesdf.org.br/noticia/igesdf-entrega-sala-amarela-com-10-leitos-na-upa-de-sobradinho/>; <https://oxarope.com.br/noticias/23216/governo-entrega-upa-24h-no-bairro-de-sao-caetano-em-salvador-11-09-2018/>; <https://gazetacomunitaria.com.br/upa-sul-24h-e-oficialmente-inaugurada-na-praia-do-sonho/>. Adaptado pela autora (2022).

Diante da escassez de pesquisas sobre a qualidade arquitetônica das UPAs, sobretudo em relação ao desempenho térmico e energético, percebe-se a necessidade de que maior atenção seja dada a esses temas, objetivo para o qual este estudo visa a contribuir.

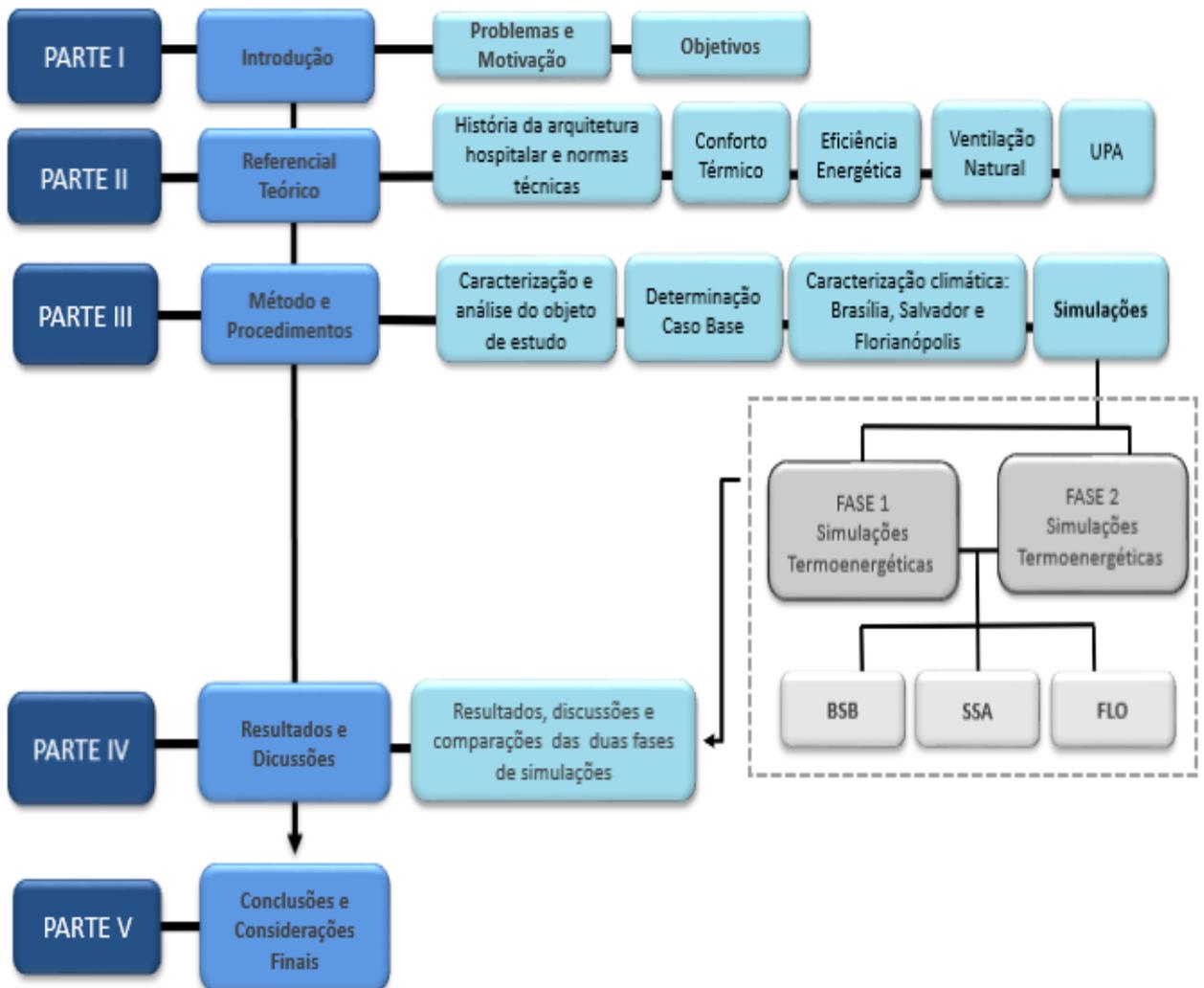
### 3 MÉTODO E PROCEDIMENTOS

A presente dissertação apresenta uma abordagem qualitativa, evidenciada pela análise aprofundada de um estudo de caso, para o qual se investigam fenômenos inseridos em seu contexto real, em situações em que os limites entre fenômeno e contexto não estão claramente convencionados. Para aprofundar a descrição desses fenômenos, escolhe-se estudar as situações consideradas usuais (estabelecendo casos-base) em comparação a alternativas justificadas. Portanto, essa perspectiva é aplicada no aprofundamento da fundamentação teórica; na caracterização e análise de um objeto de estudo, seguida da determinação das características do caso base; na definição das cidades representantes dos climas quente-seco, quente-úmido e subtropical brasileiro; e finalmente, aplicada aos procedimentos de simulação computacional.

Os procedimentos de simulação computacional foram procedidos com a utilização de índices qualitativos, tais como: percentual de horas ocupadas em conforto, taxa de renovação do ar interno, ganhos térmicos e eficiência energética. Em seguida, procedeu-se à análise comparativa das aferições encontradas, confrontando-se os resultados entre a sala de observação estudada nos contextos climáticos das três cidades escolhidas.

Dessa forma, este trabalho é dividido em cinco partes (Figura 13): 1) Introdução; 2) Referencial Teórico; 3) Método e Procedimentos; 4) Resultados e discussões; 5) Conclusões e considerações finais da pesquisa.

Figura 13: Representação gráfica do método da pesquisa.



Fonte: Autora (2022).

### 3.1 Caracterização e análise do objeto de estudo

O Ministério da Saúde disponibiliza três tipos de projetos de referência para UPA, correspondentes às unidades de PORTE I, II e III. Essas categorias foram estabelecidas pela área de cobertura, pelos números de leitos de observação e de emergência.

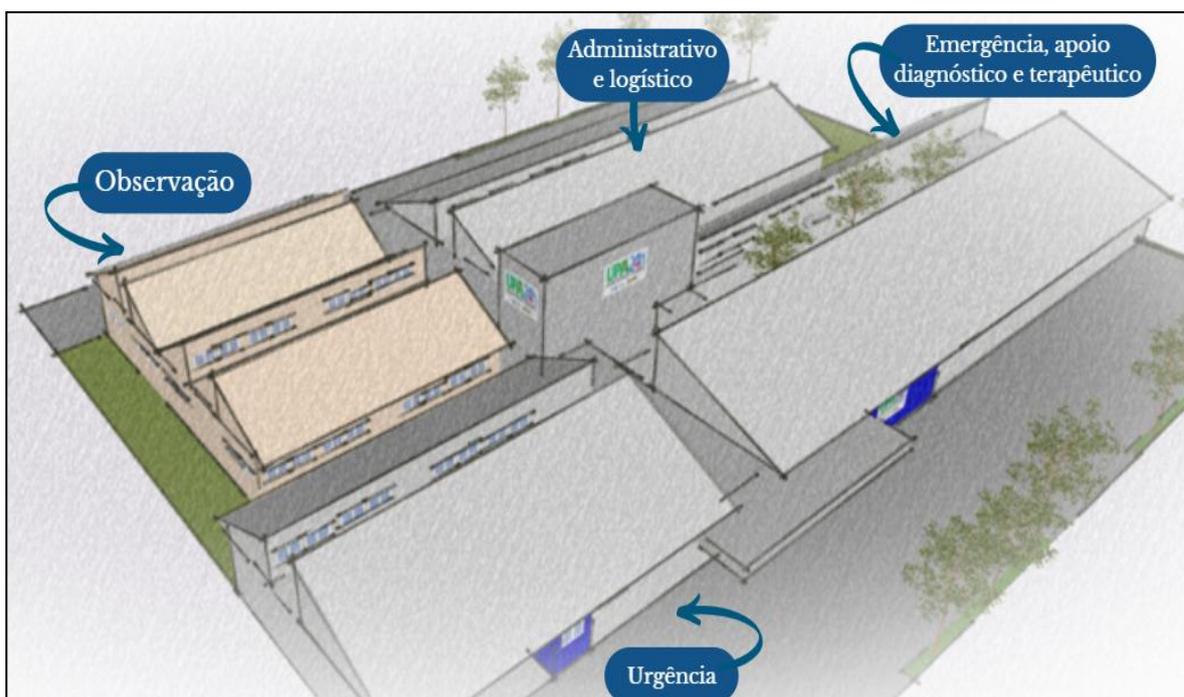
O projeto de referência de Porte III foi selecionado neste trabalho para ser analisado porque, dentre os três projetos de referência existentes para as UPAs, é aquele que oferta o maior número de atendimentos e serviços à população, com uma área de abrangência superior a 200.000 habitantes. O projeto em discussão

encontra-se disponível no endereço eletrônico do Sistema de Monitoramento de Obras (SISMOB): [www.sismob.gov.br](http://www.sismob.gov.br).

O projeto de referência da UPA Porte III foi elaborado conforme a norma da RDC 50 (ANVISA, 2002) e Portarias do Ministério da Saúde (BRASIL, 2020). Esse projeto encontra-se mais bem detalhado no Anexo 1 (Planta de *layout* da UPA Porte III), página 146.

O programa arquitetônico apresenta uma área construída de 1.610,73m<sup>2</sup> e caracteriza-se por quatro blocos térreos, conforme Figura 14. O primeiro bloco (cor lilás) compreende o setor de Observação; o segundo bloco (cor verde) engloba o Apoio Administrativo, Técnico e Logístico; o terceiro bloco (cor amarela) abarca o Pronto Atendimento de emergência e o Apoio Diagnóstico e Terapêutico (salas de esperas, consultórios e outros); por fim, o quarto bloco (cor vermelha) é o Atendimento de Urgência.

Figura 14: Perspectiva esquemática do Projeto de Referência da UPA 24h Porte III.



Fonte: Autora (2022).

Esse modelo padrão, por meio de seu memorial descritivo, orienta a utilização de materiais consagrados e facilmente encontrados no mercado brasileiro: estrutura de concreto, paredes externas e internas em alvenaria convencional (bloco cerâmico furado 10 x 20 x 20 cm) e coberturas em estrutura de madeira com

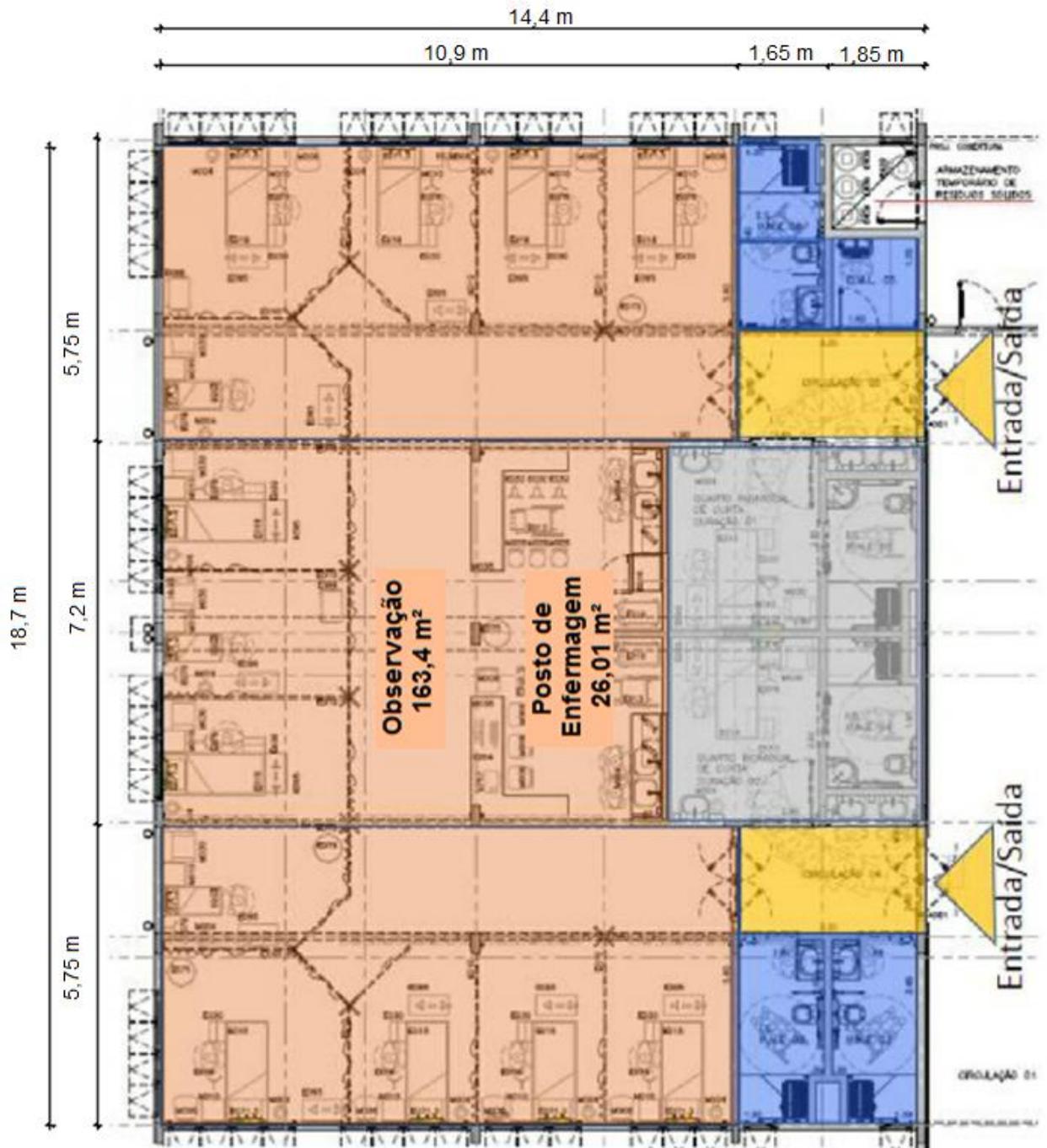
telha cerâmica ou de fibrocimento e laje pré-moldada de 12 cm impermeabilizada. Neste trabalho, para a cobertura foi adotada a telha de fibrocimento com laje maciça de concreto com 10 cm ao invés da telha cerâmica, além da laje pré-moldada, conforme indicado pela RTQ-C (BRASIL, 2018) na tabela A.4 de valores de referência para edificações hospitalares. Para a alvenaria convencional, foi utilizado o bloco cerâmico furado 9x19x219 cm, que apresenta medidas próximas das indicadas no memorial, além de propriedades térmicas definidas e recomendadas pela norma brasileira RTQ-C.

Conforme o memorial descritivo, as esquadrias podem ser de alumínio, madeira ou metálicas e especiais. Os vidros podem ser do tipo liso comum 6 mm (incolor ou verde) ou temperado 8 mm (incolor). Nesta dissertação utilizou-se o vidro comum incolor 6 mm, por ser de menor custo.

### **3.1.1. Bloco de observação - foco no objeto de estudo**

Esta pesquisa analisa o bloco de observação (Figura 12), ambiente destinado ao acolhimento de pacientes previamente estabilizados no pronto atendimento de urgência e emergência ou atendidos nos consultórios da UPA e que necessitam ainda da realização de algum procedimento médico ou da observação dos profissionais de saúde até receberem a alta médica. O setor é contemplado com 13 leitos de observação, dois postos de enfermagem e serviços, dois quartos com um leito e banheiro cada para atendimento individualizado, armazenamento temporário de resíduos sólidos, além de banheiros e área de circulação (Figura 15).

Figura 15: Planta do setor de observação.



Legenda:

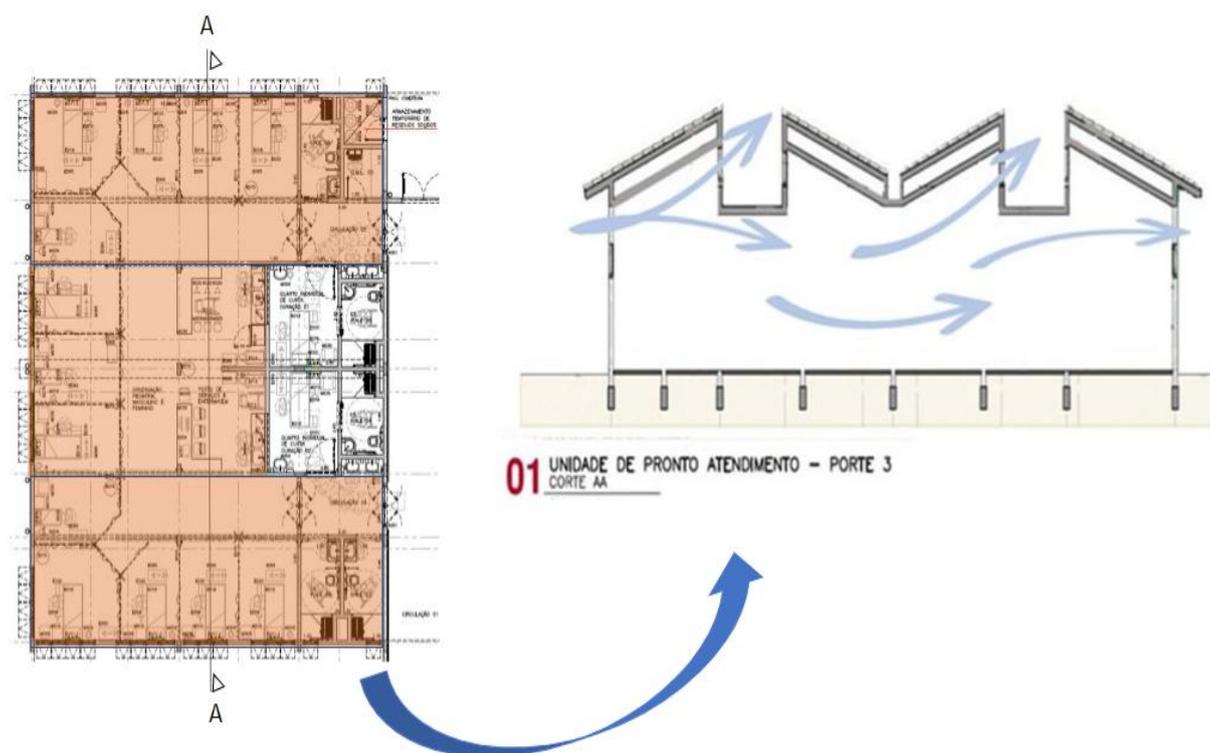
- Zona de leitos de observação e postos de enfermagem
- Zona de quartos individuais
- Zona de banheiros
- Zona de circulação

Fonte: SISMOB (2020), adaptado pela autora.

O setor de observação é estruturado para receber pacientes com permanências de até 24 horas, mas que, na prática, excedem esse tempo com internações frequentes dos enfermos, decorrente da sobrecarga hospitalar (KONDER & O'DWYER, 2015).

Neste estudo, as simulações são realizadas em uma zona térmica única, compreendida por 13 leitos de observação e os dois postos de enfermagem. A escolha dessa zona térmica única justifica-se por ser a principal área de concentração de pacientes assistidos pelo corpo médico e de enfermagem. Justifica-se, ainda, pela configuração física desse ambiente, que permite uma circulação de ar em toda essa área e uma ventilação natural de forma cruzada. Essa circulação ocorre em decorrência da inexistência de paredes, adequando-se à rotina de funcionamento do setor (Figura 16).

Figura 16: Zona térmica única do Setor de Observação com ventilação natural cruzada.



Fonte: SISMOB (2020), adaptado pela autora.

O posto de enfermagem está localizado de forma centralizada, panorâmica e constituída de bancadas, que promovem a divisão física dos ambientes e favorece

o contato visual e físico entre pacientes e profissionais de saúde (Figura 16). Os dois postos de enfermagem existentes no projeto estão em conformidade com a RDC 50 (ANVISA, 2002), que estabelece um posto de enfermagem a cada 12 leitos para Unidades de Urgência e Emergência de alta complexidade. A norma não faz essa definição em relação aos serviços de média complexidade, categoria de classificação das UPAs.

Os leitos dos pacientes são separados individualmente por cortinas hospitalares, que são fechadas durante os procedimentos médicos e de enfermagem, para assegurar a privacidade dos pacientes. Nos demais períodos, essas divisórias móveis permanecem abertas, para permitir a observação direta desses enfermos pelos profissionais de saúde.

O objetivo da investigação é, portanto, verificar se a ventilação natural nas salas de observação das UPAs pode contribuir para promover as condições satisfatórias de conforto térmico, de eficiência energética e reduzir o risco de disseminação de aerossóis infecciosos mediante renovações de ar adequadas.

### **3.1.2 Determinação das características do Caso Base para as simulações**

A modelagem tridimensional do Caso Base foi realizada, conforme o projeto arquitetônico, no programa computacional *DesignBuilder*. Para isso, foi necessário obter o desenho técnico da planta 2D e exportá-lo para um software CAD (*Computer Aided Design*), em arquivo DXF, para o programa *DesignBuilder*. O Ministério da Saúde disponibilizada esse modelo 2D da UPA referência Porte III em arquivo PDF, o qual é convertido para um arquivo DXF.

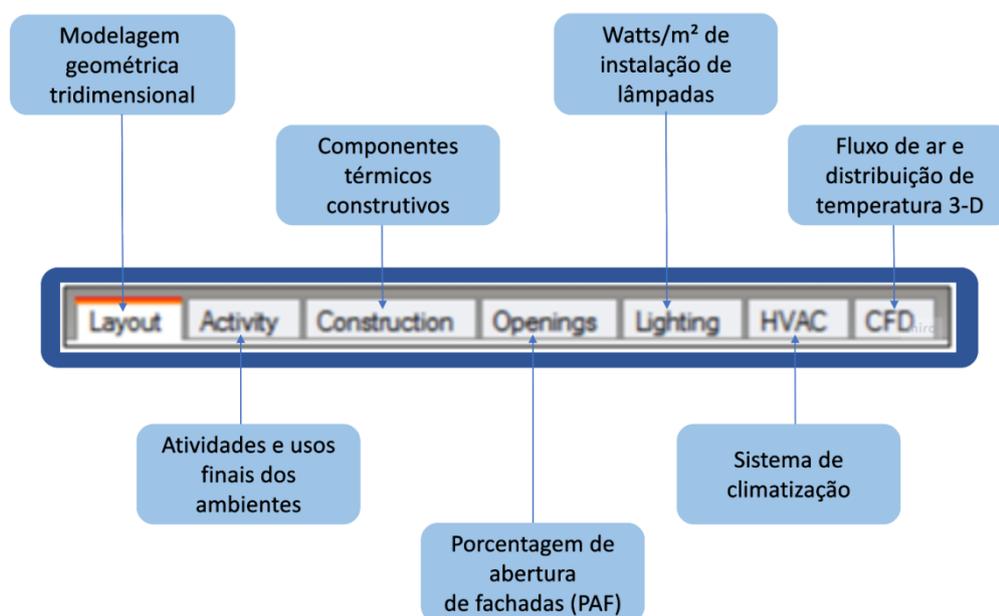
Os arquivos climáticos correspondentes às cidade de Brasília, Salvador e Florianópolis selecionados para a simulação foram os disponibilizados pelo próprio programa *DesignBuilder*, o *International Weather for Energy Calculations (IWEC)*. A partir desse arquivo, o software permitiu identificar os períodos de maior probabilidade de conforto aos usuários, renovações do ar por hora, ganhos térmicos

e demanda de energia elétrica (dentre as 8762 horas do ano ou em intervalos específicos).

A geometria dessa modelagem seguiu as dimensões de plantas, cortes e fachadas.

O *DesignBuilder* apresenta sete abas principais (Figura 17), as quais permitem todo o processo de modelação e caracterização do objeto, além das condicionantes ambientais. Elas estão dispostas em uma ordem que permitem um fluxograma linear para o desenvolvimento da simulação.

Figura 17: As sete abas principais do *DesignBuilder*.



Fonte: Autora (2021).

A primeira aba é o *Layout*, que é destinada a modelagem do edifício. *Activity* é a segunda aba, empregada para definir as atividades e usos finais dos ambientes. O espaço é configurado como uma área hospitalar genérica para tratamento e internação de pacientes, com 24 horas de ocupação e densidade ocupacional de 0,1752 pessoas/m<sup>2</sup>. As atividades consideradas para o cálculo das taxas metabólicas correspondem as atividades “de ficar em pé” e “andando”. O valor adotado para a variável de medida “clo” (do inglês clothing) é de 0,9 para o inverno e

de 0,5 para o verão. As configurações dessa aba e das demais estão disponíveis no Apêndice 1.

Em seguida, a *Construction* permite a configuração dos componentes térmicos construtivos, caracterizando a envoltória do caso base, tanto para paredes quanto coberturas e lajes, que são embasadas nas seguintes especificações: materiais construtivos presente no memorial descritivo e medidas encontradas nas plantas arquitetônicas do projeto de referência em estudo; na biblioteca de componentes construtivos brasileiras desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) (WEBER et al., 2017) e no catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros disponibilizados pela RTQ-C (2018) em consulta pública.

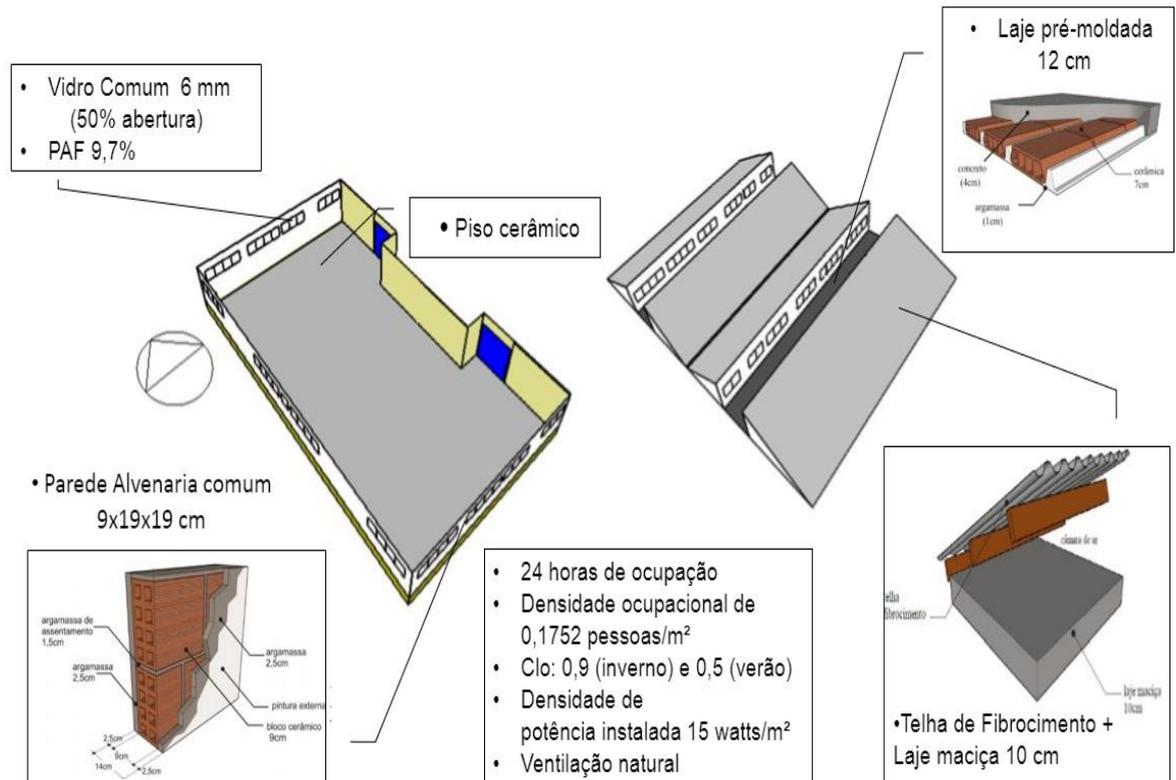
A quarta aba é a *Openings*. Nessa aba são fornecidos os dados de porcentagem de aberturas de fachadas (PAF) de 9,7%, porém sem permitir uma representação fiel do desenho das esquadrias. Dessa forma, essas aberturas foram desenhadas individualmente. O tipo de vidro adotado foi o simples de 6 mm, conforme supracitado no item 3.1.

Na sequência, a aba *Lighting* viabiliza a inserção da densidade de potência instalada da edificação de 11,3 watts/m<sup>2</sup> (instalação de lâmpadas), valor chancelado pela RTQ-C (consulta pública) para a simulação na etapa de projeto para edifício hospitalar.

Finalmente na HVAC configura-se o sistema de climatização, neste estudo prioriza-se a ventilação natural na primeira fase. Na segunda, utiliza-se ainda a climatização artificial por Split com COP 3,2 e a climatização híbrida (ventilação natural + Split COP 3,2).

Finalmente, na sexta aba, a HVAC, configura-se o sistema de climatização. Neste estudo, prioriza-se a ventilação natural na primeira fase. Na segunda, utiliza-se ainda a climatização artificial por Split com COP 3,2 e a climatização híbrida (ventilação natural + Split COP 3,2).

Figura 18: Esquema resumido da caracterização do caso-base.



Fonte: Autora (2021).

No que tange à seleção da orientação solar para a implantação do caso base, adotou-se a NBR 15575 (no item 11.5.1), por falta de tal especificação nas normas brasileiras direcionadas aos EAS. A norma priorizada determina a orientação da fachada com maior área envidraçada na direção oeste, que apresenta a condição mais desfavorável para ganhos térmicos. Nesse sentido, a fachada do bloco do setor de observação com maior percentual de área de abertura encontra-se orientada perpendicularmente a oeste, de acordo com Figura 19.

Figura 19: Planta e modelo virtual do bloco de observação e sua implantação no projeto, com indicação da orientação Norte da sala de observação estudada.



Fonte: SISMOB (2020), adaptado pela autora.

### **3.2 Determinação de cidades que caracterizam os climas quente-seco, quente-úmido e subtropical do Brasil**

O estudo e a caracterização do clima de um lugar, para efeito da arquitetura, devem ser estabelecidos por meio de dados como a temperatura do ar, a umidade do ar, a insolação total horizontal, precipitações atmosféricas, a direção e a velocidade dos ventos. Essas variáveis são fundamentais para a compreensão do que deve ser controlado no ambiente para se obter os resultados pretendidos no projeto (ROMERO, 2000; FROTA e SCHIFFER, 2006).

Segundo Frota e Schiffer (2006), a arquitetura pode contribuir para a atenuação da diferença entre as temperaturas externas e internas do ar nas regiões brasileiras com climas predominantemente quentes. Para essas autoras, o clima brasileiro pode ser agrupado, do ponto de vista do desempenho térmico da arquitetura, em dois grupos distintos de climas quentes: o seco e o úmido.

O clima quente e seco é caracterizado por temperaturas médias altas, grande amplitude térmica, baixa umidade do ar e radiação solar direta. Os ventos são predominantemente quentes, secos e dotados de poeira. O clima quente e úmido, por sua vez, também apresenta temperaturas altas. Entretanto, o clima quente e úmido é característico de regiões marítimas tropicais e subtropicais, marcado por umidade elevada, discreta amplitude térmica diária e precipitações fortes e irregulares.

No Brasil, um terceiro tipo de clima que se destaca, além daqueles considerados por Frota e Schiffer (2006), é o subtropical. O clima subtropical abrange as regiões localizadas no sul do país e se caracteriza por apresentar estações do ano regularmente definidas, com invernos amenos e temperaturas exteriores mais baixas que as interiores na maior parte do ano (RUPP *et al.*, 2018).

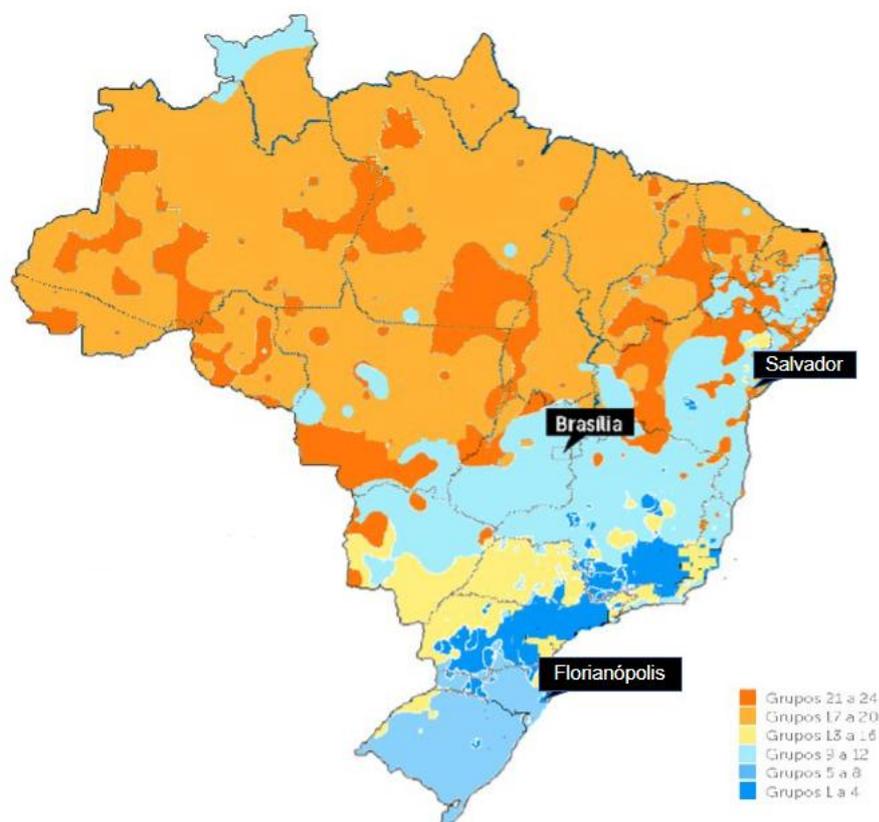
Dada essa diversidade de climas brasileiros, as condições ambientais que proporcionam sensação de conforto térmico aos habitantes de um deles não são as mesmas que proporcionam a mesma sensação aos que residem em outro clima (FROTA & SCHIFFER, 2006).

Atentando a isso, nesta pesquisa foram selecionadas as cidades de Brasília, Salvador e Florianópolis como objetos de estudo. Essas três cidades, além de se encontrarem em latitudes bem diferentes, representam tipicamente esses três contextos climáticos: Brasília é quente e seca; Salvador é quente e úmida; e Florianópolis é subtropical.

Atualmente, de acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2003), que define o Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ZBBR), o Brasil apresenta 8 zonas bioclimáticas. Nessa norma, Brasília situa-se na ZBB 4, Salvador na ZBB 8 e Florianópolis na ZBB 3. A NBR 15220-3 estabelece as características climáticas considerando três parâmetros principais: médias mensais das temperaturas máximas, médias mensais das temperaturas mínimas e umidade relativa do ar. Entretanto, esse zoneamento é questionado por apresentarem cidades com diferentes características climáticas classificadas na mesma zona bioclimática (LOPES, 2020).

Roriz (2014) propõe uma nova classificação para o zoneamento climático do Brasil (Figura 20), composta por 24 zonas climáticas definidas pelos parâmetros de temperatura média anual, desvio padrão da temperatura média, amplitude média anual e desvio padrão de amplitude. Na classificação de Roriz, o Distrito Federal encontra-se na zona 10, a capital baiana na zona 21 e Florianópolis na zona 1. Essa classificação é priorizada pelo RTQ-C (BRASIL, 2018).

Figura 20: Proposta de revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (RORIZ, 2014).

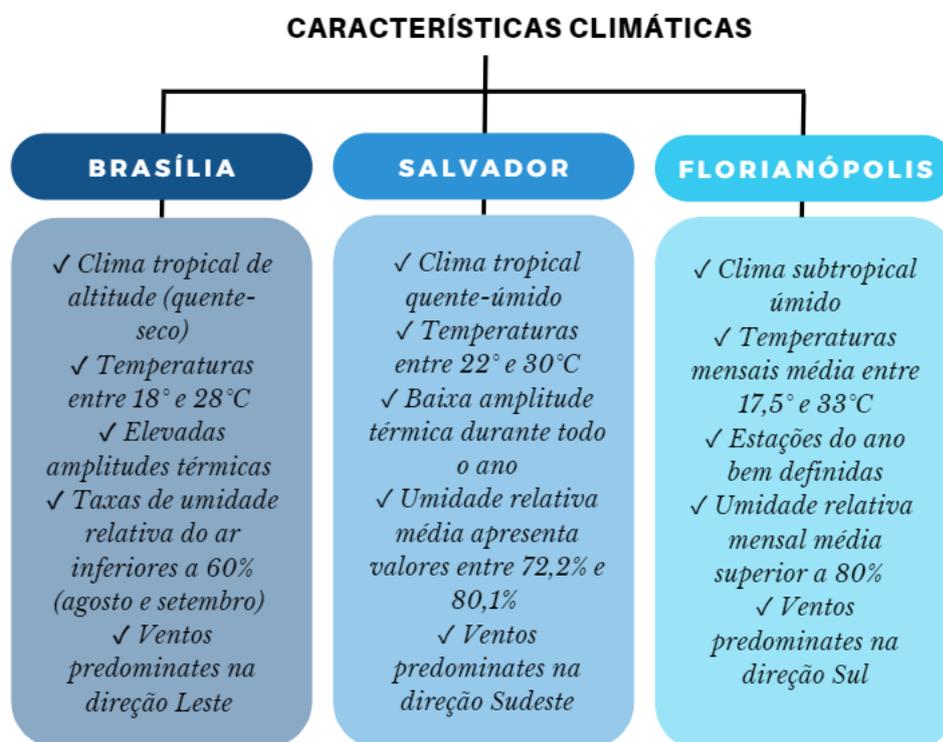


Fonte: Lopes (2020). Adaptado pela autora.

### 3.2.1 Caracterização dos climas de Brasília, Salvador e Florianópolis

O estudo do clima é a primeira etapa para a elaboração de um projeto arquitetônico eficiente, confortável e humanizado (SANCHO *et al.*, 2021). Assim, para fundamentar este estudo, é importante descrever brevemente os climas das cidades de Brasília, Salvador e Florianópolis, estabelecidas nesta dissertação como base para o estudo do projeto de referência (Figura 21).

Figura 21: Brasília, Salvador e Florianópolis - características climáticas.



Fonte: Autora (2022).

### A) Brasília

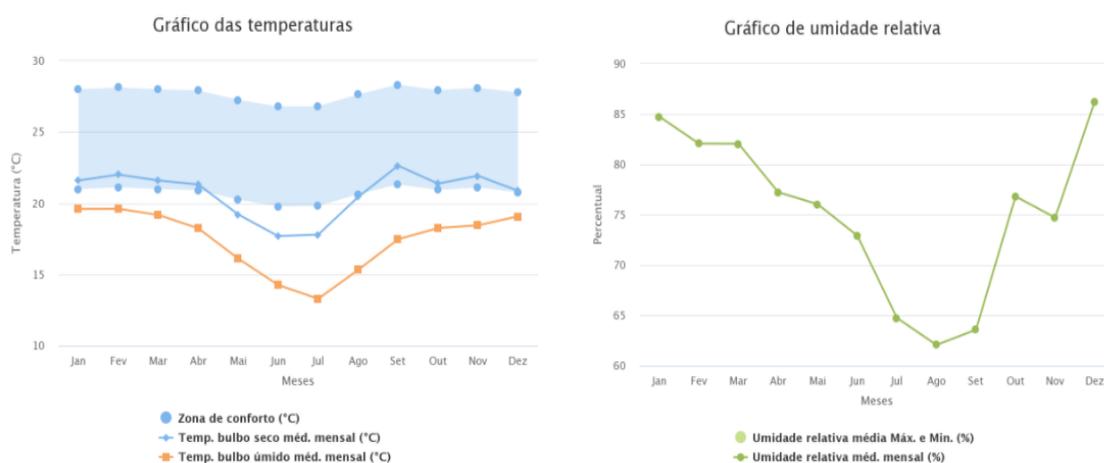
Brasília teve seu clima caracterizado inicialmente por Ferreira (1965), para um projeto bioclimático com dados referentes ao período de 1960 e 1964. Maciel (2002) estudou o mesmo clima no período de 1982 a 1997 e identificou o ano de 1987 como o ano climático de referência (TRY- *Test Reference Year*).

O clima da capital federal pode ser classificado como Tropical de Altitude (ROMERO, 2000). Conforme Aguiar (2017), Brasília tem seu clima marcado por dois períodos distintos: o quente-úmido de verão chuvoso, que abrange meses de outubro a abril, e o quente-seco de inverno seco, que corresponde aos meses de maio a setembro.

Segundo Romero (2011), Brasília apresenta temperaturas entre 18° e 28°C, que estão situadas na Zona de Conforto proposta pela Carta Bioclimática de Givoni, desenvolvida em 1976. Para Maciel (2002), a média da temperatura do ar de Brasília no período estudado era de 21,6°C e outubro foi mês identificado como

o mais quente, com temperaturas médias de 23°C e máximas de 29,2°C. Os meses de junho e de julho são os mais frios e apresentam em torno de 40% das temperaturas inferiores a 18°C, o que difere das temperaturas mais comuns nos demais meses, que variam entre 18 e 28°C (ROMERO, 2011). Conforme demonstrado no Gráfico 1, percebe-se que, na maior parte do ano nas temperaturas de Brasília estão dentro da zona de conforto.

Gráficos 1 e 2: Gráficos de temperatura e umidade relativa do ar em Brasília-DF.



Fonte: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos>, adaptado pela autora (2021).

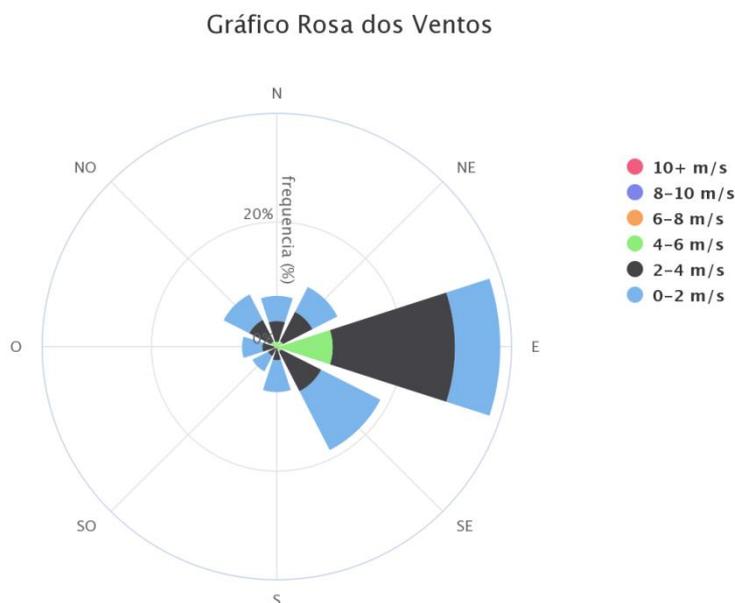
No período estudado por Maciel (2002), a umidade média relativa do ar é de 70%. Agosto é o mês mais seco do ano, com o índice médio de 56% (Gráfico 2). Romero (2011) aponta que a insolação total horizontal no período supracitado apresentou o índice médio de aproximadamente 2.400 horas. O mês que exibiu maior índice foi julho, com 265,3 horas.

Brasília, nos meses de agosto e setembro, apresenta elevada amplitude térmica, com as temperaturas entre 13°C a 28°C, e umidade inferior a 60%. Nos meses quentes e úmidos, novembro a março, a umidade fica acima de 70% e o índice de precipitação total média situa-se em torno de 1.500mm (ROMERO, 2011).

Segundo Lucas (2017), os ventos na Capital Federal apresentam a orientação na direção leste e sudeste no período seco e a orientação noroeste no

período chuvoso. A frequência dos ventos vindos da direção Leste é 34,62% e a velocidade de média é de 3,57 m/s (ZANONI, 2015), conforme Gráfico 3.

Gráfico 3: Gráficos de direção, frequência e velocidade dos ventos de Brasília-DF.



Fonte: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos>, adaptado pela autora (2021).

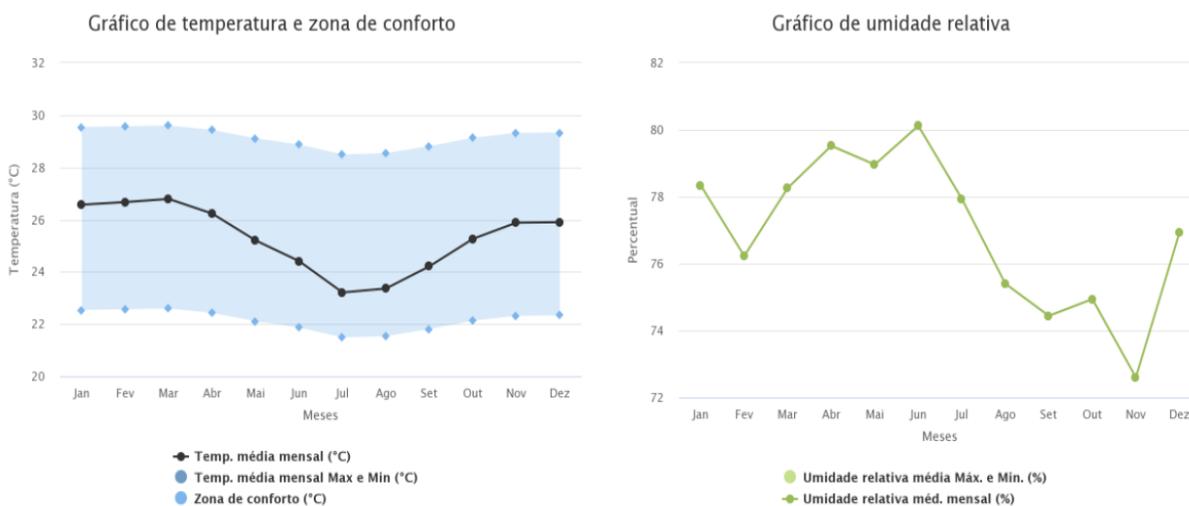
A partir do conhecimento do clima de Brasília, Romero (2015b, p.129) afirma que “na região de Brasília, a radiação solar, os ventos e as chuvas constituem os principais elementos a influir no espaço construído”.

## B) Salvador

O clima de Salvador é classificado como tropical quente e úmido (MORAIS, 2011; Nery *et al.*, 2006). A cidade é caracterizada por temperaturas altas e umidade elevada durante todo o ano.

A capital baiana apresenta temperatura do ar média anual de 25,2°C e umidade relativa de 80, 8% (MORAIS, 2011). Observam-se nos Gráficos 4 e 5, gerados por meio dos arquivos climáticos INMET 2016, que a zona de conforto se encontra entre as temperaturas de 21,49°C e 29,6°C e a umidade relativa média apresenta valores entre 72,2% e 80,1%.

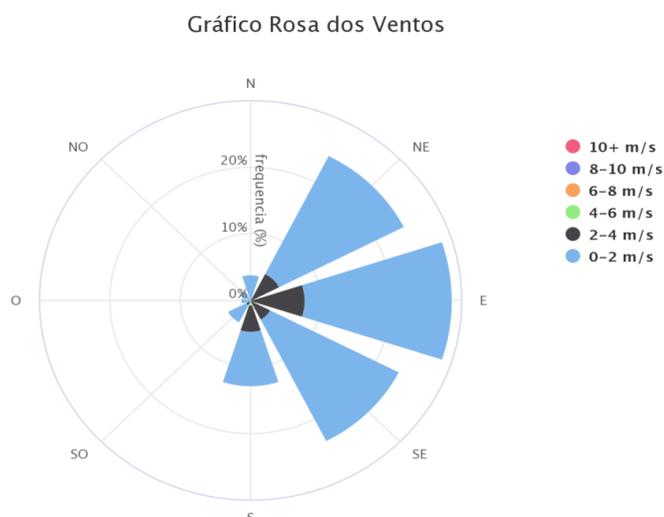
Gráficos 4 e 5: Gráficos de temperatura e zona de conforto; e de umidade relativa de Salvador-Ba.



Fonte: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos>, adaptado pela autora (2021).

De acordo com Nery *et al.* (2006), o padrão da ventilação média mensal mostra-se predominante na direção sudeste, seguida da direção leste. Os ventos dominantes no verão incidem na direção sudeste/leste e no inverno, na direção nordeste/sudeste. Os valores das velocidades médias mensais variam de 2,6 m/s, em março e junho, a 3,3 m/s, em outubro e novembro. Nota-se, no Gráfico 6, que os ventos soteropolitanos apresentam maiores frequências nas direções sudeste, leste e nordeste.

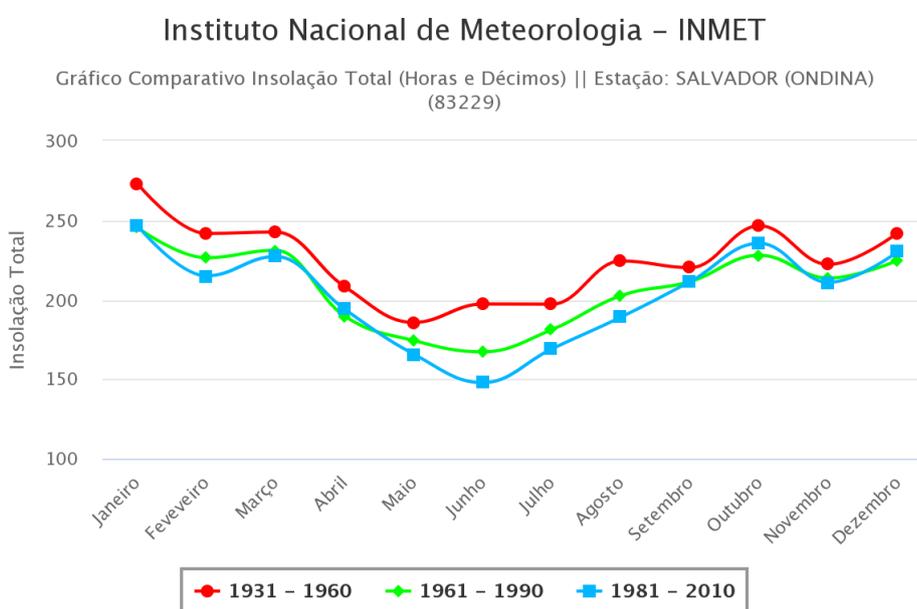
Gráfico 6: Gráficos de direção, frequência e velocidade dos ventos de Salvador-Ba.



Fonte: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos>, adaptado pela autora (2021).

Salvador recebe, durante todo o ano, uma quantidade expressiva de horas de insolação. De acordo com o Gráfico 7, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), percebe-se que a insolação nessa cidade varia entre 147,8 horas (junho, mês com menor insolação) e 246,9 horas (janeiro, mês com maior insolação). Segundo Nery *et al.* (2006) existem diferenças na média diária dessa insolação: os meses de maio e junho apresentam menor insolação total diária (5,6 horas), diferentemente de fevereiro, que é o mês mais ensolarado (8,1 horas diárias).

Gráfico 7: Gráfico comparativo da Insolação Total de Salvador-Ba.



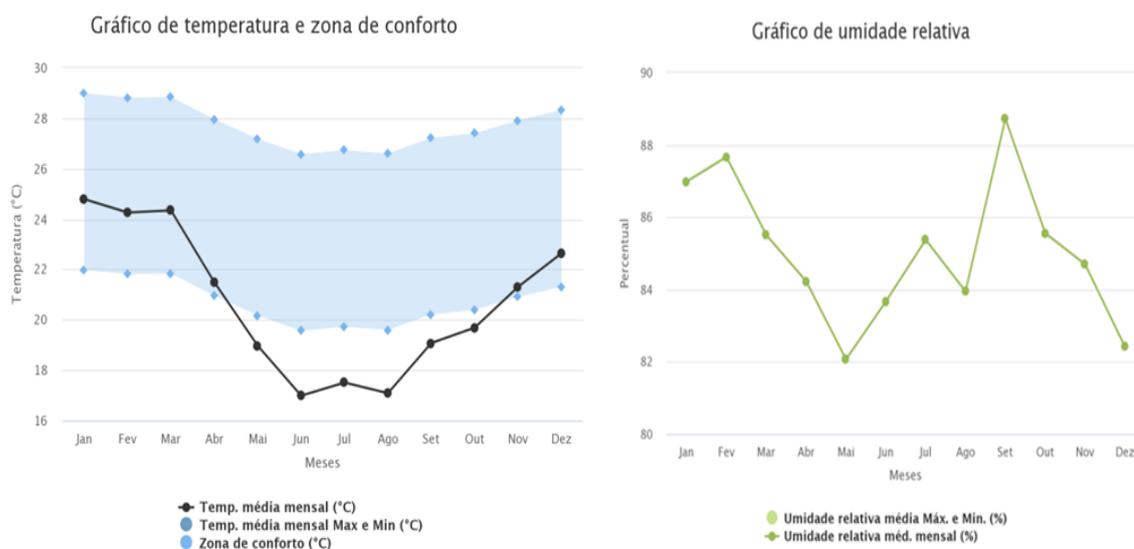
Fonte: <https://clima.inmet.gov.br/GraficosClimatologicos/DF/83377>, adaptado pela autora (2021).

### C) Florianópolis

O clima em Florianópolis é subtropical úmido, com verão quente e inverno ameno (RUPP *et al.*, 2018), classificado de acordo com Koppen como mesotérmico úmido (DEBIASE, 2016). No gráfico 8, percebe-se que a maior média mensal de temperatura é de 24,8°C em janeiro, sendo que as temperaturas dos meses quentes podem apresentar variações diárias com máximas de 28 a 33°C (DEBIASE, 2016). Nos meses mais frios as temperaturas médias encontram-se entre 17°C (junho e agosto) e 17,5°C (julho). Em se tratando da umidade relativa do ar, observa-se no

gráfico 9 que a média mensal se apresenta entre a máxima de 88,73%, em setembro, e a mínima de 82,07%, em maio. As precipitações mais elevadas ocorrem de janeiro a março e os valores mais baixos se apresentam de junho a agosto.

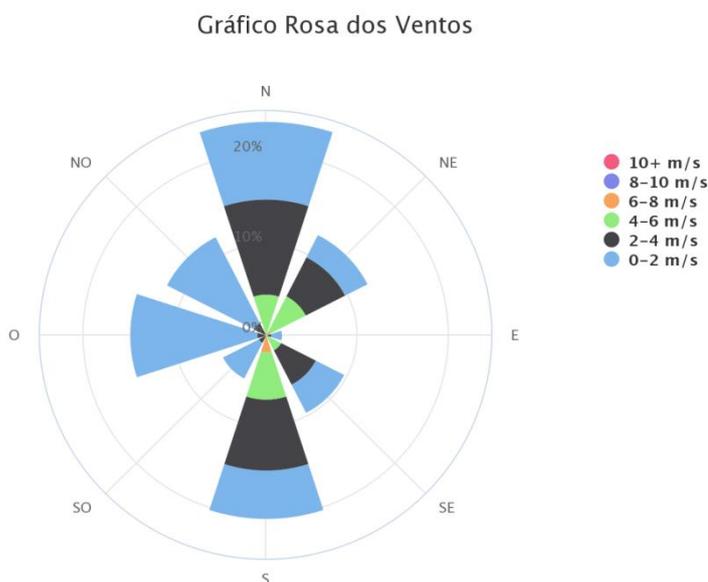
Gráficos 8 e 9: Gráficos de temperatura e zona de conforto; e de umidade relativa de Florianópolis - SC.



Fonte: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos>, adaptado pela autora (2021).

Os ventos são predominantes nas direções norte e sul da cidade, como pode ser visto no gráfico 10.

Gráfico 10: Gráficos de direção, frequência e velocidade dos ventos de Florianópolis - SC.



Fonte: <http://projeteee.mma.gov.br/dados-climaticos>, adaptado pela autora (2021).

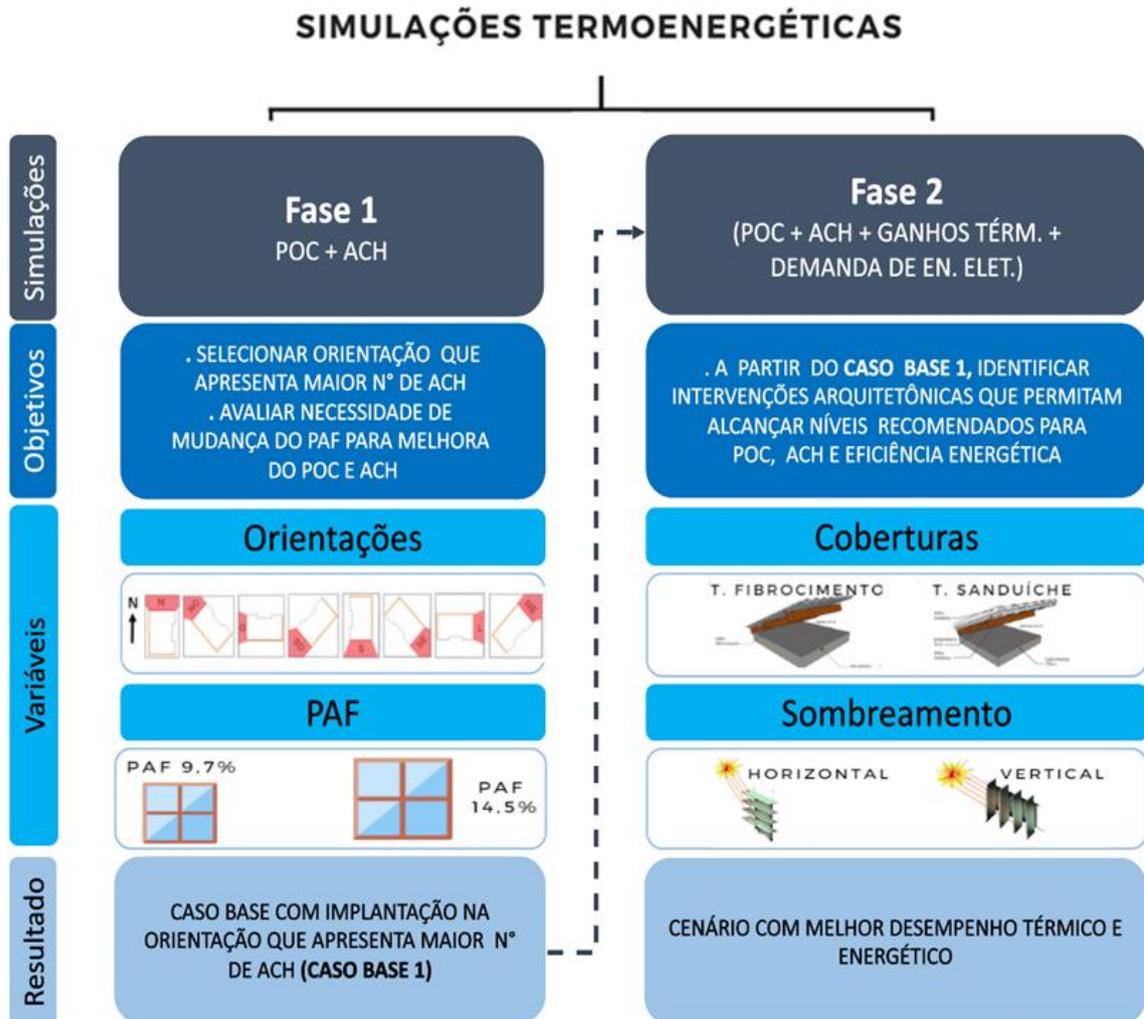
Florianópolis possui estações bem definidas, embora, ocorram mudanças repentinas de temperatura e de condições climáticas.

### 3.3 Procedimentos - as simulações computacionais

Por meio das simulações computacionais, estimou-se os resultados para POC, número de ACH, ganhos térmicos da envoltória e demanda de energia elétrica dos ambientes em análise.

Essas simulações foram procedidas em 2 fases (Figura 22) bem definidas e sucessivas, nas quais se utilizou o software *DesignBuilder* (versão v7.0.0.088), que possui a interface gráfica do algoritmo de cálculo *EnergyPlus3* (versão 9.4).

Figura 22: Esquema de simulações termoenergéticas propostas neste estudo.



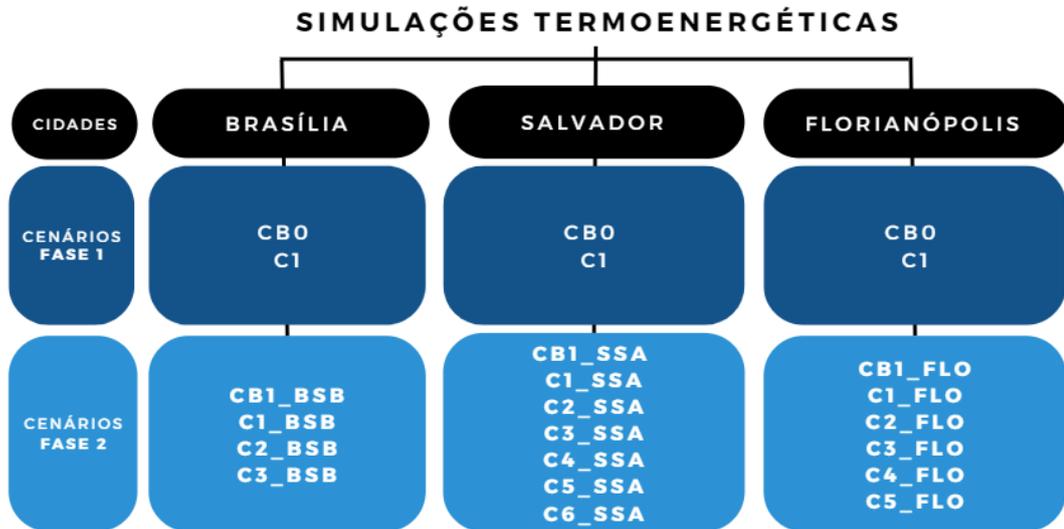
Fonte: Autora, 2022.

A primeira fase da simulação tem como finalidade a definição da melhor orientação para a obtenção do maior número de renovações de ar por hora (ACH), bem como a avaliação do conforto térmico de acordo com o percentual de horas ocupadas em conforto (POC). Nessa fase, averigua-se também a possibilidade de elevação do Percentual de Abertura da Fachada (PAF), com a intenção de melhoria das duas variáveis supracitadas.

A segunda fase da simulação parte do Caso Base com a orientação mais adequada em cada cidade (encontrada na primeira fase – CB1), para investigar a proposição de diferentes cenários para a envoltória (cobertura e sombreamento) e

verificar possíveis melhoras no desempenho térmico e energético, para além do POC e dos números de ACH (Figura 23).

Figura 23: Cenários Base e propostos para as duas fases de simulações termoenergéticas.



Fonte: Autora, 2022.

### 3.3.1 Critérios de bondade e avaliação

O cálculo do número de horas ocupadas em conforto é realizado mediante a fórmula de temperatura neutra definida por De Dear e Brager (2002), em concordância com norma ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017). Essa norma tem como critérios de conformidade os limites de aceitabilidade de 80% e 90%, podendo serem adicionados 3,5 °C ou 2,5°C à temperatura neutra calculada. Além desses critérios, é considerada uma aceitabilidade de pouco desconforto (superior a 90%), sugerida por Pereira e Assis (2010) (Figura 24) para o mesmo cálculo de temperatura neutra com o acréscimo de 2°C. Neste trabalho, adota-se esse último cálculo como parâmetro de aceitabilidade, por se tratar de ambiente de assistência à saúde, em que se considera o mínimo de desconforto por calor para os pacientes, que já se encontram com algum tipo de disfunção física ou emocional.

Figura 24: Equação do Índice adaptativo de Temperatura Neutra por De Dear e Brager (2002) + faixa de conforto sugerida por Pereira e Assis (2010).

AUTORES	EQUAÇÃO	FAIXA DE CONFORTO Pereira e Assis (2010)
De Dear e Brager (2002)	$T_n = 0,310 \cdot T + 17,8^\circ\text{C}$	$T_n + 2^\circ\text{C}$ (superior a 90% de aceitabilidade)

T<sub>n</sub> = Temperatura de conforto ou neutralidade  
T = Temperatura externa

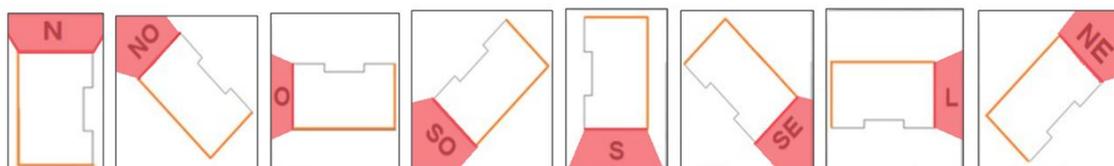
Fonte: Autora (2022).

O cálculo do POC é executado a partir da temperatura operativa e do número de horas em desconforto extraídos dos resultados de simulação para cada hora ano, considerando os efeitos de desconforto térmico local, as vestimentas (clo), as atividades metabólicas (em pé e andando), além da umidade e velocidade do ar.

O critério de avaliação para o número de ACH empregado neste estudo é o recomendado por Atkinson *et al.* (2009), no guia publicado pela OMS sobre aplicação da ventilação natural para o controle de infecção em estabelecimentos de saúde. Nesse guia, a recomendação é superior a 12 ACH.

Para definir a melhor orientação que possibilite ao edifício apresentar o maior número de ACH, realizam-se simulações a cada 45° graus, conforme Figura 25, nas seguintes direções: Norte, Noroeste, Oeste, Sudoeste, Sul, Noroeste, Leste e Nordeste. Nesta dissertação, para a simulação inicial do Caso Base, a orientação norte não é adotada para maior área de aberturas e sim conforme se indica a NBR 15575, citada no item anterior.

Figura 25: Orientações simuladas para obtenção de maiores números de ACH.



Fonte: Autora, 2021.

Os ganhos térmicos são avaliados a partir da análise do comportamento térmico da zona térmica, calculado pelo programa *DesignBuilder* (versão v7.0.0.088). Observa-se a transferência de calor por meio das paredes, da cobertura e das áreas envidraçadas.

O desempenho energético é avaliado conforme se indica no RTQ-C. Para o ambiente ventilado naturalmente, a classificação de eficiência energética é obtida a partir da comparação do POC, nível A de classificação, com o POC igual ou superior a 80%. Para o ambiente climatizado artificialmente, o desempenho energético é avaliado comparando-se a demanda de energia primária da edificação avaliada (CEP) com a demanda de energia primária da edificação em sua condição de referência (CEPR), sendo que essa referência corresponde ao nível D da classificação. Essas demandas são geradas a partir das simulações. Em seguida, calcula-se o percentual de redução da demanda de energia primária (PRCEP<sub>REAL-D</sub>) da edificação em sua condição real (CEP), e em sua condição de referência (CEPREF), por meio da seguinte Equação 2 (BRASIL, 2018):

Equação 2: Percentual de Redução do consumo de energia primária entre a edificação em sua condição real e a condição de referência.

$$PRCEP_{REAL-D} = 1 - \frac{CEP}{CEP_{REF}} * 100$$

Onde:

PRCEP<sub>REAL-D</sub> é o percentual de redução do consumo de energia primária entre a edificação em sua condição real e condição de referência;

Fonte: Brasil (2018).

A seguir, realiza-se a comparação da demanda de energia primária da edificação (CEP<sub>real</sub>), encontrada por meio dos limites da tabela de classes de eficiência energética (Figura 26), identificando a classe de eficiência da edificação em avaliação. O PRCEP<sub>D-A</sub> é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A. Para as edificações hospitalares, com base no fator de forma e no grupo climático, esse coeficiente varia de 0,15 a 0,19 (BRASIL, 2018).

Figura 26: Tabela com intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética.

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	–	$> CEP_{REF} - 3i$	$> CEP_{REF} - 2i$	$> CEP_{REF} - i$	$> CEP_{REF}$
Limite inferior	$< CEP_{REF} - 3i$	$\leq CEP_{REF} - 2i$	$\leq CEP_{REF} - i$	$\leq CEP_{REF}$	–

$$i = \frac{(CEP_{REF} \cdot CRCEP_{D-A})}{3}$$

Onde:

$i$  é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

$CEP_{REF}$  é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$PRCEP_{D-A}$  é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A.

Fonte: Brasil (2018).

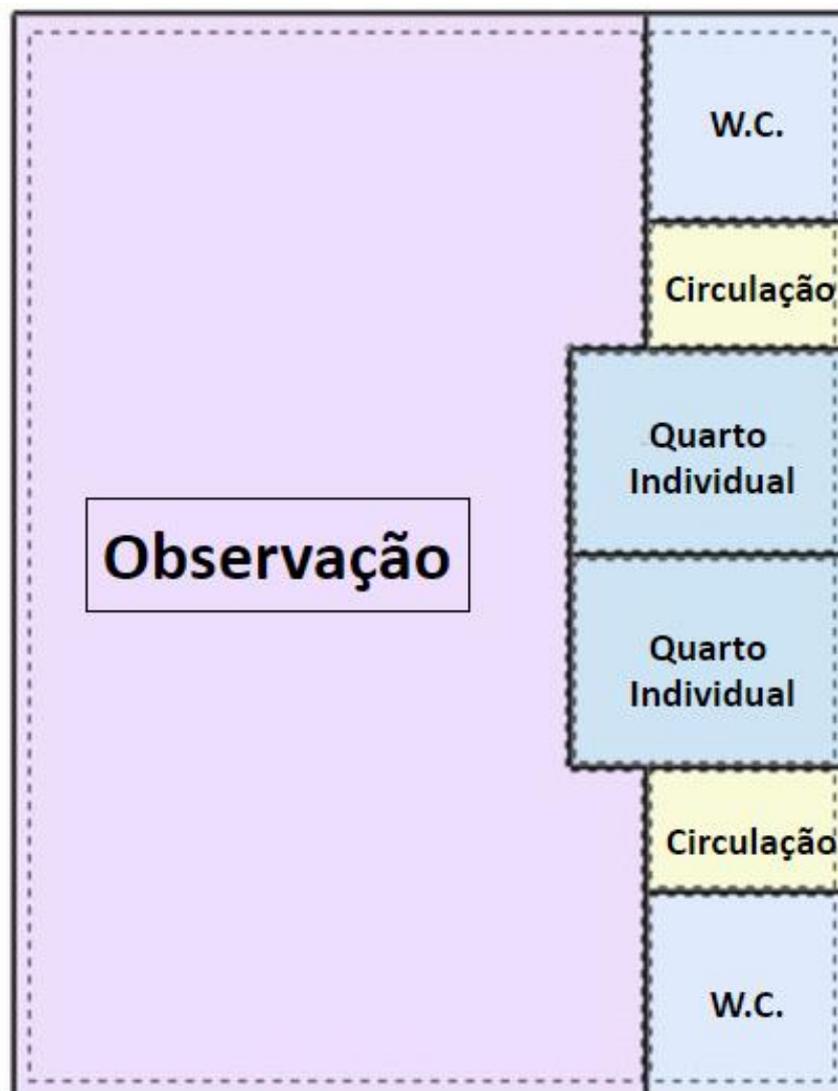
Para efeito desses cálculos, aplicaram-se os resultados de energia primária das simulações que foram tomadas como modelo real ( $CEP_{real}$ ), o ambiente objeto de estudo desta pesquisa e o modelo referência ( $CEP_{ref}$ ), o mesmo modelo com as configurações de nível D de eficiência energética predeterminadas pelo RTQ-C (BRASIL, 2018). O programa *DesignBuilder* oferece valores de energia primária simulados no período de um ano em kWh/m<sup>2</sup>.

### 3.3.2 Fase 1 de simulações

A modelagem do projeto referência deste estudo foi estabelecida a partir da transferência do desenho 2D para o *DesignBuilder*, conforme descrito no item 3.1.2.

Para analisar mais detalhadamente o setor de observação, objeto de estudo, esse ambiente foi subdividido em quatro zonas térmicas diferentes (Figura 27), a saber: Observação, Quarto Individual (1 e 2), Circulação (1 e 2) e Banheiros (1 e 2). Neste trabalho, as análises foram concentradas apenas na zona térmica de Observação, ambiente que abriga 13 leitos para pacientes e dois postos de enfermagem.

Figura 27: Zoneamento do Setor de Observação.

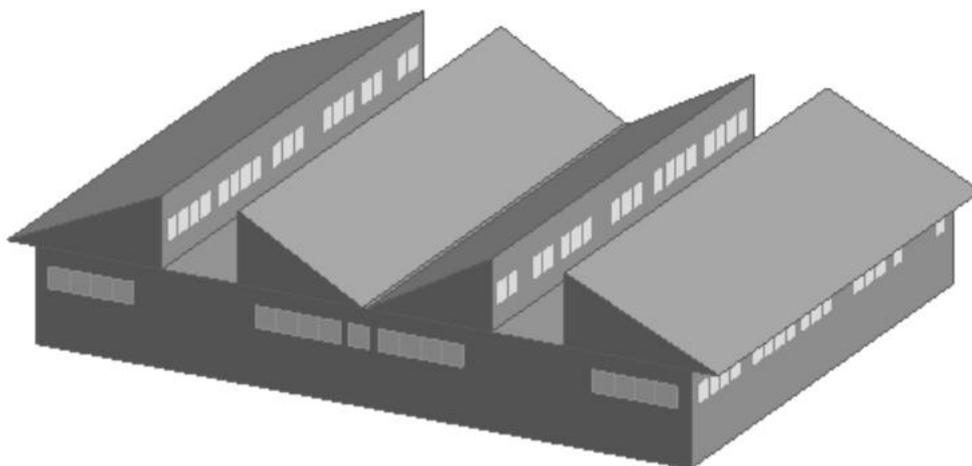


Fonte: Autora (2021), adaptado do *DesignBuilder*.

O passo seguinte foi a modelagem das aberturas de forma individual (Figura 28), seguindo as medidas das janelas (0,6 x 0,6 m cada) e os distanciamentos disponibilizados nas plantas do projeto modelo, com PAF total de 9,7% na zona em estudo.

Para modelar a cobertura, foram criados quatro *components blocks* (Figura 28), representando a volumetria retratada no projeto proposto pelo Ministério da Saúde.

Figura 28: Volumetria final do Setor de Observação elaborada no *DesignBuilder*.



Fonte: Autora (2021), adaptado do *DesignBuilder*.

Em seguida, foram atribuídos todos os dados de entrada para determinar as características do Caso Base, conforme o item 3.1.2. Finalizada essa caracterização, iniciou-se o processo de configuração da ventilação natural, desconsiderando o acondicionamento artificial.

O EnergyPlus fundamenta-se no algoritmo Airflow Network para a configuração da ventilação natural (LOPES, 2020). Esse algoritmo é estabelecido por um modelo matemático que leva em conta o fluxo de ar exterior que penetra nas zonas térmicas, a trajetória do ar no interior do ambiente pelas diferenças de pressão, além de contabilizar o número de ACH (LOPES, 2020).

No *DesignBuilder*, a ventilação de modo natural é configurada de forma conjunta por meio das abas HVAC, *Openings*, *construction* e do ícone *Model options*. Essas configurações encontram-se detalhadamente registradas no Apêndice 1. Na primeira aba, introduz-se a opção *Natural ventilation - No Heating/Cooling* no item HVAC *Template*, que é habilitado mediante ativação do item *Natural Ventilation* e seus subitens *Schedule* e *Delta T Limits (By schedule)*, desativando a climatização artificial.

Na aba *Openings*, define-se a operação das aberturas de acordo com a programação do ambiente. Nesse caso, trata-se de uma área hospitalar de

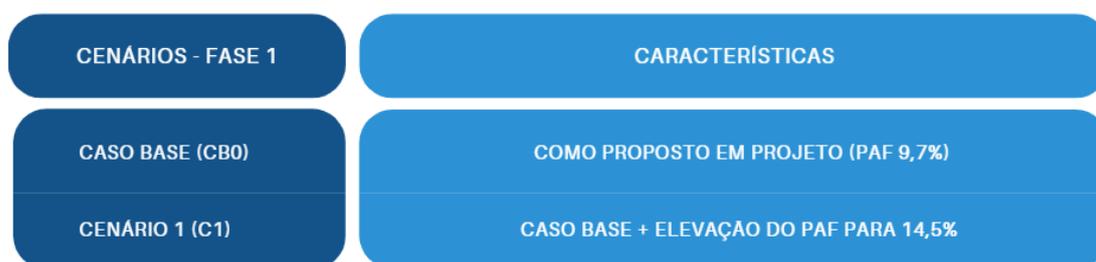
ocupação genérica para pacientes. Foi estabelecido o percentual de 50% das áreas das janelas que permanecem abertas para a promoção de ventilação natural.

Em *Construction*, ativa-se o item *Airtightness*, pelos subitens *Model Infiltration* e *Crack Template*. Essa operação permite o cálculo da infiltração (ventilação). Por fim, no ícone *Model options*, é configurada a forma de ventilação natural no modo calculado.

Os resultados obtidos foram exportados para o programa Microsoft Excel (planilha eletrônica), favorecendo uma melhor análise do POC e do valor médio anual da renovação do ar por hora no ambiente interno do objeto de estudo.

Nessa primeira fase, são simulados dois cenários (Quadro 1), com diferentes Percentuais de Área de Abertura na Fachada (PAF). O Caso Base é a referência para a avaliação das melhorias obtidas no segundo cenário.

Quadro 1: Caracterização dos cenários, primeira fase de simulações.



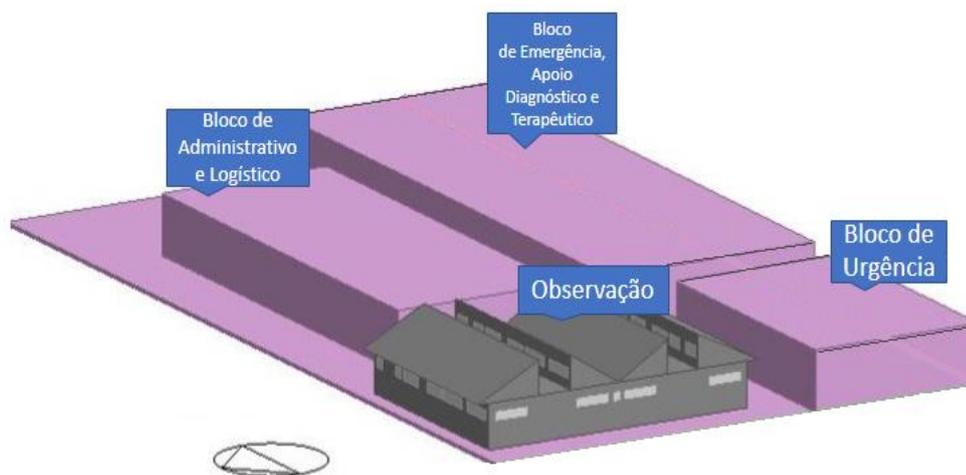
Fonte: Autora (2022).

O aumento do PAF no segundo cenário justifica-se como uma variável para envoltória, por apresentar no caso base do projeto de referência um PAF de 9,7% e o percentual de referência recomendado pelo RTQ-C (BRASIL, 2018) ser de 14% para edificações hospitalares. Dessa forma, diferentemente do Caso Base, aplica-se ao segundo cenário as configurações do Caso Base, elevando-se o PAF de 9,7% (janelas 0,6 x 0,6 m) para 14,5% (janelas 0,6 x 1,0 m).

Finalmente, nessa primeira fase das simulações, apenas para as cidades de Salvador e Florianópolis, optou-se por simular a área de observação de paciente considerando os demais blocos de edifícios da UPA (Figura 29). Essa opção foi

escolhida para avaliar de forma mais realista a interferência desses blocos na ventilação natural e no sombreamento para a sala de observação, objeto de estudo.

Figura 29: Volumetria final do Setor de Observação e os demais blocos de edifícios da UPA elaborada no *DesignBuilder*.



Fonte: Autora (2021), adaptado do *DesignBuilder*.

### 3.3.3 Fase 2 de simulações

Na segunda fase de simulações, simulam-se o POC, ACH, ganhos térmicos da envoltória e a demanda de energia elétrica a partir do CB1 e dos outros cenários com propostas diferentes para a envoltória. As duas primeiras variáveis são simuladas conforme os critérios descritos na fase anterior.

Os ganhos térmicos são simulados inicialmente no CB1 e, em seguida, com a proposta de mudança de cobertura, de telha de fibrocimento para a telha sanduíche (configurações descritas no Apêndice 1). A escolha da telha sanduíche como opção de mudança para a cobertura justifica-se por ela apresentar uma transmitância baixa, de 0,55 kJ/m<sup>2</sup>K, em relação à telha de fibrocimento, cuja transmitância é de 2,06 kJ/m<sup>2</sup>K (WEBER *et al*, 2017) (Figura 30). De acordo com a NBR 15220, são indicadas coberturas leves para as zonas bioclimáticas 3, 4 e 8. Para as duas primeiras zonas, indicam-se coberturas leves isoladas ( $U \leq 2,00$  kJ/m<sup>2</sup>K) e, para a última, cobertura leve refletora ( $U \leq 2,30$  kJ/m<sup>2</sup>K).

Figura 30: Propriedades térmicas das coberturas com telha de fibrocimento e com telha sanduíche segundo Weber *et al.* (2017).

Telha	Laje	Composição	e (cm)	$\lambda$ (W/m°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	c (kJ/kg.K)	Rt (m <sup>2</sup> C/W)	U (W/m <sup>2</sup> C)	Ct (Kj/m <sup>2</sup> C)
Telha de Fibrocimento	maciça de concreto	Fibrocimento	0,8	0,95	1900	0,84	0,0084	2,06	233
		Câmara de ar	25	1,19	-	-	0,21		
		Concreto	10	1,75	2200	1	0,0571		
Telha Sanduíche	maciça de concreto	Aço + PU	4,2	0,0315	136	1,67	1,3334	0,55	230
		Câmara de ar	25	1,19	-	-	0,21		
		Concreto	10	1,75	2200	1	0,0571		

Fonte: Autora (2022).

São considerados ainda os ganhos térmicos das áreas envidraçadas com adoção de dispositivos de proteção solar (brises horizontais ou verticais), com ângulos de sombreamentos (Apêndice 2) adequados conforme cada cidade na orientação estabelecida pelas simulações da fase anterior. Esses ângulos são configurados na aba *Openings*, no item *Local shading*, com os seguintes ângulos: Brasília, alfa 50° e beta D/E 15°; Salvador, alfa 80°; e Florianópolis, alfa 45° e beta D/E 15°. O programa *DesignBuilder* tem a limitação de configurar os mesmos ângulos para todas as esquadrias em qualquer orientação, impossibilitando a configuração de ângulos diferentes de acordo com a necessidade de cada direção.

Para simular a demanda de energia elétrica com três tipos diferentes de climatização, a aba HVC (Apêndice 1) do *DesignBuilder* é configurada com a climatização artificial (Split COP 3,2) e a híbrida ou mista (Split COP 3,2 + ventilação natural), configurações estas descritas no Apêndice 1, além da ventilação natural já configurada na fase inicial. O ar condicionado do tipo Split é adotado para as simulações por ser esse modelo amplamente utilizado nas UPAs do Brasil, conforme visto no item 2.7.1.

Finalmente, as simulações foram procedidas em cenários diferentes e específicos para cada cidade, sempre adotando dispositivos de sombreamento nas áreas envidraçadas e a mudança de cobertura (Quadros 2, 3 e 4). Apenas para a cidade de Salvador optou-se pela ampliação do PAF como uma estratégia arquitetônica.

Quadro 2: Caracterização dos cenários da segunda fase de simulações, Brasília.

CENÁRIOS BSB - FASE 2	CARACTERÍSTICAS
CB1_BSB	CASO BASE COM IMPLANTAÇÃO NA ORIENTAÇÃO LESTE
C1_BSB	TROCA DA TELHA DE FIBROCIMENTO PARA TELHA SANDUÍCHE (TS)
C2_BSB	INSTALAÇÃO DE BRISES HORIZONTAIS E VERTICAIS (ALFA 50°, BETA 15°)
C3_BSB	DUAS ESTRATÉGIA JUNTAS (BRISES MISTAS + TELHA SANDUÍCHE)

Fonte: Autora (2022).

Quadro 3: Caracterização dos cenários da segunda fase de simulações, Salvador.

CENÁRIOS SSA - FASE 2	CARACTERÍSTICAS
CB1_SSA	CASO BASE COM IMPLANTAÇÃO NA ORIENTAÇÃO SUDESTE
C1_SSA	TROCA DA TELHA DE FIBROCIMENTO PARA TELHA SANDUÍCHE (TS)
C2_SSA	INSTALAÇÃO DE BRISES HORIZONTAIS (ALFA 80°)
C3_SSA	DUAS ESTRATÉGIA JUNTAS (TS + ALFA 80°)
C4_SSA	AMPLIAÇÃO DO PAF (de 9,7% para 14,5%)
C5_SSA	DUAS ESTRATÉGIA JUNTAS (PAF 14,5% + ALFA 80°)
C6_SSA	TRES ESTRATÉGIA JUNTAS (TS + ALFA 80° + PAF 14,5%)

Fonte: Autora (2022).

Quadro 4: Caracterização dos cenários da segunda fase de simulações, Florianópolis.

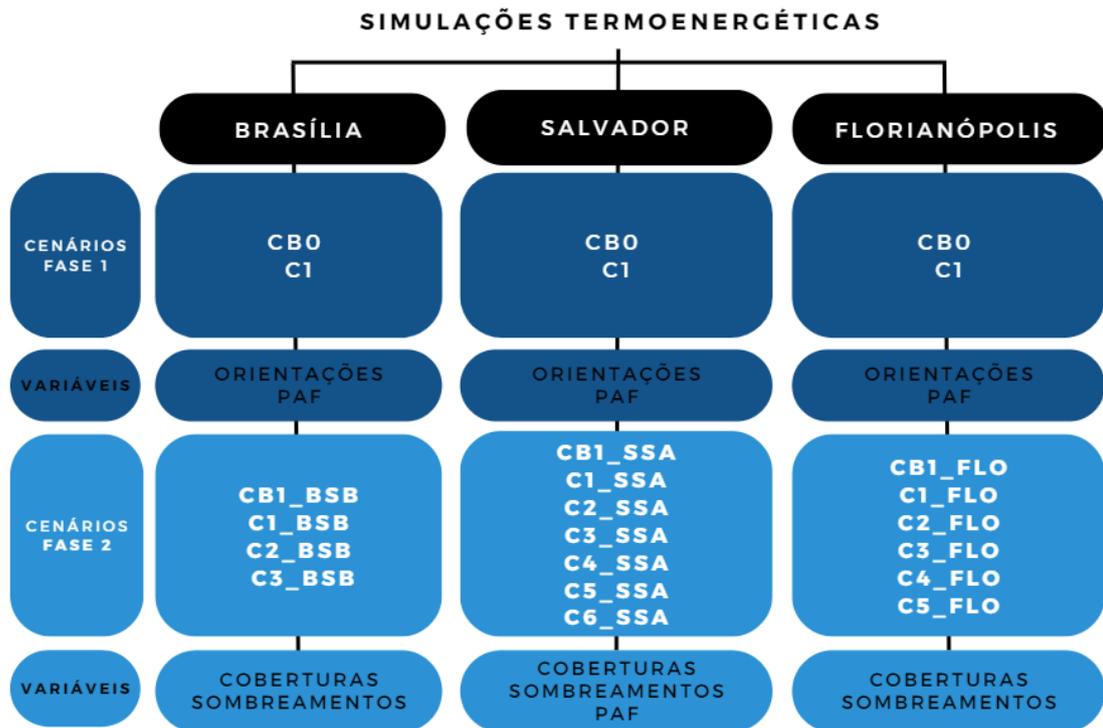
CENÁRIOS FLO - FASE 2	CARACTERÍSTICAS
CB1_FLO	CASO BASE COM IMPLANTAÇÃO NA ORIENTAÇÃO SUL
C1_FLO	TROCA DA TELHA DE FIBROCIMENTO PARA TELHA SANDUÍCHE (TS)
C2_FLO	INSTALAÇÃO DE BRISES VERTICAIS (BETA 15°)
C3_FLO	INSTALAÇÃO DE BRISES HORIZONTAIS (ALFA 45°)
C4_FLO	INSTALAÇÃO DE BRISES MISTAS (BETA 15°, ALFA 45°)
C5_FLO	DUAS ESTRATÉGIA JUNTAS (BRISES MISTAS + TS)

Fonte: Autora (2022).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo apresenta e discute os resultados das simulações termoenergéticas realizadas na pesquisa em três partes, sendo cada parte correspondente a uma das três cidades em estudo (Figura 31).

Figura 31: Mapa esquemático das simulações termoenergéticas.



Fonte: Autora (2022).

Os resultados das análises são subdivididos em duas fases. A primeira fase corresponde às simulações termoenergéticas direcionadas para as análises do POC e dos números de ACH em oito direções (norte, noroeste, oeste, sudoeste, sul, sudeste, leste e nordeste) e com o aumento do PAF (abertura das esquadrias de 0,6 m x 0,6 m para 1 m x 0,6 m). Essas simulações iniciais têm a finalidade de encontrar a orientação que propicia o melhor aproveitamento da ventilação natural e o melhor desempenho térmico nos dois cenários diferentes (Caso Base e cenário 1 / PAF elevado) (Quadro 1).

A segunda fase de resultados apresenta as simulações efetuadas a partir da principal orientação e em diferentes cenários estabelecidos para cada uma das

idades (mudanças na cobertura e sombreamento). Nessa fase, além das avaliações do POC e dos números de ACH, são averiguados também os ganhos térmicos da envoltória e a demanda de energia elétrica, com vistas a observar qual mudança na envoltória permite a melhor eficiência energética.

## **4.1 BRASÍLIA**

### **4.1.1 Resultados da primeira etapa**

Nessa parte, elencam-se os resultados de simulações para o estado da sala de observação no projeto referência, denominado neste trabalho como Caso Base (CB) e no cenário 1, no qual ajusta-se apenas a variável PAF, aumentando de 9,7% para 14,5%.

#### **A) Avaliação do Caso Base (CB0)**

Para o Caso Base na orientação Norte, o ambiente apresenta um total de 6.924 horas anuais em desconforto térmico (Apêndice 3), que significa apenas 21% das horas do ano em conforto. Percebe-se ainda que esse desconforto é por calor, pois a temperatura operativa encontra-se em maior parte acima de 24°C. Ao considerar o modelo adaptativo de De Dear e Brager (2002), utilizado para calcular a temperatura neutra ( $T_n$ ), adicionando de 2°C (aceitabilidade de pouco desconforto por calor para os climas quentes brasileiros, segundo Pereira e Assis (2010)), esse mesmo ambiente apresenta conforto de 75% das horas do ano. Esse POC é insuficiente para alcançar o nível A da RTQ-C para ambientes ventilados naturalmente (Figura 32).

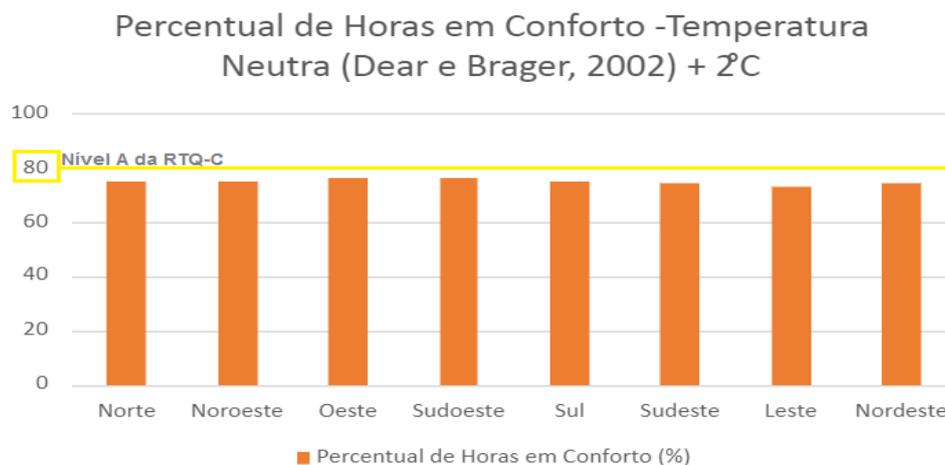
Figura 32: Tabela de Equivalentes numéricos de POC para ventilação natural.

Equivalentes numéricos para ventilação natural		
Percentual de Horas Ocupadas em Conforto	EqNumV	Classificação Final
POC $\geq$ 80%	5	A
70% $\leq$ POC < 80%	4	B
60% $\leq$ POC < 70%	3	C
50% $\leq$ POC < 60%	2	D
POC < 50%	1	E

Fonte: Brasil (2016).

Conforme se observa no Gráfico 11, todas as orientações avaliadas apresentam o POC entre 73% e 76%, uma variação de apenas 3% entre o pior e o melhor caso. Ainda assim, esse resultado de POC seria insuficiente para alcançar o nível A de classificação pelo RTQ-C para ambientes ventilados naturalmente ( $\geq 80\%$ ). Os melhores resultados se observaram para as orientações oeste e sudoeste, as quais proporcionaram 76%, enquanto o pior resultado, de 73%, se refere à orientação Leste.

Gráfico 11: Percentual de horas ocupadas em conforto simulados em oito direções diferentes, Brasília.

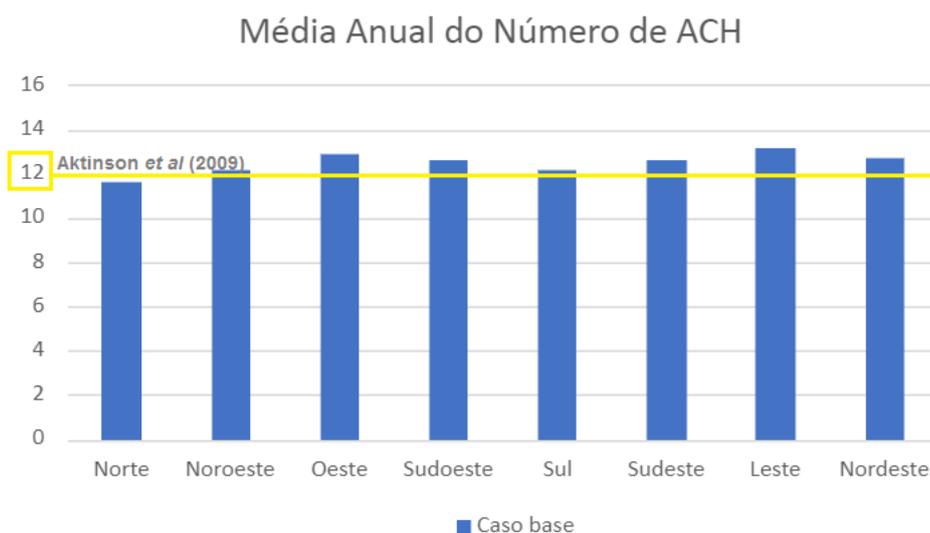


Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

O Caso Base na orientação Norte apresenta o valor médio anual de 11,61 ACH, que é insuficiente para o auxílio no controle de infecção em ACH (ATKINSON *et al.*, 2009), critério adotado nesta dissertação. Essa é a única direção que apresenta o valor inferior a 12 ACH. As demais orientações proporcionam valores entre 12,14 e 13,19 renovações de ar (Gráfico 12). O sentido Leste é o que apresenta o maior aproveitamento da ventilação natural. Dessa forma, priorizar a orientação Leste para a etapa seguinte significa aceitar o melhor aproveitamento da ventilação natural como principal critério para favorecer as renovações do ar e a salubridade na sala de observação, já que se trata de um ambiente hospitalar.

Gráfico 12: Resultado de ACH do Caso Base para diferentes orientações, Brasília.

Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder*.



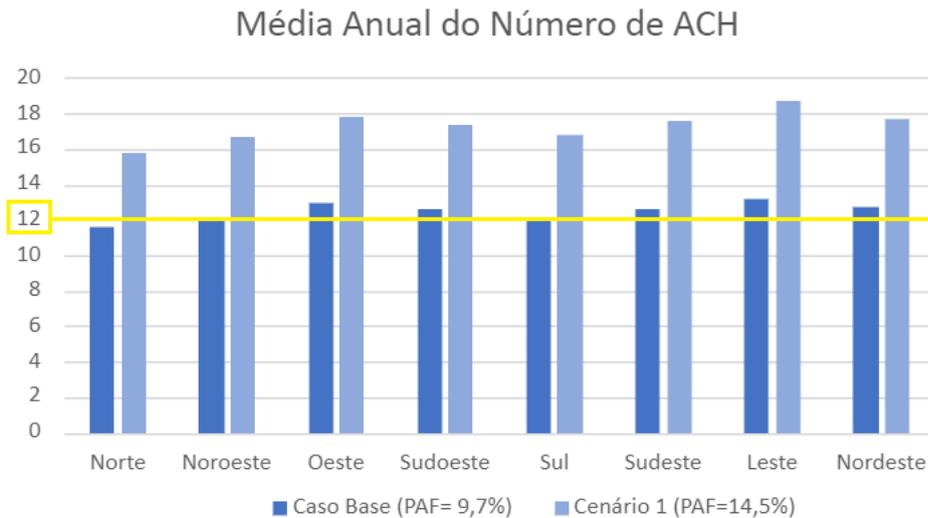
Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

## B) Avaliação do Cenário 1

A mudança das aberturas das janelas de 0,6 m x 0,6m (Caso Base) para 1 m x 0,6 m apresenta resultados com aumentos proporcionais em todas as orientações dos valores do POC e ACH (Gráficos 13 e 14). A direção Leste continua com o melhor aproveitamento da ventilação natural, passando de 13,19 para 18,65 ACH, um aumento de 41,39%. As orientações Oeste e Sudoeste também permanecem

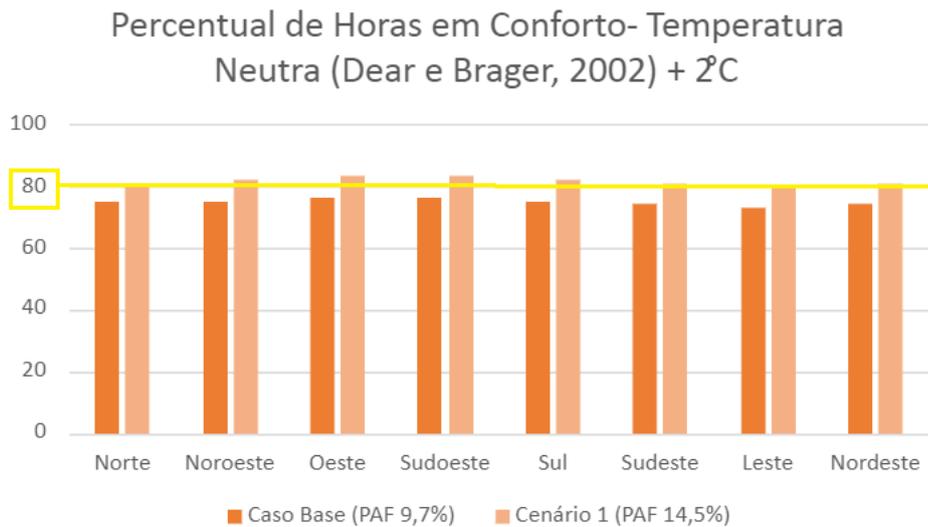
com os maiores POC, apresentando incremento de 76% para 83%. Mesmo apresentando aumento superior a 40% no volume de renovações de ar, o POC eleva-se até 7%, atingindo níveis recomendados pela RTQ-C ( $\geq 80\%$ ) em todas as orientações.

Gráfico 13: Resultados de ACH para os cenários simulados, Brasília.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Gráfico 14: Percentual de horas ocupadas em conforto para os cenários simulados, Brasília.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

### C) Discussão da primeira fase

Percebe-se nessa primeira fase que a direção Leste, nos dois cenários, apesar de estabelecer o número mais elevado de ACH, apresentou o POC mais desfavorável entre todas as direções. Entretanto, nota-se que o aumento do PAF já seria suficiente para atingir o nível A de classificação da RTQ-C para POC em todas as orientações (Gráfico 14).

#### 4.1.2 Resultados da segunda fase

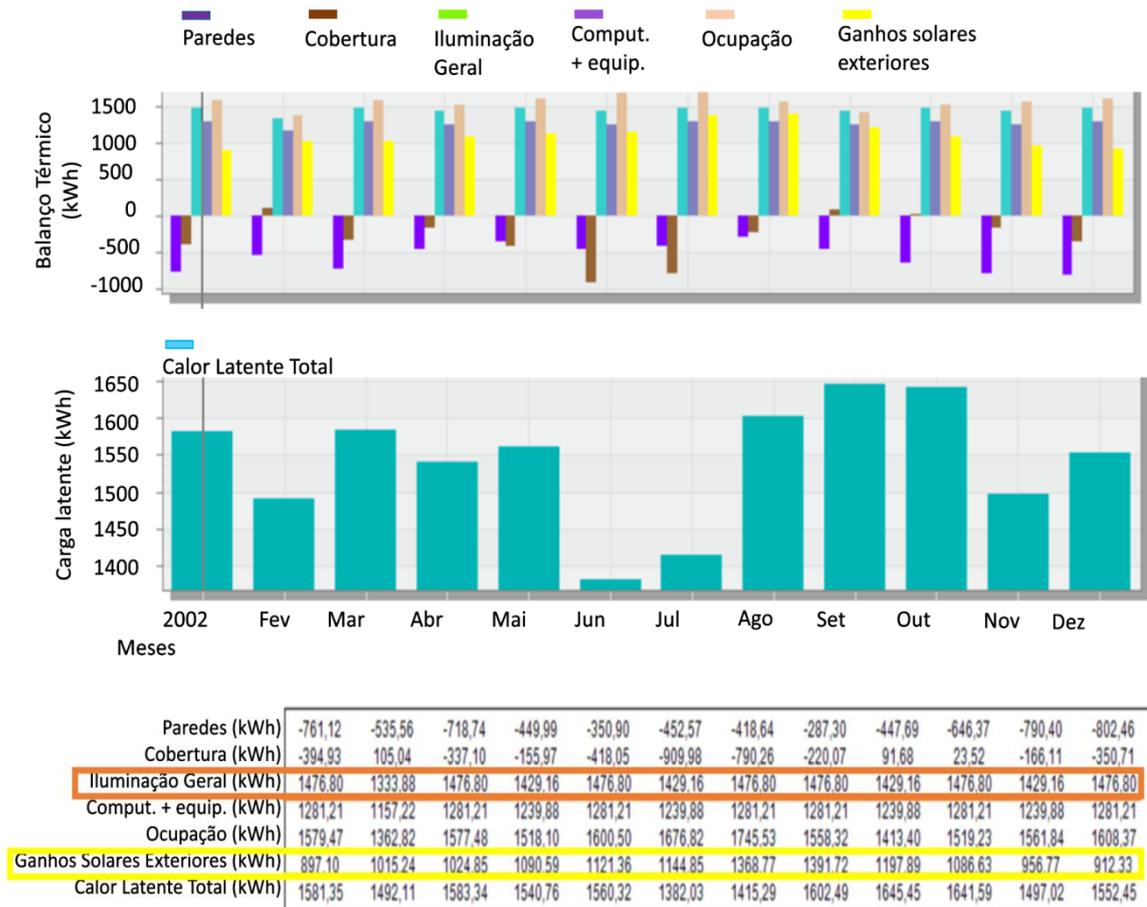
Mesmo alcançando níveis aceitáveis de POC e ACH apenas com a elevação do PAF para 14,5%, a segunda etapa ampliou o estudo para analisar algumas possíveis intervenções na envoltória que poderiam elevar ainda mais o POC, principalmente para o Caso Base.

Averiguam-se diferentes cenários propostos para uma possível melhoria do POC (Quadro 2), avaliando os ganhos térmicos da envoltória e valorando a demanda de energia elétrica, sempre na orientação Leste, dado que se priorizam as renovações de ar.

#### A) Avaliação da influência de ganhos térmicos no POC e ACH

Ao verificar os ganhos térmicos da envoltória no Caso Base, percebe-se que as áreas envidraçadas são os principais elementos responsáveis pela maior parcela desses ganhos, correspondendo a uma média anual de 1.100,67 Kwh (Figura 33). Observa-se que a sala de observação ainda apresenta ganhos térmicos fixos além dos da envoltória, tais como: os de ocupação, os de equipamentos e os de iluminação artificial. Esses últimos, segundo o RTQ-C, devem apresentar o valor mínimo de densidade de potência de iluminação (DPI) igual a 11,3 Wm<sup>2</sup> para ambientes hospitalares, valor adotado neste estudo. Percebe-se que os ganhos com iluminação e ocupação são excessivamente elevados durante todo o ano.

Figura 33: Ganhos térmicos - Área de observação de pacientes, Brasília.



Fonte: Captura de imagem do programa *Design builder* adaptado pela autora (2021).

Observa-se ainda na Figura 34 que a cobertura oferece discreto ganhos térmicos nos meses de fevereiro, setembro e outubro. Percebe-se ainda, que as paredes não apresentam ganhos em nenhum momento. Elas apenas perdem calor para o ambiente exterior. Dessa forma, a cobertura e a proteção solar das esquadrias são os principais elementos da envoltória trabalhados nesta dissertação.

Em relação aos ganhos térmicos comparados ao POC e ao número de ACH, observa-se na Figura 34 que as reduções das cargas latentes totais correspondem progressivamente aos aumentos dos percentuais de horas em conforto os cenários. No entanto, apenas nos cenários C2\_BSB e C3\_BSB os POCs alcançam o nível A do RTQ-C, superior a 80%. Atribui-se esse resultado mais favorável à mudança da cobertura de fibrocimento para a telha sanduíche, com melhora da transmitância térmica de 2,406 kJ/m<sup>2</sup>K para 0,575 kJ/m<sup>2</sup>K; e ao sombreamento promovido pelos brises, que impedem a radiação solar direta e reduzem os ganhos térmicos. Nota-se

que o número de POC melhorou em todos os cenários, porém não houve a mesma equivalência progressiva apresentada para o ACH. As proteções solares comportam-se possivelmente como discretas barreiras para a entrada da ventilação natural no ambiente.

Figura 34: Quadro comparativo de Carga Latente Total, POC e ACH entre os quatro cenários simulados, Brasília.

CENÁRIOS	 CARGA LATENTE TOTAL (KWH)	 POC (%)	 ACH
CB1_BSB	1.541,18	6435 (73%)	13,19
C1_BSB	1.451,58	6872 (78%)	15,68
C2_BSB	1.446,90	7310 (83%)	15,20
C3_BSB	1.435,39	7385 (84%)	15,33

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

## B) Avaliação da demanda de eletricidade

Sobre a demanda de energia elétrica, o cenário inicial condicionado apenas pela ventilação natural apresenta um valor anual de 133,57 kWh/m<sup>2</sup>. Atribui-se essa demanda à iluminação (76,94 kWh/m<sup>2</sup>) e aos equipamentos/outros (56,63 kWh/m<sup>2</sup>) (Apêndice 4).

Ao simular o Caso Base em três condições diferentes de climatização do ambiente (ventilação natural, split COP 3,2 e de forma híbrida), nota-se uma expressiva diferença entre as demandas de energia elétrica em cada cenário. Percebe-se o importante potencial para a economia de energia e a eficiência energética entre a utilização apenas do ar condicionado e a forma híbrida, uma diferença superior a 30% (Figura 35). Observa-se, ainda, que o ar condicionado é

responsável por mais de 50% da demanda de energia elétrica no edifício com ventilação híbrida e superior a 65% com acondicionamento apenas artificial. Esses dados encontrados da demanda de condicionamento do ar são compatíveis com os dados de usos finais de energia elétrica em edifícios comerciais no Brasil, que segundo Lamberts *et al.* (2004) consomem em média 47% com ar condicionado.

Figura 35: Quadro comparativo de demanda de energia elétrica entre os três tipos diferentes de acondicionamentos simulados, Brasília.

### CASO BASE - DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA (kwh/m<sup>2</sup>)

ORIGEM	VENTILAÇÃO NATURAL (VN)	SPLIT COP 3,2	VN + SPLIT COP 3,2
ILUMINAÇÃO	76,94	76,94	76,94
EQUIP. / OUTROS	56,63	56,63	56,63
SPLIT CoP 3,2	0	279,95	190,74
TOTAL	133,57	413,52	324,31

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Observa-se a grande diferença de demanda de energia nos diferentes cenários para o ambiente ventilado naturalmente, comparadas com os mesmos cenários acondicionados por split (COP 3,2) ou de forma híbrida (split e ventilação natural) (Figura 36 e Gráfico 15). Nas simulações realizadas, percebe-se também que a demanda de energia elétrica é reduzida progressivamente ao se mudar a cobertura de telha de fibrocimento para telha sanduíche e ao se adicionar as proteções horizontais e verticais (alfa 50° e beta 15°). No espaço condicionado de forma híbrida, nota-se que a redução é significativa em relação ao Caso Base de 196,82 kWh/m<sup>2</sup> e ao cenário final de 150,72 kWh/m<sup>2</sup>, com uma diferença superior a 15%.

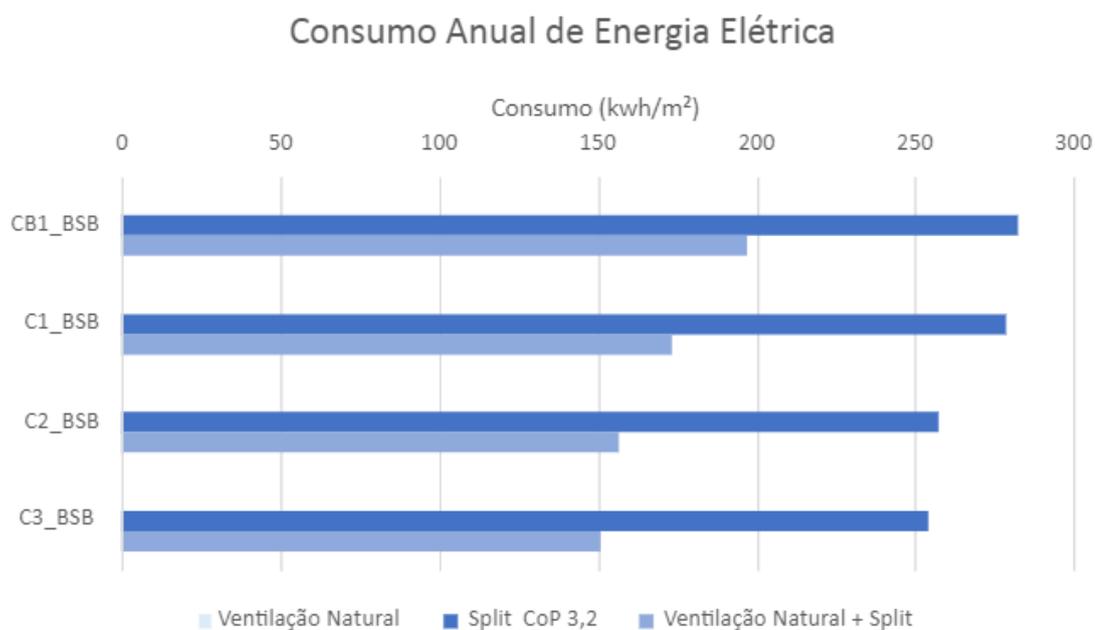
Figura 36: Quadro comparativo de demanda de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes de condicionamentos, Brasília.

**DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA (kwh/m<sup>2</sup>)**

CENÁRIOS	VENTILAÇÃO NATURAL (VN)	SPLIT COP 3,2	VN + SPLIT COP 3,2
CB1_BSB	0	279,95	190,74
C1_BSB	0	278,50	173,03
C2_BSB	0	257,65	156,45
C3_BSB	0	254,14	150,72

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Gráfico 15: Gráfico comparativo de demanda anual de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes de climatização, Brasília.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Nessa segunda etapa de simulações, observa-se que, para o contexto climático de Brasília, a utilização de cobertura com telha sanduíche permite melhor desempenho térmico e energético quando comparada à telha de fibrocimento, especificação do Caso Base. Esse desempenho poderia ser incrementado ao se adicionar as proteções horizontais e verticais às esquadrias envidraçadas.

#### **4.1.3 Considerações sobre as duas fases**

Diferentemente da primeira fase, na qual se observaram patamares adequados de POC e ACH a partir do aumento do PAF, na segunda demonstrou-se a possibilidade de serem obtidos bons resultados apenas com a escolha adequada da cobertura e instalações de proteções solares, sem a necessidade de ampliação das áreas envidraçadas. Demonstrou-se, ainda, possível aumento da eficiência energética ao se adotarem intervenções para melhoria da envoltória (tipo de cobertura e sombreamento das áreas envidraçadas), já que foi possível reduzir os ganhos térmicos através da cobertura.

## **4.2 SALVADOR**

### **4.2.1 Resultados da primeira fase**

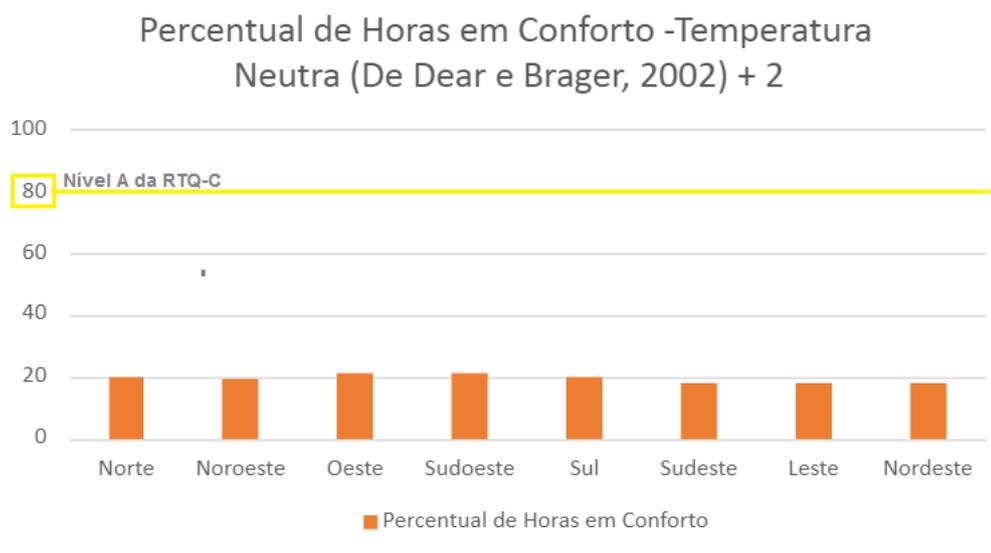
Para essa cidade, apenas nessa primeira fase de simulações, opta-se por simular a área de observação de paciente considerando os demais blocos de edifícios da UPA (Figura 29).

#### **A) Avaliação do Caso Base (CB0)**

Nessa fase, o Caso Base com implantação na direção Norte apresenta um total de 8.750 horas em desconforto térmico (Apêndice 3), ou seja, 0% das horas do ano em conforto. O desconforto térmico para a capital baiana ocorre apenas por calor, pois a temperatura operativa média em todos os meses do ano é superior a 27°C. Considerando-se o modelo adaptativo de De Dear e Brager (2002), com aceitabilidade de + 2°C, o percentual de horas ocupadas em conforto seria de 20%. Esse POC corresponderia ao mais baixo índice de eficiência energética (nível E) do RTQ-C para ambientes ventilados naturalmente.

Ao simular o Caso Base nas oito direções, percebeu-se, no Gráfico 16, que o POC (DE DEAR & BRAGER, 2002) + 2°C varia entre 18% e 21%, com os melhores índices nas orientações Oeste e Sudoeste. Nota-se que essa variação de POC é discreta e que os índices apresentados são inadequados para o nível A do RTQ-C.

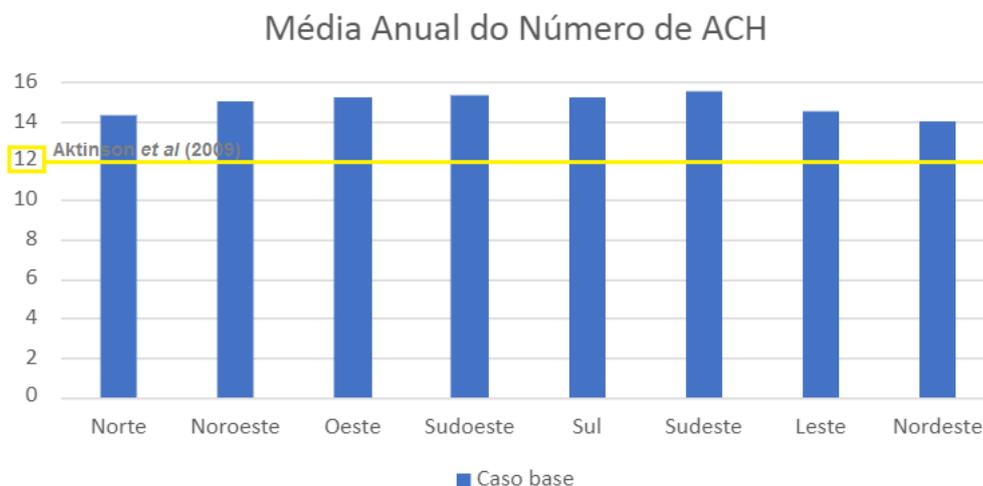
Gráfico 16: Percentual de horas ocupadas em conforto simulados em oito direções diferentes, Salvador.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Em relação ao ACH, constata-se que a direção Sudeste permitiria o maior índice (Gráfico 16). Para esse cenário, os valores médios de renovações do ar são superiores a 12 ACH em todas as orientações (entre 13,99 e 15,5). Esses resultados apresentam índices adequados, que poderiam auxiliar no controle de infecção em ACH (ATKINSON *et al.*, 2009). Apesar desses valores de ACH favorecerem, teoricamente, a qualidade do ar interno do ambiente, eles não promovem o conforto térmico nesse contexto climático.

Gráfico 17: Resultado de ACH do Caso Base para diferentes orientações, Salvador.



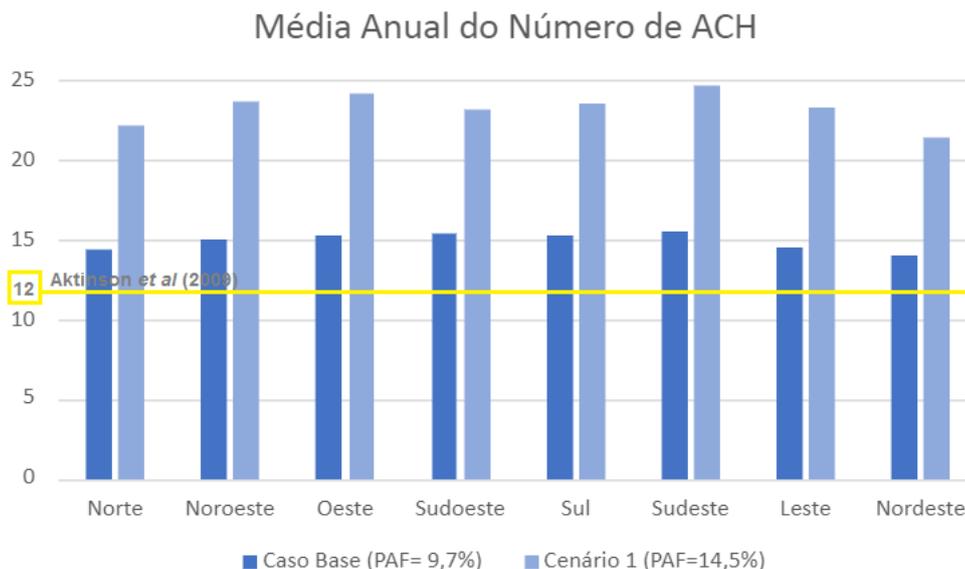
Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Confrontando os resultados do POC e ACH (Gráficos 16 e 17), nota-se que não existe proporcionalidade entre eles. Os resultados das simulações evidenciaram que a orientação Sudeste, embora permita o ACH mais elevado (15,5), apresenta ainda assim o menor POC (18%). A desproporcionalidade entre os resultados também é observada ao se analisar as outras direções. As orientações Leste e Nordeste apresentam os POCs iguais aos da Sudeste; entretanto, demonstram valores inferiores de ACH comparados às outras orientações (14,51 e 13,99 respectivamente).

#### B) Avaliação Cenário 1

Nesse cenário, observa-se que o modelo voltado para Sudeste proporciona 24,72 ACH (Gráfico 18), um aumento de 59,48% em relação ao Caso Base na mesma direção. Observa-se que os aumentos de renovações de ar são percentualmente significativos e ocorrem em todas as direções. A variação que no CB0 é de 13,99 (Nordeste) a 15,5 (Sudeste), nesse cenário 1 é de 21,37 (Nordeste) a 24,72 (Sudeste). Esses resultados se mantêm adequados e em conformidade com o índice de ACH estabelecido por Atkinson *et al.* (2009) para ambientes hospitalares ventilados naturalmente.

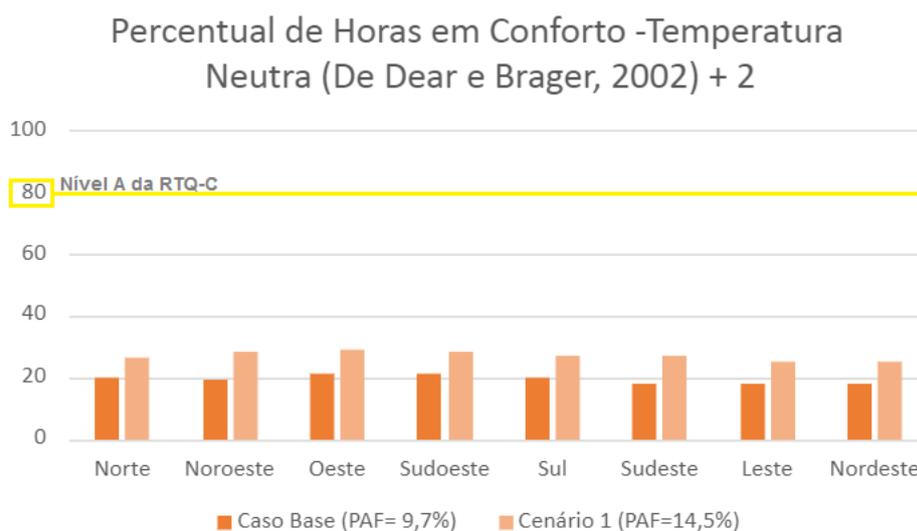
Gráfico 18: Resultados de ACH para os cenários simulados, Salvador.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Com o incremento do PAF de 9,7% para 14,5%, os resultados das simulações mostraram aumento discreto no percentual do conforto na sala de observação (Figura 37), em média de 8% a 10% maior. Os valores dos POCs continuam muito baixos e irrelevantes em relação ao nível A do RTQ-C ( $\geq 80\%$ ).

Gráfico 19: Percentual de horas ocupadas em conforto para os cenários simulados,



Salvador.

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Comparando-se os dois cenários analisados (CB0 e cenário 1) por meio da elevação do PAF, notou-se que a implantação voltada para Sudeste, apesar de não promover o melhor POC entre as demais orientações, ela oferece a maior diferença percentual de melhora do POC (de 18% para 27%) (Figura 37).

Figura 37: Quadro comparativo de POC e ACH entre os dois cenários simulados, Salvador.

 CENÁRIOS (DIREÇÃO SUDESTE)	 POC (%)	 ACH
CASO BASE (PAF 9,7%)	1542 h (18%)	15,5
CENÁRIO 1 (PAF 14,5%)	2400 h (27%)	24,72

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

### C) Discussão da primeira fase

Os resultados das simulações realizadas nos dois cenários demonstraram a melhoria tanto do POC quanto do número de ACH apenas com a ampliação da área para ventilação. Percebeu-se que o POC eleva-se discretamente, mesmo com o aumento do volume de renovações de ar superiores a 50% em todas as direções. Assim, esse volume de renovações de ar contribui apenas de forma discreta para o conforto térmico da sala de observação.

Essa fase evidenciou a importância da orientação na implantação do edifício tanto para o conforto térmico quanto para o aproveitamento da ventilação natural para as renovações de ar.

#### 4.2.2 Resultados da segunda fase

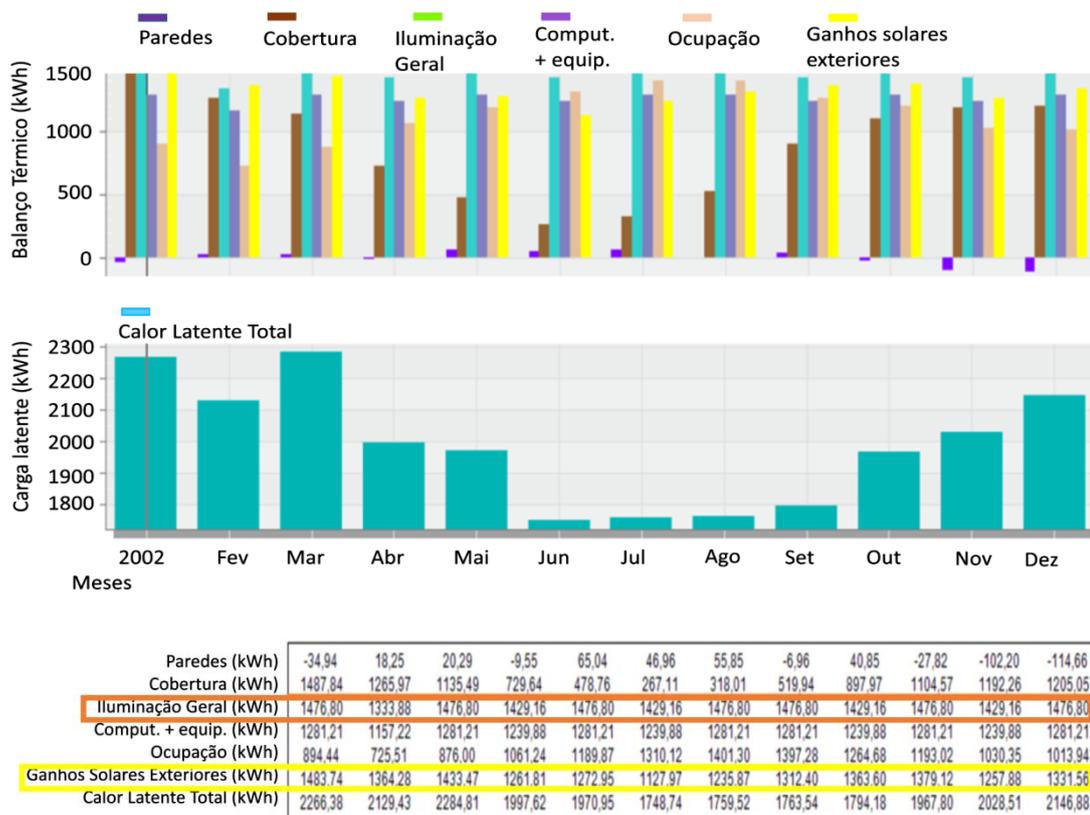
As simulações nessa etapa foram realizadas apenas no setor de observação, sem os demais blocos de serviços em seu entorno. Os dados a seguir apresentados foram analisados a partir do Caso Base nos diferentes cenários (Quadro 3) para

uma possível melhoria do POC, avaliando-se os ganhos térmicos da envoltória e valorando-se a demanda de energia elétrica, sempre para orientação Sudeste, dado que se priorizaram as renovações de ar.

#### A) Avaliação da influência de ganhos térmicos no POC e ACH

Os resultados das simulações deixaram claro que a sala de observação tem os ganhos térmicos fixos elevados, principalmente pela iluminação artificial (11,3 Wm<sup>2</sup>), com ganhos mensais superiores a 1.500 kWh e média anual de 1.656,62 kWh (Figura 38). Analisando-se apenas os ganhos da envoltória, verifica-se que as aberturas envidraçadas são os elementos responsáveis pela maior parcela desses ganhos, média anual de 1.318,72 kWh. A cobertura também tem responsabilidade notável por esses ganhos, média anual de 766,81 kWh. As paredes, por sua vez, demonstram ganhos discretos em 6 meses. Nos demais meses, elas permitem perda de calor para o ambiente externo.

Figura 38: Ganhos térmicos – Área de observação de pacientes, Salvador.



Fonte: Captura de imagem do programa *Design builder* adaptado pela autora (2022).

Assim, essa segunda etapa avança com simulações nos cenários propostos com o sombreamento das áreas envidraças e a mudança de cobertura, conforme procedimento descrito na metodologia (Quadro 3).

Observou-se pelos resultados obtidos que os ganhos térmicos foram reduzidos progressivamente com as melhorias incrementadas a cada cenário (Figura 39), ao mesmo tempo em que os valores de POC foram aumentando. Mesmo demonstrando a influência da redução dos ganhos térmicos da envoltória no percentual de horas ocupadas em conforto, o melhor dos casos ainda seria classificado como nível E do RTQ-C.

Figura 39: Quadro comparativo de Carga Latente Total, POC e ACH entre os quatro cenários simulados, Salvador.

CENÁRIOS	 CARGA LATENTE TOTAL (KWH)	 POC (%)	 ACH
CB1_SSA	1.976,46	1279 h (15%)	15,94
C1_SSA	1.968,34	1369 h (16%)	15,86
C2_SSA	1.934,62	1756 h (20%)	15,75
C3_SSA	1.933,59	1772 h (20%)	15,73
C4_SSA	1.887,20	2082 h (24%)	25,61
C5_SSA	1.853,26	2680 h (30%)	25,46
C6_SSA	1.820,22	2930 h (33%)	25,63

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Os resultados das simulações (Figura 39) indicaram que mudanças na cobertura ou inclusão de sombreamento no Caso Base influíram pouco para horas de conforto (em torno de 5%) e ACH, mantidos em patamar perto de 15 renovações. Não obstante, a ampliação das aberturas sugeriu incremento mais notável nas

renovações de ar, possibilitando a melhora no POC e reduzindo a carga latente total. A partir desse cenário, identifica-se que a introdução apenas da proteção solar horizontal com brises de alfa 80° diminui a carga latente total e o ACH. Já no cenário final (C6\_SSA), com as três intervenções arquitetônicas (ampliação das janelas, brises horizontais e a telha sanduíche), constata-se a melhora do número de ACH em 62,19% e o decréscimo dos ganhos térmicos em relação ao Caso Base, sem passar, contudo, em nenhum caso, de 33% de POC, muito distante do patamar esperado de 80%.

### B) Avaliação da demanda de eletricidade

No que concerne a demanda de energia elétrica, o Caso Base condicionado artificialmente pelo split (COP 3,2) e de forma híbrida apresenta demanda mais baixa do ar condicionado no segundo tipo de climatização (Figura 40).

Figura 40: Detalhamento da demanda de energia elétrica entre os três tipos diferentes de climatização simulados, Salvador.

### CASO BASE - DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA (kwh/m<sup>2</sup>)

ORIGEM	VENTILAÇÃO NATURAL (VN)	SPLIT COP 3,2	VN + SPLIT COP 3,2
ILUMINAÇÃO	76,94	76,94	76,94
EQUIP. / OUTROS	56,63	56,63	56,63
SPLIT CoP 3,2	0	441,62	506,28
TOTAL	133,57	575,19	639,85

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Nota-se nos resultados das simulações do Caso Base com três tipos de climatização (Figura 40) que a demanda total de energia elétrica, caso se utilize apenas a ventilação natural, é três vezes inferior às demandas do split nas outras

duas opções, porém incapaz de promover um POC nos limites recomendados pelo RTQ-C. Observa-se ainda que a demanda com climatização híbrida (506,28 kWh/m<sup>2</sup>) é 8,40% maior que a artificial (441,62 kWh/m<sup>2</sup>). Dessa forma, percebe-se que a ventilação natural possibilitaria ganhos térmicos por convecção que funcionaria como aquecimento do ambiente (LAMBERTS *et al.*, 2016) e retardaria o tempo de resfriamento do ar condicionado, com maior demanda de energia.

Já os resultados das simulações dos diversos cenários com os condicionamentos supracitados estão disponíveis na Figura 41 e no Gráfico 20. Neles, observa-se a atenuação da demanda de energia elétrica em quase todas as modalidades de climatização em relação às propostas de intervenções para a envoltória do Caso Base. No entanto, a climatização artificial e híbrida tem suas demandas de energia elevadas com ampliação das aberturas (C4\_SSA). A partir da associação dessa abertura e da alteração da cobertura (C5\_SSA), essas intervenções permitem maiores reduções de demanda energética em relação ao condicionamento por split ou de forma híbrida do cenário inicial. Essa redução é mais expressiva com as instalações dos dispositivos de sombreamento (C6\_SSA).

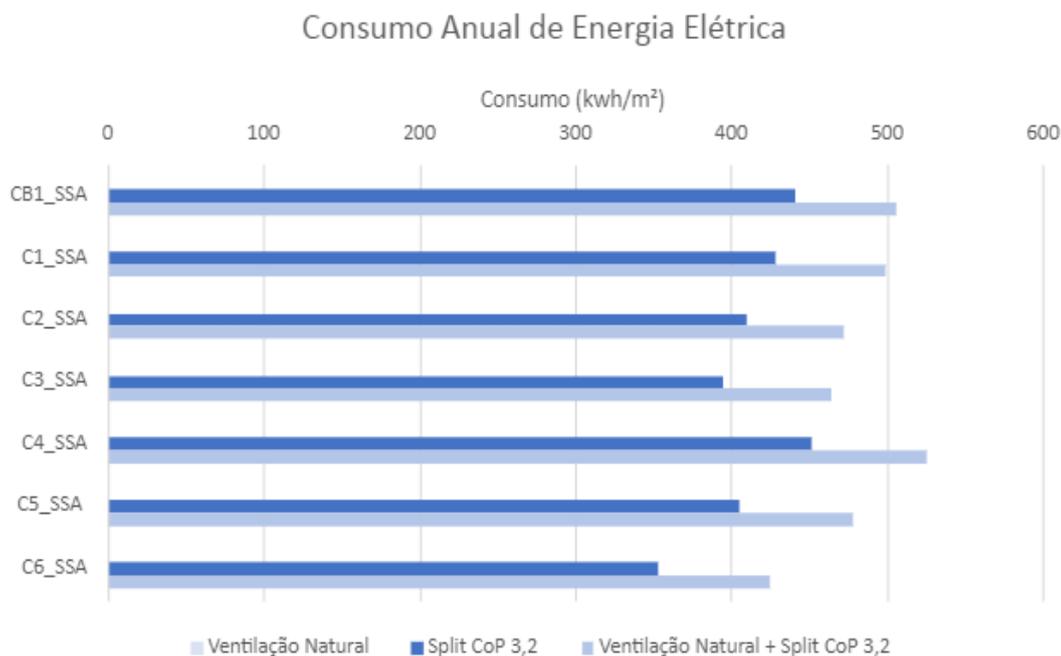
Figura 41: Quadro comparativo de demanda de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes climatização, Salvador.

**DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA (kwh/m<sup>2</sup>)**

 <b>CENÁRIOS</b>	 <b>VENTILAÇÃO NATURAL (VN)</b>	 <b>SPLIT COP 3,2</b>	 <b>VN + SPLIT COP 3,2</b>
CB1_SSA	0	441,62	506,28
C1_SSA	0	427,92	498,66
C2_SSA	0	409,44	472,37
C3_SSA	0	394,46	464,06
C4_SSA	0	451,78	525,96
C5_SSA	0	404,47	478,05
C6_SSA	0	353,29	425,55

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Gráfico 20: Gráfico comparativo de demanda anual de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes climatização, Salvador.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

O cenário C4\_SSA ofereceu a maior demanda de energia quando completamente climatizada por Split (COP 3,2) ou de forma híbrida, observando que a elevação da área envidraçada, sem o sombreamento ou mudança da cobertura, aumenta os ganhos térmicos. O último cenário (C6\_SSA), com as três propostas de alterações para a envoltória, teria, por sua vez, uma demanda mais baixa, 20% e 16% inferior aos piores casos para climatização artificial e híbrida.

A análise segue descartando a demanda de energia elétrica por ventilação natural, pois esse tipo de climatização, mesmo com algumas intervenções na envoltória, mostra-se incapaz de apresentar o POC superior a 80% (RTQ-C) para a cidade de Salvador. Nessa segunda fase de resultado das simulações, são comparados os resultados de demanda de energia primária das simulações do cenário C6\_SSA e do cenário proposto pelo RTQ-C em nível de classificação D de eficiência energética (Figura 42).

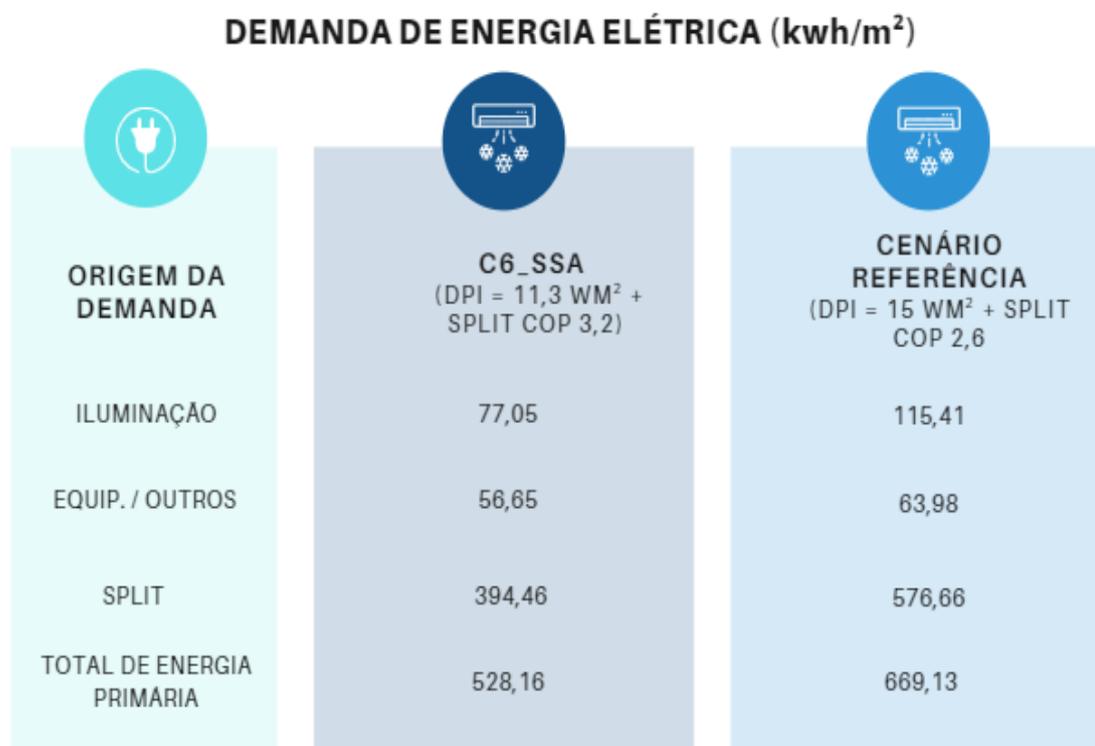
Figura 42: Esquema de cenários simulados para a comparação de demanda de energia primária. C6\_SSA x Cenário Referência (nível D de eficiência energética) (RTQ-C).



Fonte: Autora (2022).

Para verificar o nível de eficiência energética (RTQ-C – BRASIL, 2018) do cenário C6\_SSA, calculou-se o percentual de redução da demanda de energia primária (PRCEP<sub>real-D</sub>) da edificação em sua condição real (CEP<sub>real</sub> – C6\_SSA) e em sua condição de referência (CEP<sub>ref</sub> – Cenário referência), por meio da Equação 2 (descrita no item 3.3.1). A demanda de energia primária referente à simulação do cenário C6\_SSA corresponde a 528,16 kWh/m<sup>2</sup> e o cenário referência, 669,13 kWh/m<sup>2</sup> (Figura 43). Dessa forma, o percentual de redução (PRCEP<sub>real-D</sub>) corresponde a 21,06%.

Figura 43: Resultados das simulações para a demanda de energia primária, cenário C6\_SSA e cenário referência (nível D de eficiência energética) (RTQ-C).



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Em seguida, calculou-se o coeficiente que representa os intervalos entre as classes (“*i*”), em função do coeficiente de redução de consumo de energia primária de classe D para classe A, com base no fator de forma e grupo climático (Salvador encontra-se no grupo 21), que é igual a 0,19. O coeficiente (“*i*”) calculado é igual a 42,37. A partir desse coeficiente, elaborou-se a tabela de classificação de eficiência energética (Figura 44), conforme RTQ-C.

Figura 44: Tabela com intervalos relativos a cada uma das classes de eficiência energética elaborada a partir da tabela de classes de eficiência energética do RTQ-C (BRASIL, 2018).

Classe de Eficiência	A	B	C	D	E
Limite Superior	-	> CEPref - 3i > 669,13 - 127,11 > 542,02	> CEPref - 2i > 669,13 - 84,74 > 584,39	> CEPref - i > 669,13 - 42,37 > 629,75	> CEPref > 669,13
Limite Inferior	< 542,02 kWh/m <sup>2</sup>	< 584,39 kWh/m <sup>2</sup>	< 629,75 kWh/m <sup>2</sup>	< 669,13 kWh/m <sup>2</sup>	-

Fonte: Autora (2022).

Considerando os valores limites encontrados para as classes de eficiência (Figura 44), a demanda de energia primária do cenário C6\_SSA (528,16 kWh/m<sup>2</sup>) encontra-se com classificação A de eficiência energética, visto que é menor que 542,02 kWh/m<sup>2</sup>.

Nessa segunda etapa de simulações, observa-se que a utilização de cobertura com telha sanduíche é a intervenção na envoltória que mais favorece a menor demanda energética no contexto climático de Salvador. A associação dessa intervenção às proteções horizontais e à ampliação das janelas permite mais eficiência energética para a climatização artificial, reduzindo a demanda com climatização em até 20% em relação ao Caso Base. Comparando-se a demanda de energia primária com o edifício referência nível D (RTQ-C), a redução é de 21,06% e a demanda apenas da climatização por split corresponde a 31,59%.

#### **4.2.3 Considerações sobre as duas fases**

A primeira etapa apresenta resultados do POC e ACH para o ambiente ventilado naturalmente. O POC é insatisfatório para os dois cenários simulados, em qualquer direção de implantação, situando-se entre 18% e 21% para o Caso Base (CB0) e entre 25% e 29% para o cenário 1. O ACH, diferentemente do POC, é satisfatório para todos os cenários e orientações. Observa-se que os ventos predominantes em Salvador na orientação Sudeste e a forma alongada do edifício permitem a essa direção o maior volume de renovações de ar.

Mesmo havendo aumento do ACH e melhora do POC com a ampliação das aberturas, a sala de observação nesse contexto climático não permite um conforto térmico adequado quando ventilado naturalmente.

Os resultados da segunda fase sugerem que, mesmo com as intervenções no ambiente em estudo, a ventilação natural é incapaz de apresentar o POC recomendado ( $\geq 80\%$ ) e alcançar níveis altos de eficiência energética do RTQ-C (nível A, POC  $\geq 80\%$ ) no contexto climático de Salvador.

Confrontando os resultados obtidos do Caso Base em relação ao POC (orientação Sudeste) entre a primeira e a segunda etapa, verifica-se que o POC é melhor na primeira fase de simulações. Percebe-se que a existência dos outros

blocos de serviços propostos pelo projeto de referência no entorno do setor de observação interfere diretamente no POC, possivelmente por sombrearem esse ambiente e conseqüentemente elevarem o POC. Nota-se também que o ACH eleva-se de 15,5 para 15,94, demonstrando que os blocos de serviços comportam-se como barreiras discretas para a entrada da ventilação natural no ambiente.

Finamente, observa-se que mesmo com POCs insatisfatórios, a orientação Sudeste é a que mais favorece ao aproveitamento da ventilação natural, com ACH mais elevados. Os resultados baixos de POC sugerem a inevitabilidade da utilização de sistemas de climatização artificial. Nota-se também que ajustes na envoltória para diminuir os ganhos de calor interno parecem ser indispensáveis ao favorecimento de uma demanda mais baixa de energia.

### **4.3 FLORIANÓPOLIS**

#### **4.3.1 Resultados da primeira etapa**

Nessa primeira etapa as simulações são realizadas com os mesmos critérios empregados para o contexto climático de Salvador, considerando a existência dos blocos de serviços no entorno da sala de observação. São avaliadas também as simulações executadas nos dois cenários descritos na metodologia (Quadro 1).

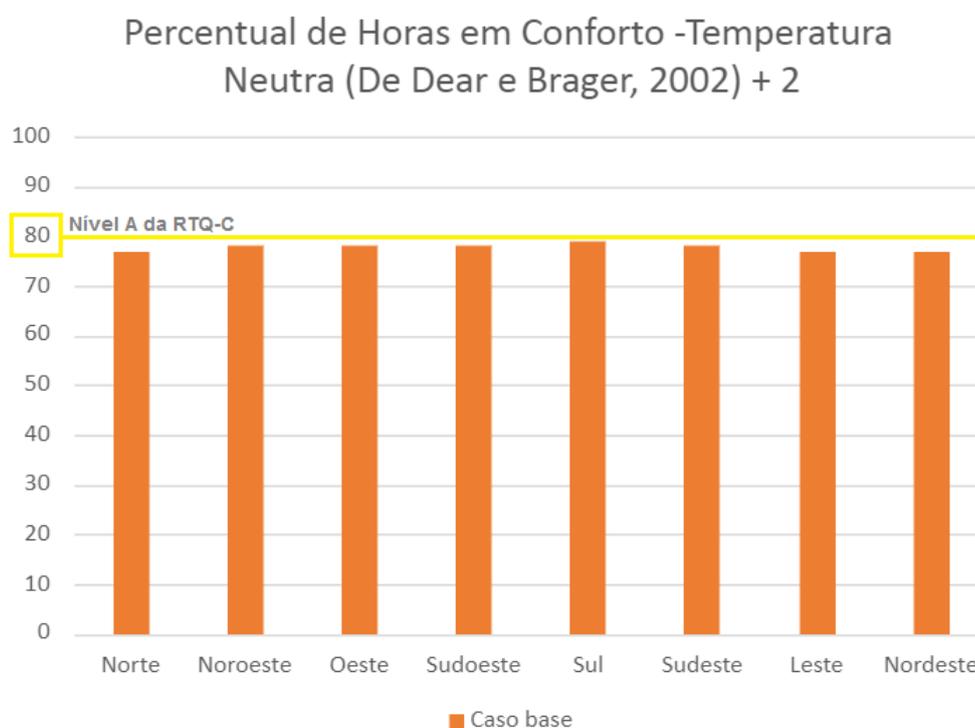
##### **A) Avaliação do Caso Base (CB0)**

No contexto climático de Florianópolis, o Caso Base com implantação na direção Norte apresenta um total de 6.913 horas em desconforto térmico, ou seja, 21% das horas do ano em conforto. O desconforto térmico para Florianópolis ocorre tanto por calor quanto por frio, uma vez que a temperatura operativa média mensal dos meses mais quentes (novembro a abril) varia entre 25,82°C e 28,54°C e nos demais meses, a média mensal encontra-se no intervalo de 22,74°C e 24,5°C (Apêndice 3). O POC pelo modelo adaptativo de De Dear e Brager (2002) + 2°C eleva-se para 77%, nível B do RTQ-C.

O Caso Base simulado nas oito direções apresenta os POC de temperatura neutra variando entre 77 e 79%, com o maior índice na orientação Sul (Gráfico 20).

A diferença dos POCs entre as oito orientações é discreta e próxima ao nível recomendado (RTQ-C).

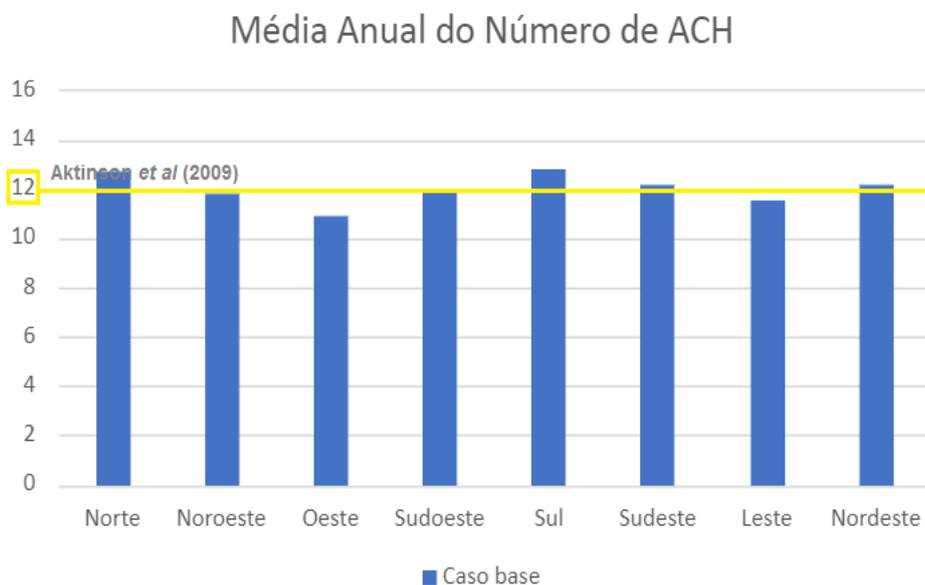
Gráfico 21: Percentual de horas ocupadas em conforto simulados em oito direções diferentes, Florianópolis.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Em relação ao ACH, os resultados das simulações para esse clima demonstram, conforme ilustrado no Gráfico 22, que a orientação Sul apresenta também, assim como na primeira fase, o ACH mais elevado (valor igual a 12,78 ACH) e a Oeste é a menos favorecida (10,88 ACH). A orientação Sul atende, portanto, a recomendação de Atkinson *et al.* (2009).

Gráfico 22: Média anual do número de ACH simulados em oito direções diferentes, Florianópolis.

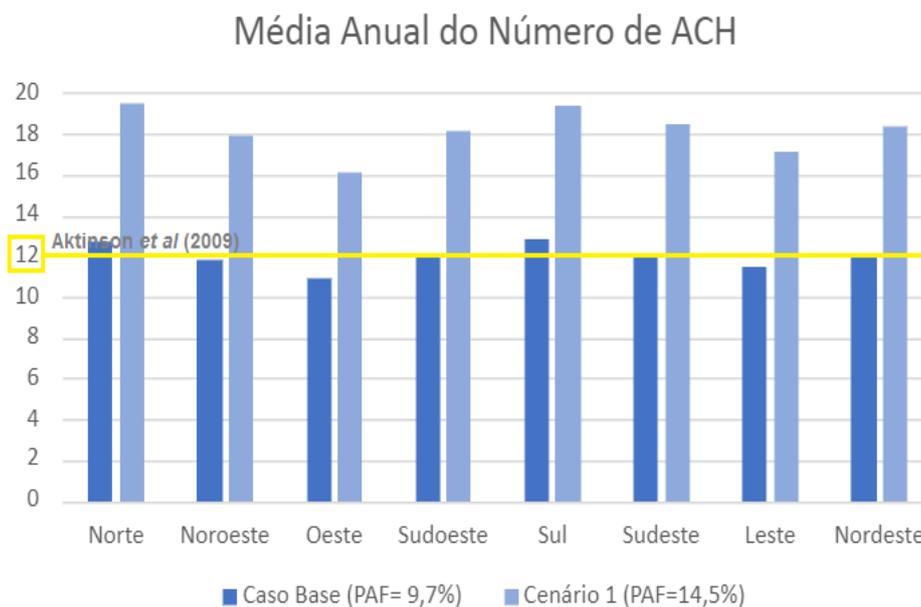


Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder*.

## B) Avaliação Cenário 1

Nesse cenário, a proposta de aumentar o PAF para 14,5% eleva em aproximadamente 50% os números de ACH em todas as direções. A implantação na orientação Sul, por sua vez, prossegue com o melhor aproveitamento da ventilação natural, ampliando de 12,78 para 19,36 ACH (Gráfico 23), mantendo-se no nível recomendado (ATKINSON *et al.*, 2009).

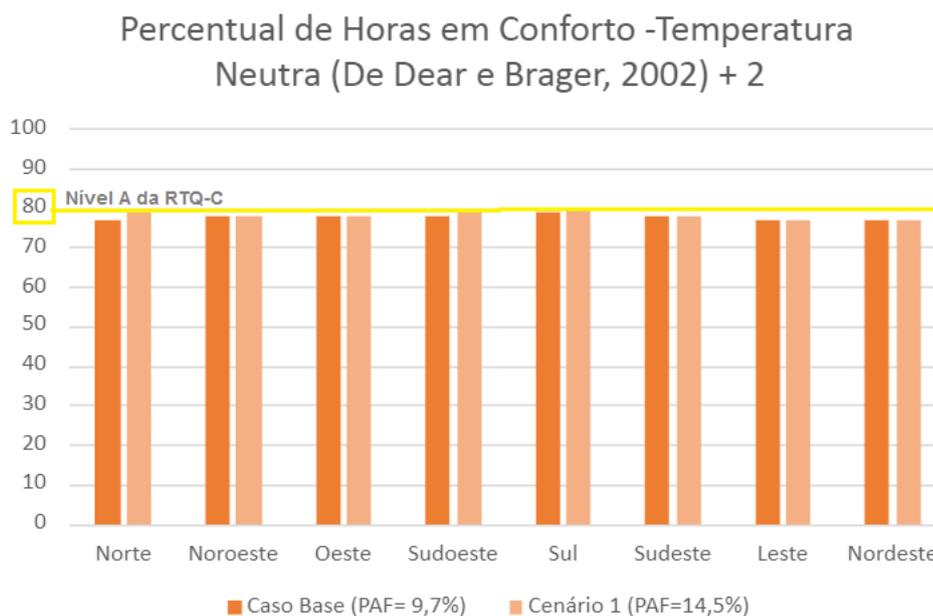
Gráfico 23: Média anual do número de ACH dos cenários simulados, Florianópolis.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Esse aumento superior a 40% do ACH em todas as orientações não é refletido proporcionalmente no POC, pois a melhora do POC é apenas discreta. Comparando-se os dois cenários (CB0 e cenário 1), observa-se a que ampliação do percentual de ocupação em conforto na sala de observação é pequena e em poucas direções. A Sul é a única que alcança o nível recomendado 80% (RTQ-C) (Gráfico 24).

Gráfico 24: Percentual de horas ocupadas em conforto dos cenários simulados, Florianópolis.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

A Figura 45 resume os resultados tanto do POC quanto do ACH para os dois cenários na direção Sul. Apesar de apresentar o aproveitamento da ventilação natural ampliado em 48,51% no cenário 1 na mesma direção, a melhora do POC é discreta, apenas de um ponto percentual.

Figura 45: Quadro comparativo de POC e ACH entre os dois cenários simulados, Florianópolis.

CENÁRIOS (DIREÇÃO SUL)	POC (%)	ACH
CASO BASE (PAF 9,7%)	6955 h (79%)	12,78
CENÁRIO 1 (PAF 14,5%)	8978 h (80%)	19,36

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

### C) Discussão primeira fase

Nessa fase, percebeu-se que o Caso Base demonstra nível aceitável de ACH (orientação Sul com ACH mais elevado nos dois cenários) e potencial de melhora do POC mediante algumas intervenções na envoltória. Não obstante, nota-se que o aumento do PAF já seria suficiente para atingir o nível A de classificação do RTQ-C para POC na orientação Sul (Gráfico 24).

#### **4.3.2 Resultados da segunda etapa**

As simulações nessa segunda etapa foram realizadas apenas no setor de observação, sem os demais blocos de serviços em seu entorno, como descrito na metodologia. Os dados a seguir apresentados foram analisados a partir do Caso Base nos diferentes cenários para uma possível melhoria do POC (Quadro 4), avaliando-se os ganhos térmicos da envoltória e valorando-se o consumo de energia elétrica, sempre para orientação Sul, dado que se priorizaram as renovações de ar.

#### A) Avaliação da influência de ganhos térmicos no POC e ACH

Os resultados dos ganhos térmicos da envoltória no Caso Base mostram que as áreas envidraçadas para o clima de Florianópolis também são os principais elementos responsáveis pela maior parcela desses ganhos, uma média anual de 1.159,53 kWh (Figura 46).

Figura 46: Ganhos térmicos – Área de observação de pacientes, Florianópolis.



Fonte: Captura de imagem do programa *Design builder* adaptado pela autora (2022).

Os dados encontrados na Figura 46 evidenciam que a cobertura com telhas de fibrocimento promove excessivos ganhos térmicos nos meses com temperaturas mais altas (verão e primavera) e perda de calor para o ambiente externo nos meses mais frios (outono e inverno). Demonstram também que as paredes não proporcionam ganhos térmicos durante todo o ano. Dessa forma, como nas demais cidades, a cobertura e o sombreamento das áreas envidraçadas são os principais elementos de intervenções sugeridas para a envoltória.

Os resultados das simulações (Figura 47) indicaram que as reduções das cargas latentes totais refletem-se nos aumentos dos percentuais de horas em conforto em quase todos os cenários, exceto para a cobertura com telha sanduíche. Percebeu-se que esse tipo de cobertura no contexto climático de Florianópolis reduziu discretamente os ganhos térmicos e não alterou o valor do POC. Apesar disso, com o sombreamento das áreas envidraçadas (brises horizontais e verticais), os POC alcançam o nível A do RTQ-C. Apesar de reduzir o número de ACH com a

introdução desses brises, o nível de renovação de ar na sala de observação continua com valores recomendados (ATKINSON *et al.*, 2009).

Figura 47: Quadro comparativo de Carga Latente Total, POC e ACH entre os cenários simulados, Florianópolis.

CENÁRIOS	 CARGA LATENTE TOTAL (KWH)	 POC (%)	 ACH
CB1_FLO	1.377,63	6738 h (77%)	17,03
C1_FLO	1.371,69	6755 h (77%)	17,01
C2_FLO	1.369,63	6927 h (78%)	16,99
C3_FLO	1.362,39	6955 h (79%)	16,83
C4_FLO	1.360,01	7020 h (80%)	16,72
C5_FLO	1.359,14	7023 h (80%)	16,72

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

## B) Avaliação da demanda de eletricidade

No que concerne à demanda de energia elétrica, nota-se nos resultados das simulações do Caso Base, climatizados de três formas diferentes (Figura 48), que o condicionamento somente de forma artificial apresenta maior demanda do ar condicionado que o mesmo aparelho na climatização híbrida. Percebe-se ainda que a demanda total de energia elétrica promovida pela climatização por ventilação natural é quase duas vezes inferior às demandas apenas do split nas outras duas opções de climatização.

Figura 48: Quadro comparativo de Demanda de Energia Elétrica entre os três tipos diferentes de condicionamentos simulados no Caso Base, Florianópolis.

### CASO BASE - DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA (kwh/m<sup>2</sup>)

 ORIGEM	 VENTILAÇÃO NATURAL (VN)	 SPLIT COP 3,2	 VN + SPLIT COP 3,2
ILUMINAÇÃO	76,94	76,94	76,94
EQUIP. / OUTROS	56,63	56,63	56,63
SPLIT CoP 3,2	0	258,10	233,01
TOTAL	133,57	391,67	366,58

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Sobre a demanda de energia elétrica nos demais cenários, a Figura 49 e o Gráfico 25 demonstram a baixa demanda do ambiente climatizado naturalmente ao comparar os mesmos cenários com climatização artificial ou mista. Para esses dois últimos tipos de climatização, percebe-se que o consumo de energia elétrica é reduzido progressivamente ao mudar a cobertura de telha de fibrocimento para telha sanduíche e adicionar as proteções horizontais e verticais (beta 15° e alfa 45). No espaço climatizado de forma híbrida, a redução é 24,21% entre o Caso Base e o cenário final com todas as intervenções arquitetônicas associadas.

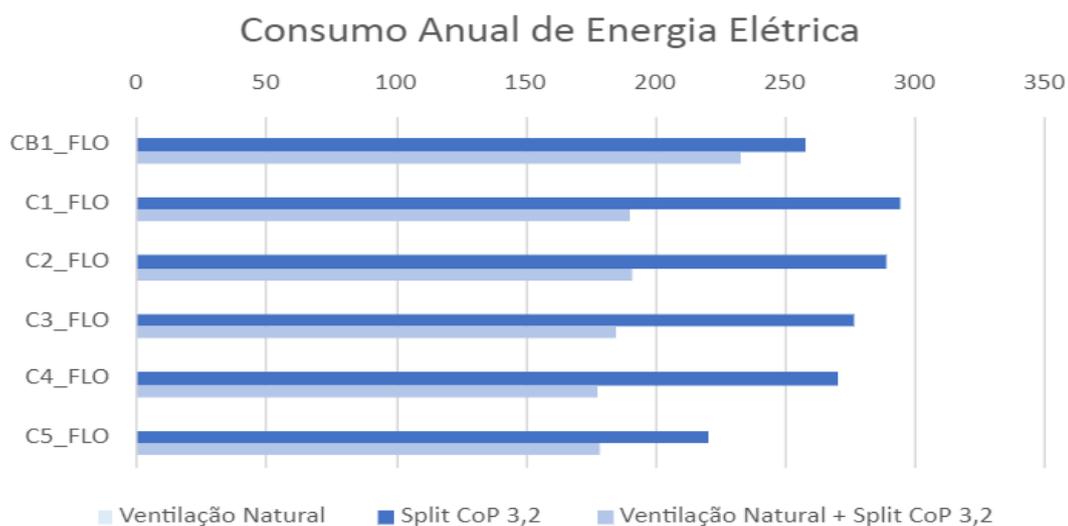
Figura 49: Quadro comparativo de Demanda de Energia Elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes de condicionamentos, Florianópolis.

**DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA (kwh/m<sup>2</sup>)**

CENÁRIOS	VENTILAÇÃO NATURAL (VN)	SPLIT COP 3,2	VN + SPLIT COP 3,2
CB1_FLO	0	258,1	233,01
C1_FLO	0	294,20	190,29
C2_FLO	0	289,04	191,04
C3_FLO	0	276,84	184,93
C4_FLO	0	270,41	178,24
C5_FLO	0	220,73	178,76

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Gráfico 25: Gráfico comparativo de demanda anual de energia elétrica entre os quatro cenários simulados com os três tipos diferentes de climatização, Florianópolis.



Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados extraídos do software *DesignBuilder* (2022).

Nessa fase, nota-se que a ventilação natural nesse contexto climático pode promover sozinha um POC de 80%, nível recomendado (RTQ-C), desde que a envoltória apresente sobreamentos adequados como os sugeridos neste estudo (alfa 45° e beta 15°). Percebe-se ainda que a climatização híbrida é a segunda opção mais eficiente energeticamente.

### **4.3.3 Considerações sobre as duas fases**

Na primeira fase de simulações, os resultados deixam evidente que a orientação sul permite o melhor aproveitamento da ventilação natural e o melhor POC. No entanto, o aumento superior a 40% do ACH, ao ampliar o PAF para 14,5%, não é refletido percentualmente no POC, que nessa direção eleva-se apenas um ponto percentual. Nessa etapa, percebe-se ainda que o Caso Base possibilita nível aceitável de ACH ( $\geq 12$ ) de 12,78 renovações de ar por hora e que tem potencial de melhora do POC (79%) por meio de intervenções na envoltória para alcançar nível recomendado ( $\geq 80\%$ ).

Na segunda fase de simulações, observa-se que, para o contexto climático de Florianópolis, a utilização de telha sanduíche não altera o valor do POC em relação à adoção da telha de fibrocimento. Nota-se que adicionar os brises verticais e horizontais, além de reduzir os ganhos térmicos, permite o desempenho térmico desejável, nível A do RTQ-C.

Comparando-se as duas fases das simulações, nota-se que os blocos de serviços presentes no primeiro ciclo de simulações interferem diretamente no POC e ACH da sala de observação. No Caso Base, no primeiro momento, O POC é de 79%. Na segunda etapa, sem a presença dos blocos de serviços que constam no projeto de referência, o POC cai para 77% e o ACH sobe para de 12,78 para 17,03, o que representa um aumento de quase 25% no ACH. Assim, pode-se concluir que esses outros edifícios podem atuar como sombreamentos de algumas áreas envidraçadas e como barreiras de ventilação para o setor de observação.

#### 4.4 Síntese e Considerações dos Resultados

##### A) POC e ACH

Na primeira fase de simulações, o Caso Base apresentou resultados com índices de ACH superiores a 12 ACH nos três contextos climáticos, nas orientações de implantação que apresentaram o melhor aproveitamento da ventilação natural. Em relação ao POC, as cidades de Brasília e Florianópolis apresentaram POC próximos dos índices adequados ( $\geq 80\%$ ), entre 73% e 76% para a capital federal e entre 77% e 79% para Florianópolis.

A segunda fase de simulações demonstrou que, nos contextos climáticos de Brasília e Florianópolis, a sala de observação, caso se adotem as intervenções arquitetônicas na envoltória sugeridas neste estudo, pode oferecer níveis recomendados de POC ( $\geq 80\%$ ) e ACH ( $> 12$ ). Não obstante, no contexto climático de Salvador, os POC encontram-se no nível mais baixo do RTQ-C ( $< 50\%$ ), entre 15% e 33%, mesmo apresentando os maiores valores de ACH, entre 14,94 e 25,63.

##### B) Ganhos Térmicos

As áreas envidraçadas são os principais elementos responsáveis pela maior parcela dos ganhos térmicos da envoltória nas três cidades. A presença de proteções solares interfere, portanto, diretamente nesses ganhos, e suas instalações proporcionaram o melhor desempenho térmico e energético.

A proposta de mudança da cobertura da telha de fibrocimento ( $U = 2,406 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ ) para a telha sanduíche ( $U = 0,575 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ ) permite redução dos ganhos térmicos nos climas em estudo. Essa redução, porém, não é refletida na melhora do POC para o clima de Florianópolis, diferentemente do que ocorre com os outros dois climas analisados.

Percebe-se ainda a importância dos ganhos térmicos fixos impostos pela tipologia arquitetônica hospitalar nos valores elevados das cargas latentes totais, que interferem no POC e na demanda de energia elétrica. Os principais ganhos térmicos fixos são relacionados à ocupação, aos equipamentos necessários aos

cuidados hospitalares e a iluminação artificial, cujo valor mínimo de densidade de potência de iluminação (DPI) é igual a 11,3 Wm<sup>2</sup>.

### C) Demanda de energia elétrica

Nos três contextos climáticos estudados, observou-se que as intervenções arquitetônicas na envoltória sugeridas neste estudo diminuem os ganhos térmicos da envoltória e permitem menor demanda tanto para a climatização artificial quanto para a híbrida. Essas intervenções interferem discretamente nas taxas de renovações de ar, mantendo os índices adequados – sempre superiores a 15 ACH.

Os resultados sugerem que, nos contextos de Brasília e Florianópolis, a partir de adoção de dispositivos de sombreamento e da substituição da cobertura por telha sanduíche, a sala de observação poderia obter conforto térmico (POCs > 80%) ao ser ventilada naturalmente, podendo descartar a utilização de aparelhos de condicionamento artificial. Para Salvador, entretanto, essa opção não é viável. Para esta cidade, a climatização artificial poderia ser mais eficiente energeticamente ao adotar as intervenções arquitetônicas sugeridas neste estudo, o que reduziria em 20% a demanda de energia elétrica com ar condicionado em relação ao Caso Base. Essas intervenções também permitiriam alcançar o nível A de eficiência energética (RTQ-C), com o percentual de redução de energia primária (PRCEP<sub>real-D</sub>) igual a 21,06%.

### D) Diretrizes de projeto para o projeto de referência das UPAs

Com vistas a melhor promover o desempenho térmico e energético das UPAs, diretrizes de projeto foram definidas com base nas análises e discussões dos resultados supracitados e nos cenários de melhorias propostas para cada cidade.

#### a) Brasília

- Implantação do edifício com aberturas voltadas para a orientação Leste, possibilitando maior aproveitamento da ventilação natural e taxas de ACH com índices adequados;

- Utilização de cobertura com material que apresente baixa transmitância térmica, como a telha sanduíche, reduzindo os ganhos térmicos na envoltória;
- Aplicação de dispositivos de sombreamento horizontais e verticais com ângulos adequados à orientação adotada, a Leste com alfa  $50^\circ$  e beta  $15^\circ$ , reduzindo os ganhos térmicos na envoltória.

b) Salvador

- Implantação do edifício com aberturas voltadas para a orientação Sudeste, possibilitando maior aproveitamento da ventilação natural e taxas de ACH com índices adequados;
- Utilização de cobertura com material que apresente baixa transmitância térmica, como a telha sanduíche, reduzindo os ganhos térmicos na envoltória;
- Aplicação de dispositivos de sombreamento horizontais com ângulos adequados a orientação adotada, a Sudeste com alfa  $80^\circ$ , reduzindo os ganhos térmicos na envoltória.
- Utilização de climatização artificial com COP elevado, igual ou superior a 3,2, permitindo melhor eficiência energética.

c) Florianópolis

- Implantação do edifício com aberturas voltadas para a orientação Sul, possibilitando maior aproveitamento da ventilação natural e taxas de ACH com índices adequados;
- Aplicação de dispositivos de sombreamento horizontais e verticais com ângulos adequados a orientação adotada, a Sul com alfa  $45^\circ$  e beta  $15^\circ$ , reduzindo os ganhos térmicos na envoltória.

## 5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estabelecimentos assistenciais de saúde, além de servirem de local onde se oferece a assistência à saúde dos pacientes, deve apresentar características arquitetônicas que conciliem o conforto ambiental aos usuários com a eficiência energética. A ventilação natural é uma estratégia para a climatização, de forma passiva, que pode promover esses benefícios almejados.

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar, nas dimensões do desempenho térmico e energético, a sala de observação das Unidades de Pronto Atendimento (Porte III, Ministério da Saúde) ventilada naturalmente em três contextos climáticos brasileiros.

Na normatização de arquitetura hospitalar como parâmetro de conforto térmico e eficiência energética em ambientes ventilados naturalmente, foi identificado o índice de POC  $\geq 80\%$ , recomendado pelo RTQ-C. Sobre a ventilação natural, a taxa de renovação de ar adotada foi de  $> 12$  ACH, índice recomendado por Atkinson *et al.* (2009).

As cidades de Brasília, Salvador e Florianópolis foram definidas nesse estudo como representativas da climatologia do Brasil, por serem possuidoras respectivamente dos climas quente-seco, quente-úmido e subtropical.

A partir das diferenças entre os climas analisados, na primeira fase de simulações foi encontrada, para o Caso Base da sala de observação, uma variação de até 58% no percentual de horas ocupadas em conforto, além de uma variação significativa de taxas de renovação de ar – 13,19 em Brasília, 15,5 em Salvador e 12,78 em Florianópolis. O aumento do PAF de 9,7% para 14,5% elevou tanto o POC quanto o ACH em todos os contextos climáticos analisados.

Na segunda fase de simulações, inicialmente foi identificado que a cobertura e as áreas de aberturas envidraçadas eram os itens da envoltória responsáveis pelos maiores ganhos térmicos. O incremento de melhorias arquitetônicas, como a mudança da cobertura e a introdução de dispositivos de sombreamento, reduziram os ganhos térmicos e elevaram o POC.

As renovações de ar promovidas por ventilação natural aumentaram as horas em conforto térmico nos três contextos climáticos. No entanto, nas mesmas condições para Salvador, mesmo com taxas altas de renovação de ar e adoção de

melhorias na envoltória, as intervenções na sala de observação do projeto de referência foram incapazes de elevar o POC a níveis aceitáveis.

No contexto climático de Brasília e Florianópolis, as melhorias na envoltória permitiram que sala de observação ventilada naturalmente alcançasse níveis A de eficiência energética (RTQ-C). Mesmo com a adoção de climatização híbrida, essas melhorias permitiriam uma redução da demanda de energia com o ar condicionado superior a 15% no caso de Brasília e superior a 24% em Florianópolis.

No contexto de Salvador, apesar de as melhorias aplicadas não possibilitarem ao ambiente ventilado de forma natural índices adequados de conforto térmico e eficiência energética, elas permitiram ao ambiente climatizado artificialmente a redução da demanda de energia elétrica, obtendo nível A de eficiência energética (RTQ-C) com o percentual de redução (PRCEP<sub>real-D</sub>) de 21,06%.

Como base nesses resultados, foi possível confirmar que a escolha da orientação para implantação como uma das diretrizes de projeto é essencial ao favorecimento do aproveitamento da ventilação natural. Foi possível também constatar que a escolha da cobertura e de dispositivos de sombreamento adequados ao clima reduz os ganhos térmicos da envoltória e permite mais eficiência energética ao edifício.

Diante do que precede, conclui-se que os projetos de referência para estabelecimentos assistenciais de saúde seriam mais bem aproveitados se eles fossem implantados na orientação que mais favorece ao aproveitamento da ventilação natural e se fossem incrementados com melhorias arquitetônicas conforme a necessidade climática de cada cidade. A adoção dessas diretrizes de projetos reduziria os custos dos cofres públicos com climatização artificial e permitiria aos usuários ambientes mais saudáveis e humanizados.

### **5.1 Limitações da pesquisa**

A pesquisa apresentou algumas limitações, sobretudo relacionadas a aplicação dos procedimentos metodológicos, que poderão ser melhor explorados em trabalhos futuros. Seriam necessárias simulações locais a partir da amostragem resultante da análise de sensibilidade para comparação do percentual de horas ocupadas em conforto, da taxa de renovações de ar e do consumo de energia elétrica.

Para a comparação dos dados de demanda de energia elétrica da sala de observação do projeto de referência estudado, não foram encontrados, na revisão de literatura realizada neste estudo, dados reais de consumo de energia de um ambiente isolado dessa tipologia arquitetônica, mas apenas os dados consolidados de todos os seus ambientes. Para minimizar essa lacuna na disponibilidade de dados comparativos, os cálculos efetuados neste estudo partiram das simulações das demandas do projeto de referência (adotado neste trabalho como o modelo real) e do modelo referência do RTQ-C.

## **5.2 Diretrizes para trabalhos futuros**

Com vistas a complementar a análise efetuada neste trabalho, pesquisas futuras poderão debruçar-se sobre alguns tópicos ainda passíveis de maior aprofundamento, dos quais seguem alguns exemplos:

- Aplicação dos procedimentos metodológicos nos demais setores do projeto de referência das UPAs (Porte III, Ministério da Saúde), em outros projetos de referência para estabelecimentos assistenciais de saúde e em outras zonas bioclimáticas do Brasil;
- Comparação dos valores encontrados com outras cidades que dispõem dos mesmos climas representativos do Brasil abordados nesta pesquisa;
- Aplicação dos procedimentos metodológicos considerando todas as 24 zonas bioclimáticas consideradas no novo zoneamento;
- Comparação do consumo de energia elétrica de um setor de observação real com a demanda de energia do mesmo setor do projeto de referência das UPAs (Porte III, Ministério da Saúde).

## REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15220-1: **Desempenho térmico de edificações, parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15220-3: **Desempenho térmico de edificações, parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 16401: **Instalações de ar-condicionado, sistemas centrais e unitários**. Associação Brasileira de Normas Técnicas 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 16401-2: **Instalações de ar-condicionado, sistemas centrais e unitários parte 2: Parâmetros de conforto térmico**: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 16401-3: **Instalações de ar-condicionado, sistemas centrais e unitários parte 3: Qualidade do ar interior**: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 15575-1: **Edifícios habitacionais – Desempenho - Parte 1. Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas 2013.

\_\_\_\_\_. NBR 7.256: **Tratamento de ar em unidades médicos-assistenciais: procedimento**. NBR 7.256. Rio de Janeiro, 2005, 17 p.

AHMED, Tariq; KUMAR, Prashant; MOTTET, Laetitia. **Natural ventilation in warm climates: The challenges of thermal comfort, heatwave resilience and indoor air quality**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 138, p. 110669, 2021.

AGUIAR, J. R. C. **Desempenho da qualidade do ar em estudos de caso de ambientes hospitalares no contexto climático de Brasília-DF**. 2017. 164 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ALVES, Samara Neta. **A percepção visual como elemento de conforto na arquitetura hospitalar**. 2011. 212 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

AMORIM, Cláudia Naves Davi; BRAGA, Kos Darja. **Métodos e Técnicas para Conforto Ambiental e Reabilitação do Espaço Construído** *in* REABILITA: Registro de Curso de Especialização a Distância. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. 2. ed. Brasília, 2015.

AMORIM, Cláudia Naves Davi; FERNANDES, Júlia Teixeira. **Conforto Ambiental e Eficiência Energética** *in* Tecnologia e Sustentabilidade para a Humanização dos Edifícios de Saúde: registro do curso de capacitação em arquitetura e engenharia aplicado a área de saúde, hemoterapia e hematologia – 2º edição. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

AMERICAN SOCIETY HEATING, AIR-REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. ASHRAE Addenda. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017. Atlanta, 2017.

\_\_\_\_\_. **Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality**. ASHRAE Addenda. ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2019. Atlanta, 2019.

\_\_\_\_\_. **Current/Updated Health Care Facilities Ventilation Controls and Guidelines for Management of Patients with Suspected or Confirmed SARS-CoV-2 (covid-19)**. 2021.

ANVISA, AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **RDC n. 50, de 21 de fevereiro de 2002**. Dispõe sobre o regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais a saúde. Brasília, 2002.

\_\_\_\_\_. **Resolução n° 9, de 16 de janeiro de 2003**. Dispõe sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público e Coletivo. Brasília, 2003.

ARAUJO, Eliete de Pinho. **Infraestrutura Predial in Tecnologia e Sustentabilidade para a Humanização dos Edifícios de Saúde: registro do curso de capacitação em arquitetura e engenharia aplicado a área de saúde, hemoterapia e hematologia – 2° edição**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

ARAUJO, Eliete de Pinho; DANTAS, Maritza Giacomazzi. **Arquitetura hospitalar: a adequação do projeto na fase do estudo preliminar. Universitas: Arquitetura e Comunicação Social**, v. 10, n. 1, 2013.

ARGIRIOU, A. ASIMAKOPOULOS, D.; BALARAS, C.; Et al.. **On the energy consumption and indoor air quality in office and hospital buildings in Athens, Hellas. Energy Conversion and Management**, v. 35, n. 5, p. 385-394, 1994.

ATKINSON, J.; CHARTIER, Y.; PESSOA-SILVA, C.; JENSEN, P.; LI, Y.; SETO, W. **Natural ventilation for infection control in health-care settings**. Geneva: World Health Organization, 2009. 106 p.

AULICIEMS, A. Psycho-Physiological Criteria for Global Thermal Zones of Building Design. **International Journal of Biometeorology**, 1981.

BITENCOURT, F.; COSTEIRA, E. **Arquitetura e Engenharia Hospitalar: planejamento, projetos e perspectivas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2014.

BRAGA, Darja Kos. **Eficiência Energética, Conforto Ambiental e Certificações de Sustentabilidade** *In: REABILITA*: Registro de Curso de Especialização a Distância. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Conforto Ambiental em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde** / Agência Nacional de Vigilância Sanitária. - Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2014. 165 p.

\_\_\_\_\_. **Decreto 4.059 de 19.dez.2001** - Regulamenta a Lei 10.295. de 17 de outubro de 2001b “Lei da Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras Providências. D.O.U., Brasília, DF, 18. out. 2001b.

\_\_\_\_\_. **Lei 10.295, de 17.out.01** - “Lei da Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras Providências. D.O.U., Brasília, DF, 18. out. 2001a.

\_\_\_\_\_.Ministério da Saúde. **Qualificação e sustentabilidade das construções dos estabelecimentos assistenciais de saúde**. Ministério da Saúde, Organização Pan-Americana da Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. **Programa Arquitetônico mínimo do componente Unidade de Pronto Atendimento (UPA 24h), nos Portes I, II E III**. 2020.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Núcleo Técnico da Política Nacional de Humanização. **HumanizaSUS: ambiência** / Ministério da Saúde, Secretaria-Executiva, Núcleo Técnico da Política Nacional de Humanização. – Brasília: Ministério da Saúde, 2004.

\_\_\_\_\_. **Portaria Nº 1.020, de 13 de maio de 2009**. Estabelecem diretrizes para a implantação do componente pré-hospitalar fixo para a organização de redes

locais e regionais de atenção integral às urgências em conformidade com a Política Nacional de Atenção às Urgências, 2009.

\_\_\_\_\_. **Portaria n.º 248, de 10 de julho de 2018.** Consulta Pública: Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA-INMETRO, 2018.

\_\_\_\_\_. **Portaria nº 2.048, de 5 de novembro de 2002.** Aprova o Regulamento Técnico dos Sistemas Estaduais de Urgência e Emergência. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2002.

CAMPELO, Thalita Lellice Moraes. **Ambiência no cuidado integral e humanizado ao recém-nascido hospitalizado:** a importância do projeto arquitetônico com olhar além do espaço físico. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2019.

CAMPOS, Clarissa C.C.. **Eficiência energética em edifícios hospitalares obtida por meio de estratégias passivas:** Estudo da redução do consumo com climatização artificial para arrefecimento do ar em salas de cirurgias. (Dissertação de Mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013.

CARVALHO, Antonio Pedro Alves de. **Introdução à arquitetura hospitalar.** Salvador: Quarteto. FAUFBA, 2014.

CAVALCANTI, Patrícia Biasi et al.. **Recomendações projetuais para dois ambientes de Unidades de Pronto Atendimento (UPAs):** posto de enfermagem e sala de observação e medicação. **Arquitetura Revista**, v. 13, n. 1, p. 21-29, 2017.

CHRISTOPOULOS, Sofia Campos. **Desempenho térmico e eficiência energética em ambiente hospitalar:** estudo de fachada do setor de internação do Hospital do

Coração, localizado na cidade de Maceió. (Dissertação de Mestrado). Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2017.

CONASS, Conselho Nacional de Secretários de Saúde. **Rede de Atenção às Urgências e Emergências**: avaliação da implantação e do desempenho das Unidades de Pronto Atendimento (UPAs). Brasília, 2015.

COSTEIRA, Elza Maria Alves. **Arquitetura hospitalar**: história, evolução e novas visões. **Revista Sustinere**, v. 2, n. 2, p. 57-64, 2014.

\_\_\_\_\_. **A arquitetura hospitalar pós pandemia**: adequando hospitais aos novos tempos. **Revista Sustinere**, v. 9, n. 1, p. 398-404, 2021.

CYGAŃSKA, Małgorzata; KLUDACZ-ALESSANDRI, Magdalena. **Determinants of electrical and thermal energy consumption in hospitals according to climate zones in Poland**. **Energies**, v. 14, n. 22, p. 7585. Olsztyn (Polônia), 2021.

DEBIASI, Rosana. **Análise da estratégia de ventilação híbrida para a redução do consumo de energia elétrica em edificações comerciais para o clima de Florianópolis**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DE DEAR, Richard J.; BRAGER, Gail S. **Conforto térmico em edifícios naturalmente ventilados**: revisões da Norma ASHRAE 55. **Energia e edifícios**, v. 34, n. 6, pág. 549-561, 2002.

DE OLIVEIRA, Saionara Nunes et al.. **Unidade de Pronto Atendimento–UPA 24h: percepção da enfermagem**. **Texto & Contexto Enfermagem**, v. 24, n. 1, p. 238-344, 2015.

DJONGYANG, Noel; TCHINDA, René; NJOMO, Donatien. **Thermal comfort: a review paper**. *Renew Sustain Energy Rev* 2010; 14:2626–40.

DUBEY, Apoorva; KAMAL, Mohammad Arif. **Architecture Engineering and Science Evaluating Energy Efficiency in a Hospital Building with Reference to GRIHA: Case of Trauma Centre at Aligarh, India.** *Architecture Engineering and Science*, v. 3 I2. P. 113-120. Aligarh (Índia), 2022.

BULAKH, Irina et al.. **Is the hospital-park future of the sustainable hospital architecture?.** *In: E3S Web of Conferences.* EDP Sciences, p. 04014. Kyiv (Ucrânia), 2021.

FANGER, P. O. **Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering.** McGraw Hill ed. New York, 1972.

FERNANDES, J. T. **Código de obras e edificações do DF: inserção de conceitos bioclimáticos, conforto térmico e eficiência energética.** 2009. 249 f., il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)-Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

FRANÇA, Tiffany Nicoli Faria Latalisa; DA SILVA, Mario Alves; CARLO, Joyce Correna. **A análise de sensibilidade do POC em edificações naturalmente ventiladas.** *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 91120-91135, 2020.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico.** Ed. Studio Nobel. 7ed. São Paulo. 2006.

GOBBI, M. E.; SANTOS, M.; ROLA, S. **Qualidade do ar e ventilação natural no ambiente hospitalar - o exemplo do edifício Sarah Kubitschek no Rio de Janeiro.** 2019.

GOÉS, Ronald. **Manual Prático de Arquitetura Hospitalar.** São Paulo: Blucher, 2ª edição, 2011.

GIVONI, B. **Man, climate and Architecture.** Amsterdam; London; New York: Elsevier Publishing Company Limited, 1969.

HUMPHREYS, M. Outdoor Temperatures and Comfort Indoors. **Building Research & Information**, v. 6, n. 2, p. 92, 1978.

INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**, INI-C. 2021.

JURADO, S. R.; VIGONETI, M.; BASSLER, T. C.; RIBEIRO, M. C.; SANCHEZ, A.; VALÉRIO. **A Qualidade do ar interior em hospitais, aeronaves, navios de cruzeiros e o risco de transmissão aérea pelo Coronavírus**. Saúde Coletiva (Barueri), [S. l.], v. 10, n. 53, p. 2376-2393, 2020. DOI: 10.36489/saudecoletiva.2020v10i53p2376-2393. Disponível em: <http://www.revistas.mpmcomunicacao.com.br/index.php/saudecoletiva/article/view/575>. Acesso em: 1 set. 2020.

KONDER, Mariana Teixeira; O'DWYER, Gisele. **As unidades de pronto-atendimento na Política Nacional de Atenção às Urgências**. **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, v. 25, p. 525-545, 2015.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando OR. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª Edição. São Paulo: PW. São Paulo, 2014.

LAMBERTS, Roberto *et al.*. **Regulamentação de etiquetagem voluntária de nível de eficiência de edifícios comerciais e público**. 11º Congresso Brasileiro de Ciências Térmicas e Engenharia, 5 a 8 de dez. Curitiba, 2006.

\_\_\_\_\_. **Desempenho Térmico de Edificações**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), apostila da disciplina ECV 5161 - Desempenho Térmico de Edificações - do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.

LIMA, João Filgueiras. **O que é ser arquiteto: memórias profissionais de Lelé** (João Filgueiras Lima). Depoimento a Cynara Menezes. Rio de Janeiro, Record, 2004, p. 50.

LIMA, R. R. B.; LIMA, E. A. DE; BRAGA, D. K. **Análise dos parâmetros de conforto ambiental: estudo de caso na unidade de pronto atendimento de Samambaia no Distrito Federal.** In: **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, v. 14, n. 14, 11, 2015.

LOPES, Adriano Felipe Oliveira. **Da Simulação ao Projeto: Avaliação de conforto térmico em ambiente escolar padronizado.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

LUCAS, Christine P. **Análise bioclimática de conjunto arquitetônico moderno de valor cultural:** a Faculdade de Educação da Universidade de Brasília. 2017. 178 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)—Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

LUKIANCHUKI, Mariele A. **A evolução das estratégias de conforto térmico e ventilação natural na obra de João Filgueiras Lima, Lelé:** hospitais Sarah de Salvador e do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. 2010. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.

MACIEL, Alexandra Albuquerque. **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de Caso em Edifício de Escritórios.** (Dissertação de Mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

MENEZES, Simone Alves Prado. **Qualidade do ambiente construído: o caso da UPA Samambaia.** Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UNB, Brasília, 2012.

MIQUELIN, Lauro Carlos. **Anatomia do edifício hospitalar.** São Paulo: Cedas, 1992.

MORAIS, Joana Darc Medeiros de. **Análise exploratória de diferenças de conforto térmico entre dois padrões de ocupação urbana representados por ocupação espontânea e por ocupação planejada.** (Dissertação de Mestrado). Salvador: Universidade Federal da Bahia (UFBA), 2011.

MOURSHED, M.; ZHAO, Y. **Healthcare providers' perception of design factors relates to physical environments in hospitals.** *Journal of Environmental Psychology*, 32(4):362-370, 2012.

NERY, Jussana; ANDRADE, Telma; MOURA, Tereza. **Conforto térmico em Salvador: o índice PET e sua abordagem projetual.** *Revista de Urbanismo e Arquitetura*, v. 7, n. 1, 2006.

NICOL, J. F.; HUMPHREYS, M. A. Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. *Energy and Buildings*, v. 34, n. 6, p. 563-572, jul. 2002.

NINOMURA, Paul et al.. **ASHRAE SSPC 170 Natural Ventilation Task Group: Position Paper on Natural Ventilation in Health Care Facilities.** *ASHRAE Transactions*, v. 123, 2017.

O'DWYER, Gisele et al.. **O processo de implantação das unidades de pronto atendimento no Brasil.** *Revista de Saúde Pública*, v. 51, p. 125, 2017.

OLIVEIRA, Ana Luiza Alves de. **Avaliação das condições de desempenho acústico, lumínico e térmico em edificações de porte monumental:** um estudo de caso da Biblioteca Central e do Restaurante Universitário da Universidade de Brasília. (Dissertação de Mestrado). Brasília: Universidade de Brasília, 2016.

OMS, ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **10 global health issues to track in 2021.** Disponível em: <https://www.who.int/news-room/spotlight/10-global-health-issues-to-track-in-2021>. Acesso em: 23 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. **Ensuring a safe environment for patients and staff in covid-19 health-care facilities:** a module from the suite of health service capacity assessments in the context of the covid-19 pandemic. 2020b.

PEREIRA, Iraci Miranda; ASSIS, Eleonora Sad de. Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, v. 10, p. 31-51, 2010.

QUADROS, M. E. **Qualidade do ar em ambientes internos hospitalares:** parâmetros físico-químicos e microbiológicos. 2008. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

QUADROS, Bianca Milani de *et al.* **Ventilação natural para o conforto térmico e renovação do ar em ambientes de internação hospitalar.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

QUADROS, Bianca Milani de; MIZGIER, Martin Ordenes. **Conforto térmico em ambientes de internação hospitalar naturalmente ventilados.** **Ambiente Construído**, v. 20, n. 2, p. 113-134, 2020.

ROMERO, Marta A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano.** 2000. 1ª Edição. São Paulo: Editora CopyMarket.com. São Paulo, 2000.

\_\_\_\_\_. **Arquitetura do lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília.** 2011. 1ª Edição. São Paulo: Nova Técnica editorial. São Paulo, 2011.

\_\_\_\_\_. **Estratégias Bioclimáticas de Reabilitação Ambiental Adaptadas ao Projeto** in REABILITA: Registro de Curso de Especialização a Distância. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

ROMERO, M.; SOUZA, V. **Construindo um Sistema de Indicadores de Sustentabilidade Intra-urbano Associados à Ventilação nos Espaços Públicos**. Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo / Revista do Programa de Pós-Graduação da FAU-UnB. Ano 6, n. 4 (novembro/2007). P. 81-94. 2007.

ROMERO, M. A. B.; FERNANDES, J. T. **Sustentabilidade dos Edifícios de Saúde** *In*: Tecnologia e Sustentabilidade para a Humanização dos Edifícios de Saúde: registro do curso de capacitação em arquitetura e engenharia aplicada a área de saúde, hemoterapia e hematologia – 2ª edição. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2016.

RUPP, Ricardo Forgiarini et al.. **Conforto térmico humano em edificações de escritórios localizadas no clima subtropical úmido de Florianópolis/SC**. Florianópolis, 2018.

SALES, G. L. **Diagrama de ventilação natural**: ferramenta de análise do potencial da ventilação natural no estudo preliminar de projeto. 2016. 217 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SAMPAIO, Virgínia. **Arquitetura hospitalar**: projetos ambientalmente sustentáveis, conforto e qualidade. *Proposta de um instrumento de avaliação*. (Tese de Doutorado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.

SANCHO, Thaís Aurora Vilela *et al.*. **Potencial de aproveitamento da ventilação natural em unidades de pronto atendimento (UPA) no pós-pandemia**. *In*: **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, 2021a.

\_\_\_\_\_. **Análise da ventilação natural e da Qualidade do Ar Interno**: Hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte. Copyright (c) 2021 Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo (LaSUS FAU), p. 206, 2021b.

SANCHO, Thaís Aurora Vilela; TEIXEIRA, Éderson . **Estratégias bioclimáticas que influenciam no conforto térmico: os Hospitais Sarah Brasília e Sarah Lago Norte.** *In: Arquitetura e urbanismo: Patrimônio, sustentabilidade e tecnologia* 3. 1ed. Ponta Grossa - PR: Atena Editora, 2021, v. , p. 14-33.

SILVA, A.H.P. **Eficiência Energética em Edifícios Assistenciais de Saúde e o uso dos Projetos de Referência para Unidades de Pronto Atendimento.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Maceió, Universidade Federal de Alagoas (UFAL). 2019.

SILVA, Jessica Silva da; DO ESPÍRITO SANTO, Eniel; OLIVEIRA, Tarcio de Almeida. **Distribuição das Unidades de Pronto Atendimento (UPA), na região nordeste do Brasil.** *In: Revista Saúde e Desenvolvimento*, v. 11, n. 9, p. 123-142, 2017.

SUNDELL, Jan. **On the history of indoor air quality and health.** *Indoor air*, v. 14, n. s 7, p. 51-58, 2004.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. **Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals.** *In: Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 33, p. 224-235, 2014.

TOLEDO, Luiz Carlos. **Feitos para curar: arquitetura hospitalar e processo projetual no Brasl.** Rio de Janeiro: ABDEH, 2006.

VIANNA, Luciana de Medeiros; BRUZSTYN, Ivani; SANTOS, Mauro. **Ambientes de saúde: o estado da arte da arquitetura hospitalar frente aos desafios contemporâneos.** *Cad. saúde colet.,(Rio J.)*, p. 7-20, 2008.

WEBER, F. S.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; GUTHS, S.; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades**

**térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus. p. 52, 2017.**

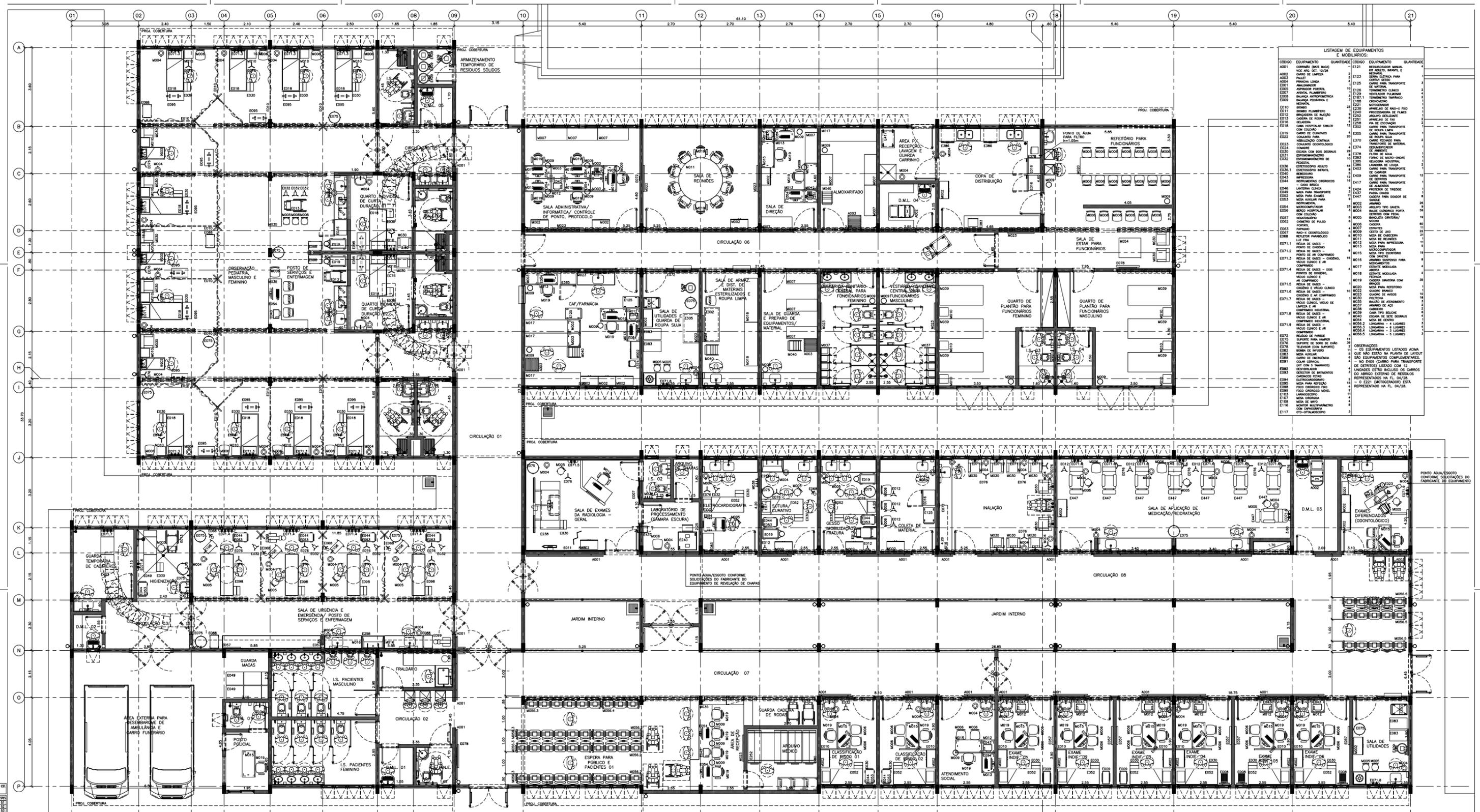
WILLIAM, Micheal A. et al.. **Assessing the Energy Efficiency improvement for hospitals in Egypt using building simulation modeling. ERJ. In: Engineering Research Journal**, v. 42, n. 1, p. 21-34. Alexandria (Egito), 2019.

WILLIAM, Micheal A. et al.. **Energy-efficient retrofitting strategies for healthcare facilities in hot-humid climate: Parametric and economical analysis. In: Alexandria Engineering Journal**, v. 59, n. 6, p. 4549-4562. Alexandria (Egito), 2020.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.**

## **ANEXO 1**

Planta de *layout* da UPA Porte III disponibilizada pelo Ministério da Saúde.



CODIGO	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	CODIGO	EQUIPAMENTO	QUANTIDADE
E001	COMODA (V. 440)	1	E121	RETRICADOR PARA	1
E002	V. 102 - 12/28	1	E122	RETRICADOR PARA	1
E003	CADEIRA	4	E123	SENA ELTRICA PARA	1
E004	CADEIRA	2	E124	SENA ELTRICA PARA	1
E005	AMALGAMADOR	10	E125	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E006	APARADOR DENTAL	10	E126	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E007	AVANÇ. PLUMBERO	10	E127	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E008	BALANCA ANTROPOMETRICA	10	E128	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E009	BALANCA PEDIATRICA E	10	E129	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E010	RECORNER	10	E130	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E011	BOBINA PLUMBERO	25	E131	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E012	PRATELEIRO DE AQUEC.	10	E132	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E013	CADEIRA DE RODAS	4	E133	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E014	CADEIRA	10	E134	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E015	CADEIRA HOSPITALAR	10	E135	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E016	CADEIRA	10	E136	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E017	CADEIRA	10	E137	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E018	CADEIRA	10	E138	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E019	CADEIRA	10	E139	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E020	CADEIRA	10	E140	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E021	CADEIRA	10	E141	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E022	CADEIRA	10	E142	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E023	CADEIRA	10	E143	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E024	CADEIRA	10	E144	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E025	CADEIRA	10	E145	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E026	CADEIRA	10	E146	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E027	CADEIRA	10	E147	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E028	CADEIRA	10	E148	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E029	CADEIRA	10	E149	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E030	CADEIRA	10	E150	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E031	CADEIRA	10	E151	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E032	CADEIRA	10	E152	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E033	CADEIRA	10	E153	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E034	CADEIRA	10	E154	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E035	CADEIRA	10	E155	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E036	CADEIRA	10	E156	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E037	CADEIRA	10	E157	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E038	CADEIRA	10	E158	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E039	CADEIRA	10	E159	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E040	CADEIRA	10	E160	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E041	CADEIRA	10	E161	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E042	CADEIRA	10	E162	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E043	CADEIRA	10	E163	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E044	CADEIRA	10	E164	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E045	CADEIRA	10	E165	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E046	CADEIRA	10	E166	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E047	CADEIRA	10	E167	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E048	CADEIRA	10	E168	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E049	CADEIRA	10	E169	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E050	CADEIRA	10	E170	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E051	CADEIRA	10	E171	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E052	CADEIRA	10	E172	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E053	CADEIRA	10	E173	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E054	CADEIRA	10	E174	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E055	CADEIRA	10	E175	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E056	CADEIRA	10	E176	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E057	CADEIRA	10	E177	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E058	CADEIRA	10	E178	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E059	CADEIRA	10	E179	VEICULO PARA TRANSPORTE	3
E060	CADEIRA	10	E180	VEICULO PARA TRANSPORTE	3

01 UNIDADE DE PRONTO ATENDIMENTO - PORTE 3  
LAYOUT  
ESCALA: 1:50

**20 ANOS UPA24h**  
UNIDADE DE PRONTO ATENDIMENTO

OBSERVAÇÕES:  
1- CONFIRMAR MEDIDAS NO LOCAL.  
2- MEDIDAS EM METROS.

**VERON**  
ARQUITETURA ASSOCIADOS  
RUA...  
TEL: ...  
SITIO: ...

MINISTÉRIO DA SAÚDE  
ESPAÇO DE SAÚDE, BLOCO "D", SALA 339-A, 3ª ANDAR - ED. ANGIO  
BRASÍLIA - DF  
UNIDADE DE PRONTO ATENDIMENTO - PORTE 3  
LAYOUT

## APÊNDICE 1

### Configurações das abas do *DesignBuilder*

#### 1. ACTIVITY

Brasília, UPA Referência, Observação, Área Pac. Observ.

Layout Activity Construction Openings Lighting HVAC Miscellaneous CFD

Activity Template

**Template** **Generic Ward**

Sector C2 Residential Institutions - Hospitals and Care Homes

Zone type 1-Standard

Zone multiplier 1

Include zone in thermal calculations

Include zone in Radiance daylighting calculations

Floor Areas and Volumes

Occupancy

Occupied?

Occupancy density (people/m2) 0,1752

Schedule Hosp\_WardPatients\_Occ

Metabolic

Activity Standing/walking

Factor (Men=1.00, Women=0.85, Children=0.75) 0,90

CO2 generation rate (m3/s-W) 0,0000000382

Clothing

Clothing schedule definition 1-Generic summer and winter clothing

Winter clothing (clo) 0,90

Summer clothing (clo) 0,50

Comfort Radiant Temperature Weighting

Air Velocity

Contaminant Generation and Removal

DHW

Environmental Control

Heating Setpoint Temperatures

Heating (°C) 22,0

Heating set back (°C) 12,0

Cooling Setpoint Temperatures

Cooling (°C) 24,0

Cooling set back (°C) 28,0

Humidity Control

Ventilation Setpoint Temperatures

Natural Ventilation

Indoor min temperature control

Min temperature definition 1-By value

Min temperature (°C) 24,0

Indoor max temperature control

Minimum Fresh Air

Fresh air (l/s-person) 17,400

Mech vent per area (l/s-m2) 0,000

Lighting

Computers	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Power density (W/m2)	0,00
 Schedule	Hosp_WardPatients_Equip
Radiant fraction	0,200
Office Equipment	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Power density (W/m2)	12,85
 Schedule	Hosp_WardPatients_Equip
Radiant fraction	0,200
Miscellaneous	
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Power density (W/m2)	0,00
 Schedule	Hosp_WardPatients_Equip
Fuel	1-Electricity from grid
Fraction lost	0,000000
Latent fraction	0,000000
Radiant fraction	0,200000
Catering	
 Process	

[Edit](#)
[Visualise](#)
[Heating design](#)
[Cooling design](#)
[Simulation](#)
[CFD](#)
[Daylighting](#)
[Cost and Carbon](#)

## 2. CONSTRUCTION

Brasília, UPA Referência, Observação, Área Pac. Observ.

Layout Activity **Construction** Openings Lighting HVAC Miscellaneous CFD

Construction Template

Template Project construction template

Construction

External walls Parede externa - Bloco Cerâmico 8 furos (9x19x19 cm)

Below grade walls Project below grade wall

Flat roof Laje pré-moldada

**Pitched roof (occupied)** **Telha Fibrocimento + laje maciça 10 cm**

Semi-Exposed

Semi-exposed ceiling Project semi-exposed ceiling

Semi-exposed floor Project semi-exposed floor

Floors

Ground floor Project ground floor

External floor Project external floor

Internal floor Piso Cerâmico Interno

Sub-Surfaces >>

Internal Thermal Mass >>

Geometry, Areas and Volumes >>

Surface Convection >>

Linear Thermal Bridging at Junctions >>

Airtightness

Model infiltration

Constant rate (ac/h) 10,000

Schedule On 24/7

Delta T and Wind Speed Coefficients >>

Crack template

Very poor Poor Medium Good Excellent

Cost >>

## a) Telha de Fibrocimento

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
<b>General</b>					
Name	Telha Fibrocimento + laje maciça 10 cm				
Source					
Category	Roofs				
Region	General				
Colour					
<b>Definition</b>					
Definition method	1-Layers				
<b>Calculation Settings</b>					
<b>Layers</b>					
Number of layers	3				
<b>Outermost layer</b>					
Material	Fibrocimento				
Thickness (m)	0,0080				
Bridged?	<input type="checkbox"/>				
<b>Layer 2</b>					
Material	Câmara de ar_laje				
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0,2500				
<b>Innermost layer</b>					
Material	Concreto				
Thickness (m)	0,1000				
Bridged?	<input type="checkbox"/>				

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
<b>Inner surface</b>					
Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	4,460				
Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	5,540				
Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W)	0,100				
<b>Outer surface</b>					
Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	19,870				
Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)	5,130				
Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W)	0,040				
<b>No Bridging</b>					
U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K)	3,629				
R-Value (m <sup>2</sup> -K/W)	0,416				
<b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>2,406</b>				
<b>With Bridging (BS EN ISO 6946)</b>					
Thickness (m)	0,3580				
Km - Internal heat capacity (KJ/m <sup>2</sup> -K)	220,0000				
Upper resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W)	0,416				
Lower resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W)	0,416				
U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K)	3,629				
R-Value (m <sup>2</sup> -K/W)	0,416				
<b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K)</b>	<b>2,406</b>				

## b) Telha Sanduíche

Constructions					
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
<b>General</b>					
<b>Name</b>	Telha Sanduíche + laje maciça 10 cm				
Source					
Category					Roofs
Region					General
Colour					
<b>Definition</b>					
Definition method	1-Layers				
<b>Calculation Settings</b>					
<b>Layers</b>					
Number of layers	3				
<b>Outermost layer</b>					
Material	Telha Sanduíche (PU)				
Thickness (m)	0,0420				
<input type="checkbox"/> Bridged?					
<b>Layer 2</b>					
Material	Câmara de ar_laje				
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0,2500				
<b>Innermost layer</b>					
Material	Concreto				
Thickness (m)	0,1000				
<input type="checkbox"/> Bridged?					

General					
<b>Telha Sanduíche (PU)</b>					
Source					
Category	Concretes				
 Region	General				
<b>Material Layer Thickness</b>					
Force thickness	No				
<b>Thermal Properties</b>					
Detailed properties	Yes				
<b>Thermal Bulk Properties</b>					
Conductivity (W/m-K)	0,0315				
Specific Heat (J/kg-K)	1670,00				
Density (kg/m <sup>3</sup> )	136,00				
Resistance (R-value)	No				
<b>Vapour Resistance</b>					
Vapour resistance definition	1-Factor				
Vapour factor	150				
Vapour resistivity (MNs/g.m)	10				
<b>Moisture Transfer</b>					
Include moisture transfer sett...	No				
<b>Surface Properties</b>					
Thermal absorptance (emis...	0,9000000				
Solar absorptance	0,700				
Visible absorptance	0,700				
Layers	Surface properties	Image	Calculated	Cost	Condensation analysis
<b>Inner surface</b>					
Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)					4,460
Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)					5,540
Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W)					0,100
<b>Outer surface</b>					
Convective heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)					19,870
Radiative heat transfer coefficient (W/m <sup>2</sup> -K)					5,130
Surface resistance (m <sup>2</sup> -K/W)					0,040
<b>No Bridging</b>					
U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K)					0,625
R-Value (m <sup>2</sup> -K/W)					1,740
<b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K)</b>					<b>0,575</b>
<b>With Bridging (BS EN ISO 6946)</b>					
Thickness (m)					0,3920
Km - Internal heat capacity (KJ/m <sup>2</sup> -K)					220,0000
Upper resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W)					1,740
Lower resistance limit (m <sup>2</sup> -K/W)					1,740
U-Value surface to surface (W/m <sup>2</sup> -K)					0,625
R-Value (m <sup>2</sup> -K/W)					1,740
<b>U-Value (W/m<sup>2</sup>-K)</b>					<b>0,575</b>

### 3. OPENINGS

Brasília, UPA Referência, Observação, Área Pac. Observ.

Layout Activity Construction Openings Lighting HVAC Miscellaneous CFD

Glazing Template

Template Project glazing template

External Windows

Glazing type Sgl Clr 6mm

**Layout Fixed height 1.5m, 30% glazed**

Dimensions >>

Frame and Dividers >>

Shading

Window shading

Local shading

Airflow Control Windows >>

Operation

Schedule definition 2-Custom schedule

Operation schedule Hosp\_WardPatients\_Occ

Free Aperture

Opening position 1-Top

% Glazing area opens 50,0

Discharge coefficient 0,6500

Internal Windows >>

Sloped Roof Windows/Skylights >>

Doors >>

Vents >>

### 4. LIGHTING

Brasília, UPA Referência, Observação, Área Pac. Observ.

Layout Activity Construction Openings Lighting HVAC Miscellaneous CFD

Lighting Template

**Template LED**

General Lighting

On

**Normalised power density (W/m2-100 lux) 11.3000**

Schedule Hosp\_WardPatients\_Light

Luminaire type 1-Suspended

Return air fraction 0,000

Radiant fraction 0,420

Visible fraction 0,180

Convective fraction 0,400

Lighting Control

On

Task and Display Lighting

On

Cost >>

## 5. HVAC

## a) NATURAL VENTILATION

Brasília, UPA Referência, Observação, Area Pac. Observ.

Layout Activity Construction Openings Lighting HVAC Miscellaneous CFD

HVAC Template

Template Natural ventilation - No Heating/Cooling

Mechanical Ventilation

On

Auxiliary Energy

Pump etc energy (W/m2) 0.0000

Schedule Hosp\_WardPatients\_Occ

Heating

Heated

Cooling

Cooled

Humidity Control

DHW

On

Natural Ventilation

On

Outside air definition method 1-By zone

Outside air (ac/h) 5,000

Operation

Schedule Hosp\_WardPatients\_Occ

Outdoor Temperature Limits

Delta T Limits

Delta T and Wind Speed Coefficients

Options

Mixed Mode Zone Equipment

Mixed mode on

Air Temperature Distribution

Cost

## b) SPLIT

HVAC Template		<<
Template	Split no fresh air	
Mechanical Ventilation		<<
<input type="checkbox"/> On		
Auxiliary Energy		<<
Pump etc energy (W/m2)	0,0000	
Schedule	Hosp_WardPatients_Occ	
Heating		<<
<input type="checkbox"/> Heated		
Cooling		<<
<input checked="" type="checkbox"/> Cooled		
Cooling system	Default	
Fuel	1-Electricity from grid	
Cooling system seasonal CoP	3,200	
Supply Air Condition		<<
Minimum supply air temperature (°C)	22,00	
Minimum supply air humidity ratio (g/g)	0,0077	
Cooling limit type	3-Limit flow rate and capacity	
Operation		<<
Schedule	Hosp_WardPatients_Cool	
Humidity Control		>>
DHW		<<
<input type="checkbox"/> On		
Natural Ventilation		<<
<input type="checkbox"/> On		
Air Temperature Distribution		>>
Cost		>>

## c) SPLIT + NATURAL VENTILATION (configurações em HVAC + Activity)

The screenshot displays a configuration window for HVAC and Natural Ventilation. The settings are organized into several sections:

- HVAC Template**:
  - Template: Split + Natural Ventilation
- Mechanical Ventilation**:
  - On
  - Outside air definition method: 4-Min fresh air (Sum per person + per area)
  - Operation: [collapse]
  - Schedule: Hosp\_WardPatients\_Occ
  - Economiser (Free Cooling): [collapse]
  - Heat Recovery: [collapse]
- Auxiliary Energy**:
  - Pump etc energy (W/m2): 0.0000
  - Schedule: Hosp\_WardPatients\_Occ
- Heating**:
  - Heated
- Cooling**:
  - Cooled
  - Cooling system: Default
  - Fuel: 1-Electricity from grid
  - Cooling system seasonal CoP: 3,200
  - Supply Air Condition: [collapse]
  - Operation: [collapse]
  - Schedule: Hosp\_WardPatients\_Cool
- Humidity Control**: [collapse]
- DHW**:
  - On
- Natural Ventilation** (highlighted in green):
  - On
  - Outside air definition method: 1-By zone
  - Outside air (ac/h): 12.000
  - Operation: [collapse]
  - Schedule: Hosp\_WardPatients\_Occ
  - Outdoor Temperature Limits: [collapse]
  - Delta T Limits: [collapse]
  - Delta T limit control
    - Delta T definition: 2-By schedule
    - Delta T schedule: Indoor to Outdoor Delta T for Nat Vent: Always
  - Delta T and Wind Speed Coefficients: [collapse]
  - Options: [collapse]
  - Mixed Mode Zone Equipment: [collapse]
  - Mixed mode on
    - Wind and Rain: [collapse]
    - Temperature Control: [collapse]
    - Enthalpy Control: [collapse]
    - Dew Point Control: [collapse]
    - Advanced: [collapse]
- Air Temperature Distribution**: [collapse]

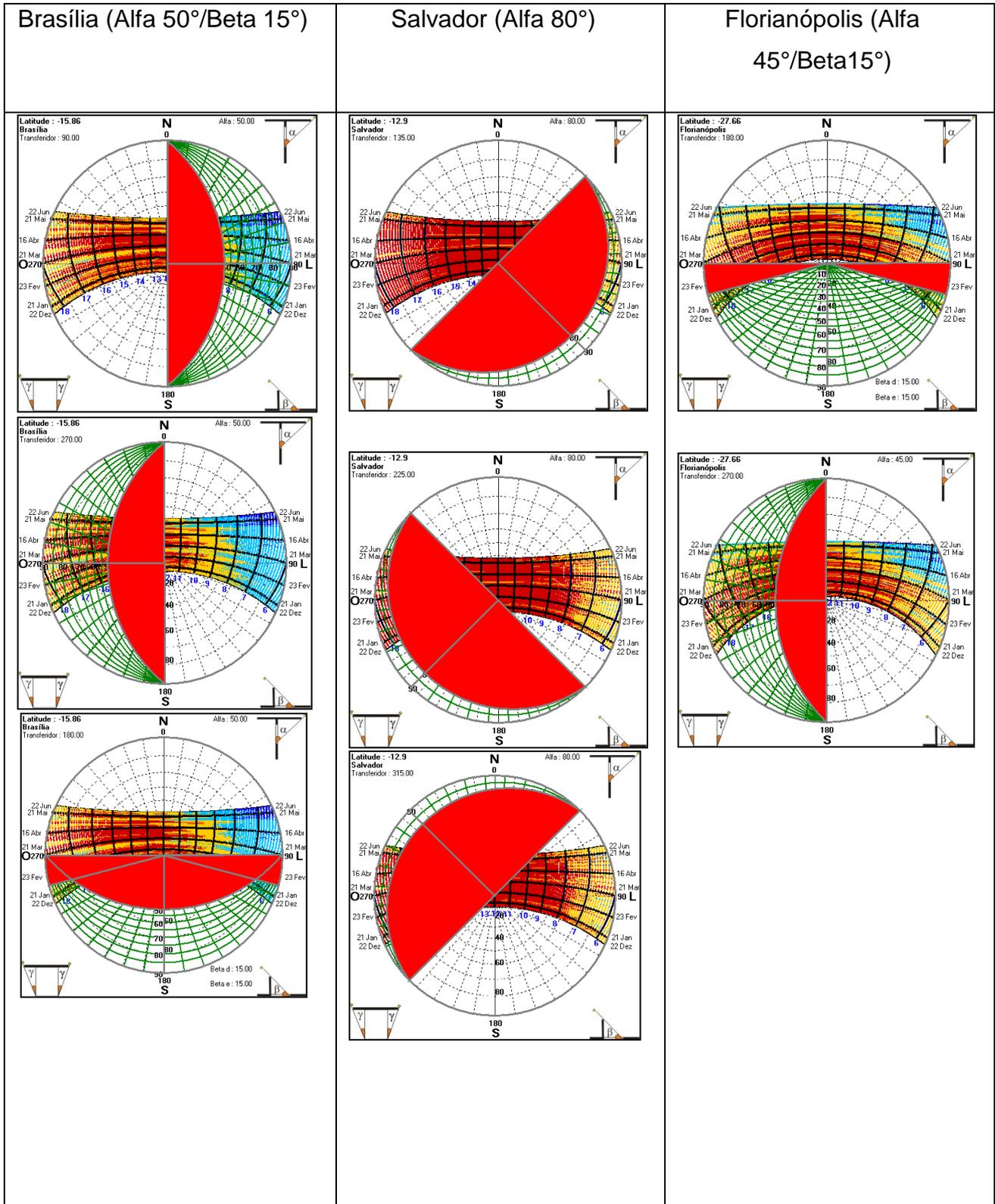
HVAC templates					
General	Ventilation	Heating and Cooling	Humidity Control	Air temperature distribution	Cost
General					
Name	Split + Natural Ventilation				
Description					
Source	DB				
Category	Generic				
Region	General				
Simple					
Auxiliary energy (kWh/m2)	25,00				
Colour Shading in Model					
HVAC templates					
General	Ventilation	Heating and Cooling	Humidity Control	Air temperature distribution	Cost
Natural Ventilation					
<input checked="" type="checkbox"/> On					
Rate (ac/h)	12				
Design flow rate (m3/s)	0,10000000				
<input type="checkbox"/> Mixed mode on					
Mechanical Ventilation					
<input checked="" type="checkbox"/> On					
Rate (ac/h)	3,00				
Design flow rate (m3/s)	0,10000000				
Fans					
Fan type	1-Supply				
Pressure rise (Pa)	400,0				
Total efficiency (%)	70,0				
Economiser (free cooling)					
Economiser type	1-None				
Max outdoor air rate when economiser operates (ac/h)	15,0				
Heat Recovery					
<input type="checkbox"/> On					
HVAC templates					
General	Ventilation	Heating and Cooling	Humidity Control	Air temperature distribution	Cost
Heating					
<input type="checkbox"/> On					
Cooling					
<input checked="" type="checkbox"/> Cooling On					
Precool (hr)	0,0				
Cooling system seasonal CoP	3,2				
Supply Air Condition					
Minimum supply air temperature (°C)	22				
Minimum supply air humidity ratio (g/g)	0,008				

- Activity

Cooling Setpoint Temperatures		∨
 Cooling (°C)	24,0	
 Cooling set back (°C)	28,0	
Humidity Control		>>
Ventilation Setpoint Temperatures		∨
Natural Ventilation		∨
<input checked="" type="checkbox"/> Indoor min temperature control		
Min temperature definition	1-By value	∨
 <b>Min temperature (°C)</b>	22	
<input checked="" type="checkbox"/> Indoor max temperature control		
Max temperature definition	1-By value	∨
 Max temperature (°C)	26	

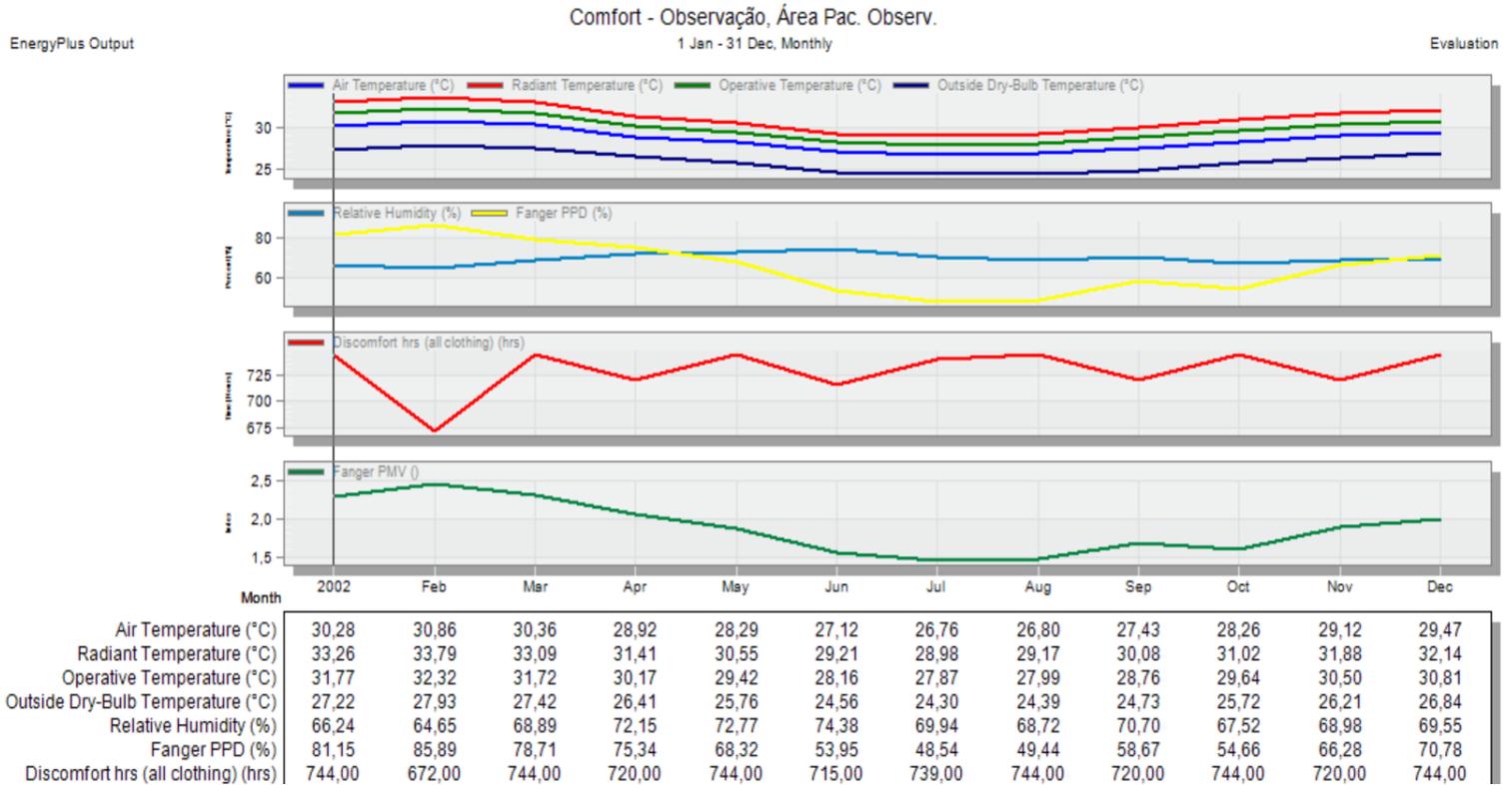
## APÊNDICE 2

Ângulos de Sombreamento realizados no programa Sol-Ar 6.2.

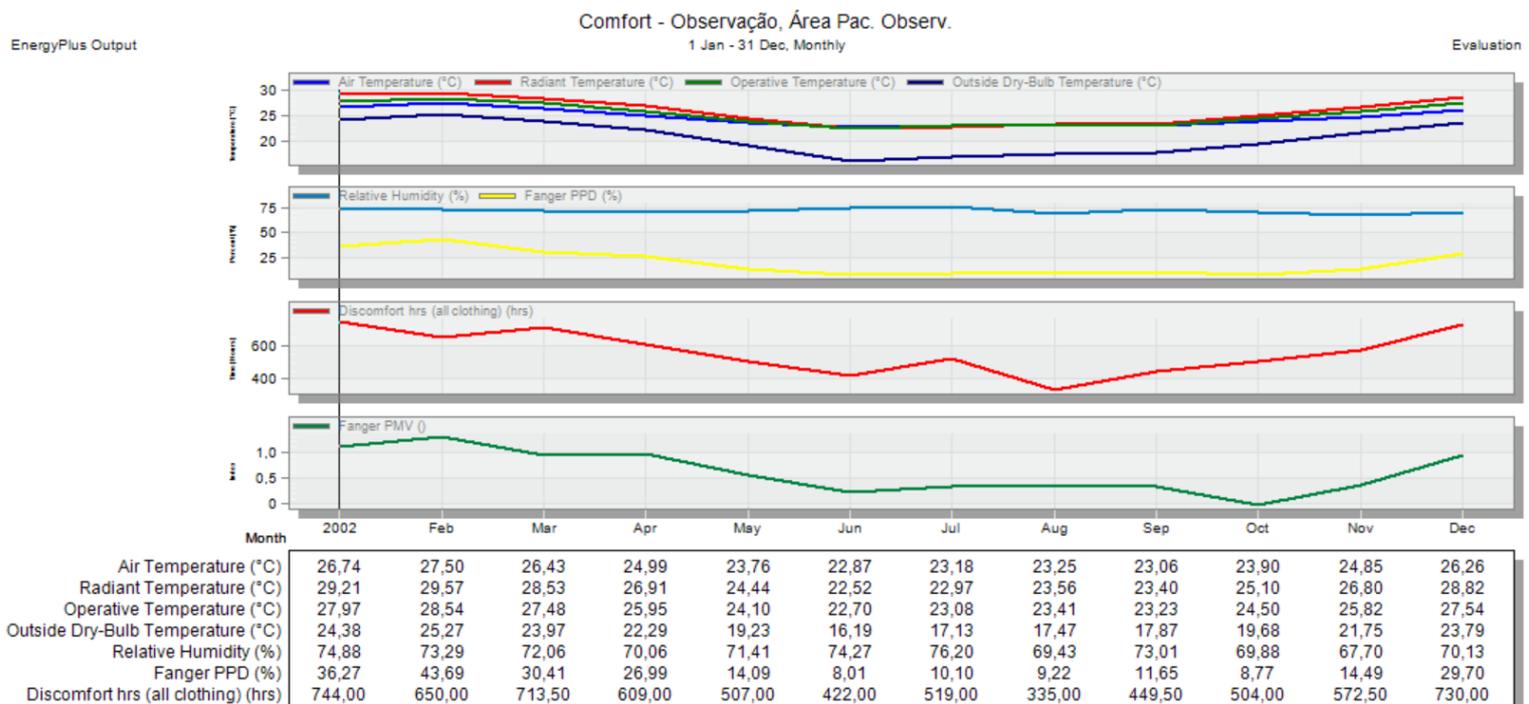




b) Salvador



c) Florianópolis



## APÊNDICE 4

Resultados das simulações no contexto climático de Brasília para demanda de energia elétrica com os três tipos de climatização.

A) Climatização por Ventilação Natural

Program Version: **EnergyPlus, Version 9.4.0-217a24fc09, YMD=2022.07.21 12:47**

Tabular Output Report in Format: **HTML**

Building: **Building**

Environment: **BRASÍLIA (01-01:31-12) \*\* BRASILIA - BRA IWEC Data WMO#=833780**

Simulation Timestamp: **2022-07-21 12:47:29**

Report: **Annual Building Utility Performance Summary**

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2022-07-21 12:47:29**

Values gathered over **8760.00 hours**

### Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	35582.36	133.57	
Net Site Energy	35582.36	133.57	
Total Source Energy	112689.34	423.02	
Net Source Energy	112689.34	423.02	

### Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil No 1	1.050
Fuel Oil No 2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

## B) Climatização por Split (COP 3,2)

### Normalized Metrics

#### Utility Use Per Conditioned Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Natural Gas Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Gasoline Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Diesel Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Coal Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Propane Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	District Cooling Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	District Heating Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Water Intensity [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Lighting	76.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.95	0.00	0.00
Other	56.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	133.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.95	0.00	0.00

#### Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Natural Gas Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Gasoline Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Diesel Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Coal Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Propane Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	District Cooling Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	District Heating Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Water Intensity [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Lighting	76.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.95	0.00	0.00
Other	56.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	133.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	279.95	0.00	0.00

## C) Climatização Híbrida (Ventilação Natural + Split COP 3,2)

### Normalized Metrics

#### Utility Use Per Conditioned Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Natural Gas Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Gasoline Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Diesel Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Coal Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Propane Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	District Cooling Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	District Heating Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Water Intensity [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Lighting	76.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.74	0.00	0.00
Other	56.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	133.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.74	0.00	0.00

#### Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Natural Gas Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Gasoline Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Diesel Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Coal Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fuel Oil No 1 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Fuel Oil No 2 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Propane Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Other Fuel 1 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Other Fuel 2 Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	District Cooling Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	District Heating Intensity [kWh/m <sup>2</sup> ]	Water Intensity [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Lighting	76.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.74	0.00	0.00
Other	56.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	133.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.74	0.00	0.00